ANALISIS PERENCANAAN PERAWATAN MESIN PULVERIZER E UNIT 3 DENGAN PENDEKATAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) DAN *AGE REPLACEMENT*

(Studi Kasus: PT PLN INDONESIA POWER UBP SURALAYA)

TUGAS AKHIR

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

Nama : Ahmad Fuad Nazhif
No. Mahasiswa : 21522216

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

LEMBAR 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, 18 Agustus 2025

(AhmadFuadNazhif)
21522216

SURAT BUKTI PENELITIAN

BUMN UNTUK INDONESIA

PLN Indonesia Power

SURAT KETERANGAN

Nomor : 073.Skt/324/UBPSLA/2025

Diberikan Kepada :

Nama	: AHMAD FUAD NAZHIF
Nim	: 21522216
Jurusan	: TEKNIK INDUSTRI
Institusi	: UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Menerangkan bahwa yang bersangkutan telah melaksanakan Praktek Kerja Lapangan di Bidang "PEMELIHARAAN MESIN BOILER UNIT 1-4 PT PLN INDONESIA POWER UBP SURALAYA" terhitung mulai tanggal 02 April 2025 - 30 April 2025.

Suralaya, 30 April 2025
MANAJER SDM & HUMAS

PLN Indonesia Power

ANDI DWI LAKSONO

PLN INDONESIA POWER UBP SURALAYA

AKHLAK

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

ANALISIS PERENCANAAN PERAWATAN MESIN PULVERIZER E UNIT 3 DENGAN PENDEKATAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) DAN *AGE REPLACEMENT*

(Studi Kasus: PT PLN INDONESIA POWER UBP SURALAYA)

Disusun Oleh:

Nama : Ahmad Fuad Nazhif

No. Mahasiswa : 21522216

Yogyakarta 18 Agustus 2025

Dosen Pembimbing:

Dian Jan ari, S .T .,
M.T .

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

ANALISIS PERENCANAAN PERAWATAN MESIN PULVERIZER E UNIT 3 DENGAN PENDEKATAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) DAN *AGE REPLACEMENT*

(Studi Kasus: PT PLN INDONESIA POWER UBP SURALAYA)

Disusun Oleh:

Nama : Ahmad Fuad Nazhif

No. Mahasiswa : 21522216

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Tekonologi Industri Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, 18 Agustus 2025

Tim Penguji

Dian Janari, S.T., M.T.	
Ketua	
Wahyudhi Sutrisno, S.T., M.M., M.T	
Anggota I	
Dr. Ir. Dwi Handayani, S.T., M.Sc., IPU., ASEAN.Eng.	
Anggota II	

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

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, ST., M.Sc., Ph.D., IPM
NIK. 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan dengan penuh rasa syukur dan hormat kepada kedua orang tua tercinta yang selalu memberikan kasih sayang, doa, semangat, serta dukungan tanpa batas dalam setiap langkah hidup saya. Ucapan terima kasih yang mendalam juga saya tujukan kepada seluruh keluarga yang senantiasa memberikan perhatian, motivasi, dan dorongan sehingga saya mampu melalui setiap proses hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

HALAMAN MOTO

“Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.”
(Q.S Al-Insyirah 5)

“Dan janganlah kamu lemah dan janganlah kamu berduka-cita, karena kamulah orang-orang yang paling tinggi jika kamu (memang) orang-orang yang beriman.”
(Q.S Ali 'Imran 139)

"*Diwajibkan atas kamu berperang. Padahal berperang adalah sesuatu yang kamu benci. Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal amat buruk bagimu; Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui*."
(Q.S Al- Baqarah 216)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim
Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh
Alhamdulillah, segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas berkat dan rahmatNya, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dengan judul "Analisis Perencanaan Perawatan Mesin Pulverizer E Unit 3 Dengan Pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Dan *Age Replacement*". Tak lupa sholawat dan salam kita haturkan kepada Nabi besar Muhammad SAW beserta kerabat, sahabat dan pengikutnya, yang telah berjuang dan membawa kita keluar dari zaman kegelapan dan menuju jalan yang terang untuk menggapai keridhaan Allah SWT.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar Strata Satu dari Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Dalam pelaksanaan magang di PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya. Peneliti ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berperan dalam memberikan bimbingan, dukungan dan motivasi dalam penyelesaian laporan ini. Untuk itu peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo., M.T., IPU, ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. 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.
4. Bapak Dian Janari, S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta ilmu yang berharga, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini dengan baik.
5. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Bapak Rizki Maesyah selaku pembimbing lapangan, serta kepada Bapak Juharminto, Bapak Maulvi, Bapak Mulyatno, dan Bapak Auliya di PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya atas bimbingan, arahan, dan waktu yang telah diberikan selama pelaksanaan magang, khususnya dalam konsultasi dan pengambilan data pada unit pemeliharaan boiler Unit 1–4.
6. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Meggi selaku Humas PT. PLN Indonesia Power UBP Suralaya atas kesempatan dan kepercayaan yang diberikan kepada saya untuk melaksanakan kerja praktik di perusahaan ini.
7. Kedua orang tua yang sudah memberikan dukungan doa, semangat dan dukungan sehingga peneliti dapat melaksanakan dan mengerjakan Tugas Akhir dengan baik

8. Terimakasih kepada teman-teman terbaik saya yaitu ERPAN, SW, NGANGONGENG, dan KOS TENTREM yang telah mendukung, menemani, dan menyemangati dalam menyelasaikan Tugas Akhir ini.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 18 Agustus 2025

AhmadFuadNazhif

NIM 21522216

ABSTRAK

Dalam industri pembangkitan listrik, keandalan mesin dan peralatan sangat penting untuk menjaga kelangsungan proses produksi yang bersifat berkesinambungan. Di PLTU Suralaya, salah satu komponen krusial dalam sistem pembakaran batubara adalah mesin Pulverizer. Berdasarkan data kerusakan dari tahun 2020 hingga 2024, Pulverizer E pada Unit 3 tercatat sebagai unit dengan tingkat kerusakan tertinggi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dan meningkatkan efektivitas pemeliharaan, dilakukan analisis menggunakan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang dikombinasikan dengan metode *Age Replacement*. Tahapan RCM meliputi analisis *Functional Block Diagram* (FBD), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Logic Tree Analysis* (LTA), dan *Task Selection* (TS). Hasil FMEA menunjukkan bahwa komponen Pyrite Gate memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 280, yang disebabkan oleh potensi kegagalan berupa kemacetan akibat penumpukan material keras, Oil seal actuator hydrolik Bocor, silinder actuator macet, dan linkage aus. Melalui LTA, Pyrite Gate dikategorikan sebagai komponen yang dapat menyebabkan shutdown namun kegagalannya masih dapat dideteksi, sehingga dalam TS ditetapkan strategi pemeliharaan berbasis penggantian atau perawatan berkala bedasarkan umur atau *Time Directed*. Selanjutnya, metode *Age Replacement* digunakan untuk menentukan interval optimal penggantian dan pemeriksaan komponen. Berdasarkan distribusi *lognormal* dari data kerusakan, diperoleh interval penggantian optimal pada menit ke 30.000 (sekitar 21 hari), serta interval pemeriksaan preventif setiap 354,1202116 menit (sekitar 15 hari). Dengan nilai *availability* sebesar 0,99274 atau 99,3%. Pendekatan ini diharapkan dapat mengurangi risiko kegagalan mendadak, meminimalkan waktu henti tak terduga, serta meningkatkan efisiensi dan keandalan operasional sistem.

Kata Kunci: *Reliability Centered Maintenance (RCM), Age Replacement, Pulverizer, Pyrite Gate, FMEA, Availability.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN ..... **ii**
SURAT BUKTI PENELITIAN ..... **iii**
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ..... **iv**
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI ..... **v**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **vi**
HALAMAN MOTO ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **viii**
ABSTRAK ..... **x**
DAFTAR ISI ..... **xi**
DAFTAR TABEL ..... **xiv**
DAFTAR GAMBAR ..... **xv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Manafaat Penelitian 5
1.5 Batasan Penelitian 6
1.6 Sistematika Penulisan 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **9**
2.1 Penelitian Terdahulu 9
2.2 Landasan Teori 14
2.2.1 Maintenance 15
2.2.2 *Maintenance Management* 15
2.2.3 Jenis jenis perawatan 15
2.2.4 *Reliability Centered Maintenance* (RCM) 16
2.2.5 *Functional Block Diagram* (FBD) 16
2.2.6 *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) 17
2.2.7 *Logic Tree Analysis* (LTA) 20
2.2.8 *Task Selection* (TS) 22
2.2.9 Fungsi Distribusi 23
2.2.10 Identifikasi Distribusi Antar Waktu Kerusakan dan Waktu Perbaikan 28
2.2.11 Uji *Goodnees Of Fit* 29
2.2.12 *Mean Time To Failure* (MTTF) 31
2.2.13 *Mean Time To Repair* (MTTR) 33
2.2.14 Age Replacement 34
2.2.15 Interval Waktu Pemeriksaan 35
2.2.16 Availability 36
BAB III METODE PENELITIAN **37**
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian 37
3.2 Objek Penelitian 37
3.3 Jenis Data 37

3.4 Teknik Pengumpulan Data 38
3.5 Diagram Alur Penelitian 39
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA 43
4.1 Latar Belakang Perusahaan 43
4.1.1 Sejarah Perusahaan 43
4.1.2 Profil Perusahaan 43
4.2 Pengumpulan Data 44
4.2.1 Data Komponen dan Fungsi komponen Mesin 44
4.2.2 Data Waktu Antar Kerusakan Komponen Mesin 45
4.3 Pengolahan Data 50
4.3.1 *Function Block Diagram* (FBD) 50
4.3.2 *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) 50
4.3.3 *Logic Tree Analysis* (LTA) 52
4.3.4 *Task Selection* (TS) 54
4.3.5 Penentuan Komponen Kritis 55
4.3.6 Penentuan Distribusi (*Time To Failure*) 56
4.3.7 Penentuan Distribusi (*Time To Repair*) 68
4.3.8 Uji *Goodnees Of Fit (Time To Failure)* 78
4.3.9 Uji *Goodnees Of Fit (Time To Repair)* 81
4.3.10 Perhitungan Parameter Dari Distribusi (*Time To Failure*) 83
4.3.11 Perhitungan Parameter Dari Distribusi (*Time To Repair*) 83
4.3.12 Penentuan Nilai Tengah Dari Distribusi (*Time To Failure*) 84
4.3.13 Penentuan Nilai Tengah Dari Distribusi (*Time To Repair*) 84
4.3.14 Perhitungan Interval Waktu Penggantian 84
4.3.15 Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan 87
4.3.16 Perhitungan *Availability* 88
BAB V PEMBAHASAN 89
5.1 Proses *Reliability Centered Maintenance* (RCM) 89
5.1.1 *Function Block Diagram* (FBD) 89
5.1.2 *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) 90
5.1.3 *Logic Tree Analysis* (LTA) 90
5.1.4 *Task Selection* (TS) 91
5.2 Proses *Age Replacement* 92
5.2.1 Penentuan Komponen Kritis 92
5.2.2 Analisis Distribusi 92
5.2.3 Analisis Uji *Goodness of Fit* 93
5.2.4 Analisis *Time to Failure* dan MTTF 93
5.2.5 Analisis *Time to Repair* dan MTTR 94
5.2.6 Analisis Interval Waktu Penggantian 94
5.2.7 Analisis Interval Waktu Pemeriksaan 94
5.2.8 Analisis *Availability* 95
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 96
6.1 Kesimpulan 96

6.1 Saran 97
6.2.1 Saran untuk perusahaan: 97
6.2.2 Saran untuk penelitian selanjutnya: 97
DAFTAR PUSTAKA 98
LAMPIRAN A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Bentuk Tabel FMEA 17
Tabel 2. 1 Skala *Severnity* 18
Tabel 2. 2 Skala *Occurrence* 19
Tabel 2. 3 Skala *Detection* 20
Tabel 2. 4 Bentuk Tabel LTA 22
Tabel 2. 5 Bentuk Tabel *Task Selection* 23
Tabel 4. 1 Data Komponen dan Fungsi komponen Mesin 44
Tabel 4. 2 *Failure Mode Effect Analysis Pulverizer* 50
Tabel 4. 3 *Logic Tree Analysis Pulverizer* 53
Tabel 4. 4 *Task Selection Pulverizer* 54
Tabel 4. 5 Penentuan Komponen Kritis Pulverizer 55
Tabel 4. 6 Penentuan Distribusi (*Time To Failure*) 57
Tabel 4. 7 Perhitungan Distribusi *Eksponensial* (*Time To Failure)* 59
Tabel 4. 8 Perhitungan Distribusi *Normal* (*Time To Failure)* 61
Tabel 4. 9 Perhitungan Distribusi *Lognormal* (*Time To Failure)* 64
Tabel 4. 10 Perhitungan Distribusi *Weibull* (*Time To Failure)* 66
Tabel 4. 11 *Index Of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen 68
Tabel 4. 12 Perhitungan Distribusi *Eksponensial* (*Time To Repair)* 69
Tabel 4. 13 Perhitungan Distribusi *Normal* (*Time To Repair)* 71
Tabel 4. 14 Perhitungan Distribusi *Lognormal* (*Time To Repair)* 74
Tabel 4. 15 Perhitungan Distribusi *Weibull* (*Time To Repair)* 76
Tabel 4. 16 *Index Of Fit Time To Repair* 78
Tabel 4. 17 Uji *Goodness Of Fit Time To Failure* 78
Tabel 4. 18 *Goodnees Of Fit Time To Repair* 81
Tabel 4. 19 Perhitungan Interval Waktu Penggantian 85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Data Kerusakan Pulverizer Unit 1-4 Tahun 2020- 2024 3
Gambar 2. 1 *Logic Tree Analysis* 21
Gambar 2. 2 *Task Selection* 23
Gambar 2. 3 Kuva Distribusi *Weibull* 24
Gambar 2. 4 Kurva Distribusi *Normal* 25
Gambar 2. 5 Kurva Distribusi *Lognormal* 26
Gambar 2. 6 Skala Distribusi *Eksponensial* 28
Gambar 2. 7 Diagram Alur Penelitian 39
Gambar 4. 1 *Functional Block Diagram Pulverizer* 50
Gambar 4. 2 Pareto Komponen Pulverizer E Unit 3 56
Gambar 5. 1 Pembahasan *Function Block Diagram* Pulverizer 89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam dunia industri, mesin dan peralatan produksi memainkan peran vital dalam menjamin kelancaran dan efisiensi operasional, dengan keberlangsungan proses produksi yang sangat bergantung pada keandalan mesin. Salah satu aspek penting dalam pengelolaan aset adalah kegiatan perawatan mesin. Menurut (Smith, 2003) Perawatan mesin merupakan kegiatan yang dilakukan secara sistematis untuk menjaga kondisi dan performa mesin agar tetap berfungsi sesuai standar. Tujuan utama dari perawatan adalah untuk meminimalkan risiko kegagalan, memperpanjang umur pakai peralatan, serta mencegah terjadinya kerusakan pada mesin selama proses produksi berlangsung.

