

**USULAN PERENCANAAN PERAWATAN MESIN DENGAN
METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II* (RCM II)
DAN *AGE REPLACEMENT* PADA MESIN GENSET
(Studi Kasus: PT. Cilegon Karya Nusa)**

TUGAS AKHIR

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



Nama : Muhammad Imam Taufik
No. Mahasiswa : 20522359

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

PERNYATAAN KEASLIAN

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

Yogyakarta, 20 Juni 2024



(Muhammad Imam Taufik)

20522359

SURAT BUKTI PENELITIAN



SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

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

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama Lengkap : **Muhammad Imam Taufik.**
NIM : **20522359.**
Program Studi : **S1 Teknik Industri.**
Fakultas : **Fakultas Teknologi Industri.**
Perguruan Tinggi : **Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.**
Judul Penelitian : **Usulan Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II) Dan Age Replacement Pada Mesin Genset.**

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

Demikian, terima kasih atas perhatiannya.

Cilegon, 7 Mei 2024



Mulyadi

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**USULAN PRENCANAAN PERAWATAN MESIN DENGAN METODE
*RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II (RCM II) DAN AGE
REPLACEMENT* PADA MESIN GENSET
(Studi Kasus: PT. Cilegon Karya Nusa)**

TUGAS AKHIR

ISLAM

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Imam Taufik

No. Mahasiswa : 20522359



Yogyakarta, 23 Juli 2024

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dian Janari', is written over a horizontal line.

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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**USULAN PRENCANAAN PERAWATAN MESIN DENGAN METODE
*RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II (RCM II) DAN AGE
REPLACEMENT* PADA MESIN GENSET
(Studi Kasus: PT. Cilegon Karya Nusa)****TUGAS AKHIR****Disusun Oleh :****Nama : Muhammad Imam Taufik****No. Mahasiswa : 20522359**

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

Yogyakarta, 23 - Juli - 2024

Tim Penguji

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

Ketua

Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc.

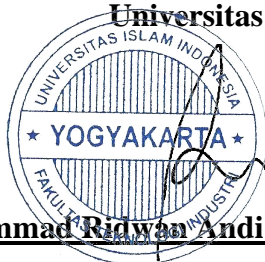
Anggota I

Chancard Basumerda S.T., M.Sc.

Anggota II

Mengetahui,

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



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

NIK. 01522010

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Tugas akhir ini saya persembahkan kepada orang tua dan keluarga saya.
Yang tak berhenti mendoakan dan mendukung saya dari awal hingga saat ini*

MOTTO

"The only limit to our realization of tomorrow is our doubts of today."

(Franklin D. Roosevelt)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

*Alhamdulillah*hirabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas berkah rahmat serta nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Usulan Perencanaan Perawatan Mesin dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* II (RCM II) dan *Age Replacement* pada Mesin Genset” dengan lancar. Sholawat serta salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad *Shalallahu 'Alaihi Wassalam* beserta keluarga, para sahabat, dan umatnya hingga akhir zaman.

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah berjasa memberikan bimbingan dan motivasi dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran dalam menjalani kegiatan dan penulisan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua saya Alm. Agus Saleh Hidayat dan Hasriati, saudari Utami Meilanie Putri dan saudara Tegar Putra Ramadhan selaku keluarga tercinta yang selalu mendoakan dan memotivasi secara langsung baik secara material dan moral kepada penulis hingga saat ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. Selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Dian Janari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak membantu dan meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, kritik dan saran kepada penulis yang membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
6. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Industri Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama masa perkuliahan.
7. PT Cilegon Karya Nusa yang telah memberikan izin kepada penulis untuk dapat melaksanakan kegiatan penelitian Tugas Akhir.
8. Muhammad Naufal Ramadhan Siregar dan Adhan Putro Aditia selaku sahabat yang sama-sama menjalankan Tugas Akhir yang telah membantu dan bekerja sama dalam melaksanakan dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
9. Sahabat-sahabat penulis hingga saat ini yaitu Nabil, Zidan, Eki, Wahyu, Yordhan, Askar, Lala, Intan, Fatimah, Ningsih yang selalu memberikan semangat, dukungan, serta tempat berkeluh kesah.
10. Sahabat-sahabat penulis sejak menjadi mahasiswa baru hingga saat ini yaitu Rafif, Naufal, Zizo, Dini, Rere, Tiara, Nada, dan Tania yang selalu memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi serta tidak hanya menjadi sahabat, tetapi juga keluarga kedua bagi penulis.
11. Seluruh pihak – pihak yang membantu penulis dalam penulisan Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlimpah rahmat, karunia, dan kelapangan hati atas segala kebaikan yang beliau – beliau berikan kepada penulis dan semoga menjadi amal sholeh, Aamiin.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih ada kekurangan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mohon kritik, saran, dan

masukannya yang bersifat membangun demi penulisan yang lebih baik dimasa yang akan datang. Akhir kata, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

ABSTRAK

PT. Cilegon Karya Nusa merupakan perusahaan yang bergerak dibidang konstruksi. Yang tentunya memiliki asset untuk menunjang kegiatan operasionalnya. Salah satu asset penting yang dimiliki oleh perusahaan ini adalah mesin genset, dimana mesin ini adalah sumber daya listrik satu-satunya untuk menunjang mesin lainnya. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perencanaan perawatan mesin genset di PT Cilegon Karya Nusa menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) dan *Age Replacement*. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi komponen kritis mesin genset, menentukan langkah perawatan yang sesuai, dan membandingkan biaya sebelum dan sesudah penerapan perawatan preventif. Metode RCM II digunakan untuk mengidentifikasi komponen kritis dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengevaluasi risiko komponen. *Age Replacement* diterapkan untuk menentukan interval penggantian optimal guna mencegah kegagalan komponen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen *Fuel Filter* adalah komponen paling kritis dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 356. Berdasarkan hasil analisis RCM ditemukan bahwa tindakan perawatan pada komponen *Fuel Filter* adalah *Time Directed*(TD) atau *Preventive Maintenance*. Selain itu, ditemukan juga interval waktu penggantian komponen *Fuel Filter* adalah setiap 61 hari dengan interval pemeriksaan setiap 9 hari. Penerapan perawatan preventif dengan *Age Replacement* berhasil mengurangi biaya penggantian dari Rp 13.412.000 menjadi Rp 10.526.784 selama periode empat tahun, menghasilkan penghematan sebesar Rp 2.885.216. Penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi metode RCM II dan *Age Replacement* dapat meningkatkan keandalan mesin genset dan efisiensi biaya perawatan.

Kata Kunci: *Reliability Centered Maintenance* (RCM), *Age Replacement*, *Preventive Maintenance*, Mesin Genset.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kajian Literatur	7
2.2 Landasan Teori	15
2.2.1 Perawatan (<i>Maintenance</i>)	15
2.2.2 <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM)	17
2.2.3 Keandalan (<i>Reliability</i>)	25
2.2.4 Identifikasi Distribusi	26
2.2.5 Metode <i>Least Square Curve Fitting</i> (LSCF)	26
2.2.6 Uji <i>Goodness of Fit</i>	27
2.2.7 Parameter Estimasi Distribusi	29
2.2.8 MTTF dan MTTR	31
2.2.9 Model Perawatan Penggantian Pencegahan <i>Age Replacement</i>	32
2.2.10 Frekuensi Pemeriksaan	33
BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 Subjek, Objek dan Lokasi Penelitian	35
3.2 Diagram Alir Penelitian	35
3.3 Identifikasi Masalah	36
3.4 Studi Literatur dan Tujuan	37
3.5 Pengumpulan Data	37
3.6 Pengolahan Data	37
3.7 Analisis	40
3.8 Hasil dan Kesimpulan	40
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	41
4.1 Latar Belakang Perusahaan	41
4.1.1 Profil Singkat Perusahaan	41
4.1.2 Lokasi	41
4.1.3 Visi	42
4.1.4 Misi	42
4.1.5 Struktur Organisasi	42

4.2	Pengumpulan Data.....	43
4.2.1	Data Waktu Antar Kerusakan Komponen Mesin Genset	43
4.3	Pengolahan Data Kualitatif.....	46
4.3.1	<i>Functional Block Diagram</i>	46
4.3.2	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	47
4.3.3	<i>Logic Tree Analysis</i>	50
4.3.4	<i>Task Selection</i>	52
4.4	Pengolahan Data Kuantitatif.....	55
4.4.1	Penentuan Komponen Kritis	55
4.4.2	Penentuan Distribusi Data Antar Waktu Kerusakan (<i>Time to Failure</i>).....	56
4.4.3	Penentuan Distribusi Data Antar Waktu Perbaikan (<i>Time to Repair</i>)	62
4.4.4	Uji <i>Goodness of Fit</i> Distribusi Data Waktu Kerusakan (<i>Time to Failure</i>) ..	68
4.4.5	Uji <i>Goodness of Fit</i> Distribusi Data Waktu Perbaikan (<i>Time to Repair</i>)	70
4.4.6	Perhitungan Parameter Dari Distribusi Data Waktu Kerusakan.....	72
4.4.7	Perhitungan Parameter Dari Distribusi Data Waktu Perbaikan.....	73
4.4.8	Penentuan Nilai Tengah Distribusi Waktu Kerusakan (<i>Mean Time to Failure</i>).....	73
4.4.9	Penentuan Nilai Tengah Distribusi Waktu Perbaikan (<i>Mean Time to Repair</i>).....	73
4.4.10	Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Dengan Minimasi <i>Downtime</i>	74
4.4.11	Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan.....	75
4.4.12	Perhitungan Total Biaya Perawatan dan Biaya Usukan Perawatan.....	76
BAB V PEMBAHASAN		79
5.1	Analisis Pengolahan Data Kualitatif	79
5.1.1	Analisis <i>Functional Block Diagram</i> (FBD).....	79
5.1.2	Analisis <i>Failure Mode Effect and Analysis</i> (FMEA).....	79
5.1.3	Analisis <i>Logic Tree Analysis</i> (LTA)	80
5.1.4	Analisis <i>Task Selection</i> (TS).....	81
5.2	Analisis Pengolahan Data Kuantitatif (Penentuan Interval Pemeriksaan dan Penggantian Komponen Kritis).....	82
5.3	Analisis Biaya Perawatan Komponen Mesin	84
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		85
6.1	Kesimpulan.....	85
6.2	Saran	86
DAFTAR PUSTAKA.....		87
LAMPIRAN		A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Literatur	11
Tabel 2. 2 Format FMEA	19
Tabel 2. 3 Tingkat <i>Severity</i>	19
Tabel 2. 4 Tingkat <i>Occurance</i>	22
Tabel 2. 5 Tingkat <i>Detection</i>	23
Tabel 4. 1 Data waktu antar kerusakan.....	43
Tabel 4. 2 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> komponen mesin Genset.....	47
Tabel 4. 3 <i>Logic Tree Analysis</i> mesin genset	50
Tabel 4. 4 <i>Task Selection Road Map</i>	53
Tabel 4. 5 Data komponen mesin genset.....	55
Tabel 4. 6 Jarak kerusakan komponen <i>fuel filter</i>	56
Tabel 4. 7 Perhitungan distribusi normal	58
Tabel 4. 8 Perhitungan distribusi lognormal	59
Tabel 4. 9 Perhitungan distribusi eksponensial	60
Tabel 4. 10 Perhitungan distribusi weibull.....	61
Tabel 4. 11 Hasil <i>Index of Fit</i>	62
Tabel 4. 12 Jarak perbaikan komponen fuel filter	62
Tabel 4. 13 Perhitungan distribusi normal waktu perbaikan	64
Tabel 4. 14 Perhitungan distribusi lognormal waktu perbaikan.....	65
Tabel 4. 15 Perhitungan distribusi eksponensial waktu perbaikan.....	66
Tabel 4. 16 Perhitungan distribusi weibull waktu perbaikan	67
Tabel 4. 17 Rekapitulasi <i>Index of Fit</i> waktu perbaikan.....	68
Tabel 4. 18 Hasil Uji <i>Goodness of Fit</i> waktu kerusakan	69
Tabel 4. 19 Hasil Uji <i>Goodness of Fit</i> waktu perbaikan	71
Tabel 4. 20 Interval waktu penggantian pencegahan	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Alur <i>Logic Tree Analysis</i>	25
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	36
Gambar 4. 1 Lokasi Perusahaan	41
Gambar 4. 2 Struktur Organisasi	42
Gambar 4. 3 <i>Flow Material</i> Fungsi Mesin Genset	46
Gambar 4. 4 Data diagram Pareto komponen mesin genset.....	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di zaman industri yang serba cepat saat ini, bisnis berusaha untuk memaksimalkan keuntungan dengan menawarkan berbagai macam layanan untuk memuaskan pelanggan. Hal ini terutama berlaku untuk perusahaan dalam industri konstruksi. Berdasarkan (Badan Pusat Statistik, 2023) terdapat 197.030 unit perusahaan konstruksi aktif di Indonesia yang terbagi menjadi tiga kualifikasi, K1, K2, serta K3 ialah kualifikasi kecil, M1 serta M2 ialah kualifikasi menengah, serta B ialah kualifikasi besar. PT. Cilegon Karya Nusa merupakan salah satu perusahaan yang berada di Jalan Boulevard Raya No. 23 – Taman Cilegon, Kota Cilegon, Banten, Indonesia. Perusahaan ini bergerak dibidang konstruksi dan refraktori serta pemasok barang berkualitas yang memiliki peran penting dalam mendukung industri petrokimia, pembangkit listrik, kilang minyak, dan industri minyak dan gas.

Setiap perusahaan konstruksi pasti memiliki kumpulan aset yang mendukung kegiatan operasionalnya, baik aset berwujud (*tangible*) dan tak berwujud (*intangible*). Aset organisasi atau individu ialah harta berharga yang membantu mendanai kegiatan operasional perusahaan (Suryani Dewi, 2018). Karenanya, produksi dan kinerja perusahaan sangat terbantu dengan pemeliharaan aset secara teratur. Produk ialah hasil akhir dari proses manufaktur yang berfungsi sebagai sistem operasi dalam sektor bisnis (B, Rahman, & Darmawan, 2014). Sistem tersebut melibatkan input, proses operasional, dan output. Untuk menjaga agar sistem produksi tetap berjalan lancar, diperlukan upaya pemeliharaan terhadap peralatan dan mesin produksi yang digunakan.

Genset ialah salah satu aset yang dimiliki oleh PT Cilegon Karya Nusa. Genset merupakan salah satu asset penting pada perusahaan ini karena menjadi sumber listrik utama untuk mengoperasikan peralatan yang menggunakan listrik seperti bor, gerinda, mesin molen beton, dan peralatan lainnya yang diperlukan dalam proyek pembangunan. Genset memiliki peran krusial dalam kegiatan konstruksi karena memberikan pasokan listrik yang stabil dan dapat diandalkan, serta dapat digunakan dalam berbagai kondisi. Karenanya, studi ini lebih terfokus pada mesin Genset karena sangat mempengaruhi efektifitas terutama pada kegiatan operasional perusahaan apabila terjadi kegagalan pada mesin tersebut. Mesin yang rusak dapat menyebabkan waktu henti, yang pada gilirannya mengurangi produksi perusahaan. Mengurangi produksi,

meningkatkan biaya operasional, dan berdampak pada layanan pelanggan adalah beberapa konsekuensi dari downtime (Rachmayanti & Prasetyawan, 2020).

Berdasarkan hal tersebut, kegiatan perawatan pada mesin Genset menjadi sangat penting untuk meminimalkan *downtime* serta produktifitas dapat berjalan dengan maksimal. Menurut (Hermawan & Sitepu, 2015), *maintenance* (perawatan) memiliki peranan krusial dalam kelancaran operasional serta produktivitas perusahaan, mempengaruhi aliran produksi dan volume produksi secara keseluruhan. Selain itu, perusahaan ini memiliki jumlah genset yang terbatas sehingga saat terjadi kerusakan perusahaan tidak memiliki genset cadangan untuk menggantikannya. Karenanya, untuk meningkatkan kinerja mesin, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan program perawatan yang handal yang memperhitungkan tingkat kegagalan komponen dalam beroperasi. Untuk memaksimalkan ketergantungan alat sekaligus meminimalkan biaya perawatan, penting untuk membuat keputusan perawatan yang sangat baik (Hermawan & Sitepu, 2015)

Peralatan dapat dijaga agar tetap berfungsi dengan baik dengan melakukan pemeliharaan preventif. Menurut (Dilip & Aldin, 2018), perawatan *preventif* adalah upaya untuk merawat fasilitas atau mesin dengan cara mencegah timbulnya kerusakan dan mengidentifikasi penyebabnya. Dengan demikian, perusahaan dapat memperkirakan kapan mesin akan mengalami gangguan lagi di masa mendatang, serta mempersiapkan segala aspek yang diperlukan seperti dana, sumber daya, dan lain sebagainya.

Salah satu metode dalam menentukan aktivitas perawatan yang efektif adalah dengan menggunakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Menurut (Setiawan & Aritonang, 2013). *Reliability Centered Maintenance* merupakan metode untuk memilih, mengembangkan, dan membuat alternatif strategi perawatan berdasarkan kriteria operasional, ekonomi, dan keamanan. Dengan adanya metode ini juga bisa menentukan komponen kritis yang terdapat pada suatu mesin dengan bantuan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA).

Metode RCM telah digunakan dalam beberapa penelitian untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan perawatan mesin. Penelitian yang dilakukan oleh Noor Ahmadi dan Nur Yulianti Hidayah (2017) yang berjudul “Analisis Pemeliharaan Mesin Blowmud dengan Metode RCM di PT. CCAI” menemukan 4 komponen kritis yang mempengaruhi *downtime* dan *availability*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan penurunan *downtime* sebesar 1,56% dan peningkatan *availability* sebesar 1,56%. Dwi Prasetya dan Ika Widya Ardhyani (2018) dalam penelitian mereka yang berjudul “Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) (Studi Kasus: PT. S)” menemukan 11 komponen kritis dan melakukan analisis preventive untuk interval perawatan yang optimal. Agus

Syahabuddin (2019) dalam penelitian yang berjudul “Analisis Perawatan Mesin Bubut Cy-L1640g Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Di PT. Polymindo Permata” menemukan 3 komponen kritis yang mempengaruhi kerusakan, yaitu Electric System (42,51%), Gear (35,31%), dan Taper (22,18%). Hasil penelitian tersebut juga menunjukkan interval waktu perawatan yang optimal untuk Electric System, yaitu 32 hari.

Selain menggunakan Reliability Centered Maintenance (RCM), penelitian ini juga memanfaatkan metode age replacement untuk mengurangi downtime pada komponen kritis. Metode age replacement telah digunakan dalam beberapa penelitian sebelumnya, seperti dalam "Usulan Preventive Maintenance Pada Mesin Hanger Shot Blast Kazo Dengan Menggunakan Metode Age Replacement Di PT. Barata Indonesia" oleh Edo Ardo Agustiawan, Muhammad Zainuddin Fathoni, dan Dzakiyah Widyaningrum (2021). Hasil penelitian tersebut menunjukkan biaya perawatan yang berkurang sebesar Rp 1.045.237.557,- dengan peningkatan penggantian komponen dari 37 menjadi 41 kali. Penelitian lainnya, seperti "Penentuan Interval Waktu Optimal Penggantian Komponen Wire Screen Pada Mesin Wire Part Dengan Metode Age Replacement Di PT. Mount Dream Indonesia" oleh Sega Gavin Tama dan Iskandar (2017), juga menggunakan metode age replacement dengan hasil interval waktu penggantian komponen sebesar 65 hari dan tingkat keandalan sebesar 51,3%. Biaya yang dikeluarkan setiap bulannya adalah Rp 14.982.447,49. Penelitian lainnya, seperti "Penentuan Interval Perawatan Mesin Air Separation Plant Secara Preventive Downtime Maintenance Dengan Menggunakan Metode Age Replacement Pada PT. Xyz" oleh Nidaru Ainul Fikri dan Endang Pudji Widjajati (2020), juga menggunakan metode age replacement dengan hasil biaya perawatan yang lebih rendah dibandingkan dengan biaya perusahaan sebelumnya, memiliki efisiensi sebesar 69,23%.

Berdasarkan permasalahan diatas, maka dilakukanlah perancangan penjadwalan perawatan mesin genset pada PT Cilegon Karya Nusa. Pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) ialah salah satu cara untuk menerapkan pemeliharaan *preventif*. RCM ialah metode yang membantu perusahaan memilih, merancang, dan menemukan solusi pemeliharaan yang berbeda dengan mempertimbangkan faktor operasional, ekonomi, serta keselamatan (Alwi, 2016). Selain menerapkan pendekatan RCM penelitian ini juga menggunakan metode pergantian berdasarkan usia (*Age Replacement*) yang bertujuan untuk mengatasi masalah yang berkaitan dengan umur atau masa pakai dari komponen mesin. Menurut (Bukaryo & Surojo, 2021) metode ini berfokus pada pengoptimalan umur komponen mesin, dimana ketika komponen mencapai batas usia yang telah ditetapkan, perawatan atau penggantian dilakukan untuk mencegah kegagalan sistem. Dengan demikian, metode *Age Replacement* dapat membantu meningkatkan keandalan sistem serta mengurangi biaya perawatan yang tidak perlu.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Apa saja komponen yang termasuk ke dalam kategori kritis pada mesin *generator set*?
2. Bagaimana cara menentukan langkah perawatan yang sesuai untuk memastikan kinerja optimal mesin *generator set*?
3. Bagaimana perbandingan biaya antara sebelum dan sesudah dilakukan *Preventif Maintenance*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah untuk mengetahui beberapa hal sebagai berikut:

1. Mengetahui komponen apa saja yang termasuk ke dalam kategori kritis pada mesin *generator set*
2. Dapat menentukan langkah perawatan yang sesuai untuk memastikan kinerja mesin *generator set* optimal.
3. Mengetahui perbandingan biaya antara sebelum dan sesudah dilakukan *Preventif Maintenance*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diharapkan sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti
 - a. Peneliti mampu mengaplikasikan teori manajemen perawatan yang didapatkan di perkuliahan dan adanya pengetahuan yang lebih didapatkan di lapangan.
 - b. Peneliti dapat mengembangkan dan mengaplikasikan pengalaman di lapangan untuk dijadikan sebagai bahan pertimbangan Tugas Akhir.
2. Bagi Perusahaan
 - a. Perusahaan memberikan informasi secara langsung tentang *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement* yang diterapkan di perusahaan dan sebagai penunjang laporan Tugas Akhir.
 - b. Memberdayakan mahasiswa untuk membantu memecahkan masalah – masalah yang dihadapi oleh perusahaan sesuai dengan kemampuan mahasiswa yang bersangkutan

3. Bagi Universitas
 - a. Membina kerjasama yang baik antara lingkungan akademis dengan lingkungan kerja.
 - b. Dapat menambah ilmu pengetahuan pada mahasiswa sebagai bahan studi dan sebagai bahan pertimbangan bagi mahasiswa untuk mengerjakan Tugas Akhir.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di PT. Cilegon Karya Nusa
2. Penelitian dilakukan pada bulan April 2024
3. Data yang digunakan adalah data kerusakan dan perbaikan mesin genset pada bulan Januari 2020 sampai dengan Februari 2024.
4. Mesin produksi yang diberikan usulan perawatan hanyalah mesin *generator set*.
5. Peneliti menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* sebagai pendekatan untuk mengidentifikasi komponen kritis dan *Age Replacement* sebagai pendekatan untuk meminimasi *downtime*.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut merupakan sistematika laporan yang digunakan dalam penelitian ini:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, Batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan prinsip-prinsip teoritis yang menjadi dasar dari pembahasan yang terperinci untuk menganalisis dan memecahkan hasil penelitian. Bab ini juga mencakup rangkuman dari penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini memuat informasi mengenai subjek penelitian, sumber data yang digunakan, dan tahapan alur penelitian yang dijelaskan secara

singkat serta mencakup metode-metode yang digunakan dalam pengumpulan data.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisikan seluruh data yang digunakan dalam penelitian yang disertai uraian bagaimana proses dalam mengolah data tersebut dengan prosedur tertentu.