Dalam praktiknya, kegiatan perawatan mesin terbagi menjadi beberapa jenis, seperti perawatan preventif, prediktif, dan korektif. Menurut (Prihastono, 2017) Perawatan preventif dilakukan secara berkala untuk mencegah terjadinya kerusakan, sedangkan perawatan prediktif mengandalkan data kondisi mesin untuk memperkirakan waktu yang tepat dalam melakukan tindakan perawatan. Sementara itu, perawatan korektif baru dilakukan ketika mesin sudah mengalami kerusakan atau gangguan fungsi.

Salah satu tantangan utama dalam manajemen perawatan adalah menentukan strategi yang optimal untuk menjaga keandalan mesin tanpa menimbulkan pemborosan biaya. Metode perawatan tradisional seperti perawatan korektif (*corrective maintenance*) atau perawatan berkala (*preventive maintenance*) yang dilakukan tanpa mempertimbangkan kondisi aktual maupun potensi kegagalan cenderung tidak efisien, karena dapat mengakibatkan penggantian yang sebenarnya belum diperlukan atau keterlambatan dalam menangani kerusakan yang potensial. Gangguan atau kerusakan pada mesin sendiri dapat menyebabkan penurunan produktivitas, keterlambatan pengiriman, hingga kerugian finansial yang signifikan. Oleh karena itu, menjaga performa mesin menjadi hal yang sangat penting, mengingat mesin berperan sebagai alat produksi yang memengaruhi laju aktivitas industri. Untuk memastikan performa dan

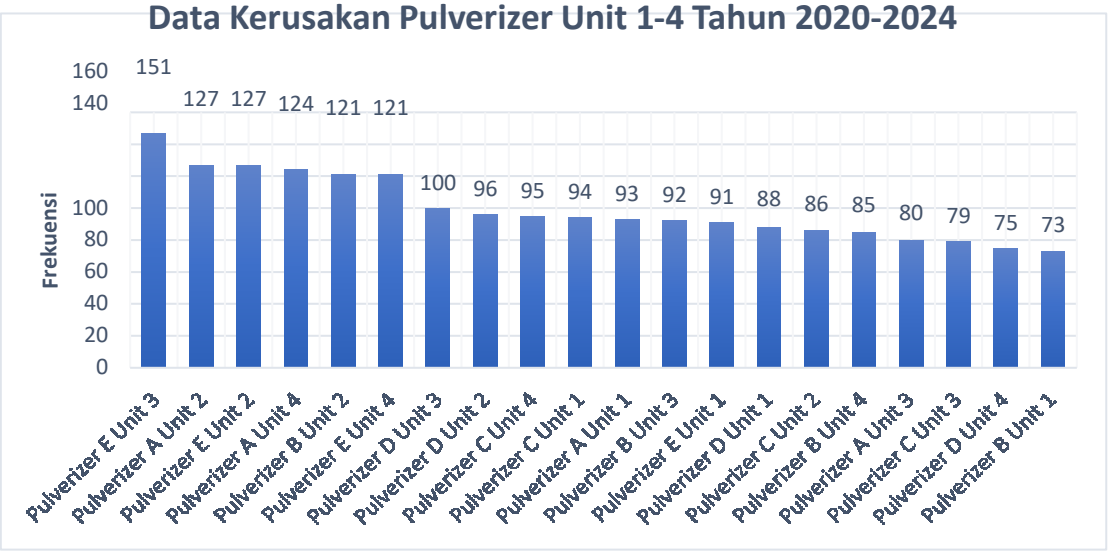
keandalan tetap terjaga, diperlukan kegiatan perawatan yang tepat guna mencegah penurunan produktivitas serta mendukung kelancaran operasional.

Dalam konteks operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang memiliki sistem produksi bersifat continuous process, setiap komponen mesin saling terhubung dan berperan penting dalam menjaga keberlangsungan proses pembangkitan listrik. Kondisi ini menjadikan kerusakan atau kegagalan pada satu unit peralatan berpotensi menghentikan seluruh proses produksi, seperti yang kerap terjadi di PLTU Suralaya. Kerusakan mendadak menyebabkan downtime tidak terencana, sehingga proses produksi harus dihentikan sementara untuk perbaikan maupun perawatan, yang berimbas pada penurunan efisiensi serta potensi kerugian waktu dan biaya. Oleh karena itu, keandalan peralatan menjadi faktor krusial yang harus dijaga dengan sistem pemeliharaan yang tepat. Adapun unit pembangkit di PLTU Suralaya secara umum terdiri atas tujuh komponen utama, yaitu boiler, turbin, generator, transformator, sistem water treatment, motor, dan pompa, yang masing-masing memiliki fungsi vital dalam proses konversi energi untuk menghasilkan listrik secara berkelanjutan.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan sistem pembangkit yang mengubah energi panas dari hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi listrik melalui proses pembangkitan uap. Uap ini dihasilkan oleh boiler, yang memanaskan air (*feedwater*) hingga berubah menjadi uap kerja (*steam*) dengan memanfaatkan panas dari pembakaran batubara di dalam burner sebagai sumber panas utama. Proses pemanasan air berlangsung melalui perpindahan panas secara radiasi dan konveksi, di mana air dalam pipa dipanaskan hingga menjadi uap, kemudian dikumpulkan di steam drum untuk dipisahkan dari sisa air dan partikel pengotor guna mencegah korosi dan menjaga keandalan sistem. Di PLTU Suralaya, batubara menjadi bahan bakar utama, sementara solar digunakan sebagai bahan bakar pendukung untuk ignition atau pemantik awal. Dalam mendukung kinerja boiler, terdapat enam komponen pendukung yaitu *pulverizer*, *sootblower*, *control valve*, *safety tube*, *air heater*, dan *fan***.**

Pulverizer merupakan mesin yang berfungsi menggiling batubara hingga mencapai ukuran tertentu agar batubara mudah terbakar dan menghasilkan pembakaran yang sempurna. Di PLTU Suralaya, batubara dengan ukuran rata-rata 5 cm dihancurkan

hingga halus berukuran 200 mesh. Dalam pengoperasiannya, *pulverizer* harus mempertimbangkan beberapa faktor, seperti tingkat kehalusan batubara yang diinginkan yang dimana semakin halus batubara maka semakin besar pula energi yang dibutuhkan; kekerasan atau *grindability* batubara, serta metode penghembusan batubara, di mana batubara harus dikeringkan terlebih dahulu dengan semburan udara panas sebelum dialirkan ke boiler. Pada boiler unit 1 hingga 4, terdapat 20 Pulverizer yang beroperasi secara penuh. Dalam penjalanan prosesnya pulverizer ini sering menghadapi berbagai permasalahan yang dapat mengganggu kinerja pembangkit, seperti penurunan kapasitas produksi, hasil penggilingan yang tidak konsisten, getaran berlebihan, suara abnormal saat operasi, peningkatan temperatur, hingga konsumsi daya listrik yang meningkat drastis. Adapun data kerusakan pulverizer dari unit 1-4 Pada bulan Oktober 2020 sampai bulan November 2024 sebagai berikut:



Gambar 1. 1 Data Kerusakan Pulverizer Unit 1-4 Tahun 2020- 2024

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa setiap unit pada PLTU memiliki lima pulverizer. Dengan penamaan yaitu *Pulverizer* A, *Pulverizer* B, *Pulverizer* C, *Pulverizer* D, dan *Pulverizer* E. Pada Oktober 2020 - November 2024, Pulverizer E pada Unit 3 tercatat sebagai *pulverizer* dengan jumlah kerusakan dan tindakan perawatan tertinggi, yaitu sebanyak 151 kali. Permasalahan ini umumnya disebabkan oleh faktor mekanis seperti keausan komponen internal, kerusakan bearing, classifier yang tidak optimal, maupun kebocoran pada housing. Selain itu, faktor material juga berperan besar, misalnya

material batubara yang terlalu keras atau abrasif sehingga mempercepat keausan, tingginya kadar moisture yang memicu gangguan operasional, serta adanya kontaminasi berupa logam atau batu yang ikut masuk ke dalam pulverizer. Apabila *pulverizer* ini mengalami kerusakan atau sedang menjalani perawatan yang mengharuskan penghentian operasional, maka akan berdampak signifikan terhadap proses produksi.

Dari latar belakang permasalahan tersebut, metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement* dapat digunakan untuk merancang strategi perawatan yang lebih tepat dan efektif. RCM berfungsi untuk mengidentifikasi fungsi, potensi kegagalan, serta konsekuensi kerusakan sehingga strategi perawatan yang dipilih benar-benar tepat sasaran dan berbasis prioritas risiko. Metode ini dinilai cocok karena mampu menentukan prioritas perawatan berdasarkan dampaknya terhadap keandalan operasi, sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya. Sementara itu, metode *Age Replacement* berfokus pada penentuan interval penggantian maupun pemeriksaan komponen secara optimal berdasarkan distribusi data kerusakan dan usia pakai. Kombinasi kedua pendekatan ini menghasilkan strategi perawatan yang tidak hanya berbasis risiko, tetapi juga mempertimbangkan aspek umur pakai peralatan. Dengan demikian, perawatan dapat direncanakan secara lebih andal, efisien, dan berbasis data, sehingga mendukung kinerja produksi berkelanjutan. Adapun tujuan utama RCM adalah menjaga keandalan peralatan secara optimal dengan biaya yang terkendali, sedangkan fungsinya mencakup analisis mode kegagalan, pemilihan strategi perawatan yang sesuai, serta memastikan sistem tetap beroperasi secara aman, andal, dan efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut

1. Komponen manakah yang memiliki nilai *Risk Priority Number* tertinggi dan tergolong kritis berdasarkan perhitungan FMEA?
2. Bagaimana penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* pada komponen kritis di mesin *Pulverizer E*?

3. Bagaimana menentukan interval waktu perawatan komponen kritis di mesin Pulverizer *E* dengan metode *Age Replacement*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini disusun untuk menjawab rumusan masalah yang telah ditetapkan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan komponen kritis pada mesin *Pulverizer E*
2. Menentukan tindakan perawatan yang tepat pada komponen kritis pada mesin *Pulverizer E*
3. Menentukan interval waktu pemeriksaan dan pergantian komponen kritis pada mesin *Pulverizer E*

1.4 Manafaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat penelitian yang dapat diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Bagi Mahasiswa
   a. Menambah wawasan dan keterampilan teknis dalam penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement*dalam dunia industri.
   b. Meningkatkan kemampuan analisis dan *problem solving* dalam mengidentifikasi serta menyelesaikan permasalahan perawatan mesin secara sistematis.
   c. Mempersiapkan mahasiswa untuk dunia kerja dengan pengalaman nyata dalam industri manufaktur, khususnya dalam bidang *maintenance engineering*.
2. Bagi Universitas
   a. Meningkatkan kualitas penelitian dan publikasi ilmiah yang berkaitan dengan perawatan mesin dan manajemen keandalan dalam industri.
   b. Memperluas jaringan kerja sama dengan industri khususnya di PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya, yang dapat membuka peluang untuk penelitian dan magang mahasiswa di masa depan.
   c. Menunjukkan kontribusi universitas dalam pengembangan teknologi dan efisiensi industri, yang mendukung peningkatan daya saing institusi akademik.
3. Bagi Perusahaan

a. Menambah referensi akademik dan penelitian terkait manajemen perawatan mesin berbasis RCM dan *Age Replacement*untuk mahasiswa dan dosen.
b. Memperkuat kurikulum dengan studi kasus industri nyata, sehingga pembelajaran lebih aplikatif dan relevan dengan kebutuhan industri.
c. Meningkatkan reputasi jurusan dalam bidang teknik pemeliharaan dan keandalan mesin, yang dapat menarik lebih banyak mahasiswa dan kerja sama industri.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan dari penelitian ini:

1. Penelitian dilakukan pada bulan April 2025.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data kerusakan dan perbaikan mesin pada bulan Oktober 2020 sampai bulan November 2024.
3. Mesin yang diteliti yaitu mesin *Pulverizer* pada unit 3 dengan *downtime* tertinggi.
4. Penelitian ini menggunakan *software* microsoft excel dalam perhitungannya.
5. Penelitian ini tidak menghitung biaya perawatan sebelum dan sesudah tindakan pencegahan serta tidak membahas dari dampak ekonomi dari kegagalan mesin.
6. Penelitian menerapkan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) sebagi pengidentifikasian komponen yang kritis dan *Age Replacement*sebagai penentuan interval penggantian komponen berdasarkan usia dan data kerusakan untuk mencegah kegagalan dan meminimalkan *downtime*.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah merancang struktur tulisan yang bertujuan untuk mempermudah pemahaman bagi para pembaca. Secara keseluruhan, setiap bab disajikan dengan garis besar sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian serta berbagai aspek pendahuluan dalam sebuah skripsi. Secara umum, bab pendahuluan mencakup informasi dan penjelasan mengenai latar belakang penelitian,

perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian yang digunakan, serta sistematika penulisan sebagai panduan dalam memahami struktur keseluruhan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka berisi pembahasan mengenai prinsip dasar, konsep, serta materi yang digunakan sebagai landasan dalam penyusunan tugas akhir. Selain itu, bab ini juga mencakup penelitian terdahulu yang relevan dengan topik yang diangkat, sehingga dapat memberikan wawasan serta memperkuat dasar teoritis penelitian yang dilakukan

BAB III METODE PENELITIAN

Bab metode penelitian berisi penjelasan mengenai objek dan lokasi penelitian, serta tahapan yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir. Bab ini juga mencakup diagram alir penelitian yang menggambarkan langkah-langkah sistematis dalam proses penelitian, metode pengumpulan data yang digunakan, alat bantu dalam analisis, serta teknik analisis data
yang diterapkan untuk memperoleh hasil penelitian yang valid dan reliabel.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini membahas proses pengumpulan data, termasuk profil perusahaan serta data yang diperoleh selama penelitian. Selain itu, bab ini juga menjelaskan metode pengolahan data yang digunakan untuk menganalisis informasi yang telah dikumpulkan. Interpretasi data dapat disajikan dalam bentuk tabel, gambar, atau grafik guna memberikan gambaran yang lebih jelas.

BAB V PEMBAHASAN

Bab pembahasan ini berisi analisis hasil penelitian serta kaitannya dengan latar belakang permasalahan dan perumusan masalah yang telah dibahas sebelumnya. Bab ini bertujuan untuk menguraikan temuan penelitian secara sistematis, memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai

hasil yang diperoleh, serta membimbing pembaca menuju kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

BAB VI PENUTUP

Bab penutup dalam penelitian ini berisi rangkuman kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis dan pembahasan. Selain itu, bab ini juga mencantumkan saran yang berisi usulan atau rekomendasi yang dapat diterapkan oleh perusahaan guna meningkatkan efektivitas serta efisiensi sistem yang diteliti. Tak hanya itu, saran dalam bab ini juga ditujukan bagi peneliti selanjutnya sebagai referensi dalam pengembangan penelitian lebih lanjut di bidang yang sama.

BAB II TINJAUAN

PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu ini memberikan informasi yang dapat digunakan sebagai referensi untuk memperoleh gambaran mengenai penelitian yang dilakukan. Berikut adalah penelitian terdahulu yang membahas upaya dalam mengidentifikasi risiko serta perawatan mesin dengan menerapkan metode *Age Replacement* dan *Reliability Centered Maintenance* (RCM)**.**

Penelitian yang dilakukan oleh (Setiadi, 2023) di UD Polos Jaya, sebuah perusahaan di bidang penggilingan padi, untuk mengevaluasi kinerja mesin *rice pulverizering* menggunakan metode OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), LTA (*Logic Tree Analysis*), dan *Task Selection*. Data yang dianalisis mencakup waktu kerja dan *downtime* mesin dari Januari hingga Desember 2022. Hasil menunjukkan bahwa rata-rata OEE mesin hanya 56,30%, jauh di bawah standar ideal JIPM sebesar 85%. Jenis kegagalan signifikan yang teridentifikasi melalui FMEA adalah kipas yang patah dengan RPN tertinggi 140, diikuti oleh aliran gabah tidak konstan (RPN 120). Rekomendasi pemeliharaan yang diberikan termasuk pergantian baut kipas jika terkikis 50% dan pemeriksaan rutin, pembersihan mesin pemisah, serta penyesuaian tekanan rol dan penggantian rol karet yang keras.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sukmawati, 2024) di PLTU Banten Suralaya menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk mengatasi tingginya *downtime* sistem *coal pulverizer*, khususnya pada Sistem *Coal* Pulverizer C yang mencatat *downtime* rata-rata 274 jam pada tahun 2023. Analisis *downtime* menunjukkan bahwa kinerja sistem masih optimal dengan rata-rata ketersediaan 94%. *Melalui Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), ditemukan bahwa komponen *Coal Feeder* memiliki *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 320 sebagai penyebab utama kerusakan. Selain itu, *Logic Tree Analysis* mengidentifikasi dua mode kegagalan dalam kategori B (*Outage Problem*) dan lima dalam kategori C (*Economic Problem*).

Berdasarkan perhitungan *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR), jadwal perawatan yang diusulkan meliputi Pulverizer Body setiap 115 hari, *Motor Pulverizer setiap* 76 hari, *Lube Oil System* setiap 15 hari, *Coal Feeder* setiap 25 hari, *Motor Coal Feeder* setiap 57 hari, serta sistem kontrol dan indikator masing-masing setiap 32 dan 46 hari. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem, meminimalkan *downtime*, dan mengoptimalkan biaya perawatan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Nugroho, 2024) menerapkan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada sistem penggerak *Grab Ship Unloader* (GSU) di PT Krakatau Bandar Samudera untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional. Proses RCM melibatkan identifikasi komponen kritis menggunakan diagram Pareto, analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), serta perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR). Komponen *wire rope* pada boom ditemukan sebagai komponen kritis dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi. Tindakan perawatan yang direkomendasikan meliputi *Time Directed* (TD) dengan inspeksi berkala dan *Condition Directed* (CD) dengan pergantian serta perbaikan kerusakan. Hasil perhitungan menunjukkan nilai MTTF sebesar 16.060 jam dan MTTR sebesar 41,061 jam, dengan interval penggantian komponen *wire rope* ditetapkan setiap 10.220,75 jam atau 426 hari. Penerapan metode ini berhasil meningkatkan keandalan sistem penggerak GSU dengan tingkat keandalan 55,93% dan biaya penggantian sebesar Rp225.956.000.

Penelitian yang dilakukan oleh (Ramadhan, 2023) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang dikombinasikan dengan *Age Replacement* untuk meningkatkan efektivitas pemeliharaan mesin produksi kertas Coated Duplex Board di PT. X Mojokerto. Analisis dilakukan dengan menentukan komponen kritis melalui pendekatan Pareto dari hasil *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Hasil penelitian menunjukkan interval penggantian optimal pada beberapa komponen, antara lain Bearing Screen 27 hari, Couchroll 5 selama 41 hari, HP Shower 41 hari, Long Felt 22 hari, Stretcher Long Felt 38 hari, Wire 1 selama 65 hari, Wire 9 selama 41 hari, Gearbox Dryer 19 hari, Bearing Dryer 25 hari, Canvas Roll 41 hari, Pulley Tali Rope 24 hari, Rotary 21 hari, dan Body Rotary 17 hari, dengan pemeriksaan rutin setiap 2–4 hari.

Nilai *availability* total berkisar antara 87% hingga 99%, menunjukkan bahwa usulan jadwal pemeliharaan mampu meningkatkan keandalan sistem, mengurangi *downtime*, serta mendukung kelancaran proses produksi.

Penelitian yang dilakukan oleh (Syam, 2020) dengan menerapkan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada mesin *CNC Wirecut K90* di PT X untuk mengatasi masalah kerusakan mesin mendadak yang menyebabkan *over* produksi. Metode RCM diimplementasikan melalui pemilihan sistem, pengumpulan informasi, analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), dan *Logic Tree Analysis* (LTA). Hasilnya, dari 20 mode kegagalan, 14 diatasi dengan *time condition directed* (CD) dan 6 dengan *run to failure* (RTF). Analisis FMEA mengidentifikasi *electrode pin*, *wire guide*, *filter*, dan *contact fit* sebagai komponen yang paling sering mengalami kegagalan fungsi. Berdasarkan analisis RCM, komponen *electrode pin*, *wire guide*, dan *contact fit* termasuk dalam kategori *run to failure* (RTF), sedangkan filter dalam kategori *condition direction* (CD) dengan rata-rata kegagalan 29,951 hari.

Penelitian yang dilakukan oleh (Puspita, 2023), bertujuan untuk meminimalkan *downtime* perangkat medis *Mension* di laboratorium rumah sakit dengan menerapkan metode *Age Replacement* dan *Group Replacement*. Metode yang digunakan meliputi penentuan mesin dan komponen kritis berdasarkan frekuensi kerusakan, perhitungan *Time To Failure (TTF)* dan *Time To Repair (TTR)*, serta penentuan interval penggantian preventif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan penggantian preventif yang diusulkan pada komponen *probe* R1 & R2 dan *cuvette window* dapat menghemat biaya perawatan hingga 89,13% dengan interval penggantian 42 hari, komponen *diafragma* sebesar 83,58% dengan interval 21 hari, *panel pump* sebesar 91,45% dengan interval 151 hari, dan komponen *lampu* sebesar 74,16% dengan interval 279 hari.

Penelitian dari (Prihananto, 2023) Penelitian ini melakukan analisis pada *Hydraulic Torque Wrench Machine* di PT XYZ dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan *Logic Tree Analysis (LTA)* guna meningkatkan efisiensi proses pemasangan baut pada *slew bearing*. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *Overall Equipment Efficiency (OEE)* rata-rata sebesar 18,53%, sedangkan nilai *Process Capability (CpK)* untuk proses pengencangan baut sebesar 0,67, yang

menandakan bahwa kualitas proses belum optimal. Proses pengencangan baut memiliki nilai *Risk Priority Number (RPN)* yang tinggi (di atas 125), namun dapat diturunkan menjadi 28 melalui penggunaan *manipulator arm* pada *torque tool* serta implementasi *Manufacturing Execution System (MES)*, sehingga dapat meningkatkan kualitas proses secara signifikan.

Penelitian (Pohan, 2023) Penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* untuk menentukan tindakan pemeliharaan preventif pada komponen mesin *screw press* di PT PAS, sebuah perusahaan pengolahan minyak sawit. Berdasarkan analisis *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan *Logic Tree Analysis (LTA)*, lima komponen kritis yang menjadi prioritas perbaikan adalah *worm screw*, *extension shaft*, *bearing*, *press cage*, dan *oil seal*. Interval waktu pemeliharaan yang diusulkan untuk masing-masing komponen adalah 307,84 jam untuk *worm screw* (jadwal penggantian setiap 2.035,3 jam), 279,5 jam untuk *extension shaft* (jadwal penggantian setiap 1.824,5 jam), 300,2 jam untuk *bearing* (jadwal penggantian setiap 1.492,5 jam), 286,1 jam untuk *oil seal* (jadwal penggantian setiap 2.769,9 jam), dan 250,72 jam untuk *press cage* (jadwal penggantian setiap 3.277,8 jam). Tindakan pemeliharaan dilakukan secara langsung berdasarkan usia komponen guna mencegah kerusakan lebih lanjut dan menjaga keandalan sistem produksi.

Penelitian (Nithin, 2021) Penelitian ini menggunakan metode *Reliability-Centered Maintenance (RCM)* untuk mengoptimalkan strategi pemeliharaan dan biaya pada komponen industri minyak dan gas lepas pantai, dengan pendekatan analisis probabilistik berbasis distribusi *Weibull*. Analisis *Pareto* menunjukkan bahwa 80% kegagalan berasal dari 20% komponen, dengan *centrifugal gas compressor* sebagai komponen kritis. Parameter distribusi *Weibull* ($\beta = 4$, $\eta = 20{,}7$ tahun) digunakan untuk memodelkan pola kegagalan berbasis usia, di mana biaya kegagalan tak terencana (£30.000) lebih tinggi dibandingkan penggantian terencana (£10.000). Hasil optimasi menunjukkan bahwa interval penggantian optimal untuk kegagalan berbasis usia adalah 116.000 jam operasi (*age replacement*) dan 107.000 jam (*block replacement*), sehingga memberikan solusi kuantitatif yang efisien dan hemat biaya untuk strategi pemeliharaan aset.

Penelitian (Nanda, 2023) menganalisis sistem pemeliharaan mesin *Cake Breaker Conveyor (CBC)* menggunakan metode *Reliability-Centered Maintenance (RCM)*. Metode ini mengidentifikasi komponen kritis melalui *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dengan fokus pada nilai *Risk Priority Number (RPN)* tertinggi, yang menghasilkan empat komponen utama dari 11 fitur mesin CBC, yaitu *bearing parts*, *universal joint*, *rod clutch*, dan *pen*. Berdasarkan analisis distribusi lognormal kerusakan, penelitian ini mengusulkan jadwal penggantian preventif: 461,5 jam untuk *pen*, 587,29 jam untuk *universal joint*, dan 536,46 jam untuk *rod clutch*.

Penelitian (Saputra, 2024) menggunakan metode *Reliability-Centered Maintenance (RCM)* dan *Age Replacement* untuk menentukan komponen kritis dan interval perawatan pada mesin bubut di PT Dok Perkapalan Kodja Bahari. Dari analisis *FMEA*, komponen dinamo teridentifikasi sebagai yang paling kritis dengan nilai *RPN* tertinggi sebesar 400 (*severity* 10 × *occurrence* 8 × *detection* 5). Hasil perhitungan menunjukkan nilai *Mean Time To Failure (MTTF)* sebesar 917,43 menit, menunjukkan bahwa komponen akan mengalami gejala kerusakan setelah beroperasi sekitar 3,15 hari. Sementara itu, *Mean Time To Repair (MTTR)* tercatat sebesar 460,83 menit (sekitar 8 jam). Interval pemeriksaan optimal ditentukan setiap 96,98 menit (sekitar 4,4 hari) untuk mencegah kegagalan fungsi.

Penelitian (Sulkifli, 2022) menggunakan metode *Reliability-Centered Maintenance (RCM)* untuk merancang program pemeliharaan pada mesin *Pulverizer Roll* di PT Perkebunan Nusantara XIV Pabrik Gula Camming. Analisis dilakukan terhadap komponen-komponen yang paling sering mengalami kerusakan, dan ditentukan interval pemeliharaan optimal: *standard milk check* setiap 18 hari (8 kali dalam 5 bulan), *feeder roll* setiap 21 hari (7 kali dalam 5 bulan), *scrapper* setiap 4 hari (38 kali dalam 5 bulan), dan *chute* setiap 5 hari (30 kali dalam 5 bulan). Strategi pemeliharaan merupakan kombinasi antara *preventive maintenance* berdasarkan jadwal interval dan *corrective maintenance* dengan persiapan suku cadang selama pemeriksaan, sehingga berhasil mengurangi *downtime* mesin dari rata-rata 15,07% per tahun.

penelitian (Dzulyadain, 2021) menerapkan metode *Reliability-Centered Maintenance (RCM)* dengan analisis *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*

(FMECA) pada perusahaan industri otomotif untuk mengoptimalkan kebijakan pemeliharaan mesin *press* kritis. Penelitian ini menggunakan matriks risiko untuk mengidentifikasi subsistem kritis, dan menemukan bahwa subsistem rem memiliki nilai *RPN* tertinggi sebesar 16. Dengan pendekatan *RCM*, diusulkan kebijakan pemeliharaan yang terdiri atas dua tugas *scheduled on-condition* dengan interval 2,55 bulan dan dua tugas *scheduled restoration* dengan interval 5,39 bulan, yang secara keseluruhan mampu menurunkan biaya pemeliharaan hingga 25% dibandingkan metode sebelumnya.

Penelitian dari (Harma, 2024) menggunakan metode *FMEA* dan *RCM* dalam analisis pemeliharaan mesin *PCR*, dengan temuan bahwa poros engkol merupakan sumber kerusakan dominan dengan kontribusi *RPN* sebesar 17,07%. Analisis *RCM* menunjukkan bahwa nilai *MTTF* komponen berkisar antara 1.433,4 hingga 1.811 jam, dengan komponen motor listrik memiliki *MTTF* terlama. Rekomendasi perbaikan meliputi pengecekan rutin poros engkol, pemeliharaan *gearbox* (meliputi oli, sirkulasi, dan penggantian komponen), serta inspeksi dan penggantian *bearing* secara berkala untuk meningkatkan keandalan proses produksi teh.

Penelitian (Kusuma, 2020) menerapkan metode *Reliability-Centered Maintenance (RCM)* pada mesin *Jointing* di Plant KT 24 PT Bakrie Pipe Industries. Tahapan implementasi meliputi analisis *Fault Tree Analysis (FTA)* untuk mengidentifikasi komponen rentan gagal, *FMEA* untuk memprioritaskan perawatan, dan klasifikasi tingkat konsekuensi kegagalan dengan *Logic Tree Analysis (LTA)*. Hasilnya menunjukkan bahwa *roller blade* (dengan mode kegagalan terjepit) memiliki *RPN* tertinggi sebesar 168 akibat kerusakan *bantalan roda pemandu*. Komponen lain seperti *indexing clamp*, *torch*, *nozzle*, *bushing torch*, dan *cooler torch hose* juga ditetapkan sebagai prioritas perawatan. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam menyusun strategi perawatan yang efektif untuk menjaga performa mesin dan meminimalkan *downtime*.

.

2.2 Landasan Teori

Landasan teori adalah dasar pemikiran yang digunakan untuk mendukung dan menjelaskan topik yang sedang diteliti. Teori ini diambil dari berbagai sumber seperti

buku, jurnal, dan penelitian sebelumnya yang sudah terbukti kebenarannya. Dengan adanya landasan teori, penelitian menjadi lebih jelas dan terarah, karena peneliti punya acuan untuk membahas masalah yang diangkat.

2.2.1 Maintenance

Menurut (Smith, 2003) *maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan peralatan, mesin, atau sistem agar tetap berfungsi dengan optimal dan memiliki umur pakai yang lebih panjang. Proses ini mencakup inspeksi, perbaikan, penggantian komponen, serta tindakan pencegahan untuk menghindari kerusakan yang dapat mengganggu operasional.