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini terdapat analisis mendalam dan evaluasi yang didasarkan pada pemrosesan data dari bab sebelumnya serta mengidentifikasi ketidaknormalan data yang dapat berguna untuk saran dalam penelitian selanjutnya.

BAB VI

PENUTUP

Bab ini berisikan ringkasan hasil dan saran yang diturunkan dari pembahasan dalam penelitian. Kesimpulan tersebut merangkum temuan penelitian yang menjawab pertanyaan yang diajukan serta saran yang berisikan rekomendasi untuk penelitian lanjutan yang dapat digunakan untuk pengembangan pada penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Tinjauan literatur mengumpulkan temuan dari penelitian serupa yang telah dipublikasikan dalam jurnal, buku, serta karya akademis lainnya mengenai topik berikut:

“Analisis Perawatan Mesin Produksi dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM)” merupakan judul penelitian sebelumnya (Juwandono & Purnama, 2023) yang membahas topik ini. MSG diproduksi oleh PT Daesang Ingredients. Ketika downtime terdeteksi, operasi perawatan yang dilakukan masih dikategorikan sebagai perawatan korektif, yang berarti dilakukan setelah kejadian. Oleh karena itu, peneliti akan menggunakan *age replacement* dan teknik *reliability centered maintenance* untuk melakukan *preventive maintenance* sebagai upaya untuk mengurangi *downtime*. Dari apa yang diketahui, bagian terpenting dari mesin cetak adalah rol cetak, bearing, dan vanbelt. Pada mesin laminating, filamen, bearing, dan vanbelt; dan pada mesin slitting, pisau slitting, bearing, dan vanbelt. Meminimalkan waktu henti selama 23.000 menit, 49.000 menit, dan 47.000 menit, masing-masing, dicapai oleh komponen bearing, vanbelt, dan roller impresi mesin cetak. Bantalan, slang, dan vanbelt mesin laminating menghemat waktu henti masing-masing selama 28.000 menit, 35.000 menit, dan 44.000 menit. Selain itu, bearing, slang, dan slitting blade mesin slitting bekerja sama untuk menghemat waktu henti masing-masing sebanyak 80.000, 120.000, dan 150.000 menit.

Dalam studi tahun 2021 yang berjudul “*A Case Study Maintenance Task Allocation Analysis on Marine Loading Arm Using Reliability Centered Maintenance*” Siswantoro dkk (2021), menganalisis satu kasus spesifik. Bongkar muat barang curah ialah spesialisasi PT XYZ. Kelemahan utama dari penelitian ini adalah beberapa kerusakan mesin MLA. Berdasarkan temuan dari tahap analisis FMECA, kekritisian peralatan dikategorikan sebagai risiko rendah (30%), risiko sedang (49%), serta risiko tinggi (21%). Kategori pemeliharaan yang direkomendasikan adalah 37% kategori A (14 *task*), 63% kategori B (21 *task*). Sedangkan rekapitulasi jenis *maintenance* dari seluruh kategori adalah *preventive maintenance* (19 *task*) sebanyak 54%, *condition monitoring* (13 *task*) sebanyak 37%, dan *Run-To-Failure* (3 *task*) sebanyak 9%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Rachman, Watunglawar, Amperajaya, Adnan, & Sriwana, 2022) dengan judul “Penentuan Interval Waktu Penggantian dan Perbaikan Komponen Kritis Mesin Bubut Tipe SS-850 di PT. Hamdan Jaya Makmur dengan Metode Age Replacement” PT. Hamdan Jaya Makmur merupakan perusahaan yang memproduksi suku cadang mesin dan barang conveyor system. Efisiensi mesin merupakan permasalahan yang muncul dalam penelitian ini. Karenanya, metoda penggantian usia digunakan untuk mengatasi masalah ini. Hasil yang diinginkan ialah meningkatkan teknik perawatan mesin, mencegah dan memperbaiki kerusakan mesin berdasarkan jenis kerusakan, dan menetapkan jadwal interval perawatan. Temuan menunjukkan bahwa komponen kelistrikan memiliki interval waktu penggantian 15 hari untuk pencegahan dan perbaikan, sehingga menghemat 61,01% dari total biaya. Komponen bearing memiliki interval waktu penggantian 14 hari, menghemat 42,01% dari total biaya. Komponen gearbox memiliki interval waktu penggantian 33 hari, menghemat 57,33% dari total biaya. Terakhir, komponen baut dan mur memiliki interval waktu penggantian 11 hari, menghemat 81,54% dari total biaya.

“*Preventive Maintenance* Mesin Cetak *Rotogravure* pada Komponen Press Roll dengan Metode Age Replacement sebagai Optimasi Biaya *Downtime* di PT.X” ialah judul dari proyek penelitian yang dilakukan oleh Firdaus (2021). Sebagai perusahaan yang bergerak di bidang penyedap rasa yang dikenal dengan nama MSG, PT.X merupakan perusahaan yang bergerak di bidang ini. Dengan menggunakan metode age replacement, akan dilakukan preventive maintenance pada mesin cetak rotogravure untuk mengatasi masalah dukungan komponen dan membatasi kejadian kegagalan. Dengan tingkat ketergantungan komponen tetap sebesar 70,97%, temuan menunjukkan bahwa teknik penggantian usia yang optimal untuk penjadwalan penggantian komponen press roll adalah 158 jam. Biaya perawatan yang dikeluarkan adalah sebesar Rp. 196.009.173,6, dibandingkan dengan investasi awal sebesar Rp. 783.238.421 ketika melihat biaya downtime dan pendekatan penggantian usia. Hasilnya adalah penghematan sebesar Rp. 587.229.247,4, atau 26,24 persen.

Studi berjudul “Analisis Reliability Centered Maintenance (RCM) pada Mesin Sablon Digital” dilakukan oleh Candra pada tahun 2022. Dengan nilai RPN masing-masing 156 dan 52 untuk komponen filter kapsul tinta dan komponen tabung tinta, mesin sablon digital memberikan hasil yang terbaik. Langkah selanjutnya dari penelitian ini adalah menentukan interval waktu perawatan untuk setiap komponen. Setelah total 19.325 jam dan 12 kali kegagalan selama enam bulan, komponen tabung tinta ditentukan memiliki interval waktu

perawatan terpanjang. Di sisi lain, komponen kapsul filter tinta memiliki periode pemeliharaan dan kerusakan selama 20.740 jam dan terjadi empat kali setiap enam bulan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Purwanggo & Ibana, 2021) dengan judul “*Implementation of Preventive Maintenance on CNC Milling Tape Drill Machine at PT XYZ Using FMEA Method and Age Replacement*”. PT XYZ adalah perusahaan yang menghasilkan berbagai macam *jig* seperti *air insert jig*, *auto insert jig*, *panel weld jig*, *insert nut jig*, dan lain-lain. Hasil yang diperoleh yaitu komponen kritisnya adalah *solenoid valve* dengan nilai RPN 180, rantai plarail dengan nilai RPN 150, motor spindel dengan nilai 140, dan sinyal lampu dengan nilai 180. Dimana nilai kritis RPN berada pada nilai 123,54. Nilai RPN 120 untuk bor pita lengan engkol, nilai RPN 108 untuk kompresor penghembus udara, nilai RPN 112. Untuk komponen yang tidak kritis, nilainya adalah 64 untuk lampu kerja, 120 untuk kabel listrik, 105 untuk pipa gemuk, dan 80 untuk selang pendingin. Setelah itu, teknik penggantian usia digunakan untuk menentukan seberapa sering komponen penting perlu diganti. Dimana perhitungannya untuk komponen *solenoid valve* selama 41 hari, untuk komponen rantai plarail selama 38 hari, untuk komponen motor spindel selama 207 hari dan untuk komponen lampu sinyal selama 90 hari. Hal ini menunjukkan penggantian komponen *solenoid valve* yang optimal adalah 41 hari setelah komponen beroperasi, untuk rantai plarail 38 hari setelah pengoperasian, untuk motor spindel 207 hari setelah pengoperasian dan untuk lampu sinyal 90 hari setelah pengoperasian. komponen beroperasi. Dari tahun 2017 hingga 2019, PT XYZ dapat mengurangi kerugian terkait pemeliharaan dengan melembagakan program untuk mengganti komponen-komponen penting dengan menggunakan teknik penggantian usia. Dimana komponen *solenoid valve* mampu meminimalkan kerugian sebesar Rp 7.008.255, untuk komponen rantai plarail sebesar Rp 801.915, untuk komponen motor spindel sebesar Rp 30.188.042 untuk komponen lampu sinyal sebesar Rp 1.358.192, jika total kerugian akibat tidak diterapkannya cara tersebut pada sistem pemeliharaan perusahaan sebesar Rp 39.356.404.

Penelitian yang dilakukan oleh (Ramadhan & Widiasih, 2023) yang berjudul “Analisis Penggantian dan Perawatan pada *Papermachine* Bagian *Wire dan Dryer* Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* dan *Age Replacement* pada PT.X”. PT.X merupakan perusahaan yang menghasilkan kertas jenis *Coated Duplex Board (CDB)*. Hasil dari jadwal penggantian yang disarankan oleh metode penggantian Usia meliputi Setiap 27 hari, ada layar bantalan, setiap 41 hari ada shower HP, setiap 22 hari ada kain kempa panjang, setiap 38 hari ada kain kempa panjang tandu, setiap 65 hari ada kawat 1, setiap 41 hari ada

kawat 9, setiap 25 hari ada pengering bantalan, setiap 41 hari ada kanvas gulung, setiap 24 hari ada tali katrol, setiap 21 hari ada rotari, dan setiap 17 hari ada rotari bodi. Selama dua hingga empat hari, setiap bagian diperiksa. Berdasarkan hasil dari usulan penjadwalan tersebut nilai *availability* yang didapatkan pada masing-masing komponen yaitu *% -99% yang menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode RCM dan melakukan penjadwalan dengan metode *Age replacement* bahwa probabilitas berfungsi seperti yang diharapkan.

Studi berjudul “Analisis Perawatan pada Mesin Bubut dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM)” dilakukan oleh (Wibowo, Hidayatullah, & Nalhadi, 2021). Perusahaan PT.TDE bergerak di bidang fabrikasi peralatan dan komponen pengganti. Pendekatan perawatan yang lebih sesuai diperlukan untuk komponen dengan angka prioritas risiko (RPN) tertinggi, yaitu bearing 360, stator 288, dan rotor 288, sesuai dengan temuan. Pemilihan tindakan perawatan RCM menghasilkan lima komponen yang memerlukan perawatan CD (kipas pendingin, motor housing, bantalan, poros utama, dan katrol penggerak), dua komponen yang memerlukan perawatan FF (stator dan rotor), dan satu komponen yang memerlukan perawatan TD (sikat).

Penelitian yang dilakukan oleh (Liu, Tang, Wang, Song, & Wen, 2023) dengan judul “*Reliability Centered Preventive Maintenance Optimization for a Single Component Mechanical Equipmet*”. Hasil dari penelitian ini adalah optimasi preventif yang berpusat pada keandalan pemeliharaan untuk peralatan mekanis unit Tunggal. Dengan menganalisis kebijakan pemeliharaan preventif yang berlaku pada peralatan mekanis satu unit, fungsi distribusi umur dan fungsi efek pemeliharaan diperoleh. Atas dasar ini, dua model optimasi pemeliharaan preventif ditetapkan, yaitu model minimalisasi biaya dan model maksimalisasi ketersediaan. Model-model ini berkontribusi pada pengembangan lebih lanjut rencana pemeliharaan preventif yang rasional melalui analisi kompresif.

Penelitian yang dilakukan oleh (Hidayat, Moh.Jufriyanto, & Rizqi, 2021) dengan judul “Perancangan RCM (*Reliability Centered Maintenance*) Untuk Mengurangi *Downtime* Mesin Pembuat Botol”. Sebuah perusahaan yang mengkhususkan diri dalam produksi wadah kaca, khususnya botol, adalah PT Iglas. Komponen cetakan, yang memiliki nilai RPN 160, ditentukan sebagai komponen yang gagal berdasarkan data yang diterima. Keputusan tentang apa yang harus dilakukan terhadap komponen vital ini didasarkan pada nilai ini. Karena komponen tersebut akan berfungsi setelah dilakukan perbaikan atau penggantian, maka pilihan tindakan berorientasi pada kondisi. Pada hari ke-23, komponen cetakan menghabiskan biaya Rp 1.746.090,94 per hari, yang mencakup biaya perbaikan dan

pemeliharaan seperti yang dihitung dalam UEC. Ini ialah biaya minimum yang harus dikeluarkan untuk memenuhi proyeksi pengeluaran.

Tabel 2. 1 Kajian Literatur

No	Penulis	Tahun	Judul	Metode/Tools	Penjelasan
1	Juwandono & Purnama	2023	Analisis Perawatan Mesin Produksi dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)	RCM	MSG diproduksi oleh PT Daesang Ingredients. Downtime saat ini masih korektif. Usulan preventive maintenance untuk mengurangi downtime. Komponen penting: rol cetak, bearing, vanbelt pada mesin cetak; filamen, bearing, vanbelt pada mesin laminating; pisau slitting, bearing, vanbelt pada mesin slitting.
2	Siswantoro	2021	A Case Study Maintenance Task Allocation Analysis on Marine Loading Arm Using Reliability Centered Maintenance	RCM	PT XYZ, bongkar muat barang curah. Analisis FMECA: risiko rendah (30%), risiko sedang (49%), risiko tinggi (21%). Kategori pemeliharaan: A

No	Penulis	Tahun	Judul	Metode/Tools	Penjelasan
					(37%), B (63%). Jenis maintenance: preventive (54%), condition monitoring (37%), run-to-failure (9%).
3	Rachman, Watunglawar, Amperajaya, Adnan, & Sriwana	2022	Penentuan Interval Waktu Penggantian dan Perbaikan Komponen Kritis Mesin Bubut Tipe SS-850 di PT. Hamdan Jaya Makmur dengan Metode Age Replacement	<i>Age Replacement</i>	PT. Hamdan Jaya Makmur, suku cadang mesin dan conveyor system. Masalah efisiensi mesin diatasi dengan age replacement. Interval penggantian: komponen kelistrikan 15 hari, bearing 14 hari, gearbox 33 hari, baut dan mur 11 hari.
4	Firdaus	2021	Preventive Maintenance Mesin Cetak Rotogravure pada Komponen Press Roll dengan Metode Age Replacement sebagai	<i>Age Replacement</i>	PT.X, perusahaan penyedap rasa (MSG). Preventive maintenance dengan age replacement untuk mesin cetak rotogravure. Interval penggantian

No	Penulis	Tahun	Judul	Metode/Tools	Penjelasan
			Optimasi Biaya Downtime di PT.X		optimal untuk komponen press roll adalah 158 jam. Penghematan biaya 26,24%.
5	Candra	2022	Analisis Reliability Centered Maintenance (RCM) pada Mesin Sablon Digital	RCM	Mesin sablon digital. Komponen kritis: filter kapsul tinta (RPN 156), tabung tinta (RPN 52). Interval perawatan: tabung tinta 19.325 jam (12 kali kegagalan/6 bulan), kapsul filter tinta 20.740 jam (4 kali kegagalan/6 bulan).
6	Purwanggo & Ibana	2021	Implementation of Preventive Maintenance on CNC Milling Tape Drill Machine at PT XYZ Using FMEA Method and Age Replacement	FMEA & Age Replacement	PT XYZ, produksi jig. Komponen kritis: solenoid valve (RPN 180), rantai plarail (RPN 150), motor spindel (RPN 140), sinyal lampu (RPN 180). Interval penggantian: solenoid valve 41 hari, rantai plarail 38 hari, motor spindel 207 hari,

No	Penulis	Tahun	Judul	Metode/Tools	Penjelasan
					sinyal lampu 90 hari.
7	Ramadhan & Widiasih	2023	Analisis Penggantian dan Perawatan pada Papermachine Bagian Wire dan Dryer Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance dan Age Replacement pada PT.X	RCM & Age Replacement	PT.X, produksi kertas Coated Duplex Board (CDB). Interval penggantian komponen penting: bearing screen 27 hari, HP shower 41 hari, kain kempa panjang 22 hari, kawat 1 65 hari, pengering bearing 25 hari. Nilai availability komponen mencapai 99%.
8	Wibowo, Hidayatullah, & Nalhadi	2021	Analisis Perawatan pada Mesin Bubut dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM)	RCM	PT.TDE, fabrikasi peralatan dan komponen pengganti. Komponen kritis: bearing (RPN 360), stator (RPN 288), rotor (RPN 288). Tindakan perawatan RCM: CD (5 komponen), FF (2 komponen), TD (1 komponen).

No	Penulis	Tahun	Judul	Metode/Tools	Penjelasan
9	Liu, Tang, Wang, Song, & Wen	2023	Reliability Centered Preventive Maintenance Optimization for a Single Component Mechanical Equipmet	RCM	Optimasi pemeliharaan preventif untuk peralatan mekanis unit tunggal. Analisis kebijakan pemeliharaan preventif menghasilkan model minimalisasi biaya dan maksimalisasi ketersediaan.
10	Hidayat, Moh.Jufriyanto, & Rizqi	2021	Perancangan RCM (Reliability Centered Maintenance) Untuk Mengurangi Downtime Mesin Pembuat Botol	RCM	PT Iglas, produksi botol kaca. Komponen cetakan kritis (RPN 160). Tindakan perawatan berorientasi kondisi. Biaya minimum per hari Rp 1.746.090,94 pada hari ke-23.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Perawatan (*Maintenance*)

Untuk menjaga agar kegiatan produksi tetap berjalan sesuai dengan yang diinginkan, maka perlu dilakukan pemeliharaan rutin pada bangunan dan peralatan pabrik dan melakukan perbaikan, modifikasi, atau penggantian sesuai dengan yang dibutuhkan (Assauri, 2004). Secara keseluruhan, tujuan pemeliharaan ialah untuk memastikan:

1. Menangani masalah apa pun yang muncul saat mencoba menjaga produksi tetap berjalan.
2. Memanfaatkan fasilitas dan peralatan industri secara maksimal untuk jangka waktu yang lebih lama.
3. Mengurangi jumlah waktu proses produksi yang terganggu, juga dikenal sebagai waktu henti, sehingga produksi dapat terus berlanjut tanpa gangguan.
4. Memanfaatkan aset produksi dengan lebih baik.
5. Meningkatkan kompetensi di antara para pekerja di sektor perbaikan industri.
6. Membuat barang menjadi lebih bernilai sehingga bisnis dapat bersaing dalam skala global.
7. Menemukan jawaban terbaik untuk kebijakan pemeliharaan fasilitas industri dan membantu para pengambil keputusan untuk memilihnya.
8. Operasi pemeliharaan dapat dikelola lebih baik dengan penggunaan pemeliharaan preventif yang terencana.
9. Mengurangi biaya yang disebabkan oleh masalah ketergantungan peralatan dan tagihan perbaikan.

Selain itu, ada beberapa jenis perawatan lainnya seperti yang dinyatakan oleh (Assauri, 2004):

1. Perawatan preventif (*Preventive Maintenance*)
Melakukan pemeliharaan dengan cara yang menghindari kerusakan atau perencanaan pencegahan kerusakan ialah apa yang dimaksud dengan istilah ini.
2. Perawatan korektif (*Corrective Maintenance*)
Memperbaiki dan meningkatkan kondisi fasilitas atau peralatan ke tingkat yang dapat diterima adalah tujuan dari pemeliharaan ini.
3. Perawatan prediktif (*Predictive Maintenance*)
Tujuan dari pemeliharaan ini ialah untuk mendeteksi setiap perubahan atau anomali dalam kondisi fisik dan operasi sistem.
4. Perawatan kerusakan (*Breakdown Maintenance*)
Kerusakan peralatan memerlukan pekerjaan pemeliharaan, dan untuk memperbaikinya, kita harus siap dengan suku cadang, bahan, peralatan, dan tenaga kerja pengganti.
5. Perawatan darurat (*Emergency Maintenance*)
Karena kemacetan atau kerusakan yang tidak terduga, pekerjaan perbaikan ini harus segera dilakukan.

2.2.2 Reliability Centered Maintenance (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah dasar dari perawatan fisik dan suatu teknik yang digunakan untuk mengembangkan proses perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) yang terjadwal. Hal ini didasarkan pada prinsip bahwa keandalan dari peralatan dan struktur dari kinerja yang akan dicapai adalah fungsi dari perancangan dan kualitas pembentukan perawatan pencegahan yang efektif akan menjamin terlaksananya desain keandalan dari peralatan (Moubray, 1997). Tujuan utama dari RCM adalah untuk mempertahankan fungsi sistem dengan cara mengidentifikasi mode kegagalan (*failure mode*) dan memprioritaskan kepentingan dari mode kegagalan kemudian memilih tindakan perawatan pencegahan yang efektif dan dapat diterapkan.

Untuk menjamin bahwa aset fisik tertentu secara konsisten berfungsi seperti yang diinginkan oleh pengguna dalam kondisi operasionalnya, digunakanlah Reliability Centered Maintenance. Tujuh pertanyaan yang tercantum di bawah ini ialah tujuan dasar dari proses RCM (Moubray, 1997):

1. “Apa fungsi dari asset dan standar kinerja yang terkait dengan fungsi tersebut sesuai dengan konteks operasinya? (*Function*)”
2. “Bagaimana asset tersebut dapat gagal memenuhi fungsinya? (*Functional Failure*)”
3. “Apa penyebab dari setiap kegagalan fungsi tersebut? (*Failure Modes*)”
4. “Apa yang terjadi jika kegagalan tersebut muncul? (*Failure Effect*)”
5. “Bagaimana kegagasan-kegagalan berpengaruh? (*Failure Consequence*)”
6. “Tindakan apa yang bisa dilakukan untuk memprediksi atau mencegah setiap kegagalan? (*Proactive task and task interval*)”
7. “Bagaimana jika tidak ditemukan tindakan proaktif yang sesuai? (*Default action*)”

2.2.2.1 Functional Block Diagram (FBD)

Seperti yang dinyatakan oleh (A.Hoyland, 2004), Diagram Blok Fungsional adalah sejenis deskripsi sistem yang berusaha mengidentifikasi dan menggambarkan fitur-fitur penting dari sistem, termasuk input, output, data historis, dan operasinya. Ketika melakukan analisis RCM, diagram blok fungsional membantu memperjelas fungsionalitas dan menghilangkan perbedaan persepsi di antara anggota tim dengan menunjukkan hubungan antara setiap fungsi aset. Diagram Blok Fungsional tidak hanya menggambarkan tetapi juga menjelaskan pengoperasian aset dan komponennya. Selain itu, diagram ini juga mempelajari interaksi antara operasi, proses, dan batasan konstituen sistem.