2.2.2 *Maintenance Management*

Menurut (Smith, 2003) manajemen perawatan adalah cara mengatur dan menjalankan kegiatan perawatan agar mesin atau sistem dapat berfungsi dengan baik dan bertahan lama. Hal ini mencakup perencanaan, pengorganisasian, pengelolaan tenaga kerja, serta pengawasan pelaksanaan perawatan. Manajemen perawatan diterapkan di berbagai tempat, seperti industri manufaktur, fasilitas komersial, maupun sistem pemeliharaan berkelanjutan yang bertanggung jawab atas keandalan suatu sistem. Beberapa hal penting dalam manajemen perawatan meliputi penentuan tugas perawatan, pembagian tanggung jawab, penyusunan jadwal perawatan, perencanaan biaya, serta evaluasi program yang telah dilakukan. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi kerja, mengurangi risiko kerusakan mesin, dan memastikan operasional berjalan lancar.

2.2.3 Jenis jenis perawatan

Proses pemeliharaan ini melibatkan berbagai tindakan seperti pengujian, pengukuran, penggantian komponen, penyesuaian sistem, hingga perbaikan jika ditemukan kerusakan atau keausan. Menurut (Smith, 2003) dalam dunia industri, terdapat beberapa jenis *maintenance*, yaitu:

1. *Corrective Maintenance*

   Corrective maintenance merupakan perawatan yang dilakukan setelah alat mengalami kerusakan atau tidak berfungsi. Tim *maintenance* akan mencari penyebab, mengganti komponen yang rusak, dan mengatur ulang sistem agar alat bisa berjalan normal. Perawatan ini bersifat reaktif karena dilakukan setelah masalah muncul.

2. *Preventive Maintenance*

   Preventive maintenance merupakan perawatan rutin yang dilakukan sebelum alat mengalami kerusakan, dengan tujuan mencegah gangguan saat alat sedang beroperasi. Jadwal perawatannya ditentukan berdasarkan umur pakai dan tingkat pemakaian, sehingga bisa mengurangi *downtime* dan mencegah kerusakan secara mendadak.

3. *Predictive Maintenance*

   Pemeliharaan ini dikenal sebagai *condition maintenance*, yaitu teknik yang digunakan untuk memprediksi waktu yang tepat untuk melakukan perawatan. Metode ini menawarkan penghematan biaya yang lebih baik dibandingkan perawatan rutin atau yang berbasis jadwal waktu.

4. *Breakdown Maintenance*

   Selain ketiga jenis tadi, ada juga *breakdown maintenance*. Perawatan ini dilakukan ketika alat sudah benar-benar rusak dan tidak bisa digunakan lagi. *Breakdown maintenance* biasanya terjadi secara tiba-tiba dan tanpa jadwal (*unscheduled shutdown*), yang tentu saja tidak diharapkan, apalagi di pabrik yang beroperasi 24 jam dengan target produksi tertentu. Kerusakan seperti ini bisa menghambat produksi dan menyebabkan kerugian, sehingga perusahaan berusaha mencegahnya lewat *preventive* atau *predictive maintenance*.

2.2.4 *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

RCM (*Reliability-Centered Maintenance*) adalah pendekatan pemeliharaan yang berfokus pada identifikasi dan prioritisasi komponen atau sistem yang memiliki dampak signifikan terhadap keandalan dan keselamatan operasional (Moubray, 2001). Metode ini bertujuan untuk menentukan strategi pemeliharaan yang paling efektif berdasarkan kondisi dan karakteristik kegagalan peralatan, dengan mempertimbangkan faktor kegagalan, risiko, dan dampaknya terhadap operasi.

2.2.5 *Functional Block Diagram* (FBD)

Menurut (Smith, 2003), *Functional Block Diagram* (FBD) merupakan sebuah diagram yang menampilkan komponen-komponen dalam suatu sistem dalam bentuk balok. Diagram ini dibuat untuk memudahkan pemahaman terhadap struktur dan hubungan antar

komponen dalam sistem, seperti apakah terhubung secara seri atau paralel, serta apakah terdapat elemen redundansi. Informasi dari FBD ini sangat berguna untuk analisis lanjutan, terutama dalam mengevaluasi keandalan sistem atau melakukan analisis secara kuantitatif.

Sederhananya, FBD adalah gambaran sistem yang disusun dalam bentuk balok-balok untuk menunjukkan hubungan antar komponen. Dengan FBD ini bisa lebih mudah melihat alur kerja sistem dan melakukan evaluasi terhadap kinerja atau keandalannya.

2.2.6 *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Menurut (A.A.Nannikar, 2012) FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) adalah teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengurangi potensi kegagalan pada sistem, desain, proses, atau layanan sebelum berdampak pada konsumen.

Dalam konteks RCM, FMEA membantu menentukan bagaimana suatu komponen bisa gagal, apa dampak dari kegagalan tersebut, serta bagaimana prioritas penanganannya. Tujuan utama penerapan FMEA dalam RCM adalah untuk mencegah kegagalan sebelum terjadi, meningkatkan keandalan peralatan, dan merancang strategi pemeliharaan yang tepat sesuai dengan tingkat risiko dari setiap mode kegagalan. Adapun Langkah-langkah dalam proses FMEA adalah sebagai berikut (Firdaus, 2015):

1. Mengidentifikasi fungsi pada komponen mesin
2. Mengidentifikasi *failure* mode pada komponen mesin
3. Mengidentifikasi penyebab kegagalan pada komponen mesin
4. Mengidentifikasi potensi efek dari kegagalan komponen mesin
5. Menentukan rating terhadap *severity*, *occurance*, *detection* dan RPN pada komponen mesin
6. Memberikan usulan perbaikan

Berikut ini merupakan contoh bentuk tabel dari FMEA:

Tabel 1. 1 Bentuk Tabel FMEA

***Machine*:**

No	*Equipment*	*Function*	*Failure Mode*	*Failure Cause*	*Failure Effect*	*S*	*O*	*D*	RPN

Adapun rumus untuk menentukan nilai RPN sebagai berikut:

RPN = S (*Severnity*) x O (*Occurance*) x D (*Detection*) (2.1)

Hasil dari perhitungan RPN akan menentukan komponen mana yang memiliki prioritas untuk ditangani yang dimana nilai RPN yang semakin tinggi menunjukkan bahwa suatu mode kegagalan memiliki risiko yang besar, baik dari segi dampak, kemungkinan terjadinya, maupun sulitnya dideteksi. Oleh karena itu, kegagalan dengan RPN tinggi perlu mendapatkan prioritas penanganan lebih dahulu. Sebaliknya, nilai RPN yang semakin rendah menandakan bahwa risiko kegagalan tersebut relatif kecil dan dapat ditangani dengan prioritas yang lebih rendah. Adapun penjelasan dari penyusun komponen RPN sebagai berikut (Stamatis, 2003):

a. Severnity

Severnity merupakan bentuk penilaian terhadap tingkat keparahan dari suatu efek atau konsekuensi akibat potensi kegagalan pada suatu komponen yang dapat memengaruhi kinerja mesin yang sedang dianalisis. Penilaian ini menggunakan skala 1 hingga 10, di mana nilai 10 menunjukkan dampak paling serius.

Tabel 2. 1 Skala *Severnity*

Keterangan	Tingkat Kegagalan	Skala
Tidak ada dampak, mesin tetap berjalan normal.	Tidak Ada	1
Kegagalan kecil sekali, tidak ganggu kerja mesin.	Sangat Ringan	2
Dampak hampir tidak terasa, hanya gangguan minor.	Ringan	3
Gangguan kecil, tidak pengaruhi fungsi utama.	Minor	4
Ada gangguan, tapi mesin masih bisa digunakan.	Moderat	5
Hasil kerja jadi lambat, perlu diperbaiki tapi tidak darurat.	Significant	6

Mesin tetap bisa jalan, tapi performanya jauh menurun.	Major	7
Kerusakan cukup besar, proses terhenti cukup lama.	Ekstrim	8
Mesin rusak parah, produksi terganggu besar, butuh perbaikan segera.	Serius	9
Mesin berhenti total, bisa sebabkan kecelakaan serius atau kerugian besar.	Berbahaya	10

b. *Occurance*

Occurrence merupakan ukuran yang menunjukkan seberapa sering atau seberapa besar kemungkinan suatu mode kegagalan dapat terjadi. *Occurrence* menggambarkan tingkat frekuensi potensi kegagalan muncul selama sistem atau proses berjalan. Penilaian ini juga menggunakan skala 1 hingga 10, di mana semakin kecil nilainya maka kemungkinan kegagalan sangat kecil atau jarang terjadi dan semakin besar nilainya maka kegagalan sangat mungkin terjadi atau sering terjadi.

Tabel 2. 2 Skala *Occurrence*

Kategori Waktu Kejadian	**Frekuensi Kegagalan**	**Skala**
> 1 tahun	Tidak Mungkin Terjadi/lebih dari setahun	1
6 bulan – < 1 tahun	Sangat Tidak Mungkin	2
3 bulan – < 6 bulan	Hampir Tidak Pernah	3
2 bulan – < 3 bulan	Sangat Jarang	4
1,5 bulan – < 2 bulan	Jarang	5
1 bulan – < 1,5 bulan	Kadang-kadang	6
3 minggu – < 1 bulan	Lumayan Sering	7
2 minggu – < 3 minggu	Cukup Sering	8
1 minggu – < 2 minggu	Sering	9
< 1 minggu	Sangat Sering	10

c. *Detection*

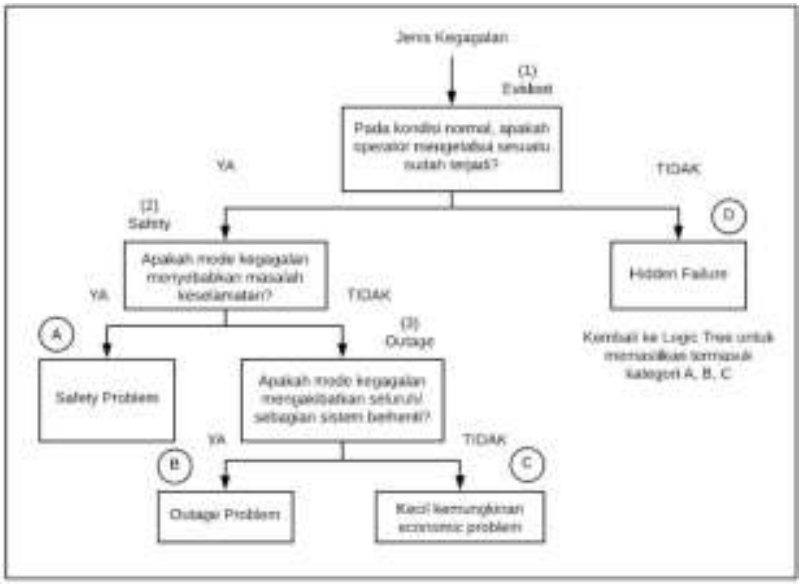
Detection digunakan untuk menunjukkan seberapa besar kemampuan sistem atau proses untuk mendeteksi suatu mode kegagalan sebelum berdampak pada penggunaan atau dalam prosesnya. Dengan ini detection digunakan untuk menilai efektivitas mekanisme pengendalian yang ada dalam menemukan potensi kegagalan. Penilaiannya pun sama dapat menggunakan skala 1 hingga 10, yang dimana semakin kecil nilainya maka kegagalannya sangat mungkin terdeteks dan semakin besar nilainya maka kegagalannya sangat sulit dideteksi atau bahkan tidak dapat terdeteksi.

Tabel 2. 3 Skala *Detection*

Keterangan	Deteksi	Skala
hampir selalu bisa mendeteksi kegagalan.	Hampir Pasti	1
kegagalan hampir selalu bisa diketahui.	Sangat Tinggi	2
biasanya bisa mendeteksi kegagalan.	Tinggi	3
tapi masih ada kemungkinan gagal terdeteksi.	Agak Tinggi	4
kadang bisa mendeteksi kegagalan, kadang tidak.	Sedang	5
sering tidak bisa mendeteksi kegagalan.	Rendah	6
jarang bisa mendeteksi kegagalan.	Sangat Rendah	7
kegagalan hampir selalu tidak terdeteksi.	Kecil	8
sangat kecil kemungkinan bisa mendeteksi kegagalan.	Sangat Kecil	9
kegagalan sama sekali tidak bisa diketahui sebelumnya.	Hampir Mustahil	10

2.2.7 *Logic Tree Analysis* (LTA)

Menurut (Smith, 2003) *Logic Tree Analysis* (LTA) adalah metode analisis yang digunakan untuk mengklasifikasikan mode kegagalan dengan cara mengelompokkan kegagalan tersebut ke dalam kategori tertentu, sehingga memudahkan dalam menentukan tugas pemeliharaan mesin. LTA berfungsi sebagai pemetaan mode kegagalan berdasarkan konsekuensinya. Tujuan dari LTA adalah memberikan prioritas pada setiap mode kegagalan dan meninjau seberapa besar dampak dari kegagalan fungsi tersebut. Berikut merupakan gambar dari struktur LTA menurut (Smith, 2003) :



Gambar 2. 1 *Logic Tree Analysis*

Dalam gambar tersebut terdapat Empat hal yang penting dalam analisis kekritisan yaitu sebagai berikut:

1. *Evident*, yaitu apakah operator dapat menyadari adanya gangguan pada sistem saat mesin dalam kondisi operasi normal.
2. *Safety*, yaitu menilai apakah mode kegagalan tersebut berpotensi menimbulkan risiko terhadap keselamatan.
3. *Outage*, yaitu apakah kerusakan yang terjadi dapat menyebabkan mesin berhenti beroperasi.
4. *Category*, yaitu klasifikasi yang ditentukan berdasarkan jawaban dari pertanyaan-pertanyaan sebelumnya. Pada bagian ini, komponen dalam *Logic Tree Analysis* (LTA) diklasifikasikan ke dalam empat kategori utama. Yaitu:
    1. Kategori A, Masalah Keselamatan (*Safety Problem*), yaitu mode kegagalan yang dapat mengganggu keselamatan operator dan lingkungan.
    2. Kategori B, Masalah Gangguan Operasi (*Outage Problem*), yaitu mode kegagalan yang menyebabkan kerusakan sebagian atau seluruh sistem, sehingga menimbulkan kerugian biaya.

3. Kategori C, Masalah Ekonomi (*Economic Problem*), yaitu mode kegagalan yang tidak berdampak pada keselamatan maupun gangguan sistem, tetapi mengakibatkan kerugian secara ekonomi dalam skala kecil.
4. Kategori D, Kegagalan Tersembunyi (*Hidden Failure*), yaitu jenis kegagalan yang sulit terdeteksi karena tidak terlihat langsung oleh operator.

Berikut merupakan format tabel untuk *Logic Tree Analysis*:

Tabel 2. 4 Bentuk Tabel LTA

***Machine*:**							
No	***Equipment***	***Function***	***Failure Mode***	***Critical Analysis***			
				Evident	***Safety***	***Outage***	***Category***

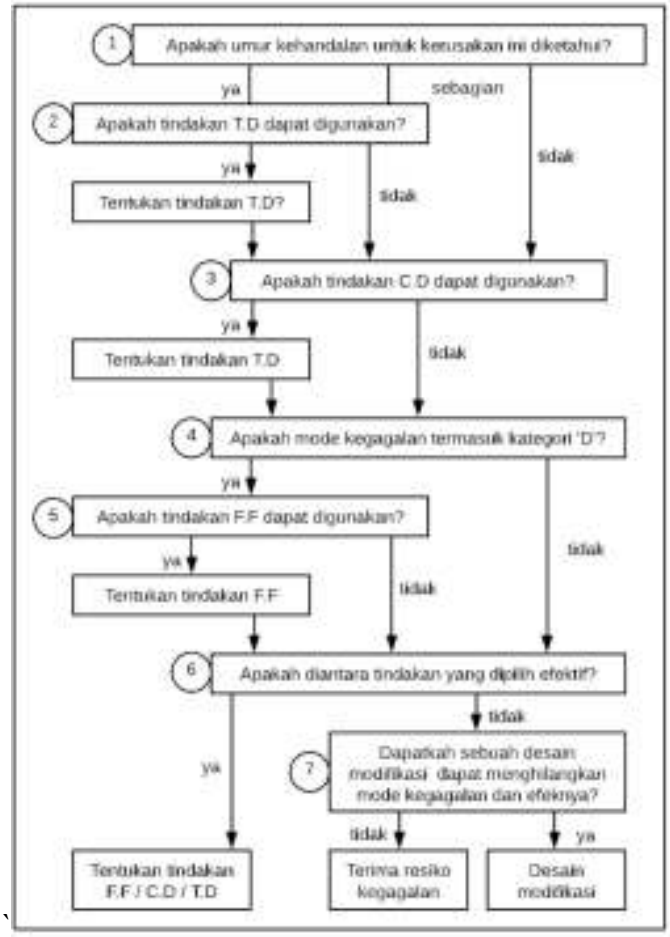
2.2.8 *Task Selection* (TS)

Menurut (Smith, 2003) *Task Selection* adalah proses pemilihan jenis tindakan pemeliharaan yang paling tepat untuk mencegah atau mengatasi suatu kegagalan fungsi pada komponen atau peralatan. Pemilihan tugas ini dilakukan berdasarkan hasil analisis kegagalan, dampak, dan penyebabnya, sehingga langkah perawatan yang diambil bisa efektif dalam menjaga keandalan sistem.

Dalam RCM, *Task Selection* membantu menentukan apakah tindakan perawatan yang dibutuhkan berupa:

1. *Time Directed* (TD) — penggantian atau perawatan berkala,
2. *Condition Directed* (CD) — pemeliharaan berdasarkan kondisi,
3. *Failure Finding* (FF) — pemeriksaan untuk mendeteksi kegagalan tersembunyi,

Berikut merupakan gambar dari struktur TS menurut (Smith, 2003) :



Gambar 2. 2 *Task Selection*

Berikut merupakan format tabel untuk *Task Selection*:

Tabel 2. 5 Bentuk Tabel *Task Selection*

***Machine*:**											
No	***Equipment***	***Function***	***Failure Mode***	***Critical Analysis***							***Category***
				1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	

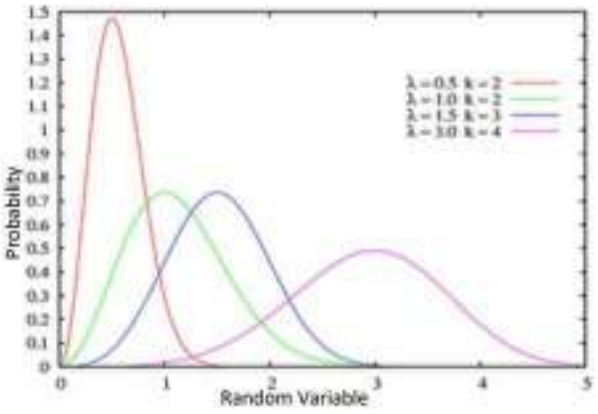
2.2.9 Fungsi Distribusi

Fungsi distribusi adalah alat statistik yang digunakan untuk menggambarkan sebaran atau pola probabilitas dari suatu data, yang menunjukkan kemungkinan terjadinya suatu nilai dalam rentang tertentu pada variabel acak. Fungsi ini sangat penting dalam proses analisis

karena membantu memprediksi perilaku sistem, memperkirakan tingkat kerusakan, umur pakai, dan dapat menentukan strategi perawatan yang lebih tepat berdasarkan pola data yang sudah diamati. Yang dimana fungsi ditribusi terdapat 4 yaitu distribusi Weibull, Log Normal, Normal, dan Eksponensial.

a. Distribusi *Weibull*

Menurut (Pohan, 2023) Distribusi *Weibull* adalah distribusi probabilitas yang digunakan untuk memodelkan waktu kegagalan suatu komponen, karena fleksibilitasnya dalam menggambarkan pola kegagalan yang meningkat, menurun, atau konstan berdasarkan parameter bentuk (Beta) dan skala (Theta).



Gambar 2. 3 Kuva Distribusi *Weibull*

Berikut merupakan beberapa fungsi dari distribusi *Weibull* (Andrew, 2013):

1. Fungsi Keandalan (*Reliability*)

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right] \quad (2.2)$$

2. Fungsi Kepadatan Probabalitas (*Probability Density*)

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta}\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right] \quad \text{untuk } t \geq 0 \quad (2.3)$$

3. Peran Kalkulasi Kerusakan (*Cummulative Density*)

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right] \quad (2.4)$$

4. Peran Tingkat Kerusakan (*Hazzard Rate*)

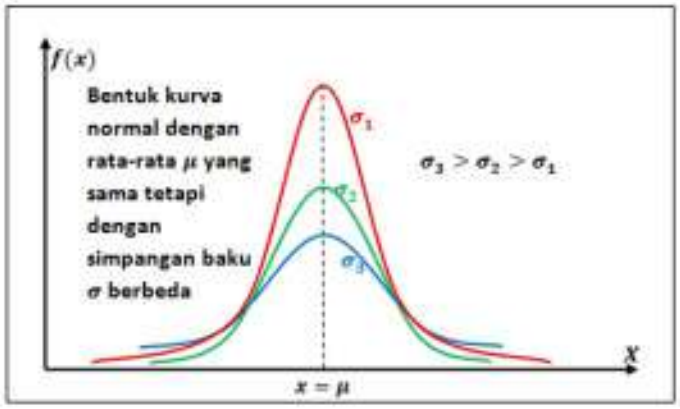
$$h(\square) = \frac{\beta}{\theta}\left(\frac{\square}{\theta}\right)^{\square\square-1} \quad (2.5)$$

Keterangan:

- β (Beta) = parameter bentuk (*shape* parameter)
- θ (Teta) = parameter skala (*scale* parameter)
- t = waktu

b. Distribusi *Normal*

Distribusi *Normal* adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam memodelkan pola kegagalan dan keausan pada suatu komponen karena sifatnya yang simetris dan mudah diterapkan dalam perhitungan probabilitas. Distribusi ini memiliki bentuk kurva menyerupai lonceng (*bell-shaped*) yang menggambarkan data tersebar merata di sekitar nilai rata-rata.



Gambar 2. 4 Kurva Distribusi *Normal*

Karakteristik distribusi ini ditentukan oleh dua parameter penting, yaitu *mean* (μ) sebagai pusat distribusi dan *standard deviation* (σ) yang menunjukkan seberapa jauh data menyebar dari nilai rata-ratanya. Selain itu, distribusi *Normal* juga kerap menjadi dasar dalam menganalisis data *lognormal* dalam konteks keandalan sistem. Berikut merupakan beberapa fungsi dari distribusi *Normal* (Andrew, 2013):

1. Peran Keandalan (*Reliability*)

$$\square(\square) = 1 - \Phi\left(\frac{\square - \mu}{\sigma}\right)^{\square\square-1} \quad (2.6)$$

2. Peran Kepadatan Probabalitas (*Probability Density*)

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\sigma}} \exp \frac{(t - \mu)^2}{2\sigma} \text{ dimana } -\infty < t < \infty \quad (2.7)$$

3. Peran Kalkulasi Kerusakan (*Cummulative Density*)

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.8)$$

4. Peran Tingkat Kerusakan (*Hazzard Rate*)

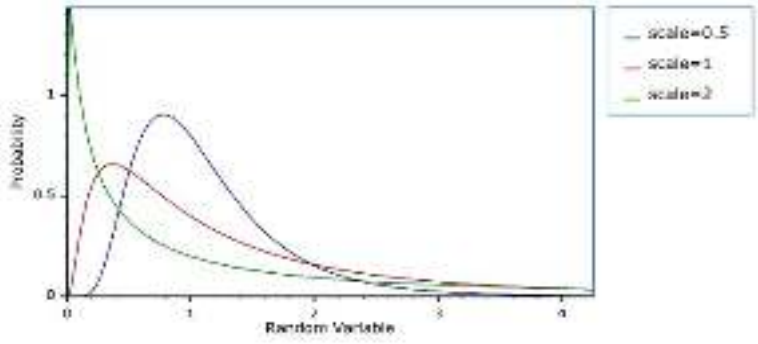
$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)} \quad (2.9)$$

Keterangan:

- μ = nilai Tengah
- σ = standar deviasi
- t = waktu

c. Distribusi *Lognormal*

Distribusi *Lognormal* memiliki ciri khas yang ditentukan oleh dua parameter utama, yaitu parameter bentuk dan parameter lokasi (tmed) yang berperan dalam menggambarkan sebaran data waktu kerusakan komponen. Distribusi ini banyak digunakan dalam keandalan karena pola datanya yang asimetris dan cocok untuk mewakili waktu hidup komponen yang nilainya tidak bisa negatif. Selain itu, Distribusi *Weibull* juga kerap dianggap sebagai pengembangan dari distribusi *Lognormal* karena keduanya memiliki karakteristik serupa dalam menggambarkan kegagalan komponen, terutama dalam konteks analisis umur pakai.



Gambar 2. 5 Kurva Distribusi *Lognormal*

Berikut merupakan beberapa fungsi dari distribusi *Lognormal* (Andrew, 2013):

1. Peran Keandalan (*Reliability*)

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right) = 1 - F(t) \quad (2.10)$$

2. Peran Kepadatan Probabalitas (*Probability Density*)

$$f(t) = \frac{1}{t.\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln t}{s_{tmed}}\right]^2} \text{ Dimana } s > 0, tmed > 0, \text{dan } t > 0 \quad (2.11)$$

3. Peran Kalkulasi Kerusakan (*Cummulative Density*)

$$F(t) = \Phi\left(\frac{1}{s}\left(\frac{t}{t_{med}}\right)\right) \quad (2.12)$$

4. Peran Tingkat Kerusakan (*Hazzard Rate*)

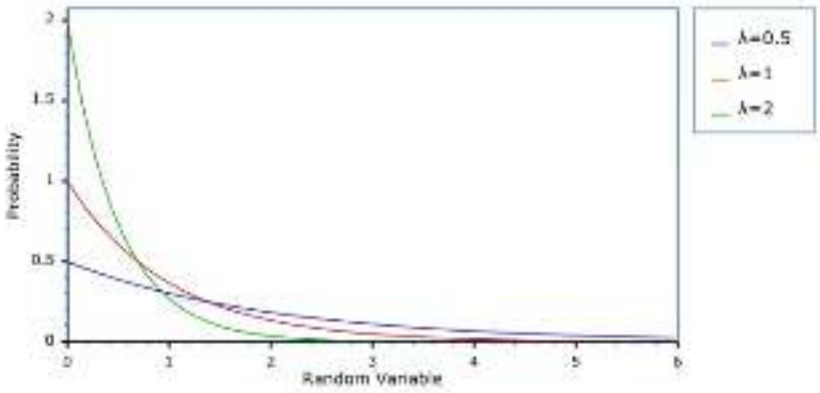
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)} \quad (2.13)$$

Keterangan:

- Tmed = parameter lokasi (*location parameter*)
- s = parameter bentuk
- t = waktu

d. Distribusi *Eksponensial*

Distribusi *Eksponensial* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memodelkan selang waktu antara dua kejadian, seperti waktu antar kerusakan pada suatu komponen. Distribusi ini memiliki karakteristik tingkat kegagalan yang konstan sepanjang waktu, artinya peluang kerusakan tidak dipengaruhi oleh usia atau lamanya pemakaian alat. Parameter utama dalam distribusi ini adalah λ (lamda), yang merepresentasikan rata-rata tingkat kegagalan. Secara matematis, distribusi ini dinyatakan dengan $\lambda(t) = \lambda$, untuk $t \geq 0$ dan $\lambda > 0$, yang menegaskan bahwa laju kegagalan bersifat tetap seiring berjalannya waktu.



Gambar 2. 6 Skala Distribusi *Eksponensial*

Berikut merupakan beberapa fungsi dari distribusi *Eksponensial* (Andrew, 2013):

1. Peran Keandalan (*Reliability*)

$$R(t) = e^{-\lambda.t} \quad (2.14)$$

2. Peran Kepadatan Probabalitas (*Probability Density*)

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

3. Peran Kalkulasi Kerusakan (*Cummulative Density*)

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda.t} \quad (2.16)$$

4. Peran Tingkat Kerusakan (*Hazzard Rate*)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.17)$$

Keterangan:

- λ = rata-rata datangnya kerusakan
- t = waktu

2.2.10 Identifikasi Distribusi Antar Waktu Kerusakan dan Waktu Perbaikan

Identifikasi distribusi antar waktu kerusakan dan waktu perbaikan dari suatu komponen bisa dianalisis dengan metode pendekatan kurva menggunakan *least square curve fitting* (LSCF).

Pada proses ini, pemilihan kurva didasarkan pada nilai e. *Index Of Fit* (r) tertinggi, karena semakin besar nilai r, semakin baik kurva tersebut mewakili data. Metode ini bertujuan untuk mencari kurva terbaik melalui perhitungan kuadrat terkecil (Saputra,

2024). Adapun langkah langkah untuk menentukan identitas distribusi awal setiap distribusi (Ebeling, 2010):

a. Distribusi *Exponensial*

$$\square_i = \square_i \tag{2.18}$$

$$\square_i = \ln\left(\frac{1}{1 - \square_{(t\square\square)}}\right) \tag{2.19}$$

b. Distribusi *Normal*

$$\square_i = \square_i \tag{2.20}$$

$$\square_i = \square_i = \Phi^{-1}\left[\square_{(t\square\square)}\right] \tag{2.21}$$

c. Distribusi *Lognormal*

$$\square_i = \square\square\ \square_i \tag{2.22}$$

$$\square_i = \square_i = \Phi^{-1}\left[\square_{(t\square\square)}\right] \tag{2.23}$$

d. Distribusi *Weibull*

$$\square_i = \square\square\ \square_i \tag{2.24}$$

$$\square_i = \ln\left(\frac{1}{1 - \square_{(t\square\square)}}\right) \tag{2.25}$$

e. Nilai Tengah kerusakan (*medium rank*)

$$\square_{(t\square\square)} = \frac{\square - 0{,}3}{\square + 0{,}4} \tag{2.26}$$

Dimana:

- i = data waktu ke i
- n = jumlah data kerusakan

f. *Index Of Fit* (r)

$$\square = \frac{\square \sum^{\square} \square\square\square\square - \left(\sum_{i=1}^{\square} \square\square\right)\left(\sum_{i=1}^{\square} \square\square\right)}{\sqrt{\left[\sum_{\square\square=1}^{\square} \square\square^2 - \left(\sum^{\square} \square\square\right)^2\right]\left[\sum^{\square} \square\square^2 - \left(\sum^{\square\square} \square\square\right)^2\right]}} \tag{2.27}$$

2.2.11 Uji *Goodnees Of Fit*

Menurut (Puspita, 2023) Uji *Goodness of Fit* adalah metode statistik yang digunakan untuk menguji sejauh mana data hasil pengamatan sesuai atau cocok dengan distribusi probabilitas tertentu, seperti distribusi *normal*, *lognormal*, *eksponensial*, atau *Weibull*.