2.2.2.2 Downtime

Menurut (Moubray, 1997), *downtime* pada mesin didefinisikan sebagai periode waktu ketika mesin atau peralatan tidak beroperasi karena kegagalan atau perbaikan. Hal tersebut dapat disebabkan oleh berbagai factor, termasuk kerusakan teknis, pemeliharaan preventif, penyesuaian, atau bahkan kekurangan bahan atau tenaga kerja yang diperlukan untuk operasi. *Downtime* dikategorikan dalam dua tipe utama:

a. *Planned Downtime* (*Downtime* yang direncanakan)

Downtime ini termasuk pemeliharaan terjadwal, penyesuaian, atau perbaikan yang direncanakan dan diatur sebelumnya untuk mencegah kerusakan lebih lanjut dan memastikan kelangsungan operasional

b. *Unplanned Downtime* (*Downtime* yang tidak direncanakan)

Ini terjadi akibat kerusakan mendadak atau kegagalan yang tidak terduga yang sering kali mengakibatkan penghentian operasi secara mendadak dan memerlukan perbaikan darurat.

2.2.2.3 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Dengan membuat katalog titik-titik kegagalan potensial untuk setiap bagian sistem dan kemudian menilai bagaimana titik-titik kegagalan tersebut dapat berdampak pada ketergantungan sistem, *Failure Mode and Effect Analysis* menyediakan kerangka kerja untuk menilai desain sistem. Menurut (Gleen, 2004), tujuan FMEA adalah untuk memeriksa mode kegagalan utama dan konsekuensi yang ditimbulkannya pada sistem.

(Ebeling, 1997) menguraikan langkah-langkah Analisis Mode dan Efek Kegagalan, yang meliputi:

- a. Cari tahu sistem mana yang perlu diperiksa.
- b. Mengklasifikasikan jenis kegagalan sistem yang diamati menurut komponen dan fungsinya masing-masing.
- c. Cari tahu apa yang mungkin menyebabkan proses gagal dalam kondisi saat ini.
- d. Tentukan hasil yang mungkin terjadi yang mungkin dipicu oleh mekanisme kegagalan yang mungkin terjadi.
- e. Menetapkan tingkat signifikansi deteksi, kejadian, dan tingkat keparahan. Ketiga evaluasi tersebut mengikuti standar yang ditetapkan oleh Huber dalam jurnal FMEA-FMECA.
- f. Langkah pertama adalah membuat formulir FMEA. Bergantung pada keadaan dan persyaratan studi, lembar kerja ini dapat disesuaikan untuk membantu pelaksanaan

analisis kegagalan menggunakan *Failure Mode Effect Analysis*. Anda dapat memodifikasi lembar kerja ini sesuai dengan kebutuhan penelitian Anda; lembar kerja ini tidak diatur pada tabel tertentu.

- g. Menemukan langkah-langkah terkait untuk mengatasi mode kegagalan yang muncul adalah tahap terakhir dalam menggunakan *Failure Mode Effect Analysis*.

Tabel 2. 2 Format FMEA

Sistem:								
<i>No</i>	<i>Equipment</i>	<i>Function</i>	<i>Functional Failure</i>	<i>Effect of Failure</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>D</i>	<i>RPN</i>

Tabel berikut ini mengikuti format FMEA: peralatan mewakili komponen sistem, fungsi mewakili bagaimana komponen digunakan dalam proses operasi, mode kegagalan menggambarkan penyebab kegagalan fungsi, dan efek atau kegagalan menggambarkan dampak atau hasil dari kegagalan. Sebaliknya, SOD ialah singkatan dari *Severity*, *Occurrence*, serta *Detection*. Rumus berikut ini dapat digunakan untuk mendapatkan RPN:

$$RPN = S \times O \times D$$

RPN mencakup langkah-langkah berikut:

- a. *Severity*

Efek kegagalan menggambarkan hasil potensial dari kegagalan, dan tingkat keparahan adalah ukuran seberapa mengerikan hasil tersebut. Tingkat keparahan dinilai dari 1 hingga 10 berdasarkan tingkat keseriusan (Effendi & Arifin, 2015).

Tabel 2. 3 Tingkat *Severity*

Tingkatan <i>Severity</i> Rangking	Akibat (<i>Effect</i>)	Kriteria Verbal	Akibat Pada Produksi
1	Tidak ada akibat	Tidak mengakibatkan apapun (tidak ada akibat, penyesuaian diperlukan)	Proses dalam pengendalian
2	Akibat sangat ringan	Mesin masih dapat beroperasi dan keadaan aman, hanya terdapat sedikit gangguan kecil. Serta hanya	Proses berada dalam pengendalian, hanya

Tingkatan Severity Rangking	Akibat (Effect)	Kriteria Verbal	Akibat Pada Produksi
3	Akibat ringan	terdapat gangguan kecil pada peralatan. Akibat dapat diketahui hanya oleh operator yang berpengalaman 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	membutuhkan sedikit penyesuaian Proses telah berada di luar pengendalian, membutuhkan beberapa penyesuaian
4	Akibat <i>minor</i>	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi menimbulkan beberapa kegagalan atau kecacatan pada produk. Operator merasa tidak puas akibat kinerja yang berkurang	Kurang dari 30 menit <i>downtime</i> atau tidak ada kehilangan waktu produksi
5	Akibat moderat	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi menimbulkan beberapa kegagalan atau kecacatan pada produk. Operator merasa tidak puas akibat kinerja yang berkurang	30-60 menit <i>downtime</i>
6	Akibat signifikan	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi menimbulkan kegagalan atau kecacatan pada produk.	1-2 jam <i>downtime</i>

Tingkatan Severity Rangking	Akibat (Effect)	Kriteria Verbal	Akibat Pada Produksi
		Operator merasa sangat 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	2-4 jam <i>downtime</i>
8	Akibat ekstrem	Mesin tidak dapat beroperasi, mesin telah kehilangan fungsi utama mesin	4-8 jam <i>downtime</i>
9	Akibat serius	Mesin gagal dalam beroperasi dan tidak memenuhi standart keselamatan kerja	> 8 jam <i>downtime</i>
10	Akibat berbahaya	Mesin tidak layak untuk dioperasikan, karena dapat menimbulkan kecelakaan kerja secara tiba-tiba dan dapat memenuhi standart keselamatan kerja	> 8 jam <i>downtime</i>

b. *Occurance*

Tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan. Ditunjukkan dalam skala dari 1 (sangat tidak mungkin terjadi) hingga 10 (sangat mungkin atau tidak mungkin dicegah) (Effendi & Arifin, 2015).

Tabel 2. 4 Tingkat *Occurance*

Ranking	Kejadian	Kriteria	Tingkat Kejadian Kerusakan
1	Hampir tidak pernah ada	Hampir kerusakan tidak pernah terjadi	>10.000 jam operasi
2	Remote	Kerusakan mesin jarang terjadi	6.001 - 10.000 jam operasi
3	Sangat sedikit	Kerusakan mesin terjadi sangat sedikit	3.001 - 6.000 jam operasi
4	Sedikit	Kerusakan mesin terjadi sedikit	2.001 – 3.000 jam operasi
5	Rendah	Kerusakan mesin terjadi dengan tingkat rendah	1.001 – 2.000 jam operasi
6	Medium	Kerusakan mesin terjadi pada tingkat medium	401 – 1.000 jam operasi
7	Agak tinggi	Kerusakan terjadi agak tinggi	11 – 400 jam operasi
8	Tinggi	Kerusakan terjadi tinggi	11 – 100 jam operasi
9	Sangat tinggi	Kerusakan terjadi sangat tinggi	2 – 10 jam operasi
10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi	Kurang dari jam operasi

c. *Detection*

Besarnya kemungkinan kontrol yang diimplementasikan dapat menghindari penyebab kegagalan ditunjukkan oleh hal ini. Tingkatnya juga berada pada skala dari 1 hingga 10, dengan 1 menunjukkan kemungkinan yang sangat rendah untuk

lolos dari kontrol (pasti teridentifikasi) dan 10 menunjukkan kemungkinan yang sangat tinggi untuk menghindari deteksi (Effendi & Arifin, 2015).

Tabel 2. 5 Tingkat *Detection*

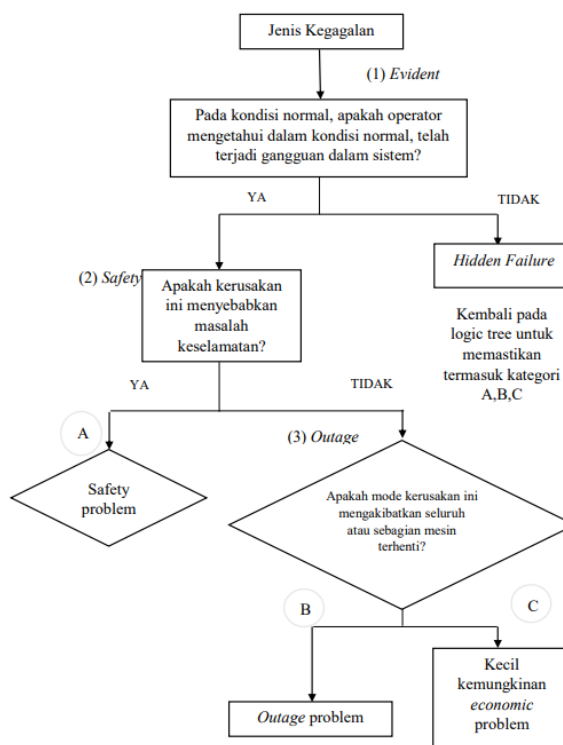
Rangking	Akibat	Kriteria Verbal
1	Hampir Pasti	Perawatan <i>preventive</i> akan selalu mendekati penyebab potensial atau mekanisme kegagalan mode kegagalan
2	Sangat tinggi	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
3	Tinggi	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
4	<i>Moderate highly</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>moderate highly</i> untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
5	<i>Moderate</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>moderate</i> untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat rendah	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
8	<i>Remote</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>remote</i> untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

Rangking	Akibat	Kriteria Verbal
9	Tidak pasti	Perawatan <i>preventive</i> dapat mendeteksi penyebab potensial yang tidak pasti
10	Sangat tidak pasti	Perawatan <i>preventive</i> dapat mendeteksi penyebab potensial yang sangat tidak pasti

2.2.2.4 Logic Tree Analysis (LTA)

Untuk mengidentifikasi hasil yang ditimbulkan oleh setiap mode kegagalan, prosedur kualitatif yang dikenal sebagai *Logic Tree Analysis* harus disiapkan. Untuk memprioritaskan pemrosesan setiap mode kegagalan tergantung pada kategorinya, Analisis Pohon Logika digunakan untuk mengkategorikan mode kegagalan ke dalam beberapa kelompok (IAEA, 2007). Menurut (Gleen, 2004), ada empat kelompok utama yang menjadi dasar analisis kekritisan mode kegagalan:

1. “*Evidents*, yaitu apakah operator dalam kondisi normal dapat mengetahui bahwa telah terjadinya adanya kerusakan?”
2. “*Safety*, yaitu apakah adanya kegagalan tersebut dapat membahayakan keselamatan?”
3. “*Outage*, yaitu apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan seluruh atau Sebagian sistem terhenti?”
4. “*Category*, yaitu mengklasifikasikan jawaban dari pertanyaan yang diajukan kedalam beberapa kategori.” Empat kelompok berikut ini membentuk subkategori Analisis Pohon Logika:
 - a. Kategori A (*safety problem*)
Mode kegagalan potensial dapat membahayakan keselamatan orang atau mungkin menyebabkan kematian.
 - b. Kategori B (*outage problem*)
Sistem operasional komponen dapat terhenti karena mode kegagalan komponen.
 - c. Kategori C (*economic problem*)
Efek ekonomi, termasuk biaya perbaikan, dari mode kegagalan yang tidak berdampak pada umumnya kecil.
 - d. Kategori D (*hidden failure*)
Jika perusahaan tidak dapat mengatasi risiko ini, maka dari risiko tersebut dapat meningkat menjadi bencana besar dan memicu lebih banyak kegagalan.



Gambar 2. 1 Alur *Logic Tree Analysis*

2.2.2.5 Task Selection

Pemilihan tindakan merupakan tahap terakhir dari proses analisa *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Dari tiap mode kerusakan dibuat daftar tindakan yang mungkin untuk dilakukan dan selanjutnya memilih tindakan yang paling efektif. Terdapat korelasi langsung antara mode kegagalan dengan TD, CD, dan FF (Supriyadi, Jannah, & Syarifuddin, 2018).

1. “*Time Directed* (TD) adalah Tindakan yang berfokus pada kegiatan pembersihan secara berkala.”
2. “*Condition Directed* (CD) adalah Tindakan yang berorientasi pada identifikasi potensi kerusakan peralatan sebagai dasar Keputusan untuk melakukan perbaikan atau pergantian komponen.”
3. “*Failure Finding* (FF) adalah Tindakan yang diambil dengan tujuan untuk menemukan kerusakan peralatan yang tersembunyi dengan pemeriksaan berkala.”

2.2.3 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas sistem akan memiliki kinerja sesuai fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu (Ebeling, 1997). Definisi lain

keandalan adalah probabilitas suatu sistem akan berfungsi secara normal ketika digunakan untuk periode waktu yang diinginkan dalam kondisi operasi yang spesifik (Dhillon, 2006). Berdasarkan definisi diatas, maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu:

1. Probabilitas, dimana nilai reliability adalah berada diantara 0 dan 1.
2. Kemampuan yang diharapkan, harus digambarkan secara terang atau jelas. Untuk setiap unit terdapat suatu standar untuk menentukan apa yang dimaksud dengan kemampuan yang diharapkan.
3. Tujuan yang diinginkan, dimana kegunaan peralatan harus spesifik. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa tingkatan dalam memproduksi suatu barang konsumen.
4. Waktu, merupakan parameter yang penting untuk melakukan penilaian kemungkinan suksesnya suatu sistem.

Kondisi Lingkungan, mempengaruhi umur dari sistem atau peralatan seperti suhu, kelembaban dan kecepatan gerak. Hal ini menjelaskan bagaimana perlakuan yang diterima sistem dapat memberikan tingkat keandalan yang berbeda dalam kondisi operasionalnya.

2.2.4 Identifikasi Distribusi

Sebuah teknik yang disebut dengan *fitting* kurva kuadrat terkecil digunakan untuk mengidentifikasi distribusi. Pemilihan strategi ini didasarkan pada penerapannya yang khas pada data yang mencakup sejumlah besar sampel lengkap. Orang menganggap metode ini lebih akurat karena tidak terlalu subjektif. Dengan memeriksa indeks kecocokannya pada tingkat yang paling tinggi, pendekatan ini dapat memastikan distribusi data.

2.2.5 Metode Least Square Curve Fitting (LSCF)

Distribusi suatu komponen dapat ditentukan dengan menggunakan pendekatan kurva *least-square curve fitting*, yang menggunakan nilai indeks kecocokan (r) terbesar yang akan dipilih. Untuk menentukan pendekatan kurva *fitting* kuadrat terkecil, seseorang dapat mengikuti langkah-langkah yang diuraikan dalam (Walpole R. , 1995):

- a. Nilai Tengah kerusakan (*medium rank*)

$$F(t_{i}) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad (1)$$

Dimana:

i = data waktu ke i

n = jumlah data kerusakan

b. *Index of fit*

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

Berikut ini adalah rumus untuk menentukan identitas distribusi awal untuk setiap distribusi, seperti yang dinyatakan oleh (Walpole R. , 1995):

a. Distribusi *Weibull*

$$\begin{aligned} x_i &= \ln t_i \\ y_i &= \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

b. Distribusi normal

$$\begin{aligned} x_i &= t_i \\ y_i &= z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \end{aligned} \quad (4)$$

c. Distribusi lognormal

$$\begin{aligned} x_i &= \ln t_i \\ y_i &= z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \end{aligned} \quad (5)$$

d. Distribusi eksponensial

$$\begin{aligned} x_i &= t_i \\ y_i &= \ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

2.2.6 Uji Goodness of Fit

Karena uji kecocokan distribusi *Goodness of Fit* lebih cenderung menolak distribusi yang tidak sesuai, uji ini digunakan untuk memverifikasi bahwa distribusi data yang dipilih memang mencerminkan data. Dua hipotesa yang saling bersaing diuji dengan menggunakan uji ini, yang dijalankan setelah distribusi pertama ditetapkan:

H0: data kerusakan atau perbaikan mendekati distribusi tertentu

H1: data kerusakan atau perbaikan tidak mendekati distribusi tertentu

Seperti yang terlihat di bawah ini, pengujian untuk setiap distribusi berbeda (Ebeling, 1997).

a. Uji *Bartlett* untuk pengujian distribusi eksponensial

Hipotesis yang digunakan dalam uji *bartlett* adalah:

H0: Data *time failure* berdistribusi eksponensial

H1: Data *time failure* tidak berdistribusi eksponensial

Uji statistiknya:

$$B = \frac{2r \left[\ln\left(\frac{1}{r}\right) \sum_{n=1}^r t_i - \left(\frac{1}{r}\right) \sum_{t=1}^r \ln t_i \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \quad (7)$$

Dimana:

r = jumlah kerusakan

t_i = data waktu kerusakan ke- i

B = nilai uji statistik untuk *Bartlett's test*

H0 diterima apabila nilai B berada didalam wilayah kritis dengan persamaan sebagai berikut:

$$X^2 \left(1 - \frac{a}{2x} - 1 \right) < B < X^2 \left(\frac{a}{2} x - 1 \right) \quad (8)$$

b. Uji *Mann's Test* untuk pengujian distribusi *Weibull*

Hipotesis yang digunakan dalam uji *mann* adalah:

H0: data *time failure* berdistribusi *Weibull*

H1: data *time failure* tidak berdistribusi *Weibull*

Uji statistiknya:

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} [\ln t_i + 1 - \ln t_i] / m_i}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} [\ln t_i + 1 - \ln \frac{t_i}{m_i}]} \quad (9)$$

B

Dimana:

t_i = data antar waktu kerusakan ke- i

n = jumlah data antar kerusakan suatu komponen

M_i = nilai pendekatan mann untuk data ke- i

M = nilai perhitungan distribusi *Weibull*

$M_{0,05;2k_2;2k_1}$ = nilai distribusi *Weibull*

r = banyaknya data

$r/2$ = bilangan bulat

$k_1 = r/2$

$k_2 = (r-1)/2$

Bila $M > F_{crit}$ maka H_1 diterima. Namun sebaliknya apabila $M < F_{crit}$ maka H_1 ditolak. Nilai F_{crit} diperoleh dari tabel distribusi F dengan $v_1 = 2k_1$ dan $v_2 = 2k_2$

c. Uji *Kolmogorov-Smirnov test*

Hipotesis yang digunakan untuk uji *Kolmogorov-Smirnov* adalah:

H_0 : data *time failure* berdistribusi normal (lognormal)

H_1 : data *time failure* tidak berdistribusi normal (lognormal)

Tes statistik, $D_n = \max (D_1, D_2)$

Dimana:

$$D_1 = \max \phi \left(\frac{ti - \mu}{s} \right) - \left(\frac{i-1}{n} \right) \quad (10)$$

$$D_2 = \max \left(\frac{i}{n} \right) - \phi \left(\frac{ti - \mu}{s} \right) \quad (11)$$

$$\text{Cumulative probability } F(t) = \left(\frac{ti - \mu}{\sigma} \right)$$

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

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

Dimana:

t_i = *time to failure* ke- i

μ = rata-rata *time to failure*

s = standar deviasi

n = banyaknya data

Apabila nilai $D_n < D_{crit}$ maka H_0 diterima, nilai D_{crit} diperoleh dari tabel *critical value for the kolmogorov-Smirnov test for normality*. Perbedaan pengujian distribusi normal dengan lognormal adalah pada penggunaan t_i apabila lognormal menggunakan nilai $t_i = \ln(t_i)$.

2.2.7 Parameter Estimasi Distribusi

Estimasi parameter yang digunakan yaitu menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Menurut (Ebeling, 1997) masing-masing parameter untuk tiap distribusi adalah sebagai berikut:

a. Distribusi *Weibull*

Parameter untuk distribusi *Weibull* adalah β (*shape parameter*) dan θ (*scale parameter*).

$$a = \beta \frac{\sum_{i=1}^n ti^\beta \ln (ti)}{\sum_{i=1}^n ti^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln (ti) = 0$$

$$\frac{\sum Yi - b * \sum Xi}{n}$$

Untuk menentukan θ , dengan rumus:

$$\theta = e^{-a/b}$$

Keterangan:

t_i = data waktu kerusakan ke- i

b. Distribusi normal

Parameter pada distribusi normal adalah σ dan μ

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n}} ; \text{ untuk } n > 30$$

Dan

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n}} ; \text{ untuk } n \leq 30$$

Keterangan:

t_i = data waktu kerusakan ke- i

n = banyaknya data kerusakan

μ = nilai tengah

σ = standar deviasi

c. Distribusi lognormal

Parameter yang digunakan pada distribusi lognormal adalah s (parameter bentuk) dan t_{med} (parameter lokasi)

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

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

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

Keterangan:

t_i = data waktu kerusakan ke- i

n = banyaknya data kerusakan

μ = nilai Tengah

s = standar deviasi

d. Distribusi eksponensial

Parameter yang digunakan untuk distribusi eksponensial adalah λ

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

Dimana:

n = jumlah kerusakan

T = \sum_{ti}^r ti yaitu jumlah kerusakan

λ = rata-rata datangnya kejadian

2.2.8 MTTF dan MTTR

2.2.8.1 Mean Time to Failure (MTTF)

MTTF sebuah item mesin atau peralatan adalah jumlah rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya kerusakan, yang dapat dianggap sebagai jumlah waktu yang dibutuhkan mesin atau peralatan untuk beroperasi (MT, 2011). Biasanya, MTTF digunakan untuk memastikan jumlah maksimum siklus operasi sebelum peralatan menjadi tidak dapat digunakan. Menggunakan rata-rata waktu ekstra yang tidak terjadwal dalam penjadwalan produksi sebagai metrik:

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

Berikut ini merupakan perhitungan MTTF masing-masing distribusi sebagai berikut:

a. Distribusi *Weibull*

$$\text{MTTF} = \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

Nilai $\theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$ dapat dilihat pada tabel dari fungsi gamma

b. Distribusi normal

$$\text{MTTF} = \mu$$

c. Distribusi lognormal

$$\text{MTTF} = t_{med.e} \frac{s^2}{2}$$

d. Distribusi eksponensial

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda}$$

2.2.8.2 Mean Time to Repair (MTTR)

Jumlah rata-rata waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan perbaikan dikenal sebagai MTTR (MT, 2011). Berapa lama waktu yang biasanya diperlukan untuk memperbaiki peralatan agar dapat berfungsi kembali, dengan mempertimbangkan waktu yang diperlukan untuk memberi tahu dan menghilangkan masalah. Periode yang diperlukan untuk diagnosis, perbaikan, dan menunggu (untuk komponen pengganti). Selain mengukur waktu pengujian dan perakitan, MTTR menentukan berapa lama sebuah operasi tidak berproduksi, yang menunjukkan bagaimana pemeliharaan mempengaruhi tingkat produksi.