Melalui pengujian ini, peneliti dapat menentukan apakah model distribusi yang dipilih benar-benar mewakili pola data yang terjadi di lapangan atau tidak.

Tujuan utama dari uji *Goodness of Fit* adalah untuk memastikan bahwa model distribusi yang terpilih atau digunakan dalam analisis dapat diandalkan sebagai dasar pengambilan keputusan, peramalan, maupun perencanaan strategi perawatan. Dengan distribusi yang sesuai, proses analisis data menjadi lebih akurat sehingga mendukung tindakan dan efisiensi dalam pengelolaan keandalan sistem atau komponen. Ada pun uji yang digunakan dalam pengujian *goodness of fit* adalah sebagai berikut (Ebeling, 2010):

a. *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk Pengujian Distribusi *Normal* dan *Lognormal*

   □0: data *time to faillure* berdistribusi normal atau lognormal

   □1: data *time to failure* tidak berdistribusi normal atau lognormal

   $$□_□ = □□□(□1, □2) \quad (2.28)$$

   $$□_1 = \max\{\Phi(\frac{□□ - □}{□}) - (\frac{□ - 1}{□})\} \quad (2.29)$$

   $$□_2 = \max\{(\frac{□}{□}) - \Phi(\frac{□□ - □}{□})\} \quad (2.30)$$

   $$□ = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{□} (□□ - □□□□)^z}{}} \quad (2.31)$$

   Keterangan:

   - ti = *time to failure* ke-i
   - ti = ln (ti) (*lognormal*)
   - tbar = rata-rata *time to failure*
   - s = standar deviasi
   - n = banyaknya data

   Jika □□ < □□□□□ maka □0 diterima. Nilai □□□□□ dapat dilihat pada tabel *critical values for Kolmogorov-Smirnov Test for Normality*.

b. *Mann Test's* untuk Pengujian Distribusi *Weibull*

   H0: data *time to faillure* berdistribusi *Weibull*

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

$$M = \frac{\square_1 \sum [(\square\square\square_{i+1} - \square\square\square_i)/M \quad \square]}{\square_2 \sum [(\square\square\square_{\square\square+1} - \square\square\square_i)/\square\square_\square]} \tag{2.32}$$

$$\square_1 = [\frac{\square}{\square}] \tag{2.33}$$

$$\square_2 = [\frac{\square - 1}{\square}] \tag{2.34}$$

$$\square\square_i = \square_{\square\square+1} - \square_i \tag{2.35}$$

$$\square_i = \ln [- \square\square (\frac{\square - 0,5}{\square + 0,25})] \tag{2.36}$$

Keterangan:

- ti = data antar waktu kerusakan ke- i
- n = jumlah data antar waktu kerusakan komponen
- M1 = nilai pendekatan *Mann test* untuk data ke-i
- M = nilai perhitungan *Weibull*
- $\square\square_{0,05;k2;kl}$ = nilai distribusi *Weibull*
- r = banyaknya data

Bila $Mh\square\square\square\square\square$ < $\square\square\square\square\square$ maka $\square 0$ diterima. Nilai $\square\square\square\square\square$ diperoleh dari tabel distribusi F dengan α = 0,05

c. *Barlett Test* untuk Pengujian Distribusi *Ekponensial*

$\square 0$: Data *time to failure* berdistribusi *ekponensial*

$\square 1$: data *time to failure* tidak berdistribusi *eksponensial*

$$\square = \frac{2\square [(\square\square (\frac{1}{\sum^{r}}) \quad \square\square) - ((\frac{1}{\sum^{r}}) \quad \square\square)]}{1 + (\square + 1)/(6\square)} \tag{2.37}$$

Keterangan:

- ti = waktu kerusakan ke-i
- r = jumlah kerusakan

Data waktu kerusakan berdistribusi *eksponensial* apabila:

$$\square^2_{(1-\frac{\square\square}{2},\square\square-1)} < \square < \square^2_{(1-\frac{\square\square}{2},\square\square-1)} \tag{2.38}$$

2.2.12 *Mean Time To Failure* (MTTF)

Menurut (Ebeling, 2010) *Mean Time To Failure* (MTTF) adalah estimasi rata-rata waktu yang dibutuhkan oleh suatu mesin atau komponen untuk mengalami kerusakan berdasarkan data distribusi kegagalannya. Nilai ini digunakan sebagai dasar untuk memprediksi umur pakai peralatan sebelum mengalami gangguan, sehingga perusahaan dapat merencanakan pemeliharaan atau penggantian secara lebih tepat waktu. Dengan mengetahui MTTF, proses produksi dapat berjalan lebih efisien karena potensi kerusakan mendadak dapat diminimalkan.

Dengan ini MTTF merupakan nilai rata-rata waktu beroperasinya sebuah komponen atau mesin sampai mengalami kerusakan. Adapun rumus MTTF dari masing masing distribusi sebagai berikut (Ebeling, 2010):

a. Distribusi *Weibull*

$$M = \theta.\Gamma(1+\frac{1}{\beta}) \quad (2.39)$$

Keterangan:

- θ = *scale* parameter yang mempengaruhi nilai tengah dari pola data.
- β = *shape* parameter yang mempengaruhi laju kerusakan.

b. Distribusi *Exponensial*

$$M = \frac{1}{\lambda} \quad (2.40)$$

Keterangan:

- λ = rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi.

c. Distribusi *Normal*

$$M = \mu \quad (2.41)$$

Keterangan:

- μ = nilai tengah

d. Distribusi *Lognormal*

$$M = _{\text{med}}. \exp^{\frac{2}{2})} \quad (2.42)$$

Keterangan:

- = parameter lokasi (nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan)

- □ = parameter bentuk (*shape* parameter)

2.2.13 *Mean Time To Repair* (MTTR)

Menurut (Ebeling, 2010) *Mean Time To Repair* (MTTR) adalah rata-rata waktu yang diperlukan untuk memperbaiki suatu mesin atau komponen hingga kembali beroperasi normal setelah mengalami kerusakan. Nilai ini mencerminkan kecepatan tim pemeliharaan dalam menangani dan menyelesaikan proses perbaikan pada peralatan yang bermasalah. Semakin rendah nilai MTTR, maka semakin cepat mesin dapat berfungsi kembali, sehingga mengurangi waktu henti produksi dan meminimalkan kerugian operasional.

Singkatnya *Mean Time To Repair* (MTTR) merupakan ukuran rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki dan memulihkan fungsi normal suatu mesin atau komponen setelah terjadi kerusakan. Adapun rumus MTTR dari masing masing distribusi sebagai berikut (Ebeling, 2010):

a. Distribusi *Weibull*

$$M\square\square\square = \alpha.\Gamma(1+\frac{1}{\beta}) \quad (2.43)$$

Keterangan:

- θ = *scale* parameter yang mempengaruhi nilai tengah dari pola data.
- β = *shape* parameter yang mempengaruhi laju kerusakan.

b. Distribusi *Exponensial*

$$M\square\square\square = \frac{1}{\lambda} \quad (2.44)$$

Keterangan:

- λ = rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi.

c. Distribusi *Normal*

$$M\square\square\square = \mu \quad (2.45)$$

Keterangan:

- μ = nilai tengah

d. Distribusi *Lognormal*

$$M\square\square\square = \square_{\text{med}}.\ \exp^{\frac{\square}{2}^{2})} \quad (2.46)$$

Keterangan:

- $\square\square\square\square$ = parameter lokasi (nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan)
- $\square$ = parameter bentuk (*shape* parameter)

2.2.14 Age Replacement

Age Replacement adalah metode pemeliharaan yang mengganti komponen atau peralatan setelah mencapai usiat tertentu yang diperkirakan dapat mengalami kegagalan. Tujuan utamanya adalah untuk memastikan keandalan dan kinerja peralatan tetap terjaga dengan mengganti bagian yang sudah tua atau berisiko gagal lebih sering. Sehingga metode ini digunakan untuk mencegah kerusakan yang tidak terduga dengan mengganti komponen sebelum kegagalan terjadi (Nanda, 2023).

Dengan kata lain, metode ini lebih fokus pada pencegahan daripada perbaikan, karena penggantian dilakukan berdasarkan usia pakai, bukan menunggu hingga komponen benar-benar rusak. Pada model, terdapat dua jenis siklus dalam pengoperasian komponen yaitu:

1. Siklus pertama, siklus penggantian pencegahan yang dilakukan ketika usia komponen telah mencapai batas waktu yang telah direncanakan sebelumnya, meskipun belum terjadi kerusakan.
2. Siklus kedua, siklus penggantian akibat kerusakan, yaitu penggantian yang dilakukan saat komponen mengalami kerusakan sebelum mencapai umur penggantian yang telah ditetapkan. Model ini membantu menentukan waktu penggantian yang tepat untuk mencegah kegagalan di luar rencana. Adapun bentuk rumusnya sebagai berikut (Andrew, 2013):

$$\square\square(\square\square) = \frac{M\square\square\square}{\square(\square\square)} \quad (2.47)$$

$$\square(\square\square) = \frac{\text{Tp.}\,\text{R(tp)} + \text{Tf}(1 - \text{R(tp)})}{(\text{tp} + \text{Tp})\text{R(tp)} + (\square\square(\square\square) + \text{Tf})\ (1 - \text{R(tp)})} \quad (2.48)$$

. Keterangan:

- tp = Waktu operasi mesin

- Tf = Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen
- Tp = Waktu untuk melakukan penggantian *preventive*
- R(tp) = Fungsi probabilitas kehandalan komponen dari kegagalan pada waktu tp
- F(tp) = Fungsi kepadatan peluang dari kegagalan komponen pada waktu tp
- M(tp) = Waktu rata – rata terjadinya kerusakan jika penggantian perbaikan pada masa tp
- D(tp) = Probabilitas *downtime* pada waktu tp

2.2.15 Interval Waktu Pemeriksaan

Interval waktu pemeriksaan merupakan rentang atau jarak waktu tertentu yang ditetapkan antara satu kegiatan pemeriksaan dengan pemeriksaan berikutnya terhadap suatu mesin atau komponen. Penentuan interval ini bertujuan untuk memastikan bahwa kondisi peralatan dapat dipantau secara berkala sehingga potensi kerusakan dapat dideteksi lebih awal sebelum menimbulkan kegagalan yang lebih serius. Interval pemeriksaan biasanya ditentukan berdasarkan data historis kerusakan, tingkat keandalan komponen, serta kebijakan perawatan yang diterapkan. Berikut merupakan rumus interval waktu pemeriksaan, antara lain (Andrew, 2013):

a. Jumlah pemeriksaan (k)

$$k = \frac{\text{[illegible]}\ h\ \text{[illegible]}}{P\text{[illegible]}\ \text{[illegible]}} \quad (2.49)$$

b. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk perbaikan ([illegible])

$$\frac{1}{\mu} = \frac{M\text{[illegible]}}{\text{[illegible]}} \quad (2.50)$$

Keterangan:

- T = Periode waktu jam kerja

c. μ = Waktu rata-rata melakukan pemeriksaan ([illegible])

$$-\frac{1}{\text{[illegible]}} \quad (2.51)$$

Keterangan:

- ti = Durasi waktu pemeriksaan

- T = Periode waktu jam kerja
- i = Rata – rata pemeriksaan

d. Perhitungan frekuensi pemeriksaan ( )

$$= \sqrt{\frac{\cdot}{}} \qquad (2.52)$$

μ

Keterangan:

- k = Jumlah pemeriksaan
- i = Rata – rata pemeriksaan
- μ = Rata – rata perbaikan

e. Interval waktu pemeriksaan

$$\frac{}{} \qquad (2.53)$$

Keterangan:

- t = Periode waktu jam kerja
- n = Frekuensi waktu pemeriksaan

2.2.16 Availability

Availability pada dasarnya merupakan penggambaran tingkat kesiapan suatu mesin atau komponen untuk melaksanakan fungsi operasionalnya. Indikator ini dapat dimanfaatkan sebagai ukuran keberhasilan program perawatan yang diterapkan. Dalam analisis, *availability* yang dihitung berdasarkan interval penggantian pencegahan serta *availability* yang dihitung berdasarkan interval pemeriksaan dianggap sebagai dua peristiwa yang bersifat independen (saling bebas), sehingga peluang terjadinya kedua peristiwa tersebut diperoleh dengan mengalikan masing-masing nilai *availability*. Adapun rumus perhitungannya sebagai berikut menurut (Ramadhan, 2023):

- *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan:

$$( ) = 1 - ( ) \qquad (2.54)$$

$$\mathrm{D}( ) = \frac{}{\cdot} + \frac{1}{} \qquad (2.55)$$

- *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan:

$$□(□□) = 1 - □□□ □(□□)$$
(2.56)

- *Availability* total:

$$□(□) * □(□□)$$
(2.57)

BAB III METODE

PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. PLN Indonesia Power UBP Suralaya, sebuah perusahaan yang bergerak di bidang pembangkitan listrik tenaga uap (PLTU) dengan batu bara sebagai bahan bakar utamanya. Lokasi perusahaan berada di Jl. Suralaya No. 21, Kelurahan Suralaya, Kecamatan Pulomerak, Kota Cilegon, Provinsi Banten. Penelitian ini dilaksanakan pada periode 2 April hingga 30 April 2025,

3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian ini difokuskan pada 1 mesin yaitu Pulverizer E unit 3.

3.3 Jenis Data

Data yang akurat sangat penting untuk mendukung tercapainya tujuan penelitian. Berdasarkan cara perolehannya, data dibagi menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder yaitu sebagai berikut:

1. Data Primer

   data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung oleh peneliti dari sumber aslinya.