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

Berikut ini merupakan perhitungan MTTR masing-masing distribusi sebagai berikut:

- a. Distribusi *Weibull*

$$\text{MTTR} = \text{MTTF} = \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

Nilai $\theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$ dapat dilihat pada tabel dari fungsi gamma

- b. Distribusi normal

$$\text{MTTR} = \mu$$

- c. Distribusi lognormal

$$\text{MTTR} = t_{med.e} \frac{s^2}{2}$$

- d. Distribusi eksponensial

$$\text{MTTR} = \frac{1}{\lambda}$$

2.2.9 Model Perawatan Penggantian Pencegahan dan Optimalisasi Biaya dengan *Age Replacement*

Dengan menetapkan interval waktu perawatan preventif berdasarkan interval kerusakan yang memerlukan operasi perbaikan penggantian dengan persyaratan minimalisasi, *age replacement* merupakan pendekatan perawatan preventif (Jardine, 1997). Selain itu, Analisis biaya pemeliharaan dengan metode penggantian berdasarkan usia adalah strategi untuk menentukan saat yang tepat untuk mengganti mesin atau peralatan di industri. Dalam analisis ini, perusahaan perlu mempertimbangkan biaya pemeliharaan yang dikeluarkan untuk mencapai biaya yang paling efektif dan efisien (Roudhotul & Wulandari, 2019). Dengan

menggunakan distribusi yang telah digunakan dan divalidasi pada prosedur sebelumnya, perhitungan Age Replacement dilakukan dengan rumus.

$$D(tp) = \frac{T_p.R(tp) + T_f.(1-R(tp))}{(tp+T_p).R(tp) + (M(tp)+T_f).(1-R(tp))}$$

Keterangan rumus:

tp = interval waktu penggantian pencegahan

T_f = waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen

T_p = waktu untuk melakukan penggantian preventive

$R(tp)$ = probabilitas terjadinya penggantian pencegahan pada saat tp

$M(tp)$ = waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian perbaikan pada masa tp

2.2.10 Frekuensi Pemeriksaan

Mencegah kerusakan, menjaga alat berat tetap berjalan dengan lancar, dan mengurangi waktu henti yang merugikan akibat kegagalan komponen yang tidak terduga, semuanya membutuhkan teknik inspeksi. Interval ideal untuk inspeksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus ini:

$$D(n) = \lambda(n).T_f + n.T_i$$

$D(n)$ = downtime yang terjadi karena perbaikan per unit waktu + downtime yang terjadi karena pemeriksaan per unit waktu

Dimana:

$$\lambda(n) = \frac{k}{n} \text{ sehingga: } \lambda(n) \frac{k}{n^2}$$

$$k = \frac{\text{frekuensi jumlah kerusakan}}{\text{periode terjadinya kerusakan}}$$

$$T_f = \frac{1}{\mu} ; T_i = \frac{1}{i}$$

Sehingga:

$$D(n) = \frac{\lambda(n)}{\mu} + \frac{n}{i} \text{ atau } D(n) = \frac{k}{n.\mu} + \frac{n}{i}$$

Jika persamaan diatas didiferensialkan akan menjadi:

$$D^{(n)} = \frac{k}{n^2.\mu} + \frac{1}{i} = 0$$

Sehingga frekuensi pemeriksaan:

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

keterangan:

$\lambda(n)$ = laju kerusakan yang terjadi

k = nilai konstan dari jumlah kerusakan persatuan waktu

T_f = waktu rata-rata untuk melakukan penggantian

T_i = waktu rata-rata untuk melakukan pemeriksaan

n = frekuensi yang dilakukan per satuan waktu

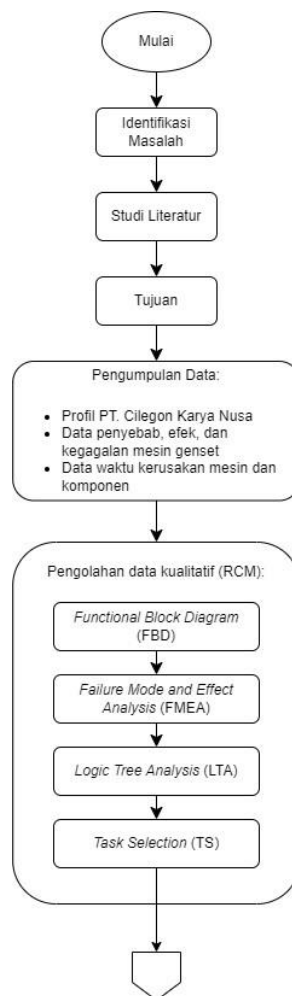
BAB III METODE PENELITIAN

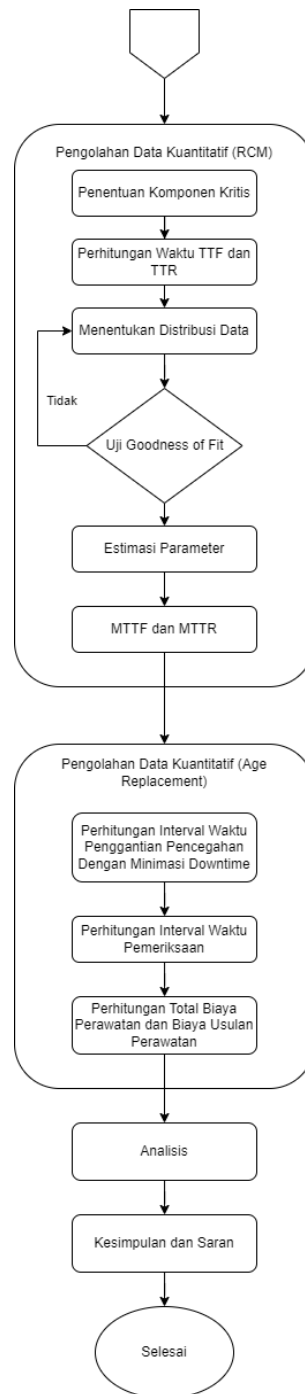
3.1 Subjek, Objek dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Cilegon Karya Nusa yang berlokasi di JL. Boulevard Raya No.23 - Taman Cilegon, Kota Cilegon, Banten. Subjek penelitian pada penelitian ini yaitu divisi operasional dan Objek penelitian yang digunakan yaitu mesin *Generator Set*. Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2024 sampai dengan April 2024.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alur penelitian yang dilakukan dari awal hingga akhir:





Gambar 3. 1 Alur Penelitian

3.3 Identifikasi Masalah

Untuk memahami sebuah masalah, peneliti harus terlebih dahulu mengidentifikasinya. Ini adalah langkah penting dalam proses penelitian. Berdasarkan fakta-fakta yang dikumpulkan dan perbaikan untuk mengatasi masalah tersebut, alasan-alasan akan ditetapkan pada tahap ini untuk melakukan penelitian. Temuan dari proses identifikasi masalah menunjukkan

adanya masalah pada Pemeliharaan Preventif, yang tujuannya adalah untuk menentukan bagian mesin mana yang rentan mengalami kegagalan pada mesin genset.

3.4 Studi Literatur dan Tujuan

Langkah selanjutnya ialah mengumpulkan materi yang relevan dengan teori yang mendasari penelitian ini dengan melakukan tinjauan pustaka. Untuk mengumpulkan referensi, seperti ide, metodologi, dan sumber daya lain yang membantu pelaksanaan penelitian, tinjauan literatur dapat dilakukan dari buku-buku atau jurnal penelitian yang telah diterbitkan sebelumnya.

3.5 Pengumpulan Data

Bisnis adalah objek pengumpulan data, dengan penekanan pada informasi yang berkaitan dengan masalah penelitian dalam hal ini. Sumber informasi primer dan sekunder disertakan dalam investigasi ini. Untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan, data primer dikumpulkan langsung dari sumbernya, seperti wawancara mendalam dengan narasumber atau pihak-pihak terkait. Data yang dikumpulkan untuk mendukung data utama dikenal sebagai data sekunder. Studi literatur (buku, jurnal, dan lain-lain) dan data historis perusahaan dari masa sebelumnya adalah sumber yang baik untuk informasi semacam ini. Data penelitian ini ditunjukkan di bawah ini.

2. Data profil Perusahaan.
3. Data mesin genset dan komponennya.
4. Data gangguan yang terjadi pada mesin genset beserta penyebab dan akibat yang ditimbulkan.
5. Data *downtime* tiap komponen mesin genset periode Januari 2023 sampai dengan Maret 2024.

3.6 Pengolahan Data

Mengklasifikasikan dan mengorganisasikan data secara terorganisir adalah tahap selanjutnya setelah pengumpulan data. Data tersebut kemudian diolah dengan menggunakan kerangka kerja penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya. Klarifikasi atau argumentasi tentang hipotesis penelitian berdasarkan data yang diperoleh adalah tujuan utama dari tahap pengolahan data. Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua

metode, yaitu *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement*. Berikut adalah tahapan yang dilakukan untuk kedua metode:

1. *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

a. *Functional Block Diagram* (FBD)

Tahapan ini melibatkan deskripsi sistem untuk mengidentifikasi detail kecil mengenai komponen dalam sistem yang ditulis dengan menggunakan diagram blok fungsi.

b. *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)

Tahapan ini digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan dari suatu komponen, serta penyebab dan akibat yang ditimbulkan. Nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* kemudian digunakan untuk menghitung *Risk Priority Number* (RPN) pada setiap komponen mesin, sehingga dapat diketahui komponen kritis pada mesin.

c. *Logic Tree Analysis* (LTA)

Logic Tree Analysis adalah metode perhitungan kualitatif yang diterapkan pada komponen mesin untuk mengetahui prioritas kerusakan yang terjadi. Terdapat 4 hal penting yang termuat dalam LTA, yaitu *evident*, *safety*, *outage*, dan *category*. Dalam *category* terdapat sub bagian lagi yang terbagi menjadi 4 kategori, yaitu A (*Safety Problem*), B (*Outage Problem*), C (*Economic Problem*), dan D (*Hidden Failure*).

d. *Task Selection* (TS)

Tahapan ini dilakukan untuk menentukan kegiatan perawatan yang efektif dan efisien untuk mengatasi setiap kemungkinan mode kegagalan yang dapat terjadi. Hasil dari kegiatan perawatan tersebut dapat berupa tindakan yang berfokus pada kondisi mesin (*Condition Direct*), waktu yang tepat untuk perawatan (*Time Directed*), serta penemuan penyebab kegagalan (*Finding Failure*).

2. Penentuan Komponen Kritis pada Mesin

Hasil penentuan komponen kritis pada tahap ini dapat dilihat dari nilai RPN (*Risk Priority Number*) yang tertinggi, serta hasil analisis FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*) yang digunakan dalam metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*).

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

Dalam tahap ini, TTF (*Time to Failure*) dan TTR (*Time to Repair*) dihitung untuk menentukan waktu yang diperlukan untuk kegagalan dan perbaikan komponen. TTF dihitung dengan mengurangi periode kerusakan komponen saat diperbaiki dengan kerusakan berikutnya. TTR dihitung dengan mengurangi periode saat komponen mengalami kerusakan hingga komponen tersebut selesai diperbaiki.

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

Untuk mengidentifikasi distribusi TTF dan TTR, metode *leastsquare curve fitting* digunakan. Metode ini memilih kurva yang paling sesuai dengan nilai *index of fit* (r) yang terbesar. Menurut (Walpole et al. 1995), beberapa metode dalam *leastsquare curve fitting* yang dapat digunakan untuk distribusi Weibull, eksponensial, normal, dan lognormal adalah *Medium Rank* dan *Index of fit*.

5. Uji Kecocokan Distribusi

Setelah perhitungan *index of fit*, tahap selanjutnya adalah melakukan uji kecocokan distribusi data dengan metode *goodness of fit*. Perhitungan dalam uji kecocokan ini membandingkan dua hipotesa awal: data kerusakan atau perbaikan mendekati distribusi tertentu (H_0) dan data kerusakan atau perbaikan tidak mendekati distribusi tertentu (H_1). Pengujian dalam *goodness of fit* terbagi menjadi tiga macam, yaitu Mann Test untuk distribusi Weibull, Barlett Test untuk distribusi Eksponensial, dan Kolmogorov-Smirnov untuk distribusi Normal dan Lognormal.

6. Estimasi Parameter

Pada tahap ini, metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) digunakan untuk mengestimasi parameter yang belum diketahui. Terdapat empat cara perhitungan parameter sesuai dengan distribusinya masing-masing, yaitu distribusi Weibull, normal, lognormal, dan eksponensial.

7. *Mean Time to Failure* (MTTF)

Mean Time to Failure (MTTF) adalah rata-rata selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan. Terdapat empat cara perhitungan MTTF yang sesuai dengan distribusinya masing-masing, yaitu distribusi Weibull, eksponensial, normal, dan lognormal.

8. *Mean Time to Repair* (MTTR)

Untuk menghitung rata-rata lama waktu perbaikan, terdapat empat cara perhitungan yang sesuai dengan distribusinya masing-masing, yaitu distribusi Weibull, normal, lognormal, dan eksponensial.

9. *Age Replacement*

a. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Dengan Minimasi Downtime

Pada tahap ini, *age replacement* dilakukan dengan cara meminimasi downtime, dipilih berdasarkan hasil yang minimum dengan tujuan mengetahui waktu penggantian

komponen sebelum mengalami kegagalan untuk mencegah kerugian yang lebih besar sehingga pada tahap ini juga melakukan perhitungan untuk mengoptimalkan biaya

b. Frekuensi Pemeriksaan dan Interval Waktu Pemeriksaan

Pemeriksaan secara berkala terhadap suatu mesin dapat berdampak positif, seperti mengurangi probabilitas kerusakan, meningkatkan umur mesin, serta dapat meminimasi *downtime* yang terjadi secara tiba-tiba akibat kerusakan pada komponen mesin.

c. Perhitungan Total Biaya Perawatan dan Biaya Usulan Perawatan

Pada tahap ini bertujuan untuk mengoptimalkan biaya yang dilakukan dengan menghitung total biaya dalam melakukan perawatan saat terjadi kerusakan sebelum dilakukan *preventif maintenance* dan setelah dilakukan *preventif maintenance* sehingga akan didapatkan biaya usulan perawatan yang paling optimal.

3.7 Analisis

Meninjau temuan penelitian sebelumnya atau perspektif yang ditawarkan dalam literatur yang berkaitan dengan objek penelitian diperlukan sebelum mendiskusikan hasil pengolahan data dengan pihak-pihak terkait atau dengan diri sendiri. Studi akan menyimpulkan dan saran untuk langkah selanjutnya akan didasarkan pada hasil percakapan ini.

3.8 Hasil dan Kesimpulan

Memberikan ringkasan temuan penelitian dan menawarkan saran kepada perusahaan, kesimpulan bertujuan untuk meningkatkan upaya penelitian di masa depan dengan membahas temuan studi.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Latar Belakang Perusahaan

4.1.1 Profil Singkat Perusahaan

PT Cilegon Karya Nusa didirikan pada tahun 1998 oleh Bapak Mulyadi. Berkantor pusat di Jl. Boulevard Raya A1/23 Taman Cilegon, Cilegon-Banten, perusahaan ini adalah salah satu kontraktor terkemuka di bidang Minyak-Gas, Petrokimia, dan Pasokan Industri. PT Cilegon Karya Nusa berkomitmen untuk terus meningkatkan standar kualitas dan daya saing baik di pasar domestik maupun internasional. Dengan dedikasi yang kuat untuk memberikan layanan terbaik dan meningkatkan kinerja, perusahaan ini bertekad menjadi kontraktor terkemuka yang menyediakan jasa dan produk berkualitas tinggi. PT Cilegon Karya Nusa berupaya mencapai kemajuan secara konsisten dan berkomitmen menjalankan proses bisnis di semua lokasi dengan keandalan tinggi serta mengikuti standar sistem manajemen yang ketat.

4.1.2 Lokasi

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



Gambar 4. 1 Lokasi Perusahaan

4.1.3 Visi

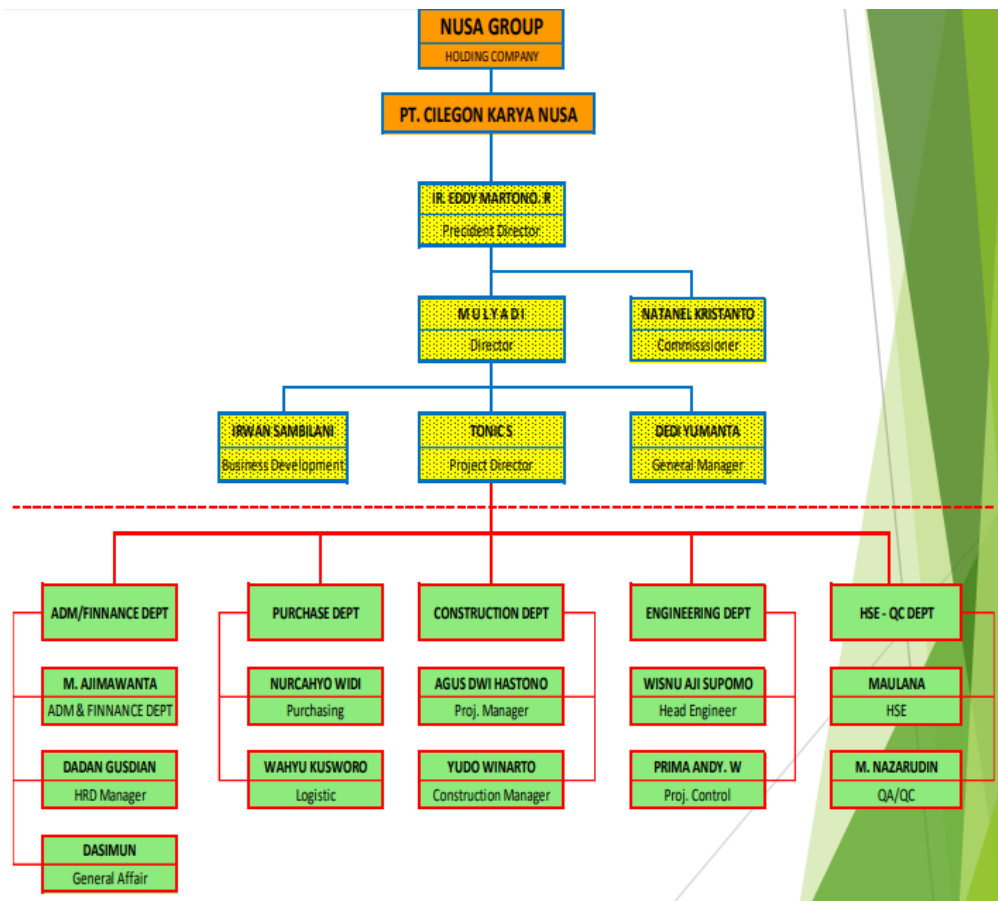
Menjadi perusahaan kontraktor terdepan dengan kemampuan untuk melayani bisnis strategis di bidang Minyak, Gas, Petrokimia, dan Pasokan Industri, dengan berorientasi pada kepuasan pelanggan, keselamatan kerja, dan perlindungan lingkungan.

4.1.4 Misi

Menjadi yang terbaik dalam pelaksanaan semua pekerjaan proyek dan menyelesaikannya tepat waktu. Menyediakan pelatihan bagi personel kami agar memiliki tim yang kompeten. Dapat dipercaya dan memiliki hubungan yang aman serta memberikan nilai tambah untuk memastikan kualitas terbaik dan efektivitas dalam melaksanakan pekerjaan kami untuk klien.

4.1.5 Struktur Organisasi

Berikut merupakan struktur organisasi PT. Cilegon Karya Nusa



Gambar 4. 2 Struktur Organisasi

4.2 Pengumpulan Data

4.2.1 Data Waktu Antar Kerusakan Komponen Mesin Genset

Berikut merupakan data total *downtime* dari komponen mesin Genset pada periode Januari 2023 sampai dengan Januari 2024 sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Data waktu antar kerusakan

No	Komponen	<i>Actual Start</i>	<i>Finish Start</i>
1	<i>Radiator</i>	25/11/2021 10:00	25/11/2021 11:30
		21/12/2021 08:30	21/12/2021 09:37
		07/07/2022 13:30	07/07/2022 14:33
		18/12/2022 08:35	18/12/2022 10:15
		13/02/2022 09:07	13/02/2022 10:03
		09/05/2023 08:00	09/05/2023 10:17
		28/02/2023 10:41	28/02/2023 11:28
		10/12/2023 14:15	10/12/2023 15:29
		16/01/2024 10:14	16/01/2024 11:44
		16/03/2021 08:30	16/03/2021 11:30
2	<i>Water Pump</i>	31/05/2021 08:30	31/05/2021 15:45
		01/08/2021 08:00	01/08/2021 09:00
		29/11/2021 07:48	29/11/2021 08:03
		05/03/2022 08:00	05/03/2022 14:00
		17/04/2022 10:00	17/04/2022 13:00
		18/06/2022 08:00	18/06/2022 11:00
		14/02/2023 13:00	14/02/2023 15:30
		06/03/2023 10:00	06/03/2023 12:15
		05/04/2023 08:30	05/04/2023 14:35
		06/05/2023 08:00	06/05/2023 09:20
3	<i>Dinamo Starter</i>	30/10/2023 08:00	30/10/2023 10:45
		06/01/2024 08:00	06/01/2024 09:00
		20/02/2024 13:00	20/02/2024 15:00
		16/05/2021 08:25	16/05/2021 11:30
		30/12/2021 09:35	30/12/2021 11:30
		31/03/2022 08:30	31/03/2022 15:45
		09/11/2022 13:30	09/11/2022 15:00

No	Komponen	<i>Actual Start</i>	<i>Finish Start</i>
		21/02/2023 08:00	21/02/2023 14:37
		16/07/2023 13:00	16/07/2023 16:00
		13/03/2021 08:30	13/03/2021 12:20
		25/12/2021 10:27	25/12/2021 16:45
4	<i>Alternator Charging</i>	12/11/2022 08:25	12/11/2022 10:20
		06/07/2023 13:34	06/07/2023 15:30
		12/03/2024 09:30	12/03/2024 14:45
		16/08/2021 08:00	16/08/2021 14:53
5	<i>Turbo Charger</i>	21/11/2021 09:00	21/11/2021 12:25
		19/06/2022 07:54	19/06/2022 11:22
		25/01/2023 09:00	25/01/2023 11:30
		14/10/2021 13:00	14/10/2021 14:19
		28/10/2021 09:01	28/10/2021 11:20
		29/11/2021 08:30	29/11/2021 10:44
6	<i>Injection Pump</i>	06/03/2022 08:00	06/03/2022 10:46
		23/03/2022 09:00	23/03/2022 12:50
		25/03/2023 08:30	25/03/2023 15:25
		17/10/2023 13:30	17/10/2023 15:30
		14/01/2024 08:00	14/01/2024 11:40
		25/11/2021 08:30	25/11/2021 11:00
		12/01/2021 14:50	12/01/2021
		17/02/2021 11:20	17/02/2021 11:55
		11/01/2021 12:38	11/01/2021
		01/11/2022 08:00	01/11/2022 09:10
7	<i>Engine Control Panel</i>	02/11/2022 08:48	02/11/2022
		04/12/2022 13:30	04/12/2022
		07/11/2022 09:54	07/11/2022 11:00
		25/10/2023 08:30	25/10/2023 10:55
		24/10/2023 09:35	24/10/2023 12:00
		06/01/2024 08:00	06/01/2024 10:00
8	<i>Air Filter</i>	19/01/2021 09:00	19/01/2021 10:00
		09/03/2021 11:00	09/03/2021 13:30 PM

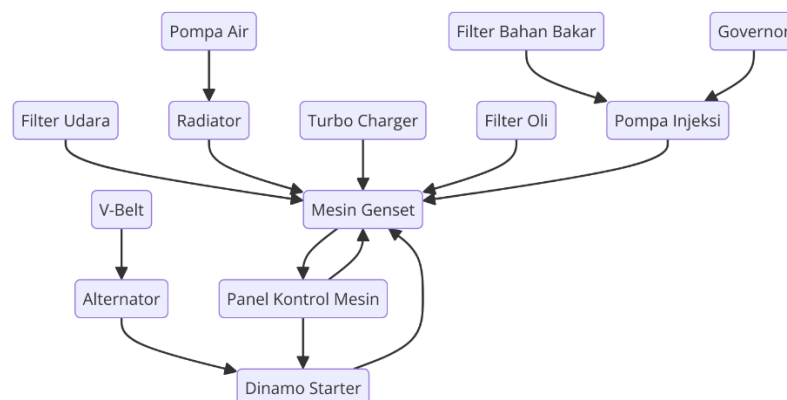
No	Komponen	<i>Actual Start</i>	<i>Finish Start</i>
		04/05/2021 11:30	04/05/2021 15:34
		06/09/2021 10:01	06/09/2021 16:06
		18/12/2021 09:18	18/12/2021 10:20
		06/02/2022 08:40	06/02/2022 10:15
		21/04/2022 09:45	21/04/2022 10:30
		28/05/2022 10:25	28/05/2022 16:00
		19/10/2022 13:27	19/10/2022 15:44
		09/01/2023 14:00	09/01/2023 16:30
		04/03/2023 09:00	04/03/2023 16:00
		24/03/2023 10:01 AM	24/03/2023 11:00
		18/09/2021 08:35	18/09/2021 10:25
		24/09/2021 14:17	24/09/2021
		30/11/2021 13:37	30/11/2021 14:30
		16/12/2022 09:40	16/12/2022 10:35
		15/11/2022 10:29	15/11/2022 11:55
9	<i>Oil Filter</i>	29/11/2022 13:30	29/11/2022 14:05
		26/02/2022 14:00	26/02/2022 15:51
		12/04/2023 13:35	12/04/2023 14:00
		05/12/2023 14:15	05/12/2023 15:20
		13/02/2023 13:55	13/02/2023 14:45
		20/02/2024 13:30	20/02/2024 16:00
		16/02/2021 08:30	16/02/2021 11:30
		31/05/2021 08:30	31/05/2021 15:45
		01/08/2021 08:00	01/08/2021 09:00
		29/09/2021 07:48	29/09/2021 08:03
		05/11/2021 08:00	05/11/2021 16:00
10	<i>Fuel Filter</i>	17/11/2021 10:00	17/11/2021 13:00
		18/12/2021 08:00	18/12/2021 11:00
		14/02/2022 13:00	14/02/2022 16:00
		06/03/2022 10:00	06/03/2022 12:00
		05/04/2022 08:30	05/04/2022 14:30
		06/05/2023 08:00	06/05/2023 09:00

No	Komponen	Actual Start	Finish Start
		30/10/2023 08:00	30/10/2023 10:00
		06/01/2024 08:00	06/01/2024 09:00
		20/01/2024 13:00	20/01/2024 15:00
		10/06/2021 10:00	10/06/2021 20:00
		27/11/2021 10:00	27/11/2021 11:00
		28/01/2022 10:00	28/01/2022 20:30
11	V-Belt	28/07/2022 08:00	28/07/2022 09:00
		03/02/2023 10:00	03/02/2023 11:00
		07/09/2023 09:00	07/09/2023 10:00
		22/09/2023 09:00	22/09/2023 10:00
		24/04/2021 08:30	24/04/2021 14:20
12	Governor	17/12/2021 14:09	17/12/2021 15:00
		04/12/2022 08:00	04/12/2022 16:10
		17/10/2023 13:30	17/10/2023 15:45

4.3 Pengolahan Data Kualitatif

4.3.1 Functional Block Diagram

Hasil dari informasi dan analisis yang dituangkan kedalam *Functional Block Diagram* (FBD) bahwa fungsinya untuk menggambarkan *flow process* atau *flow material* fungsi dari mesin *Genset* dengan diagram sederhana. Berikut merupakan *Functional Block Diagram* (FBD) *flow process* atau *flow material* fungsi dari mesin *Genset*:



Gambar 4. 3 Flow Material Fungsi Mesin Genset

Setiap komponen mesin genset memiliki aliran prosesnya masing-masing saat digunakan. Cara kerja mesin genset yaitu, udara bersih dari filter udara masuk ke dalam mesin genset,

dengan radiator menjaga suhu mesin tetap optimal berkat bantuan pompa air yang mengalirkan cairan pendingin. Turbo charger meningkatkan efisiensi dan tenaga mesin dengan memasukkan lebih banyak udara ke ruang bakar. Bahan bakar yang telah disaring oleh filter bahan bakar dan oli yang disaring oleh filter oli memastikan mesin beroperasi secara optimal dan bebas dari kontaminan. Pompa injeksi mengirimkan bahan bakar ke dalam mesin dengan jumlah yang tepat, dikendalikan oleh governor untuk menjaga kecepatan mesin tetap stabil. V-belt menggerakkan alternator untuk mengisi baterai dan komponen listrik lainnya. Dinamo starter digunakan untuk menyalakan mesin, dan panel kontrol mesin mengawasi serta mengendalikan seluruh operasi genset untuk memastikan kinerja yang efisien dan aman.

4.3.2 *Failure Mode and Effect Analysis*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) digunakan untuk menilai mode kegagalan dan dampak kegagalan dari setiap komponen dalam suatu sistem, serta menganalisis pengaruhnya terhadap keandalan sistem tersebut. Berikut ini adalah data dari *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA):

Tabel 4. 2 *Failure Mode and Effect Analysis* komponen mesin Genset

Sistem: Mesin Generator Set								
No	Equipment	Function	Failure Mode	Effect Of Failure	S	O	D	RPN
1	Radiator	Pembuangan panas	Korosi, kebocoran	Kerusakan mesin, kerusakan alternator, atau kerusakan total pada mesin diesel	8	2	4	64
2	Water Pump	Sirkulasi sistem pendingin	Gagal mengedarkan pendingin,	Mesin kepanasan, atau	8	7	3	168

			kebocoran, atau kepanasan	kerusakan total pada mesin diesel				
3	<i>Dinamo Starter</i>	Memulai mesin	dinamo starter lemah atau rusak	Mesin gagal dimulai, penundaan operasi, atau kehilangan daya total	8	3	4	96
4	<i>Alternator Charging</i>	Pembangkitan listrik dan pengisian baterai	Gagal menghasilkan listrik, lemah atau rusak, kegagalan baterai	Kehilangan daya, penundaan operasi, atau kehilangan daya total	8	2	5	80
5	<i>Turbo Charger</i>	Peningkatan tekanan dan aliran udara	Gagal meningkatkan tekanan udara, kebocoran, kerusakan pada turbocharger	Penurunan kinerja mesin, efisiensi berkurang, atau kehilangan daya total	8	3	3	72
6	<i>Injection Pump</i>	Pengiriman dan pengaturan waktu bahan bakar	Gagal mengirimkan bahan bakar, tekanan bahan bakar yang tidak	Penurunan kinerja mesin, efisiensi berkurang,	8	5	3	120

			tepat, kerusakan pompa injeksi	atau pada	atau kehilangan daya total				
7	<i>Engine Control Panel</i>	Pemantauan dan pengendalian kinerja mesin	Gagal memantau atau mengendalikan kinerja mesin, pembacaan yang tidak benar, atau kerusakan pada panel kontrol		Penurunan kinerja mesin, efisiensi berkurang, atau kehilangan daya total	8	5	3	120
8	<i>Air Filter</i>	Pembersihan dan filtrasi udara	filter tersumbat rusak	udara atau	Penurunan kinerja mesin, efisiensi berkurang, atau kehilangan daya total	8	5	4	160
9	<i>Oil Filter</i>	Pembersihan dan filtrasi oli	Gagal membersihkan oli, filter tersumbat atau rusak	oli atau	Penurunan kinerja mesin, efisiensi berkurang, atau kehilangan daya total	8	2	4	64
10	<i>Fuel Filter</i>	Pembersihan dan filtrasi bahan bakar	Gagal membersihkan bahan filter	bakar, bahan	Penurunan kinerja mesin, efisiensi berkurang,	8	6	7	336

			bakar tersumbat atau rusak	atau kehilangan daya total				
11	<i>V-Belt</i>	Transmisi daya	Gagal mentransmisikan daya, putus atau rusak	Kehilangan daya, penundaan operasi, atau kehilangan daya total	8	5	3	120
12	<i>Governor</i>	Regulasi kecepatan mesin	Gagal mengatur kecepatan mesin, pembacaan yang tidak benar, atau kerusakan pada governor	Penurunan kinerja mesin, efisiensi berkurang, atau kehilangan daya total	8	2	4	64

4.3.3 Logic Tree Analysis

Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA) bertujuan untuk menentukan jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang paling layak dan optimal untuk mengatasi setiap mode kegagalan. Tahap ini bertujuan untuk memprioritaskan tiap mode kerusakan. Berikut ini adalah data penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA):

Tabel 4. 3 *Logic Tree Analysis* mesin genset

Sistem:			<i>Critically Analysis</i>				
No	<i>Equipment</i>	<i>Function</i>	<i>Functional Failure</i>	<i>Evidents</i>	<i>Safety</i>	<i>Outage</i>	<i>Category</i>
1	<i>Radiator</i>	Pembuangan panas	Korosi, kebocoran	Y	N	Y	B

			Gagal				
2	<i>Water Pump</i>	Sirkulasi sistem pendingin	mengedarkan pendingin, kebocoran, atau kepanasan	Y	N	Y	B
3	<i>Dinamo Starter</i>	Memulai mesin	dinamo starter lemah atau rusak	Y	N	Y	B
			Gagal				
4	<i>Alternator Charging</i>	Pembangkitan listrik dan pengisian baterai	menghasilkan listrik, alternator lemah atau rusak, atau kegagalan baterai	Y	N	Y	B
			Gagal				
5	<i>Turbo Charger</i>	Peningkatan tekanan dan aliran udara	meningkatkan tekanan udara, kebocoran, atau kerusakan pada turbocharger	Y	N	N	B
			Gagal				
6	<i>Injection Pump</i>	Pengiriman dan pengaturan waktu bahan bakar	mengirimkan bahan bakar, tekanan bahan bakar yang tidak tepat, atau kerusakan pada pompa injeksi	Y	N	N	B
			Gagal				
7	<i>Engine Control Panel</i>	Pemantauan dan pengendalian kinerja mesin	Gagal memantau atau mengendalikan kinerja mesin,	Y	N	Y	D

			pembacaan yang tidak benar, atau kerusakan pada panel kontrol				
8	<i>Air Filter</i>	Pembersihan dan filtrasi udara	filter udara tersumbat atau rusak	Y	N	Y	B
9	<i>Oil Filter</i>	Pembersihan dan filtrasi oli	Gagal membersihkan oli, filter oli tersumbat atau rusak	Y	N	N	B
10	<i>Fuel Filter</i>	Pembersihan dan filtrasi bahan bakar	Gagal membersihkan bahan bakar, filter bahan bakar tersumbat atau rusak	Y	N	N	B
11	<i>V-Belt</i>	Transmisi daya	Gagal mentransmisikan daya, putus atau rusak	Y	N	Y	B
12	<i>Governor</i>	Regulasi kecepatan mesin	Gagal mengatur kecepatan mesin, pembacaan yang tidak benar, atau kerusakan pada governor	Y	N	N	D

4.3.4 Task Selection

Pemilihan tindakan didasarkan pada pertanyaan penuntun (*task selection*) yang disesuaikan dengan roadmap pemilihan tindakan. Dalam proses *task selection*, roadmap ini menentukan

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis							Selection Task
				1	2	3	4	5	6	7	
11	<i>V-Belt</i>	Transmisi daya	Gagal mentransmisikan daya, putus atau rusak	N	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD
12	<i>Governor</i>	Regulasi kecepatan mesin	Gagal mengatur kecepatan mesin, pembacaan yang tidak benar, atau kerusakan pada governor	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	CD

4.4 Pengolahan Data Kuantitatif

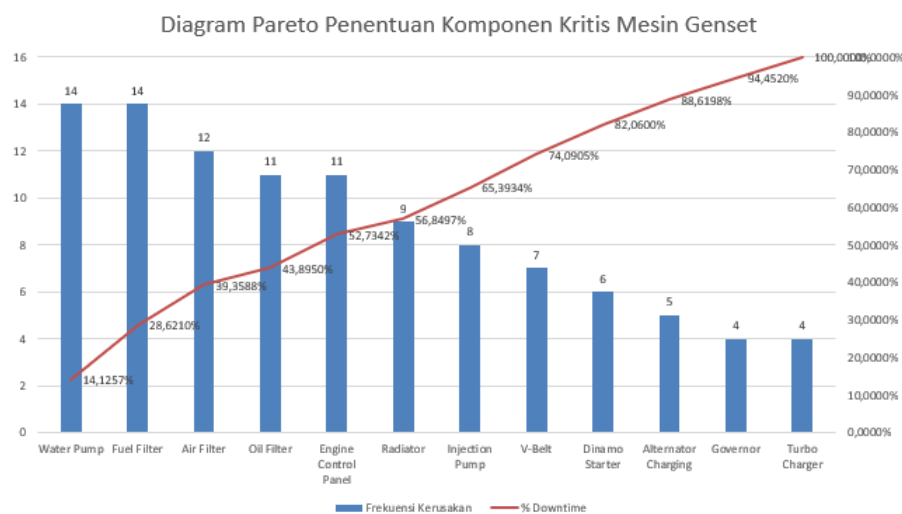
4.4.1 Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis dilakukan untuk mengetahui komponen mana yang dianggap memiliki tingkat resiko tertinggi sehingga membutuhkan perlakuan khusus yaitu dengan melakukan perbaikan. Berikut merupakan data komponen pada mesin genset:

Tabel 4. 5 Data komponen mesin genset

No	Komponen Mesin	Frekuensi DT	DT (Menit)	Kumulatif DT	% DT	% DT Kumulatif
1	<i>Water Pump</i>	14	2485	2485	14,1257%	14,1257%
2	<i>Fuel Filter</i>	14	2550	5035	14,4952%	28,6210%
3	<i>Air Filter</i>	12	1889	6924	10,7378%	39,3588%
4	<i>Oil Filter</i>	11	798	7722	4,5362%	43,8950%
5	<i>Engine Control Panel</i>	11	1555	9277	8,8392%	52,7342%
6	<i>Radiator</i>	9	724	10001	4,1155%	56,8497%
7	<i>Injection Pump</i>	8	1503	11504	8,5437%	65,3934%

8	<i>V-Belt</i>	7	1530	13034	8,6971%	74,0905%
9	<i>Dinamo Starter</i>	6	1402	14436	7,9695%	82,0600%
10	<i>Alternator Charging</i>	5	1154	15590	6,5598%	88,6198%
11	<i>Governor</i>	4	1026	16616	5,8322%	94,4520%
12	<i>Turbo Charger</i>	4	976	17592	5,5480%	100,0000%
Total		105	17592		100%	



Gambar 4. 4 Data diagram Pareto komponen mesin genset

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

Setelah mengetahui komponen kritis, selanjutnya adalah menentukan jarak antar kerusakan pada komponen *Fuel Filter*.

Tabel 4. 6 Jarak kerusakan komponen *fuel filter*

No	Mulai Downtime	Selesai Downtime	t_i
1	16/02/2021 08:30	16/02/2021 11:30	0
2	31/05/2021 08:30	31/05/2021 15:45	149580
3	01/08/2021 08:00	01/08/2021 09:00	88815
4	29/09/2021 07:48	29/09/2021 08:03	84888
5	05/11/2021 08:00	05/11/2021 16:00	53157
6	17/11/2021 10:00	17/11/2021 13:00	16920
7	18/12/2021 08:00	18/12/2021 11:00	44340
8	14/02/2022 13:00	14/02/2022 16:00	83640

No	Mulai Downtime	Selesai Downtime	t_i
9	06/03/2022 10:00	06/03/2022 12:00	28440
10	05/04/2022 08:30	05/04/2022 14:30	42990
11	06/05/2023 08:00	06/05/2023 09:00	569850
12	30/10/2023 08:00	30/10/2023 10:00	254820
13	06/01/2024 08:00	06/01/2024 09:00	97800
14	20/01/2024 13:00	20/01/2024 15:00	20280

Kemudian penentuan distribusi data menggunakan metode *Least Square Curve Fitting* dimana memilih nilai *index of fit* terbesar diantara 4 distribusi yaitu Normal, Lognormal, Eksponensial, dan Weibull.

1. Distribusi Normal

Berikut merupakan contoh perhitungan dari distribusi Normal.

$$\begin{aligned} X_i &= t_i \\ &= 20280 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_i^2 &= 20280^2 \\ &= 411278400 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{(ti)} &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \\ &= \frac{(i-0,3)}{(13+0,4)} = 0,126865672 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_i &= z_i = \Phi^{-1} [F_{ti}] \\ &= z_i = \Phi^{-1} [0,126865672] = -1,141333075 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_i^2 &= -1,141333075^2 \\ &= 1,302641188 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_i Y_i &= 20280 * -1,141333075 \\ &= -23146,23476 \end{aligned}$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi Normal.

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

$$\begin{aligned} r \text{ (index of fit)} &= \frac{(13 * (-23146,23476)) - (20280 * (-1,141333075))}{\sqrt{((13 * 411278400) - 20280^2) * ((13 * 1,302641188) - (-1,141333075)^2)}} \\ &= 0,666755914 \end{aligned}$$

Tabel 4. 7 Perhitungan distribusi normal

No	t_i	$X_i = t_i$	X_i^2	$F_{(ti)}$	Y_i	Y_i^2	$X_i Y_i$
1	16920	16920	286286400	0,052238806	-1,623523182	2,635827521	-27470,01223
2	20280	20280	411278400	0,126865672	-1,141333075	1,302641188	-23146,23476
3	28440	28440	808833600	0,201492537	-0,836301918	0,699400897	-23784,42654
4	42990	42990	1848140100	0,276119403	-0,594408678	0,353321676	-25553,62905
5	44340	44340	1966035600	0,350746269	-0,383306477	0,146923855	-16995,80919
6	53157	53157	2825666649	0,425373134	-0,188166326	0,035406566	-10002,35741
7	83640	83640	6995649600	0,5	0	0	0
8	84888	84888	7205972544	0,574626866	0,188166326	0,035406566	15973,06311
9	88815	88815	7888104225	0,649253731	0,383306477	0,146923855	34043,36476
10	97800	97800	9564840000	0,723880597	0,594408678	0,353321676	58133,16867
11	149580	149580	22374176400	0,798507463	0,836301918	0,699400897	125094,0408
12	254820	254820	64933232400	0,873134328	1,141333075	1,302641188	290834,4942
13	569850	569850	3,24729E+11	0,947761194	1,623523182	2,635827521	925164,6851
TOTAL	1535520	965670	4,51837E+11	6,5	0	10,34704341	1322290,347

2. Lognormal

Berikut merupakan contoh perhitungan distribusi lognormal.

$$\begin{aligned} X_i &= \ln t_i \\ &= \ln (20280) = 9,917390458 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_i^2 &= 9,917390458^2 \\ &= 98,35463349 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{(ti)} &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \\ &= \frac{(i-0,3)}{(13+0,4)} = 0,126865672 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_i &= z_i = \Phi^{-1} [F_{ti}] \\ &= z_i = \Phi^{-1} [0,126865672] = -1,141333075 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_i^2 &= -1,141333075^2 \\ &= 1,302641188 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_i Y_i &= 9,917390458 * -1,141333075 \\ &= -11,31904575 \end{aligned}$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi Log Normal.

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

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(13 * (-11,31904575)) - (9,917390458 * (-1,141333075))}{\sqrt{((13 * 98,35463349) - 9,917390452^2) * ((13 * 1,302641188) - (-1,141333075)^2)}}$$

$$= 0,981865876$$

Tabel 4. 8 Perhitungan distribusi lognormal

No	t_i	$X_i = t_i$	X_i^2	$F_{(ti)}$	Y_i	Y_i^2	$X_i Y_i$
1	16920	9,736251633	94,79459586	0,052238806	-1,623523182	2,635827521	-15,80703023
2	20280	9,917390458	98,35463349	0,126865672	-1,141333075	1,302641188	-11,31904575
3	28440	10,25555188	105,1763444	0,201492537	-0,836301918	0,699400897	-8,576737707
4	42990	10,66872281	113,8216464	0,276119403	-0,594408678	0,353321676	-6,341581416
5	44340	10,69964248	114,4823493	0,350746269	-0,383306477	0,146923855	-4,101242266
6	53157	10,88100508	118,3962715	0,425373134	-0,188166326	0,035406566	-2,047438752
7	83640	11,33427715	128,4658386	0,5	0	0	0
8	84888	11,34908802	128,8017989	0,574626866	0,188166326	0,035406566	2,1355162
9	88815	11,39431083	129,8303194	0,649253731	0,383306477	0,146923855	4,367513145
10	97800	11,49067986	132,0357236	0,723880597	0,594408678	0,353321676	6,830159817
11	149580	11,91558665	141,9812051	0,798507463	0,836301918	0,699400897	9,965027962
12	254820	12,44831269	154,9604889	0,873134328	1,141333075	1,302641188	14,207671
13	569850	13,25312845	175,6454136	0,947761194	1,623523182	2,635827521	21,51676126
TOTAL	965670	145,343948	1636,746629	6,5	0	10,34704341	10,82957327

3. Eksponensial

Berikut merupakan contoh perhitungan distribusi Eksponensial

$$X_i = t_i$$

$$= 20280$$

$$X_i^2 = 20280^2$$

$$= 411278400$$

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

$$= \frac{(i-0,3)}{(13+0,4)} = 0,126865672$$

$$\begin{aligned}
Y_i &= \text{Ln} \left[\frac{1}{\{1 - F_{ti}\}} \right] \\
&= \text{Ln} \left[\frac{1}{\{1 - 0,126865672\}} \right] = 0,135665865 \\
Y_i^2 &= 0,135665865^2 \\
&= 0,018405227 \\
X_i Y_i &= 20280 * 0,135665865 \\
&= 2751,303745
\end{aligned}$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi *Eksponensial*.

$$\begin{aligned}
r \text{ eksponensial} &= \frac{[n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] - [\sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \\
r \text{ (index of fit)} &= \frac{(13 * (2751,303745)) - (20280 * (0,135665865))}{\sqrt{((13 * 411278400) - 20280^2) * ((13 * 0,018405227) - (0,135665865)^2)}} \\
&= 0,930534117
\end{aligned}$$

Tabel 4. 9 Perhitungan distribusi eksponensial

No	t_i	$X_i = t_i$	X_i^2	$F_{(t_i)}$	Y_i	Y_i^2	$X_i Y_i$
1	16920	16920	286286400	0,052238806	0,053652713	0,002878614	907,8039123
2	20280	20280	411278400	0,126865672	0,135665865	0,018405227	2751,303745
3	28440	28440	808833600	0,201492537	0,225010965	0,050629935	6399,311859
4	42990	42990	1848140100	0,276119403	0,323128821	0,104412235	13891,30803
5	44340	44340	1966035600	0,350746269	0,431931681	0,186564977	19151,85075
6	53157	53157	2825666649	0,425373134	0,554034378	0,306954092	29450,80544
7	83640	83640	6995649600	0,5	0,693147181	0,480453014	57974,83018
8	84888	84888	7205972544	0,574626866	0,854788532	0,730663435	72561,28891
9	88815	88815	7888104225	0,649253731	1,047692198	1,097658942	93050,78259
10	97800	97800	9564840000	0,723880597	1,286921887	1,656167944	125860,9606
11	149580	149580	22374176400	0,798507463	1,602002934	2,5664134	239627,5989
12	254820	254820	64933232400	0,873134328	2,064626456	4,262682402	526108,1135
13	569850	569850	3,24729E+11	0,947761194	2,951929651	8,713888664	1682157,112
TOTAL	1535520	1535520	4,51837E+11	6,5	12,22453326	20,17777288	2869893,07

4. Weibull

Berikut merupakan contoh perhitungan distribusi Weibull.

$$X_i = \ln t_i$$

$$= \ln (20280) = 9,917390458$$

$$X_i^2 = 9,917390458^2$$

$$= 98,35463349$$

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

$$= \frac{(i-0,3)}{(13+0,4)} = 0,137096774$$

$$Y_i = \ln \left| \ln \left[\frac{1}{\{1-F_{ti}\}} \right] \right|$$

$$= \ln \left| \ln \left[\frac{1}{\{1-0,137096774\}} \right] \right| = -1,914247621$$

$$Y_i^2 = -1,914247621^2$$

$$= 3,664343956$$

$$X_i Y_i = 9,917390458 * -1,914247621$$

$$= -18,98434109$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi *Weibull*

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

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(13 * -18,98434109) - (9,917390458 * (-1,914247621))}{\sqrt{((13 * 98,35463349) - 9,917390458^2) * ((13 * 3,664343956) - (-1,914247621)^2)}}$$

$$= 0,938812928$$

Tabel 4. 10 Perhitungan distribusi weibull

No	t_i	$X_i =$ t_i	X_i^2	$F_{(ti)}$	Y_i	Y_i^2	$X_i Y_i$
1	16920	9,7362516	94,79459586	0,0564516	-2,8454582	8,0966328	-27,704097
2	20280	9,9173904	98,35463349	0,1370967	-1,9142476	3,6643439	-18,984341
3	28440	10,255551	105,1763444	0,2177419	-1,4041708	1,9716957	-14,400547
4	42990	10,668722	113,8216464	0,2983870	-1,0374039	1,0762070	-11,067775
5	44340	10,699642	114,4823493	0,3790322	-0,7413376	0,5495814	-7,9320475
6	53157	10,881005	118,3962715	0,4596774	-0,4851758	0,2353955	-5,2792007
7	83640	11,334277	128,4658386	0,5403225	-0,2520185	0,0635133	-2,8564484
8	84888	11,349088	128,8017989	0,6209677	-0,030321	0,0009193	-0,3441169
9	88815	11,394310	129,8303194	0,7016129	0,1900943	0,0361358	2,1659937
10	97800	11,490679	132,0357236	0,7822580	0,4216302	0,1777720	4,8448177

No	t_i	$X_i = t_i$	X_i^2	$F_{(ti)}$	Y_i	Y_i^2	$X_i Y_i$
11	149580	11,915586	141,9812051	0,8629032	0,6866602	0,4715023	8,1819602
12	254820	12,448312	154,9604889	0,9435483	1,0558340	1,1147854	13,143351
13	569850	13,253128	175,6454136	0,9477611	1,0824590	1,1717176	14,345969
TOTAL	1535520	145,3439	1636,746629	6,9477611	-5,2734559	18,630202	-45,886482

Berdasarkan hasil perhitungan dari 4 distribusi diatas didapatkan hasil *Index of Fit* sebagai berikut.