   - Hasil wawancara dengan teknisi mengenai penyebab kerusakan Pulverizer.
   - Observasi langsung terhadap kondisi peralatan dan sistem perawatan.
   - Pencatatan lapangan terkait aktivitas pemeliharaan dan operasional.
2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang tidak diperoleh langsung dari sumber utama, melainkan berasal dari literatur dan dokumen perusahaan yang telah tersusun dalam bentuk file komputer ataupun tertulis, khususnya yang berkaitan dengan manajemen perawatan dan mendukung data yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Adapun datanya sebagai berikut:

- Data profil perusahaan PT. PLN Indonesia Power UBP Suralaya
- Daftar komponen mesin
- Data kerusakan
- Data perbaikan
- Data frekuensi dan waktu kegagalan
- Data rata – rata waktu antara kegagalan komponen
- Data waktu rata- rata yang diperlukan untuk memperbaiki komponen

3.4 Teknik Pengumpulan Data

1. Wawancara

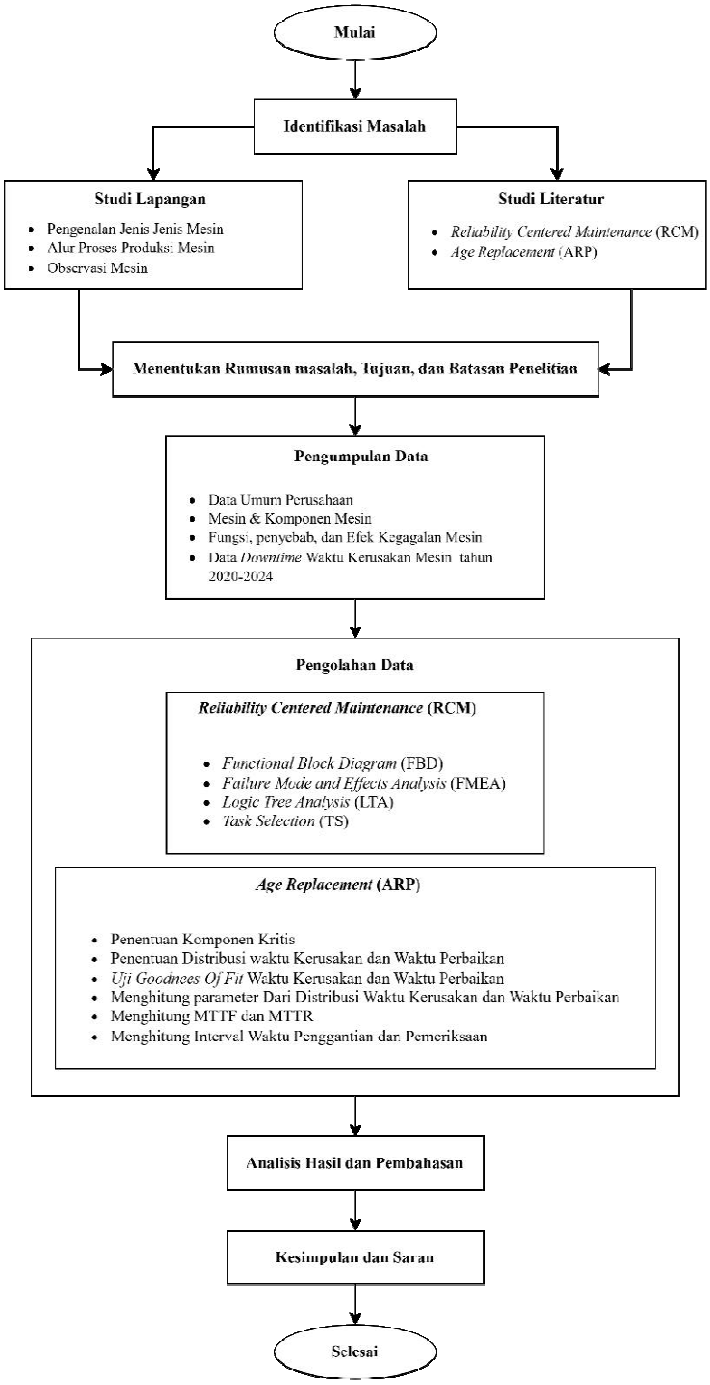
   wawancara merupakan merupakan pengambilan data yang terjadi di lapangan melalui teknik wawancara/bertanya kepada orang yang telah berpengalaman atau expert, khususnya dengan pihak-pihak yang memiliki keterkaitan dalam penelitian ini. Pada penelitian ini, data primer mencakup informasi mengenai mesin pulverizer

2. Observasi

   Teknik observasi adalah langkah pengamatan langsung terhadap objek penelitian atau informasi yang berkaitan, dengan tujuan mengumpulkan data dan memastikan kebenarannya sesuai dengan fakta. Dalam penelitian ini, observasi pulverizer E unit 3 dilakukan untuk memperoleh informasi dan data yang relevan agar hasil penelitian memiliki tingkat akurasi yang tinggi

3.5 Diagram Alur Penelitian

Berikut merupakan diagram alur pada penelitian ini, adapun gambar dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2. 7 Diagram Alur Penelitian

Berikut merupakan penjelasan diagram alur penelitian diatas:

1. Mulai

   Merupakan titik awal dari proses penelitian yang akan dilakukan. Pada tahap ini memulai persiapan untuk menjalankan seluruh langkah penelitian.

2. Identifikasi Masalah

   Langkah awal yang sangat penting di mana masalah utama didefinisikan dan dipahami. Tujuannya agar fokus penelitian jelas dan terarah.

3. Studi Lapangan dan Studi Literatur

   - Studi Lapangan:

     Dilakukan pengamatan langsung terhadap mesin yang digunakan dalam proses produksi. Ini meliputi mengenal jenis mesin, memahami alur proses produksi, dan melakukan observasi langsung terhadap kondisi mesin. Data ini penting agar masalah yang diidentifikasi sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

   - Studi Literatur:

     Pada studi ini melakukan telaah pustaka terkait metode-metode yang akan digunakan, seperti *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang berfokus pada pemeliharaan berdasarkan keandalan mesin, dan *Age Replacement* (ARP) yang mengatur penggantian komponen berdasarkan usia dan kondisi. Studi ini membantu memperkuat dasar teori penelitian.

4. Menentukan Rumusan Masalah, Tujuan, dan Batasan Penelitian

   Berdasarkan hasil identifikasi masalah dan kajian literatur serta lapangan, tahap ini menyusun rumusan masalah penelitian, tujuan yang ingin dicapai, dan batasan-batasan penelitian agar masalah yang amati tetap terfokus dan tidak melebar.

5. Pengumpulan Data

   Dalam penelitian ini terdapat data-data yang diperlukan, antara lain:

   - Data umum perusahaan (misalnya informasi terkait jenis mesin dan kegiatan produksi).
   - Data mesin dan komponennya untuk mengetahui detail fungsi dan karakteristik.
   - Data tentang fungsi, penyebab, dan efek kegagalan mesin untuk analisis risiko.

- Data *downtime*, yaitu catatan waktu kerusakan dan durasi perbaikan mesin dari bulan Oktober 2020 sampai bulan November 2024, yang menjadi dasar analisis reliabilitas dan penggantian komponen.

6. Pengolahan Data

   Pada tahap ini data dianalisis menggunakan dua metode utama:

   a. *Reliability Centered Maintenance* (RCM):

      Tahap metode ini melakukan analisis mendalam tentang kegagalan mesin menggunakan beberapa teknik:

      - *Functional Block Diagram* (FBD) untuk memahami fungsi dan hubungan antar bagian mesin.
      - *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan dampaknya.
      - *Logic Tree Analysis* (LTA) untuk menelusuri akar penyebab kegagalan secara sistematis.
      - *Task Selection* (TS) untuk menentukan tindakan pemeliharaan yang paling efektif.

   b. *Age Replacement* (ARP):

      Metode ini digunakan untuk menentukan waktu yang optimal dalam mengganti komponen kritis berdasarkan usia dan kondisi kerusakan. Prosesnya meliputi:

      - Menentukan komponen yang paling kritis terhadap kegagalan.
      - Mendefinisikan distribusi waktu kerusakan dan waktu perbaikan komponen berdasarkan data.
      - Melakukan *Uji Goodness of Fit* untuk mengetahui distribusi yang paling tepat dari data *downtime*.
      - Menghitung parameter distribusi, seperti *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR).
      - Menentukan interval waktu penggantian dan jadwal pemeriksaan yang optimal agar *downtime* mesin minimal.

7. Analisis Hasil dan Pembahasan

Setelah data diproses, hasil yang diperoleh dianalisis secara kritis untuk memahami bagaimana kondisi mesin, pola kegagalan, serta efektivitas jadwal perawatan dan penggantian komponen. Di bagian ini membahas hasil dalam konteks teori, data lapangan, dan tujuan penelitian.

8. Kesimpulan dan Saran

   Tahap terakhir dalam penelitian ini menarik kesimpulan utama dari analisis data yang telah dilakukan, misalnya rekomendasi strategi pemeliharaan atau penggantian komponen yang bisa meningkatkan keandalan mesin. Selain itu, disampaikan saran-saran yang berguna untuk perusahaan maupun penelitian berikutnya.

9. Selesai

   Menandai berakhirnya proses penelitian setelah semua tahapan selesai dan hasil akhir sudah didokumentasikan.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Latar Belakang Perusahaan

Latar belakang perusahaan merupakan informasi singkat yang memperkenalkan dan menjelaskan gambaran umum tentang perusahaan. Latar belakang ini memberikan pemahaman mengenai sejarah, visi, misi, serta nilai-nilai inti yang dijalankan oleh perusahaan.

4.1.1 Sejarah Perusahaan

Sejarah berdirinya PT Indonesia Power berawal dari kebijakan deregulasi sektor ketenagalistrikan di awal 1990-an. PT Indonesia Power merupakan anak perusahaan dari PT PLN (Persero) yang dulunya bernama PLN Pembangkit Tenaga Listrik Jawa Bali (PJB I). Pembentukan anak perusahaan ini diawali dengan berdirinya Paiton Swasta L, yang diperkuat melalui Keputusan Presiden No. 37 Tahun 1992 tentang pemanfaatan dana swasta untuk pembangkit listrik. Pada akhir 1993, Menteri Pertambangan dan Energi mengeluarkan kebijakan restrukturisasi jangka panjang sektor ketenagalistrikan. Sebagai langkah awal, pada 1994 status PLN diubah dari Perum menjadi Persero, dan setahun kemudian, tepatnya 3 Oktober 1995, dibentuk dua anak perusahaan: PT Pembangkitan Tenaga Listrik Jawa Bali yang berpusat di Suralaya dan PT Indonesia Power yang berpusat di Jakarta. PT PLN Indonesia Power kini mengelola berbagai unit pembangkit dengan teknologi modern berbasis komputer, yang memanfaatkan beragam sumber energi seperti air, minyak bumi, batubara, dan gas alam. Selain itu, perusahaan ini juga mengoperasikan beberapa pembangkit tertua di Indonesia, seperti PLTA Plengan, PLTA Ubrug, dan PLTA Ketenger yang telah berdiri sejak tahun 1920-an dan masih beroperasi hingga kini.

4.1.2 Profil Perusahaan

Berikut merupkan profil perusahaan secara singkat:

Nama Perusahaan : PT. PLN Indonesia Power UBP Suralaya

Lokasi	: Jl. Raya Merak, Suralaya, Kec. Pulomerak, Kota Cilegon, Provinsi Banten
Luas Area	: 144 Ha
Kapasitas Unit	: 4 x 400 MW (Unit 1-4) dan 3 x 600 MW (5-7)
Total Kapasitas Unit 1-7	: 3.400 MW
Kontribusi Listrik Jawa Madura Bali	: 10 %
Bahan Bakar	: *Coal* (*Sub Bituminous*)
Konsumsi Bahan Bakar	: ± 40.000 ton/hari
Fly Ash & Bottom Ash	: ± 1.500 ton/hari

4.2 Pengumpulan Data

4.2.1 Data Komponen dan Fungsi komponen Mesin

Berikut merupakan data komponen dan fungsi komponen mesin mil/pulverizer yang dibutuhkan dalam penelitian ini:

Tabel 4. 1 Data Komponen dan Fungsi komponen Mesin

No	Komponen	Fungsi
1	Pyrates Gate	Memisahkan benda asing dari batubara
2	Lube Oil System	Melumasi bagian bergerak
3	External Loading System	Memberikan gaya pada elemen penggilingan
4	Roll Wheel Assembly	Menghancurkan batubara menjadi bubuk
5	Coal Pipe	Mengalirkan batubara yang sudah dihaluskan
6	Swing Valve	Mengatur aliran material
7	Valve system	Mengatur aliran fluida masuk dan keluar
8	Control Damper	Mengatur volume dan tekanan udara
9	Gear Drive	Mentransmisikan daya ke komponen berputar
10	Classifier	Memisahkan partikel batubara berdasarkan ukuran
11	Seal Air	Mencegah kebocoran udara
12	Throat Ring	Mengarahkan aliran batubara
13	Raw Coal Pipe	Mengalirkan batubara mentah ke sistem pulverisasi
14	Body air Chamber	Menyediakan ruang udara untuk proses pulverisasi

4.2.2 Data Waktu Antar Kerusakan Komponen Mesin

Berikut merupakan data waktu antar kerusakan komponen mesin yang dibutuhkan dalam penelitian ini:

No	Komponen	Time Failure	
		Start	Finish
1	Valve system	19/05/2022 08:00	19/05/2022 11:00
2		28/04/2022 09:00	28/04/2022 11:00
3		23/11/2021 09:00	23/11/2021 11:00
4		11/12/2021 08:00	11/12/2021 11:00
5		09/08/2021 20:42	09/09/2021 00:42
6		05/05/2021 12:27	05/05/2021 17:27
7		14/07/2020 08:00	14/07/2020 14:00
8		23/06/2020 10:00	23/06/2020 16:00
9		01/01/2024 17:30	01/01/2024 20:30
10	Body air Chamber	13/04/2020 10:00	13/04/2020 16:00
11	Classifier	23/11/2024 22:00	24/11/2024 05:00
12		12/07/2021 08:00	12/07/2021 12:00
13		09/01/2024 08:00	09/02/2024 08:50
14		27/04/2020 10:00	27/04/2020 13:00
15		12/03/2020 17:18	12/03/2020 20:18
16		21/04/2024 16:49	22/04/2024 00:49
17	Raw Coal Pipe	14/08/2021 23:00	15/08/2021 02:00
18		29/04/2024 08:00	30/04/2024 15:40
19		10/10/2022 08:00	10/11/2022 18:00
20		26/10/2021 08:00	11/09/2021 22:00
21		25/10/2021 08:00	28/10/2021 16:00
22		22/04/2022 08:00	25/04/2022 16:00
23	Roll Wheel Assembly	23/02/2021 08:00	25/02/2021 16:00
24		12/04/2023 08:00	12/05/2023 08:30
25		31/12/2022 06:00	31/12/2022 09:00
26		21/04/2024 17:54	22/04/2024 01:54
27	Seal Air	06/04/2020 08:00	24/07/2020 04:00
28		15/11/2022 08:00	15/11/2022 10:00
29		04/03/2023 08:00	04/04/2023 16:30
30	Swing Valve	10/12/2022 08:30	13/10/2022 11:00