Tabel 4. 11 Hasil *Index of Fit*

No	Distribusi	Index Of Fit	% Index Of Fit
1	Eksponensial	0,930534117	93,06%
2	Normal	0,666755914	66,67%
3	Log Normal	0,981865876	98,19%
4	Weibull	0,938812928	93,89%

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai *Index of Fit* terbesar yaitu pada distribusi Lognormal dengan nilai IOF sebesar 98,19%. Oleh karena itu, distribusi yang terpilih yaitu distribusi Lognormal pada data antar waktu kerusakan (*Time to Failure*).

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

Langkah selanjutnya adalah menentukan jarak antar waktu perbaikan pada komponen *Fuel Filter* pada mesin genset:

Tabel 4. 12 Jarak perbaikan komponen fuel filter

No	Mulai Downtime	Selesai Downtime	D_{ti}
1	16/02/2021 08:30	16/02/2021 11:30	180
2	31/05/2021 08:30	31/05/2021 15:45	435
3	01/08/2021 08:00	01/08/2021 09:00	60
4	29/09/2021 07:48	29/09/2021 08:03	135
5	05/11/2021 08:00	05/11/2021 16:00	480
6	17/11/2021 10:00	17/11/2021 13:00	180
7	18/12/2021 08:00	18/12/2021 11:00	180
8	14/02/2022 13:00	14/02/2022 16:00	180

No	Mulai Downtime	Selesai Downtime	D_{ti}
9	06/03/2022 10:00	06/03/2022 12:00	120
10	05/04/2022 08:30	05/04/2022 14:30	360
11	06/05/2023 08:00	06/05/2023 09:00	60
12	30/10/2023 08:00	30/10/2023 10:00	120
13	06/01/2024 08:00	06/01/2024 09:00	180
14	20/01/2024 13:00	20/01/2024 15:00	120

Kemudian penentuan distribusi data menggunakan metode *Least Square Curve Fitting* dimana memilih nilai *index of fit* terbesar diantara 4 distribusi yaitu Normal, Lognormal, Eksponensial, dan Weibull.

1. Normal

Berikut merupakan contoh perhitungan distribusi Normal.

$$\begin{aligned} X_i &= D_{ti} \\ &= 60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_i^2 &= 60^2 \\ &= 3600 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{(dti)} &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \\ &= \frac{(i-0,3)}{(14+0,4)} = 0,118055556 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_i &= z_i = \Phi^{-1} [F_{ti}] \\ &= z_i = \Phi^{-1} [0,118055556] = -1,184763138 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_i^2 &= -1,184763138^2 \\ &= 1,403663692 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_i Y_i &= 60 * -1,184763138 \\ &= -71,08578825 \end{aligned}$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi Normal.

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

$$\begin{aligned} r \text{ (index of fit)} &= \frac{(14 * (-71,08578825)) - (60 * (-1,184763138))}{\sqrt{((14 * 3600) - 60^2) * ((14 * 1,403663692) - (-1,184763138)^2)}} \\ &= 0,900500003 \end{aligned}$$

Tabel 4. 13 Perhitungan distribusi normal waktu perbaikan

No	D_{ti}	$X_i =$ D_{ti}	X_i^2	$F_{(dti)}$	Y_i	Y_i^2	$X_i Y_i$
1	60	60	3600	0,048611111	-1,658472061	2,750529577	-99,50832366
2	60	60	3600	0,118055556	-1,184763138	1,403663692	-71,08578825
3	120	120	14400	0,1875	-0,887146559	0,787029017	-106,4575871
4	120	120	14400	0,256944444	-0,652794315	0,426140418	-78,33531785
5	120	120	14400	0,326388889	-0,449906615	0,202415962	-53,98879377
6	135	135	18225	0,395833333	-0,264146977	0,069773625	-35,65984187
7	180	180	32400	0,465277778	-0,087145882	0,007594405	-15,68625875
8	180	180	32400	0,534722222	0,087145882	0,007594405	15,68625875
9	180	180	32400	0,604166667	0,264146977	0,069773625	47,54645583
10	180	180	32400	0,673611111	0,449906615	0,202415962	80,98319066
11	180	180	32400	0,743055556	0,652794315	0,426140418	117,5029768
12	360	360	129600	0,8125	0,887146559	0,787029017	319,3727612
13	435	435	189225	0,881944444	1,184763138	1,403663692	515,3719648
14	480	480	230400	0,951388889	1,658472061	2,750529577	796,0665893
TOTAL	2790	2790	779850	7	0	11,29429339	1431,808286

2. Lognormal

Berikut merupakan contoh perhitungan distribusi Lognormal.

$$\begin{aligned} X_i &= \ln D_{ti} \\ &= \ln (60) = 4,094344562 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_i^2 &= 4,094344562^2 \\ &= 16,76365739 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{(dti)} &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \\ &= \frac{(i-0,3)}{(14+0,4)} = 0,118055556 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_i &= z_i = \Phi^{-1} [F_{(dti)}] \\ &= z_i = \Phi^{-1} [0,118055556] = -1,184763138 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_i^2 &= -1,184763138^2 \\ &= 1,403663692 \end{aligned}$$

$$X_i Y_i = 4,094344562 * -1,184763138$$

$$= -4,85082851$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi Log Normal.

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

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(14 * -4,85082851) - (4,094344562 * (-1,184763138))}{\sqrt{((14 * 16,76365739) - 4,094344562^2) * ((14 * 1,403663692) - (-1,184763138)^2)}}$$

$$= 0,959360007$$

Tabel 4. 14 Perhitungan distribusi lognormal waktu perbaikan

No	D_{ti}	$X_i = D_{ti}$	X_i^2	$F_{(dti)}$	Y_i	Y_i^2	$X_i Y_i$
1	60	4,094344562	16,76365739	0,048611111	-1,658472061	2,750529577	-6,790356065
2	60	4,094344562	16,76365739	0,118055556	-1,184763138	1,403663692	-4,85082851
3	120	4,787491743	22,92007719	0,1875	-0,887146559	0,787029017	-4,247206826
4	120	4,787491743	22,92007719	0,256944444	-0,652794315	0,426140418	-3,125247395
5	120	4,787491743	22,92007719	0,326388889	-0,449906615	0,202415962	-2,153924203
6	135	4,905274778	24,06172065	0,395833333	-0,264146977	0,069773625	-1,295713503
7	180	5,192956851	26,96680086	0,465277778	-0,087145882	0,007594405	-0,452544805
8	180	5,192956851	26,96680086	0,534722222	0,087145882	0,007594405	0,452544805
9	180	5,192956851	26,96680086	0,604166667	0,264146977	0,069773625	1,371703853
10	180	5,192956851	26,96680086	0,673611111	0,449906615	0,202415962	2,336345637
11	180	5,192956851	26,96680086	0,743055556	0,652794315	0,426140418	3,389932712
12	360	5,886104031	34,64622067	0,8125	0,887146559	0,787029017	5,221836938
13	435	6,075346031	36,9098294	0,881944444	1,184763138	1,403663692	7,197846025
14	480	6,173786104	38,11563486	0,951388889	1,658472061	2,750529577	10,23905176
TOTAL	2790	71,55645955	370,8549562	7	0	11,29429339	7,293440429

3. Eksponensial

Berikut merupakan contoh perhitungan distribusi Eksponensial.

$$X_i = D_{ti}$$

$$= 60$$

$$X_i^2 = 60^2$$

$$= 3600$$

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

$$= \frac{(i-0,3)}{(14+0,4)} = 0,118055556$$

$$Y_i = \text{Ln} \left[\frac{1}{\{1-F(dt_i)\}} \right]$$

$$= \text{Ln} \left[\frac{1}{\{1-0,118055556\}} \right] = 0,125626213$$

$$Y_i^2 = 0,125626213^2$$

$$= 0,015781945$$

$$X_i Y_i = 60 * 0,125626213$$

$$= 7,537572787$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi *Eksponensial*.

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

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(14 * (7,537572787)) - (60 * (0,125626213))}{\sqrt{((14 * 3600) - 60^2) * ((14 * 0,015781945) - (0,125626213)^2)}}$$

$$= 0,958478294$$

Tabel 4. 15 Perhitungan distribusi eksponensial waktu perbaikan

No	D_{ti}	$X_i =$ D_{ti}	X_i^2	$F(dt_i)$	Y_i	Y_i^2	$X_i Y_i$
1	60	60	3600	0,048611111	0,049832374	0,002483265	2,989942425
2	60	60	3600	0,118055556	0,125626213	0,015781945	7,537572787
3	120	120	14400	0,1875	0,207639365	0,043114106	24,91672377
4	120	120	14400	0,256944444	0,296984465	0,088199773	35,63813581
5	120	120	14400	0,326388889	0,395102321	0,156105844	47,41227853
6	135	135	18225	0,395833333	0,503905181	0,253920431	68,02719942
7	180	180	32400	0,465277778	0,626007878	0,391885863	112,681418
8	180	180	32400	0,534722222	0,76512068	0,585409655	137,7217224
9	180	180	32400	0,604166667	0,926762032	0,858887863	166,8171657
10	180	180	32400	0,673611111	1,119665698	1,253651275	201,5398256
11	180	180	32400	0,743055556	1,358895387	1,846596673	244,6011696
12	360	360	129600	0,8125	1,673976434	2,8021971	602,6315161
13	435	435	189225	0,881944444	2,136599956	4,56505937	929,4209807
14	480	480	230400	0,951388889	3,023903151	9,143990264	1451,473512

TOTAL	2790	2790	779850	7	13,21002113	22,00728343	4033,409163
--------------	------	------	--------	---	-------------	-------------	-------------

4. Weibull

Berikut merupakan contoh perhitungan distribusi Weibull.

$$X_i = \ln D_{ti} \\ = \ln (60) = 4,094344562$$

$$X_i^2 = 4,094344562^2 \\ = 16,76365739$$

$$F_{(dti)} = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \\ = \frac{(i-0,3)}{(14+0,4)} = 0,118055556$$

$$Y_i = \ln \left| \ln \left[\frac{1}{\{1-F_{(dti)}\}} \right] \right. \\ = \ln \left| \ln \left[\frac{1}{\{1-0,118055556\}} \right] \right. = -2,074444344$$

$$Y_i^2 = -2,074444344^2 \\ = 4,303319335$$

$$X_i Y_i = 4,094344562 * -2,074444344 \\ = -8,493489918$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi *Weibull*.

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

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(14 * -8,493489918) - (4,094344562 * -2,074444344)}{\sqrt{((14 * 16,76365739) - 4,094344562^2) * ((14 * 4,303319335) - (-2,074444344)^2)}} \\ = 0,939877729$$

Tabel 4. 16 Perhitungan distribusi weibull waktu perbaikan

No	D_{ti}	$X_i = \frac{X_i}{D_{ti}}$	X_i^2	$F_{(dti)}$	Y_i	Y_i^2	$X_i Y_i$
1	60	4,094344562	16,76365739	0,048611111	-2,999090431	8,994543413	-12,2793096
2	60	4,094344562	16,76365739	0,118055556	-2,074444344	4,303319335	-8,493489918
3	120	4,787491743	22,92007719	0,1875	-1,571952527	2,471034748	-7,525709744
4	120	4,787491743	22,92007719	0,256944444	-1,214075448	1,473979192	-5,81237618
5	120	4,787491743	22,92007719	0,326388889	-0,928610507	0,862317474	-4,445715134
6	135	4,905274778	24,06172065	0,395833333	-0,685367162	0,469728146	-3,361914252

No	D_{ti}	$X_i = \frac{X_i}{D_{ti}}$	X_i^2	$F_{(dti)}$	Y_i	Y_i^2	$X_i Y_i$
7	180	5,192956851	26,96680086	0,465277778	-0,468392324	0,219391369	-2,432341126
8	180	5,192956851	26,96680086	0,534722222	-0,267721706	0,071674912	-1,390267266
9	180	5,192956851	26,96680086	0,604166667	-0,076058454	0,005784888	-0,394968271
10	180	5,192956851	26,96680086	0,673611111	0,113030157	0,012775816	0,586960727
11	180	5,192956851	26,96680086	0,743055556	0,306672154	0,09404781	1,592535264
12	360	5,886104031	34,64622067	0,8125	0,515201894	0,265432992	3,032531946
13	435	6,075346031	36,9098294	0,881944444	0,75921576	0,57640857	4,612498453
14	480	6,173786104	38,11563486	0,951388889	1,106548431	1,22444943	6,831593326
TOTAL	2790	71,55645955	370,8549562	7	-7,485044506	21,04488809	-29,47997177

Berdasarkan hasil perhitungan dari 4 distribusi diatas didapatkan hasil *Index of Fit* sebagai berikut.

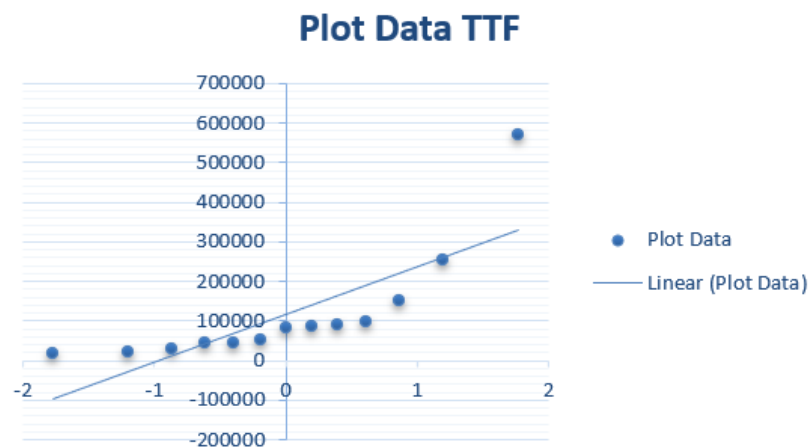
Tabel 4. 17 Rekapitulasi *Index of Fit* waktu perbaikan

No	Distribusi	Index Of Fit	% Index Of Fit
1	Ekspensial	0,958478294	95,85%
2	Normal	0,900500003	90,05%
3	Log Normal	0,959360007	95,94%
4	Weibull	0,939877729	93,98%

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai *Index of Fit* terbesar yaitu pada distribusi Lognormal dengan nilai IOF sebesar 95,94%. Oleh karena itu, distribusi yang terpilih yaitu distribusi Lognormal pada data antar waktu perbaikan (*Time to Repair*).

4.4.4 Uji *Goodness of Fit* Distribusi Data Waktu Kerusakan (*Time to Failure*)

Penentuan distribusi adalah langkah awal yang mengidentifikasi distribusi yang paling cocok untuk data, yang dalam kasus ini adalah distribusi lognormal. Selanjutnya, QQ plot digunakan untuk memvisualisasikan kecocokan data dengan distribusi yang dihipotesiskan. Berikut merupakan diagram QQ Plot dari data *Time to Failure*.



Gambar 4. 5 QQ Plot Data TTF

Gambar tersebut menunjukkan plot data dengan garis regresi linier dari data yang telah diuji distribusinya dan diketahui mengikuti distribusi lognormal. Data ini menunjukkan bahwa sebagian besar poin data tersebar di sekitar garis regresi linier, dengan satu data poin tampak sebagai outlier yang signifikan. Distribusi lognormal dipilih karena memiliki nilai indeks kecocokan tertinggi dibandingkan dengan distribusi normal, Weibull, dan eksponensial. Hal ini terlihat dari penyebaran data yang berkumpul di sekitar nilai kecil dengan beberapa nilai yang sangat besar, mencerminkan sifat distribusi lognormal yang asimetris dengan ekor panjang ke kanan.

Selanjutnya uji *Goodness of Fit* atau uji kecocokan digunakan untuk menguji hipotesis terhadap distribusi yang dipilih. Dalam hal ini, distribusi yang diuji adalah distribusi Lognormal, yang dipilih berdasarkan data kerusakan. Berikut adalah Uji *Goodness of Fit* pada distribusi data waktu kerusakan menggunakan Uji *Kolmogorov-Smirnov*.

Tabel 4. 18 Hasil Uji *Goodness of Fit* waktu kerusakan

No	Ln_{ti}	$[t_{ti} - \bar{X}_{ti}]^2$	Z_{ti}	F_{ti}	D_1	D_2
1	9,736251633	2,085286348	-1,518460449	0,064449181	0,06444918	0,0124739
2	9,917390458	1,594949837	-1,327987994	0,092091037	0,01516796	0,06175512
3	10,25555188	0,855165906	-0,972401955	0,16542531	0,01157916	0,06534392
4	10,66872281	0,261714999	-0,537941366	0,295308765	0,06453953	0,01238354
5	10,69964248	0,231035197	-0,505428478	0,30662896	-0,0010633	0,07798642
6	10,88100508	0,08957966	-0,314720723	0,376486854	-0,0081285	0,08505161
7	11,33427715	0,023707827	0,161907329	0,564310584	0,10277212	-0,0258490
8	11,34908802	0,028488149	0,177481362	0,570434848	0,03197331	0,04494977
9	11,39431083	0,045799057	0,225034395	0,589023741	-0,0263609	0,10328395

No	Ln_{ti}	$[t_{ti} - \bar{X}_{ti}]^2$	Z_{ti}	F_{ti}	D_1	D_2
10	11,49067986	0,096333363	0,326369072	0,627927433	-0,0643803	0,14130334
11	11,91558665	0,540641022	0,773170245	0,780289183	0,01105841	0,06586466
12	12,44831269	1,607846826	1,333346333	0,908790912	0,06263707	0,01428601
13	13,25312845	4,296602467	2,17963223	0,985357633	0,06228071	0,01464237
TOTAL	145,343948	11,75715066		D_n Max	0,10277212	0,14130334

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa:

Dhitung dapat diperoleh dari nilai terbesar antara D_1 dan D_2 , maka $D_{hitung} = 0,1413033$

Hipotesa untuk melakukan Uji *Kolmogorov-Smirnov Test* adalah:

H_0 = Data *Time Failure* berdistribusi Log Normal

H_1 = Data *Time Failure* tidak berdistribusi Log Normal

α = 0,05

Dtabel = Dapat dilihat dari tabel D *Kolmogorov-Smirnov*, dengan nilai $D_{crit} 13;0,05 = 0.36143$

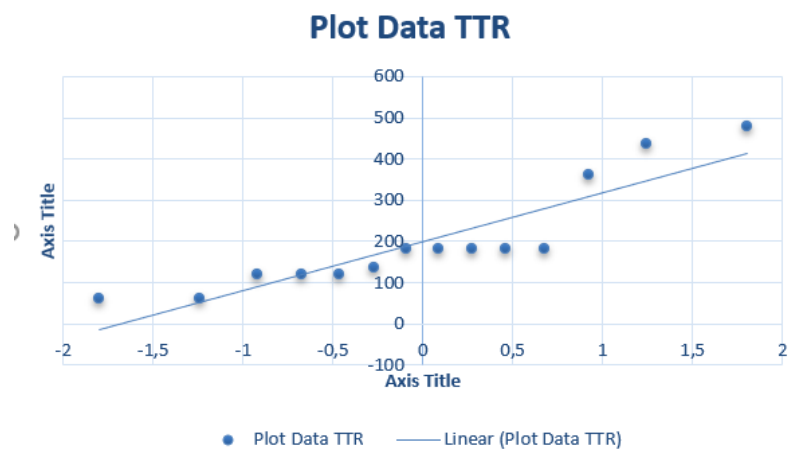
Wilayah kritis: $D_n < D_{crit}$ maka H_0 diterima.

Sehingga keputusannya $D_n < D_{crit}$, $D_n = 0,14130334 < D_{crit} = 0.36143$, yaitu H_0 diterima.

4.4.5 Uji Goodness of Fit Distribusi Data Waktu Perbaikan (Time to Repair)

Penentuan distribusi adalah langkah awal yang mengidentifikasi distribusi yang paling cocok untuk data, yang dalam kasus ini adalah distribusi lognormal. Selanjutnya, QQ plot digunakan untuk memvisualisasikan kecocokan data dengan distribusi yang dihipotesiskan.

Berikut merupakan diagram QQ Plot dari data *Time to Repair*.



Gambar 4. 6 QQ Plot Data TTR

Penentuan distribusi adalah langkah awal yang mengidentifikasi distribusi yang paling cocok untuk data, yang dalam kasus ini adalah distribusi lognormal. Selanjutnya, QQ plot digunakan untuk memvisualisasikan kecocokan data dengan distribusi yang dihipotesiskan. Dalam QQ plot, data dibandingkan dengan kuantil dari distribusi lognormal, dan jika titik-titik data mendekati garis lurus, ini mengindikasikan kecocokan yang baik.

Uji *Goodness of Fit* atau uji kecocokan digunakan untuk menguji hipotesis terhadap distribusi yang dipilih. Dalam hal ini, distribusi yang diuji adalah distribusi Lognormal, yang dipilih berdasarkan data perbaikan. Berikut adalah Uji *Goodness of Fit* pada distribusi data waktu perbaikan menggunakan Uji Kolmogorov-Smirnov.

Tabel 4. 19 Hasil Uji *Goodness of Fit* waktu perbaikan

No	Ln_{ti}	$[t_{ti} - \bar{X}_{ti}]^2$	Z_{ti}	F_{ti}	D_1	D_2
1	4,094344562	1,033945527	-1,68186661	0,046297354	0,04629735	0,0251312
2	4,094344562	1,033945527	-1,68186661	0,046297354	-0,0251312	0,0965597
3	4,787491743	0,104771293	-0,53538213	0,296192822	0,15333568	-0,0819071
4	4,787491743	0,104771293	-0,53538213	0,296192822	0,08190711	-0,0104785
5	4,787491743	0,104771293	-0,53538213	0,296192822	0,01047854	0,06095004
6	4,905274778	0,042395182	-0,34056575	0,366715257	0,0095724	0,06185617
7	5,192956851	0,00668816	0,1352683	0,553800126	0,1252287	-0,0538001
8	5,192956851	0,00668816	0,135268	0,553800126	0,05380013	0,01762845
9	5,192956851	0,00668816	0,135268	0,553800126	-0,0176284	0,08905702
10	5,192956851	0,00668816	0,135268	0,553800126	-0,089057	0,16048559
11	5,192956851	0,00668816	0,135268	0,553800126	-0,1604856	0,23191416

12	5,886104031	0,600513946	1,28175278	0,900035309	0,11432102	-0,0428924
13	6,075346031	0,929624462	1,59476425	0,944617518	0,08747466	-0,0160460
14	6,173786104	1,129140908	1,75758683	0,960591083	0,03201965	0,03940892
TOTAL	71,55645955	5,117320228		D_n Max	0,15333568	0,23191416

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa:

Dhitung dapat diperoleh dari nilai terbesar antara D_1 dan D_2 , maka $D_{hitung} = 0,23191416$

Hipotesa untuk melakukan Uji *Kolmogorov-Smirnov Test* adalah:

H_0 = Data *Time Failure* berdistribusi Log Normal

H_1 = Data *Time Failure* tidak berdistribusi Log Normal

α = 0,05

D_{tabel} = Dapat dilihat dari tabel D *Kolmogorov-Smirnov*, dengan nilai D_{crit} 14;0,05 = 0.34890

Wilayah kritis: $D_n < D_{crit}$ maka H_0 diterima

Sehingga keputusannya $D_n < D_{crit}$, $D_n = 0,27705521 < D_{crit} = 0.34890$, yaitu H_0 diterima.

4.4.6 Perhitungan Parameter Dari Distribusi Data Waktu Kerusakan

Parameter yang digunakam untuk perhitungan dari distribusi data waktu kerusakan yaitu

T_{med} (parameter lokasi) dan s (parameter bentuk) dengan perhitungan sebagai berikut:

a. T_{med} (parameter lokasi)

$$N = 13$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n}$$

$$\mu = \frac{145,34}{13}$$

$$\mu = 11,18030369$$

$$\begin{aligned} T_{med} &= e^{\mu} \\ &= e^{11,18030369} \\ &= 71704,13472 \end{aligned}$$

b. S (parameter bentuk)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n}}$$

$$S = \sqrt{\frac{145,34}{13}}$$

$$S = 0,950997479$$

4.4.7 Perhitungan Parameter Dari Distribusi Data Waktu Perbaikan

Parameter yang digunakan untuk perhitungan dari distribusi data waktu perbaikan yaitu T_{med} (parameter lokasi) dan s (parameter bentuk) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{a. } T_{med} \text{ (parameter lokasi)} \\
 N &= 14 \\
 \mu &= \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} \\
 \mu &= \frac{71,556}{14} \\
 \mu &= 5,111175682 \\
 T_{med} &= e^\mu \\
 &= e^{5,111175682} \\
 &= 165,8652451
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } S \text{ (parameter bentuk)} \\
 S &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n}} \\
 S &= \sqrt{\frac{71,556}{14}} \\
 S &= 0,604584877
 \end{aligned}$$

4.4.8 Penentuan Nilai Tengah Distribusi Waktu Kerusakan (*Mean Time to Failure*)

Berikut ini adalah penentuan nilai tengah dari distribusi data waktu kerusakan *Mean Time to Failure* (MTTF) untuk distribusi eksponensial sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= T_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \\
 &= 71704,13472 * e^{\frac{0,950997479^2}{2}} = 112701,9265
 \end{aligned}$$

4.4.9 Penentuan Nilai Tengah Distribusi Waktu Perbaikan (*Mean Time to Repair*)

Berikut ini adalah penentuan nilai tengah dari distribusi data waktu perbaikan *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk distribusi Log Normal sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{MTTR} &= T_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \\
 &= 165,8652451 * e^{\frac{0,604584877^2}{2}} = 199,1258663
 \end{aligned}$$

4.4.10 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Dengan Minimasi Downtime

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi *downtime* menggunakan metode *Age Replacement* yang dimana nilai interval waktu antar kerusakan (t_p) dimana yang terpilih yaitu yang memiliki nilai *downtime* terkecil. Dibawah ini merupakan data – data yang dibutuhkan untuk mencari interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi *downtime* sebagai berikut:

1. Data waktu kerusakan berdistribusi Log Normal

$$MTTF = 112701,9265$$

$$T_{med} = 71704,13472$$

$$S = 0,950997479$$

2. Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen

$$T_f = 199,1258663 \text{ menit}$$

3. Waktu untuk melakukan penggantian *preventive*

$$T_p = 199,1258663 \text{ menit}$$

Dibawah ini merupakan data-data untuk perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi *downtime* sebagai berikut:

Tabel 4. 20 Interval waktu penggantian pencegahan

Interval Penggantian Komponen dengan Age Replacement						
t_p	R_{t_p}	F_{t_p}	$t_p + T_p$	M_{t_p}	$\frac{MTTF}{F_{t_p}} + T_f$	D_{t_p}
1	1	3,2735E-32	200,1258663	3,44291E+36	3,44291E+36	0,0017637045755390
16920	0,935550819	0,064444918	17119,12587	1748694,46	1748893,585	0,0015468420820152
20280	0,907908963	0,09209104	20479,12587	1223809,945	1224009,071	0,0015164164234125
28440	0,83457469	0,16542531	28639,12587	681285,8723	681484,9981	0,0014573417453950
42990	0,704691235	0,29530876	43189,12587	381640,9805	381840,1064	0,0013905852383356
44340	0,69337104	0,30662896	44539,12587	367551,4744	367750,6002	0,0013862347738722
53157	0,623513146	0,37648685	53356,12587	299351,5582	299550,6841	0,0013634542406468
83640	0,435689416	0,56431058	83839,12587	199716,1308	199915,2567	0,0013333537309598
84888	0,429565152	0,57043485	85087,12587	197571,9521	197771,078	0,0013331407037799
88815	0,410976259	0,58902374	89014,12587	191336,8148	191535,9407	0,0013328200955449
97800	0,372072567	0,62792743	97999,12587	179482,4062	179681,5321	0,0013338214248451
149580	0,219710817	0,78028918	149779,1259	144436,1	144635,2258	0,0013660709015066

Interval Penggantian Komponen dengan Age Replacement						
t_p	R_{tp}	F_{tp}	$t_p + T_p$	M_{tp}	$\frac{MTTF}{F_{tp}} + T_f$	D_{tp}
254820	0,091209088	0,90879091	255019,1259	124013,043	124212,1689	0,0014626233914679
569850	0,014642367	0,98535763	570049,1259	114376,6717	114575,7976	0,0016423428422682
Min D_{tp}						0,0013328200955449

Berikut merupakan contoh perhitungan interval waktu penggantian pencegahan pada mesin genset di komponen *Fuel Filter* dengan distribusi *Log Normal* untuk $T_p = 199,1258663$.

$$\begin{aligned}
 \text{a. } F(88815) &= \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \\
 &= 0,58902374 \\
 \text{b. } R(88815) &= 1 - F_t \\
 &= 0,410976259 \\
 \text{c. } M(88815) &= \frac{MTTF}{1 - R_{tp}} \\
 &= \frac{112701,9265}{1 - 0,410976259} \\
 &= 191336,8148 \\
 \text{d. } D_{tp} &= \frac{T_p \cdot R_{tp} + T_f \cdot (1 - R_{tp})}{(t_p + T_p) \cdot R_t + (M_{tp} + T_f) \cdot (1 - R_{tp})} \\
 &= 0,0013328200955449
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapat nilai D_{tp} yang paling minimum adalah pada $t_p = 88815$ menit. Sehingga waktu interval penggantian komponen *Fuel Filter* dengan kriteria minimasi *downtime* pada menit ke 88815 atau 2,05 bulan selama periode 4 tahun.

4.4.11 Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan

Berikut ini adalah perhitungan interval waktu pemeriksaan pada komponen *Fuel Filter*:

1. Waktu yang dibutuhkan perusahaan untuk pemeriksaan *Fuel Filter* adalah 1 jam
2. Jumlah pemeriksaan (k)
 - a. 1 Bulan = 26 hari kerja; 1 hari 8 jam kerja
 - b. $t = 26 \text{ hari/bulan} \times 8 \text{ jam/hari} = 208 \text{ jam/bulan}$
 - c. Jumlah kerusakan komponen *Fuel Filter* selama 4 tahun = 14 kali
 - d. $K = \frac{14}{48 \text{ bulan}}$
= 0,2916

3. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk perbaikan

a. $MTTR = 199,1258663 \text{ menit} = 3,318 \text{ jam}$

b. $t = 208 \text{ jam/bulan}$

c. $\frac{1}{\mu} = \frac{MTTR}{t}$

$$\frac{1}{\mu} = 3,318/208$$

$$\frac{1}{\mu} = 0,015955598$$

$$\mu = 62,674$$

4. Waktu rata-rata melakukan pemeriksaan

a. Waktu untuk melakukan pemeriksaan $t_i = 1 \text{ jam}$

b. $t = 208 \text{ jam/bulan}$

c. $\frac{1}{i} = \frac{T_i}{208}$

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

5. Perhitungan frekuensi pemeriksaan

$$\begin{aligned} N &= \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}} \\ &= \sqrt{\frac{0,2916 \cdot 208}{62,674}} \\ &= 0,98374315 \end{aligned}$$

6. Interval waktu pemeriksaan

$$= t/n$$

$$= 208/0,98374315$$

$$= 211,437305 \text{ jam} = 9 \text{ hari}$$

4.4.12 Perhitungan Total Biaya Perawatan dan Biaya Usulan Perawatan

Perhitungan total biaya perawatan dilakukan untuk menentukan semua biaya yang terkait dengan pemeliharaan pencegahan untuk mencegah kerusakan dari komponen. Biaya ini mencakup berbagai aspek yang diperlukan agar komponen mesin tetap berjalan optimal dan mencegah *downtime* tidak terduga. Berikut merupakan variabel yang termasuk dalam perhitungan total biaya perawatan preventif.

1. Biaya tenaga Kerja

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

Biaya tenaga kerja per bulan	= Rp 5.200.000
Biaya tenaga kerja per hari	= Rp 5.200.000/26 hari kerja
	= Rp 200.000
Biaya tenaga kerja per jam	= Rp 200.000/8 jam kerja
	= Rp 25.000
Total tenaga kerja	= 2 orang
Total biaya tenaga kerja per hari	= Rp 200.000 x 2 orang
	= Rp 400.000 per hari

2. Biaya Material

Biaya material merupakan biaya pembelian suku cadang yang digunakan dalam melakukan perawatan. Biaya material *fuel filter* mesin genset yang diperlukan adalah sebesar Rp. 342.700.

3. Biaya kerugian selama kerusakan

Dikarenakan perusahaan ini merupakan perusahaan konstruksi maka biaya kerugian produksi dihitung dari biaya lembur atau waktu kerja tambahan dikarenakan mesin yang rusak dimana untuk setiap 1 jam kerusakan akan dilakukan 1 jam penambahan kerja dengan biaya tenaga kerja sebesar Rp 25.000.

Biaya kerugian per jam	= 2 x 25.000
	= Rp 50.000
Waktu rata rata pergantian kerusakan	= 199,125 menit
	= 3,31 jam
Total biaya kerugian selama kerusakan	= 50.000 x 3,31 jam
	= Rp 165.500

Dikarenakan waktu rata-rata pergantian kerusakan komponen *fuel filter* adalah 199,125 menit atau 3,31 jam. Maka total biaya kerugiannya adalah 50.000 x 3,31 = Rp 165.500

4. Biaya penggantian terencana/penggantian pencegahan (C_p)

$$\begin{aligned}
 C_p &= (\text{biaya tenaga kerja} + \text{biaya material} + \text{biaya pemasangan}) \\
 &= (400.000 + 342.700 + 50.000) \\
 &= \text{Rp } 792.700
 \end{aligned}$$

5. Biaya penggantian tidak terencana/penggantian kerusakan (C_f)

$$\begin{aligned}
 C_f &= (\text{Biaya tenaga kerja} + \text{biaya material} + \text{biaya kerugian selama kerusakan} + \\
 &\quad \text{biaya pemasangan})
 \end{aligned}$$

$$= (400.000 + 342.700 + 165.500 + 50.000)$$

$$= \text{Rp } 958.000$$

6. Biaya penggantian komponen sebelum adanya usulan perawatan pencegahan

Frekuensi kerusakan = 14 kali kerusakan

$$\begin{aligned} \text{Biaya penggantian} &= 14 \times \text{Biaya tidak terencana (Failure Cost)} \\ &= 14 \times 958.000 \\ &= \text{Rp } 13.412.000 \end{aligned}$$

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

$$C_{tp} = \frac{(C_f \times R_{tp}) + C_f \times [1 - R_{tp}]}{((t_p + T_p) \times R_{tp}) + (M_{tp} + T_f) \times [1 - R_{tp}]}$$

$$= \text{Rp } 438.616$$

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat diketahui biaya penggantian komponen sebesar Rp 438.616/sekali penggantian.

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

Periode data kerusakan = 4 tahun

= 48 bulan

waktu interval penggantian komponen = 88815 menit

= 2 bulan

Total frekuensi perawatan komponen = $48/2 = 24$ kali

Total biaya penggantian = frekuensi perawatan $\times C_{tp}$

$$= 24 \times \text{Rp } 438.616$$

$$= \text{Rp } 10.526.784$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dapat diketahui biaya yang dikeluarkan sebelum menggunakan *Preventif Maintenance* selama periode 4 tahun dengan total 14 kali kerusakan adalah sebesar Rp 13.412.000. Sedangkan biaya pergantian usulan yang didapatkan setelah menggunakan *Preventif Maintenance* adalah sebesar Rp 10.526.784 dengan frekuensi perawatan selama periode 4 tahun adalah sebanyak 24 kali.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Analisis Pengolahan Data Kualitatif

Identifikasi komponen penting pada mesin Genset dimulai dengan memproses data dari *Functional Block Diagram* (FBD) untuk memahami fungsi dan hubungan antar komponen mesin. Kemudian, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan dampaknya pada setiap komponen. Setelah itu, *Logic Tree Analysis* (LTA) digunakan untuk menentukan kategori kerusakan komponen. Terakhir, *Task Selection* (TS) dilakukan untuk menentukan tindakan perawatan yang paling efektif.

5.1.1 Analisis *Functional Block Diagram* (FBD)

Pada tahap ini, setiap komponen mesin genset memiliki aliran prosesnya masing-masing saat digunakan. Cara kerja mesin genset yaitu, udara bersih dari filter udara masuk ke dalam mesin genset, dengan radiator menjaga suhu mesin tetap optimal berkat bantuan pompa air yang mengalirkan cairan pendingin. *Turbo charger* meningkatkan efisiensi dan tenaga mesin dengan memasukkan lebih banyak udara ke ruang bakar. Bahan bakar yang telah disaring oleh filter bahan bakar dan oli yang disaring oleh filter oli memastikan mesin beroperasi secara optimal dan bebas dari kontaminan. Pompa injeksi mengirimkan bahan bakar ke dalam mesin dengan jumlah yang tepat, dikendalikan oleh governor untuk menjaga kecepatan mesin tetap stabil. V-belt menggerakkan alternator untuk mengisi baterai dan komponen listrik lainnya. *Dinamo starter* digunakan untuk menyalakan mesin, dan panel kontrol mesin mengawasi serta mengendalikan seluruh operasi genset untuk memastikan kinerja yang efisien dan aman.

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

Setelah mengetahui fungsi tiap komponen, kemudian pada tahap FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), dilakukan identifikasi berbagai komponen mesin genset untuk mencari potensi kegagalan dan kerusakan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengambil tindakan yang tepat guna meminimalkan masalah. Penilaian meliputi aspek tingkat kegagalan: *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), yang dihitung menggunakan rumus RPN (*Risk Priority Number*). Hasil penilaian ini dapat dilihat pada tabel 4.2. Berdasarkan data dalam tabel tersebut, dapat disimpulkan bahwa komponen paling kritis yang memerlukan perhatian lebih lanjut adalah *Fuel Filter*, dengan nilai RPN sebesar 336.

Nilai RPN diperoleh dari hasil perkalian *severity*, *occurrence*, dan *detection* dengan rentang nilai 1 sampai 10, di mana nilai *severity* (tingkat bahaya) pada komponen *Fuel Filter* berada pada skor 8, *occurrence* (frekuensi kegagalan) dengan skor 6, dan *detection* dengan skor 7. *Fuel Filter* pada mesin genset berfungsi untuk menyaring bahan bakar agar terhindar dari kontaminan sehingga mesin dapat beroperasi secara optimal. Kegagalan yang sering terjadi pada komponen ini adalah penyumbatan dan kerusakan yang mengakibatkan bahan bakar tidak tersaring dengan baik, yang dapat menyebabkan penurunan kinerja mesin, efisiensi berkurang, hingga kehilangan daya total. Hal ini akan berdampak pada kegiatan operasional perusahaan, sehingga diperlukan perhatian khusus agar tindakan yang tepat dapat dilakukan untuk meminimalkan dan menghindari kegagalan mesin.

5.1.3 Analisis Logic Tree Analysis (LTA)

Setelah mengetahui potensi kegagalan dan kerusakan pada mesin genset, selanjutnya adalah tahap *Logic Tree Analysis*. Pada tahap ini digunakan untuk memahami dampak dari setiap mode kegagalan pada Genset. Tujuannya adalah mengklasifikasikan mode kegagalan ke dalam beberapa kategori agar dapat menentukan prioritas penanganan berdasarkan kategorinya. Berikut ini adalah hasil klasifikasi ke dalam empat kategori, yang didasarkan pada wawancara dengan pakar terkait mesin Genset:

1. *Safety Problem* (Kategori A) jika mode kegagalan memiliki konsekuensi yang merugikan keselamatan bahkan berujung pada kematian seseorang. Pada komponen mesin ini tidak terdapat komponen dengan kategori A yang artinya tidak ada kegagalan yang dapat menyebabkan bahaya pada keselamatan seseorang.
2. *Outage Problem* (Kategori B) terjadi jika mode kegagalan pada suatu bagian dapat menyebabkan sistem kerja komponen berhenti sebagian atau seluruhnya, yang berdampak pada operasional pabrik seperti kuantitas dan kualitas produk, sehingga meningkatkan biaya produksi. Dalam kategori B, terdapat 10 komponen yang jika salah satu mengalami kegagalan, dapat menyebabkan sistem kerja komponen terhenti sebagian. Komponen dalam kategori ini meliputi *Radiator*, *Turbo Charger*, *Air Filter*, *Oil Filter*, *Fuel Filter*, *Water Pump*, *Injection Pump*, *Dinamo Starter*, *Alternator Charging*, *V-belt*.
3. *Economic Problem* (Kategori C) apabila mode kegagalan tidak mempunyai konsekuensi terhadap *safety* maupun terhadap operasional plant dan hanya mempengaruhi ekonomi yang relatif kecil meliputi biaya perbaikan. Untuk kategori

C tidak terdapat *Economic Problem* dikarenakan mode kegagalan mempunyai konsekuensi terhadap *safety* maupun terhadap *operational plant*.

4. *Hidden Failure* (Kategori D) terjadi ketika mode kegagalan memiliki dampak langsung, namun jika perusahaan tidak mengambil tindakan pencegahan, risiko ini dapat menjadi serius dan bahkan memicu kegagalan lainnya. Untuk kategori D memiliki 2 komponen yang termasuk pada *Hidden Failure* yaitu *Engine Control panel* dan *Governor* dikarenakan karena mode kegagalan pada komponen ini tidak memiliki dampak langsung, tetapi jika tidak diatasi, risiko ini dapat berkembang menjadi lebih serius dan memicu kegagalan lainnya.

5.1.4 Analisis Task Selection (TS)

Task Selection merupakan tahap akhir dari proses analisis kualitatif *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Setelah mengetahui klasifikasi dampak kegagalan pada setiap komponen kemudian setiap mode kerusakan diidentifikasi dan disusun daftar tindakan yang dapat dilakukan, kemudian dipilih tindakan yang paling efektif. Pada metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk mesin Genset, kesimpulan diambil untuk setiap komponen berdasarkan wawancara dengan ahli terkait mesin Genset, yang menghasilkan rekomendasi tindakan sebagai berikut:

1. *Time Directed* (TD) atau *Preventif Maintenance* (PM)

Terdapat 5 komponen yang termasuk dalam kategori ini, di mana diperlukan tindakan perawatan yang dilakukan langsung pada sumber kerusakan berdasarkan usia komponen. Hal ini dilakukan dengan menjalankan perawatan pencegahan sebelum kerusakan mesin terjadi. Kebijakan ini dapat mencegah terjadinya penghentian mesin yang tidak direncanakan.

2. *Condition Directed* (CD) atau *Predictive Maintenance* (PDM)

Terdapat 7 komponen yang termasuk dalam kategori ini, di mana diperlukan tindakan perawatan melalui pemeriksaan dan inspeksi. Jika ditemukan gejala-gejala kerusakan pada komponen dalam kategori ini, langkah selanjutnya adalah melakukan perbaikan atau penggantian komponen menggunakan metode *Predictive Maintenance* (PDM).

Berdasarkan penjelasan di atas, komponen *Fuel Filter* yang merupakan komponen kritis termasuk dalam tindakan perawatan pencegahan. Tindakan perawatan dilakukan langsung pada sumber kerusakan berdasarkan usia atau waktu pemakaian komponen, dengan tujuan melakukan perawatan pencegahan sebelum terjadi kerusakan mesin. Ketika usia atau waktu

pemakaian komponen telah tercapai, penggantian harus dilakukan untuk meminimalisir kegagalan pada mesin.

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

Dalam pengolahan data kuantitatif untuk menentukan interval pemeriksaan dan penggantian komponen kritis, langkah pertama adalah menentukan pola distribusi dari data historis kerusakan mesin selama periode 4 tahun. Empat distribusi yang dipertimbangkan adalah distribusi Eksponensial, Weibull, Lognormal, dan Normal. Pengujian pola distribusi ini dilakukan untuk menghitung *Index of Fit* dari waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan pada komponen kritis, yaitu *Fuel Filter* pada mesin Genset. Analisis pola distribusi kerusakan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting* (LSCF) bertujuan untuk memilih distribusi yang paling sesuai dengan mempertimbangkan nilai *Index of Fit* terbesar. Hasil pengujian distribusi dengan metode LSCF untuk data waktu antar kerusakan komponen *Fuel Filter* akan digunakan sebagai dasar pemilihan distribusi.

Berdasarkan hasil penentuan pola distribusi terbesar setelah menguji empat distribusi menggunakan perhitungan mulai dari downtime hingga selesai downtime dengan data DT, t_i , dan t_i yang dimulai dari nol (0), didapatkan bahwa data tersebut memiliki nilai distribusi Lognormal dengan persentase terbesar dibandingkan dengan distribusi Eksponensial, Weibull, dan Normal. Distribusi Lognormal memiliki nilai *Index of Fit* sebesar 98,19% untuk data waktu antar kerusakan.

Untuk data waktu antar perbaikan, berdasarkan pada hasil penentuan pola distribusi terbesar setelah pengujian empat distribusi yang didapatkan dari perhitungan mulai *downtime* sampai selesai *downtime* dengan data DT, t_i , dan t_i urut, maka didapatkan distribusi Lognormal memiliki persentase terbesar dibandingkan distribusi *Eksponensial*, *Weibull*, dan Normal. Distribusi Lognormal memiliki nilai *Index of Fit* sebesar 95,94% untuk data waktu antar perbaikan.

Setelah mengetahui pola distribusi pada waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan dengan melihat *Index of Fit* terbesar, perlu dilakukan uji ulang untuk memastikan bahwa distribusi yang terpilih benar-benar mewakili data waktu antar kerusakan dan perbaikan tersebut. Hasil *Index of Fit* (r) terbesar menunjukkan bahwa data waktu antar kerusakan dan perbaikan keduanya mengikuti distribusi Lognormal. Oleh karena itu, uji kecocokan

dilakukan menggunakan Kolmogorov-Smirnov Test. Berdasarkan hasil uji yang didapatkan, di mana H_0 diterima, data waktu antar kerusakan dan perbaikan berdistribusi Lognormal.

Setelah mengetahui pola distribusi data waktu antar kerusakan langkah selanjutnya adalah menentukan hasil dari *Mean Time to Failure* (MTTF) dengan menghitung estimasi dari data distribusi tersebut. Data waktu antar kerusakan mengikuti distribusi Log Normal, maka untuk hasil dari parameter distribusi antar kerusakan atau *Mean Time to Failure* (MTTF) pada komponen *Fuel Filter* pada mesin Genset didapatkan hasil sebesar 112701,9265 menit atau 1.878,365 jam. Artinya adalah komponen *Fuel Filter* akan mengalami kerusakan Kembali setelah beroperasi selama 1.878,365 jam atau selama 78 hari.

Setelah mengetahui pola distribusi data waktu antar perbaikan, langkah selanjutnya adalah menentukan hasil *Mean Time to Repair* (MTTR) dengan menghitung estimasi dari data distribusi tersebut. Karena data waktu antar kerusakan mengikuti distribusi Log Normal, maka hasil parameter distribusi antar kerusakan atau *Mean Time to Repair* (MTTR) pada komponen *Fuel Filter* pada mesin Genset adalah 199,1258663 menit atau 3,318 jam. Ini berarti bahwa komponen *Fuel Filter* membutuhkan waktu perbaikan selama 3,318 jam.

Setelah menentukan nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR), langkah berikutnya adalah menghitung selang waktu penggantian pencegahan menggunakan parameter distribusi yang telah lulus uji kecocokan. Perhitungan selang waktu penggantian pencegahan dilakukan dengan kriteria minimasi *downtime*, di mana hasil perhitungan yang dipilih adalah yang menghasilkan *downtime* terkecil. Model yang digunakan adalah *Age Replacement* dengan distribusi Log Normal. Nilai MTTR adalah hasil perhitungan murni berdasarkan jumlah kerusakan dari Januari 2020 hingga Januari 2024, yang sebanyak 14 kali kerusakan, sesuai dengan data *downtime*.

Dari pengolahan data dapat dilihat bahwa komponen *Fuel Filter* untuk interval waktu penggantian yaitu selama 88815 menit atau sekitar 61 hari yang didapat dari perhitungan t_p , R_{tp} , F_{tp} , $tp + T_p$, M_{tp} , $MTTF/F_{tp} + T_f$, dan D_{tp} diambil dari nilai terkecil dengan nilai sebesar 0,0013328200955449. Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa komponen kritis, yaitu *Fuel Filter*, harus diganti dengan yang baru setelah beroperasi selama 61 hari. Dengan demikian, perusahaan dapat menjadwalkan penggantian pencegahan untuk komponen *Fuel Filter* secara teratur. Selain itu, interval pemeriksaan untuk komponen kritis ini ditetapkan setiap 9 hari, sehingga komponen tersebut diperiksa setiap 9 hari sekali untuk mencegah kerusakan yang dapat mengganggu sistem produksi akibat berhentinya operasi mesin.

Pada PT Cilegon Karya Nusa, *preventive maintenance* belum diterapkan, sehingga interval waktu penggantian komponen tidak menentu dan hanya dilakukan berdasarkan kondisi saat komponen sudah rusak atau bermasalah. Jika hal ini terus berlanjut, kualitas komponen *Fuel Filter* akan menurun dan meningkatkan risiko kegagalan atau kerusakan mesin, yang tentu saja akan mengganggu sistem operasional perusahaan. Oleh karena itu, dengan adanya perhitungan penggantian komponen kritis, interval penggantian yang tidak menentu dapat diubah menjadi setiap 61 hari, guna meminimalisir kegagalan pada sistem mesin Genset.

5.3 Analisis Biaya Perawatan Komponen Mesin

Penghitungan keseluruhan biaya perawatan dilakukan untuk mengidentifikasi semua biaya yang berhubungan dengan pemeliharaan pencegahan guna menghindari kerusakan komponen. Biaya ini meliputi berbagai elemen yang diperlukan untuk memastikan komponen mesin berfungsi optimal dan mencegah terjadinya downtime yang tidak terduga.

Perhitungan biaya diawali dengan menghitung biaya penggantian terencana/penggantian pencegahan (C_p) yang mencakup biaya tenaga kerja, biaya material, dan biaya pemasangan yang dikeluarkan saat mengganti komponen dimana total biaya penggantian terencana/penggantian pencegahan didapatkan nilai sebesar Rp792.700. Kemudian menghitung biaya penggantian tidak terencana/penggantian kerusakan (C_f) yang mencakup biaya tenaga kerja, biaya material, biaya kerugian yang timbul saat mesin mengalami kegagalan, dan biaya pemasangan yang didapatkan nilainya sebesar Rp 958.000.

Sebelum perawatan *preventif*, frekuensi kerusakan adalah 14 kali dengan total biaya penggantian tidak terencana sebesar Rp 13.412.000. Dengan perawatan *preventif* menggunakan pendekatan *Age Replacement*, biaya per penggantian adalah Rp 438.616. Dalam periode 4 tahun (48 bulan) dengan interval penggantian setiap 2 bulan, total biaya penggantian setelah perawatan *preventif* adalah Rp 10.526.784 untuk 24 kali penggantian. Ini menunjukkan bahwa penerapan perawatan *preventif* menghemat biaya sebesar Rp 2.885.216 selama 4 tahun, sekaligus mengurangi risiko downtime tak terduga dan meningkatkan efisiensi operasional.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. 1. Identifikasi komponen kritis pada mesin generator set dilakukan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Berdasarkan hasil analisis ini, ditemukan bahwa beberapa komponen, seperti *Fuel Filter*, memiliki risiko kegagalan yang tinggi dan berdampak signifikan pada operasi mesin. *Fuel Filter* memiliki nilai RPN (*Risk Priority Number*) tertinggi, yaitu 356, yang diperoleh dengan mengalikan nilai tingkat keparahan (*severity*), frekuensi kegagalan (*occurrence*), dan kesulitan deteksi (*detection*). Hal ini menunjukkan bahwa *Fuel Filter* memiliki tingkat keparahan, frekuensi kegagalan, dan kesulitan deteksi tertinggi di antara komponen lainnya.
2. Tindakan perawatan yang optimal pada metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) bahwa pada mesin Genset disimpulkan pada setiap komponen sebagai berikut:
 - a. *Time Directed* (TD) atau *Preventif Maintenance* (PM)

Terdapat 5 komponen yang termasuk dalam kategori ini dimana diperlukan tindakan perawatan yang dilakukan secara langsung terhadap sumber kerusakan dengan didasari umur dari komponen yaitu dengan melakukan perawatan pencegahan sebelum terjadi kerusakan mesin. Kebijakan ini dapat mencegah berhentinya mesin yang tidak direncanakan.
 - b. *Condition Directed* (CD) atau *Predictive Maintenance* (PDM)

Terdapat 7 komponen yang termasuk dalam kategori ini dimana diperlukan tindakan perawatan yang dilakukan dengan cara melakukan pemeriksaan dan inspeksi. Komponen dalam kategori ini apabila terdapat gejala-gejala kerusakan, maka akan dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen dengan *Predictive Maintenance* (PDM).
3. Perhitungan biaya penggantian terencana (C_p) mencakup biaya tenaga kerja, material, dan pemasangan dengan total Rp 792.700, sedangkan biaya penggantian tidak terencana (C_f) mencakup biaya tenaga kerja, material, kerugian akibat

kegagalan, dan pemasangan dengan total Rp 958.000. Sebelum perawatan *preventif*, frekuensi kerusakan adalah 14 kali dengan total biaya penggantian tidak terencana Rp 13.412.000. Dengan perawatan *preventif* menggunakan pendekatan *Age Replacement*, biaya per penggantian adalah Rp 438.616. Dalam periode 4 tahun (48 bulan) dengan interval penggantian setiap 2 bulan, total biaya penggantian setelah perawatan *preventif* adalah Rp 10.526.784 untuk 24 kali penggantian. Ini menghemat biaya sebesar Rp 2.885.216 selama 4 tahun, mengurangi risiko downtime tak terduga, dan meningkatkan efisiensi operasional.

6.2 Saran

Adapun saram-saran yang dapat diberikan sebagai masukan perusahaan dan penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian, peneliti menyarankan agar pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dalam hal ini *Preventif Maintenance* lebih diimplementasikan sebagai sistem perawatan mesin di PT. Cilegon Karya Nusa. Dengan mengadopsi konsep RCM, perusahaan dapat menentukan jenis tindakan perawatan yang paling optimal, sehingga keandalan mesin-mesin perusahaan dapat ditingkatkan.
2. Berdasarkan hasil penelitian diatas, peneliti menyarankan agar lebih baik tentang pemeriksaan umur tiap komponen serta kondisi dari tiap komponen selama 61 hari sekali agar tidak terjadi *downtime* pada komponen mesin tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- A.Hoyland, M. &. (2004). *System Reliability Theory Models*. United States of America: John Wiley & Sons.
- Alwi, M. R. (2016). Reliability Centered Maintenance Dalam Perawatan F.O. Service Pump Sistem Bahan Bakar Kapal Ikan. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan*.
- Assauri, S. (2004). *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi, Universitas Indonesia.
- B, I. H., Rahman, A., & Darmawan, Z. (2014). Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi Dengan Menggunakan Metode RCM II Pada Mesin Blowing Om. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*.
- Badan Pusat Statistik. (2023). Data Jumlah Perusahaan Konstruksi Di Indonesia Pada Tahun 2023.
- Bukaryo, A. R., & Surojo. (2021). Penerapan Metode Age Replacement Dalam Menentukan Interval Waktu Preventive Maintenance Komponen Kritis Pada Alat Berat Excavator.
- Candra, A. (2022). Analisa Reliability Centered Maintenance (RCM) Mesin Sablon Digital. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 17(2), 37-48.
- Dhillon, B. (2006). Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers. *CRC Press*.
- Dilip, S., & Aldin, A. (2018). Optimizing Replacement Time For Mining Shovel Teeth Using Reliability Analysis and Markov Chain Monte Carlo Simulation. *International Journal of Quality and Reliability Management*.
- Ebeling, C. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: The Mc-Graw Hills Companies Inc.
- Effendi, M., & Arifin, M. (2015). Perbedaan Risk Priority Number Dalam Failure Mode and Effects Analysis FMEA Sistem Alat Berat Heavy Duty Truck HD 785-7. *Spektrum Industri*, 13(1), 105.
- Firdaus, M. (2021). Preventive Maintenance Mesin Printing Rotogravure Pada Komponen Press Roll Dengan Metode Age Replacement Sebagai Pengoptimalan Biaya Downtime Di PT.X. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(2), 63-68.
- Gleen, A. S. (2004). *Gateway to World Class Maintenance*. London: Elsevier Inc.
- Hermawan, I., & Sitepu, W. J. (2015). Tinjauan Perawatan Mesin Mixing Pada UD Roti Mawi. *Jurnal Teknovasi*, 117 - 128.
- Hidayat, Moh.Jufriyanto, & Rizqi, A. W. (2021). Perancangan RCM (Reliability Centered Maintenance) Untuk Mengurangi Downtime Mesin Pembuat Botol. *MATRIK*, 157-164.
- IAEA, T. (2007). *Application of Reliability Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plant*. Vienna.
- Jardine, A. (1997). *Maintenance Replacement dan Reliability* Titman Publishing. New York.

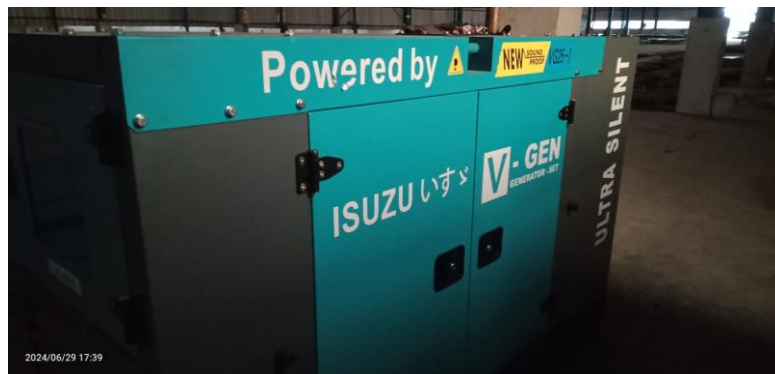
- Juwandono, J. T., & Purnama, J. (2023). Analisa Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Age Replacement. *JUTIN*, 6(3).
- Kurniawan, F. (2013). *Teknik dan Aplikasi Manajemen Perawatan Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Liu, Y., Tang, Y., Wang, P., Song, X., & Wen, M. (2023). Reliability Centered Preventive Maintenance Optimization for a Single Component Mechanical Equipment . *symmetry*.
- Moubray, J. (1997). *Reliability Centered Maintenance 2nd edition*. Industrial Press, Inc.
- MT, I. A. (2011). *Manajemen Perawatan Mesin Industri*.
- Purwanggo, B., & Ibana, J. R. (2021). Implementation of Preventive Maintenance on CNC Milling Tape Drill Machine at PT XYZ Using FMEA Method and Age Replacement. *Proceedings of the Second Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
- Rachman, T., Watunglawar, D. N., Amperajaya, M., Adnan, S. R., & Sriwana, I. K. (2022). Penentuan Interval Waktu Penggantian dan Perbaikan Komponen Kritis Mesin Bubut Type SS-850 di PT.Hamdani Jaya Makmur Dengan Metode Age Replacement. *Jurnal Metris* 23, 52-61.
- Rachmayanti, I., & Prasetyawan, Y. (2020). Perancangan Kebijakan Perawatan Menggunakan Metode RCM II Untuk Meningkatkan Nilai Overall Equipment Effectiveness Mesin Filling R-24 A (Studi Kasus PT X). *Jurnal Teknik ITS*.
- 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. *JUTE*, 6(1), 1-14.
- Roudhotul, S., & Wulandari, D. (2019). Perencanaan Perawatan Sebagai Pengoptimalan Biaya Downtime Pada Mesin Flying Shear Menggunakan Metode Age Replacement Di PT. Hanil Jaya Steel. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*.
- Setiawan, A., & Aritonang, Y. M. (2013). Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk Menentukan Strategi Perawatan Fasilitas Produksi Kain. *Jurnal Telematika*.
- Siswantoro, N., Zaman, M. B., Priyanta, D., pitana, T., Prastowo, H., Wicaksana, A., & Fauzi, H. N. (2021). A Case Study Maintenance Task Allocation Analysis On Marine Loading Arm Using Reliability Centered Maintenance. *International Conference on Marine Technology*.
- Supriyadi, Jannah, R. M., & Syarifuddin, R. (2018, Agustus). Perencanaan Pemeliharaan Mesin Centrifugal Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Pada Perusahaan Gula Rafinasi. *Jurnal Integrasi Sistem Industri*, 5(2), 141.
- Suryani Dewi, L. M. (2018). Analisis Dan Perancangan Sistem Informasi Manajemen Aset Tetap Pada PT. Metis Teknologi Corporindo. *Jurnal Sistem Informasi, teknologi Informasi dan Komputer*.

- Tan, H. T. (2012). Metode DMAIC Sebagai Solusi Pengendalian Kualitas Produksi Sepatu Tambang: Studi Kasus PT Mangul Jaya-Bekasi. *ComTech*, 3, 509-523.
- Walpole, E. (1997). The Austpac ERMS and EARS Process.
- Walpole, R. (1995). *Pengantar Statistika Edisi 3*. Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama.
- Wibowo, T. J., Hidayatullah, T., & Nalhadi, A. (2021). Analisa Perawatan pada Mesin Bubut dengan Pendekatan Reability Centered Maintenance (RCM). *Jurnal Rekayasa Industri*, 3(2).

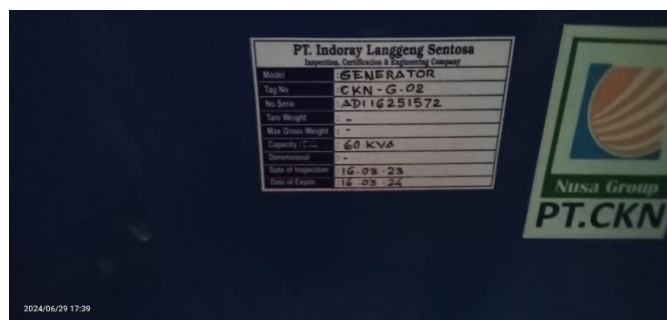
LAMPIRAN



(Sumber: Dokumen Pribadi)



(Sumber: Dokumen Pribadi)



(Sumber: Dokumen Pribadi)



(Sumber: Dokumen Pribadi)

Tabel Nilai Kritis Uji Kolmogorov-Smirnov

<i>n</i>	$\alpha = 0,20$	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,02$	$\alpha = 0,01$
1	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
2	0,684	0,776	0,842	0,900	0,929
3	0,565	0,636	0,708	0,785	0,829
4	0,493	0,565	0,624	0,689	0,734
5	0,447	0,509	0,563	0,627	0,669
6	0,410	0,468	0,519	0,577	0,617
7	0,381	0,436	0,483	0,538	0,576
8	0,359	0,410	0,454	0,507	0,542
9	0,339	0,387	0,430	0,480	0,513
10	0,323	0,369	0,409	0,457	0,486
11	0,308	0,352	0,391	0,437	0,468
12	0,296	0,338	0,375	0,419	0,449
13	0,285	0,325	0,361	0,404	0,432
14	0,275	0,314	0,349	0,390	0,418
15	0,266	0,304	0,338	0,377	0,404
16	0,258	0,295	0,327	0,366	0,392
17	0,250	0,286	0,318	0,355	0,381
18	0,244	0,279	0,309	0,346	0,371
19	0,237	0,271	0,301	0,337	0,361
20	0,232	0,265	0,294	0,329	0,352
21	0,226	0,259	0,287	0,321	0,344
22	0,221	0,253	0,281	0,314	0,337
23	0,216	0,247	0,275	0,307	0,330
24	0,212	0,242	0,269	0,301	0,323
25	0,208	0,238	0,264	0,295	0,317
26	0,204	0,233	0,259	0,290	0,311
27	0,200	0,229	0,254	0,284	0,305
28	0,197	0,225	0,250	0,279	0,300
29	0,193	0,221	0,246	0,275	0,295
30	0,190	0,218	0,242	0,270	0,290
35	0,177	0,202	0,224	0,251	0,269
40	0,165	0,189	0,210	0,235	0,252
45	0,156	0,179	0,198	0,222	0,238
50	0,148	0,170	0,188	0,211	0,226
55	0,142	0,162	0,180	0,201	0,216
60	0,136	0,155	0,172	0,193	0,207
65	0,131	0,149	0,166	0,185	0,199
70	0,126	0,144	0,160	0,179	0,192
75	0,122	0,139	0,154	0,173	0,185
80	0,118	0,135	0,150	0,167	0,179
85	0,114	0,131	0,145	0,162	0,174
90	0,111	0,127	0,141	0,158	0,169
95	0,108	0,124	0,137	0,154	0,165
100	0,106	0,121	0,134	0,150	0,161

(Tabel D Kolmogorov-Smirnov Test)

Topik	Pertanyaan
Pendahuluan	Perkenalan diri dan tujuan wawancara.
	Penjelasan singkat mengenai metode FMEA.
	Konfirmasi kesediaan dan izin untuk melakukan wawancara.
Deskripsi Proses/Produk	Bisakah Anda menjelaskan secara umum mengenai proses atau produk yang akan dianalisis?
	Apa tujuan utama dari proses produksi ini?
Identifikasi Mode Kegagalan	Apa saja potensi kegagalan yang dapat terjadi dalam proses atau produk ini?

Topik	Pertanyaan
	Bisakah Anda menjelaskan contoh spesifik dari kegagalan yang pernah terjadi?
Dampak Kegagalan	Apa dampak dari setiap mode kegagalan yang telah diidentifikasi terhadap keselamatan, kualitas, dan kinerja?
	Bagaimana kegagalan ini mempengaruhi pelanggan atau pengguna akhir?
Penyebab Kegagalan	Apa saja penyebab yang mungkin mengarah pada kegagalan tersebut?
	Adakah faktor internal atau eksternal yang berkontribusi terhadap penyebab kegagalan?
Deteksi Kegagalan	Bagaimana cara Anda mendeteksi jika kegagalan tersebut terjadi?
	Apakah ada metode atau alat khusus yang digunakan untuk mendeteksi kegagalan?
Tingkat Keparahan, Kejadian, dan Deteksi	Bagaimana Anda menilai tingkat keparahan (Severity) dari setiap mode kegagalan?
	Seberapa sering (Occurrence) kegagalan tersebut terjadi?
	Seberapa efektif sistem deteksi (Detection) yang ada saat ini?
Tindakan Pencegahan dan Pengendalian	Apa langkah-langkah pencegahan yang telah diterapkan untuk mengurangi risiko kegagalan?
	Adakah prosedur pengendalian yang sedang atau telah diterapkan untuk mengatasi kegagalan?
Evaluasi dan Tindak Lanjut	Bagaimana Anda menilai efektivitas dari tindakan pencegahan dan pengendalian yang telah dilakukan?
	Adakah rencana tindak lanjut untuk mengurangi atau mengeliminasi kegagalan di masa mendatang?
Penutup	Apakah ada informasi tambahan yang ingin Anda sampaikan terkait dengan potensi kegagalan dalam proses atau produk ini?
	Terima kasih atas partisipasi dan waktu yang telah diberikan.

(Kerangka Wawancara)