No	Komponen	Time Failure	
		Start	Finish
31		17/07/2020 10:00	17/07/2020 15:00
32		23/10/2022 08:03	23/10/2022 11:03
33		29/11/2024 08:00	29/11/2024 12:00
34	Throat Ring	15/10/2024 02:30	15/10/2024 06:30
35		04/10/2020 10:00	04/10/2020 13:00
36		19/05/2020 00:41	19/05/2020 00:41
37	External Loading System	31/07/2024 13:48	25/09/2024 17:19
38		31/05/2022 11:01	06/07/2022 18:00
39		20/03/2022 08:30	20/03/2022 13:30
40		09/06/2024 00:42	27/09/2024 09:51
41		16/02/2022 09:00	16/02/2022 13:00
42		24/08/2021 11:48	24/08/2021 13:00
43		14/07/2023 08:30	14/07/2023 13:30
44		09/01/2024 07:54	27/09/2024 14:10
45		18/06/2024 17:00	18/06/2024 19:00
46		23/05/2024 16:14	23/05/2024 18:14
47		22/05/2024 17:28	22/05/2024 22:28
48		01/01/2020 06:39	01/02/2020 13:00
49		01/07/2020 10:00	01/11/2020 10:00
50		01/01/2024 13:24	01/01/2024 15:24
51		01/03/2024 08:00	01/03/2024 10:00
52		16/10/2022 16:49	16/10/2022 17:19
53		24/12/2024 08:00	29/12/2024 16:00
54	Gear Drive	10/01/2023 10:07	10/01/2023 12:07
55		28/08/2023 09:14	28/08/2023 11:14
56		09/11/2020 10:00	09/11/2020 12:00
57		06/01/2020 08:00	06/01/2020 13:00
58		27/04/2020 10:00	27/04/2020 13:00
59		01/06/2020 08:05	01/06/2020 08:05
60		11/06/2024 17:10	11/06/2024 19:10
61		21/04/2024 08:00	21/04/2024 14:00
62		12/08/2024 13:30	12/08/2024 15:30
63	Coal Pipe	11/06/2024 17:15	11/06/2024 19:15
64		25/12/2024 18:00	25/12/2024 20:00
65		08/11/2024 21:23	25/09/2024 14:27
66		26/05/2022 21:47	26/05/2022 23:47
67		18/02/2022 16:50	18/02/2022 20:00

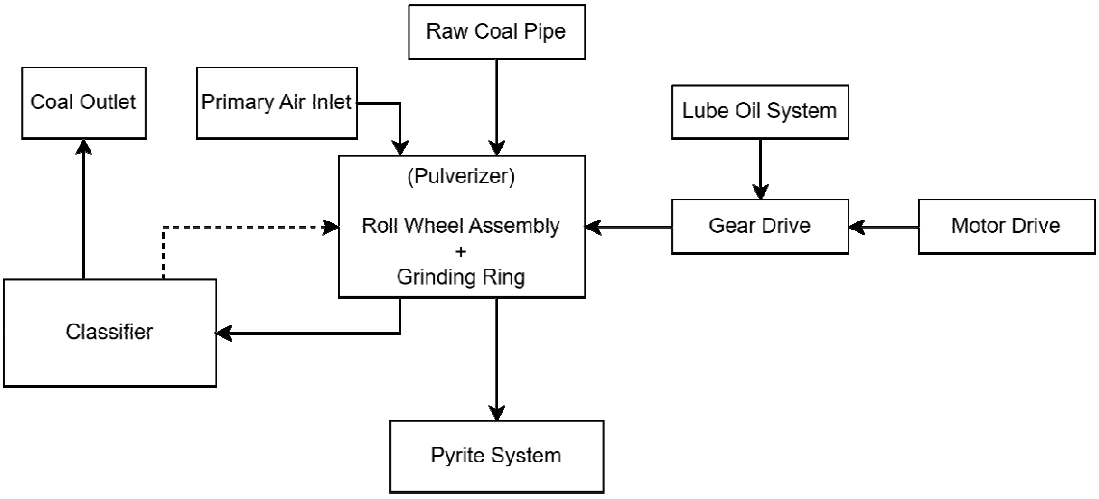
No	Komponen	Time Failure	
		Start	Finish
68		19/11/2021 14:31	19/11/2021 16:31
69		20/09/2024 18:00	27/09/2024 13:50
70		27/03/2021 00:53	27/03/2021 03:53
71		11/06/2022 19:50	11/06/2022 22:50
72	Lube Oil System	12/01/2023 10:00	12/01/2023 14:00
73		02/05/2025 08:00	02/05/2025 12:00
74		29/07/2022 10:00	29/07/2022 11:00
75		22/04/2022 09:36	22/04/2022 14:00
76		14/01/2022 11:23	18/01/2022 08:17
77		25/10/2021 08:00	25/10/2021 12:00
78		28/09/2023 06:28	28/09/2023 08:28
79		08/11/2021 13:30	08/11/2021 14:30
80		23/07/2021 10:00	23/07/2021 14:00
81		07/10/2023 10:00	07/10/2023 12:00
82		08/11/2021 08:00	08/11/2021 12:00
83		04/08/2021 07:24	04/08/2021 10:00
84		22/08/2023 07:35	22/08/2023 09:35
85		10/12/2020 10:00	10/12/2020 14:00
86		15/08/2024 08:00	15/08/2024 11:00
87		20/05/2024 08:00	20/05/2024 10:00
88		18/04/2023 08:00	18/04/2023 12:00
89		04/06/2023 09:00	04/06/2023 11:00
90		27/11/2022 11:10	27/11/2022 14:10
91		06/12/2021 04:47	06/12/2021 07:47
92	Control Damper	02/01/2025 08:00	02/01/2025 16:00
93		23/09/2022 09:00	23/09/2022 12:00
94		28/08/2022 21:37	28/08/2022 22:07
95		25/04/2022 11:46	25/04/2022 13:46
96		25/10/2021 08:00	25/10/2021 11:00
97		01/10/2024 08:00	01/10/2024 12:00
98		02/01/2025 08:00	02/01/2025 16:00
99	Pyrite Gate	17/10/2020 10:00	17/10/2020 13:00
100		27/11/2020 10:00	27/11/2020 13:00
101		19/12/2020 10:00	19/12/2020 14:00
102		26/01/2021 10:04	26/01/2021 14:04
103		06/03/2021 08:00	06/03/2021 16:00
104		18/04/2021 08:00	18/04/2021 16:00

No	Komponen	Time Failure	
		Start	Finish
105		13/05/2021 08:00	13/05/2021 16:00
106		21/06/2021 08:00	21/06/2021 16:00
107		20/07/2021 08:00	20/07/2021 16:00
108		30/08/2021 15:13	30/08/2021 16:14
109		07/09/2021 09:17	07/09/2021 12:17
110		16/10/2021 12:24	16/10/2021 15:24
111		01/12/2021 13:03	01/12/2021 16:03
112		30/01/2022 10:19	30/01/2022 12:19
113		21/02/2022 06:09	21/02/2022 10:09
114		09/04/2022 09:58	09/04/2022 10:30
115		27/04/2022 06:20	27/04/2022 08:20
116		15/05/2022 08:14	15/05/2022 10:14
117		21/06/2022 14:29	21/06/2022 15:30
118		08/07/2022 09:28	08/07/2022 11:28
119		26/08/2022 10:00	26/08/2022 14:00
120		10/09/2022 10:25	10/09/2022 10:55
121		07/10/2022 11:11	07/10/2022 13:11
122		20/10/2022 08:21	20/10/2022 09:30
123		26/11/2022 08:03	26/11/2022 11:03
124		15/12/2022 06:00	15/12/2022 06:40
125		31/12/2022 14:31	31/12/2022 16:31
126		15/02/2023 08:28	15/02/2023 10:28
127		18/03/2023 09:00	18/03/2023 09:55
128		30/04/2023 08:19	30/04/2023 10:19
129		20/06/2023 10:14	20/06/2023 11:15
130		09/08/2023 06:51	09/08/2023 08:51
131		17/09/2023 08:11	17/09/2023 10:11
132		23/10/2023 06:45	23/10/2023 08:45
133		30/10/2023 11:00	30/10/2023 12:20
134		08/11/2023 06:27	08/11/2023 08:27
135		09/12/2023 07:40	09/12/2023 09:00
136		01/02/2024 06:37	01/02/2024 09:37
137		07/03/2024 15:51	07/03/2024 17:04
138		26/03/2024 08:15	26/03/2024 14:00
139		05/04/2024 09:58	05/04/2024 11:58
140		18/04/2024 17:56	18/04/2024 19:56
141		29/04/2024 10:00	29/04/2024 14:30

No	Komponen	Time Failure	
		Start	Finish
142		10/05/2024 10:00	10/05/2024 14:00
143		20/05/2024 08:39	20/05/2024 10:39
144		31/05/2024 17:32	31/05/2024 21:32
145		16/06/2024 22:49	17/06/2024 00:49
146		06/07/2024 10:32	06/07/2024 15:13
147		28/07/2024 10:59	28/07/2024 15:17
148		20/08/2024 06:25	20/08/2024 07:55
149		05/09/2024 13:30	05/09/2024 14:30
150		14/10/2024 17:30	14/10/2024 18:30
151		30/11/2024 10:45	30/11/2024 11:45

4.3 Pengolahan Data

4.3.1 *Function Block Diagram* (FBD)



Gambar 4. 1 *Functional Block Diagram Pulverizer*

4.3.2 *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)

FMEA ini digunakan untuk mengevaluasi mode dan efek kegagalan di setiap komponen serta dampaknya terhadap keandalan sistem. Adapun hasilnya sebagai berikut:

Tabel 4. 2 *Failure Mode Effect Analysis Pulverizer*

***Machine*: Pulverizer**									
No	***Equipment***	***Function***	***Failure Mode***	***Failure Cause***	***Failure Effect***	***S***	***O***	***D***	**RPN**
1	Pyrite Gate	Memisahkan benda asing dari batubara	Macet/Gerakan tersendat (tidak lancar)	Oil seal actuator hydrolik Bocor, silinder actuator macet, linkage aus	Aliran pyrite terhambat, hopper penuh, potensi shutdown	8	7	5	280
2	Lube Oil System	Melumasi bagian bergerak	Kebocoran, kontaminasi	Kebocoran seal, masuknya partikel	Pelumasan tidak memadai, keausan dini komponen	8	7	4	224
3	External Loading System	Memberikan gaya pada	kebocoran hidrolik,	Kerusakan mekanis pada	Kinerja penggilingan tidak	7	8	4	224

Machine: Pulverizer									
No	***Equipment***	***Function***	***Failure Mode***	***Failure Cause***	***Failure Effect***	***S***	***O***	***D***	**RPN**
		elemen penggilingan	Structural fracture	sistem pembebanan	konsisten, getaran sistem, potensi kerusakan komponen lain				
4	Roll Wheel Assembly	Menghancurkan batubara menjadi bubuk	Keausan	Abrasi dari batubara, beban berlebih	Ukuran partikel tidak sesuai, konsumsi energi meningkat	8	7	4	224
5	Coal Pipe	Mengalirkan batubara	Erosi, kebocoran	Abrasi dari partikel batubara	Kebocoran batubara, penurunan efisiensi	6	6	4	144
6	Swing Valve	Mengatur aliran material	Macet, tidak dapat menutup sempurna	Korosi, material menempel	Aliran material tidak terkontrol	7	5	4	140
7	Valve System	Mengatur aliran fluida masuk dan keluar	Kebocoran	Korosi, aus, atau kerusakan seal	Penurunan tekanan sistem, kehilangan efisiensi aliran	7	5	4	140
8	Control Damper	Mengatur volume dan tekanan udara	Macet	Korosi, debu, kurangnya pelumasan	Kontrol udara tidak akurat, pembakaran tidak optimal	7	4	5	140
9	Gear Drive	Mentransmisikan daya ke komponen	Keausan gigi, patah	Pelumasan tidak memadai, beban berlebih	Vibrasi tinggi, Kegagalan	9	4	5	180

Machine: Pulverizer									
No	***Equipment***	***Function***	***Failure Mode***	***Failure Cause***	***Failure Effect***	***S***	***O***	***D***	**RPN**
		berputar			operasional mesin				
10	Classifier	Memisahkan partikel batubara berdasarkan ukuran	Penyumbatan	Penumpukan material, aus pada komponen	Ukuran partikel tidak konsisten, aliran terhambat	7	4	5	140
11	Seal Air	Mencegah kebocoran batubara dari sistem	Degradasi seal	Aus, panas Berlebih	Kebocoran batubara, risiko keselamatan, penurunan efisiensi	7	3	5	105
12	Throat Ring	Mengarahkan aliran batubara dari grinding ring menuju burner	Keausan, deformasi	Abrasi tinggi dari partikel	Aliran tidak optimal, penurunan efisiensi mesin	6	2	5	60
13	Raw Coal Pipe	Mengalirkan batubara mentah ke sistem pulverisasi	Penyumbatan, erosi	Penumpukan material, abrasi	Aliran batubara terhambat, penurunan output	5	2	4	40
14	Body Air Chamber	Menyediakan ruang udara untuk proses pulverisasi	Retak atau pecah	Tekanan berlebih, kelelahan	Kebocoran udara, penurunan tekanan operasional	8	1	6	48

4.3.3 *Logic Tree Analysis* (LTA)

Logic Tree Analysis (LTA) dilakukan untuk mengidentifikasi tindakan pemeliharaan terbaik untuk setiap mode kegagalan, Adapun hasilnya sebagai berikut:

Tabel 4. 3 *Logic Tree Analysis Pulverizer*

***Machine*: Pulverizer**							
No	***Equipment***	***Function***	***Failure Mode***	***Critical Analysis***			
				Evident	***Safety***	***Outage***	***Category***
1	Pyrite Gate	Memisahkan benda asing dari batubara	Keausan komponen	Y	N	Y	B
2	Lube Oil System	Melumasi bagian bergerak	Kebocoran, kontaminasi	Y	N	Y	B
3	External Loading System	Memberikan gaya pada elemen penggilingan	Penyumbatan	Y	N	Y	B
4	Roll Wheel Assembly	Menghancurkan batubara menjadi bubuk	Keausan roller/ball	Y	N	Y	B
5	Coal Pipe	Mengalirkan batubara yang sudah dihaluskan	Erosi, kebocoran	Y	N	Y	B
6	Swing Valve	Mengatur aliran material	Macet, tidak dapat menutup sempurna	Y	N	Y	B
7	Valve System	Mengatur aliran fluida masuk dan keluar	Kebocoran	Y	N	Y	B
8	Control Damper	Mengatur volume dan tekanan udara	Macet	Y	N	Y	B
9	Gear Drive	Mentransmisikan daya ke komponen berputar	Keausan gigi, patah	Y	N	Y	B
10	Classifier	Memisahkan partikel batubara berdasarkan ukuran	Penyumbatan	Y	N	Y	B
11	Seal Air	Mencegah kebocoran batubara dari sistem	Degradasi seal	N	N	Y	D
12	Throat Ring	Mengarahkan aliran batubara	Keausan, deformasi	Y	N	Y	B
13	Raw Coal Pipe	Mengalirkan batubara mentah ke sistem pulverisasi	Penyumbatan, erosi	Y	N	Y	B
14	Body Air	Menyediakan	Retak atau pecah	N	Y	Y	A

	Chamber	ruang udara untuk proses pulverisasi					

4.3.4 *Task Selection* (TS)

Task Selection ini dilakukan untuk pemilihan jenis tindakan pemeliharaan yang paling tepat untuk mencegah atau mengatasi suatu kegagalan fungsi pada komponen atau peralatan. Adapun hasilnya sebagai berikut:

Tabel 4. 4 *Task Selection Pulverizer*

***Machine*: Pulverizer**											
No	***Equipment***	***Function***	***Failure Mode***	***Critical Analysis***							***Category***
				1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	
1	Pyrates Gate	Memisahkan benda asing dari batubara	Keausan komponen	Y	Y	N	N	N	Y	-	TD
2	Lube Oil System	Melumasi bagian bergerak	Kebocoran, kontaminasi	Y	Y	N	N	N	Y	-	TD
3	External Loading System	Memberikan gaya pada elemen penggilingan	Penyumbatan	N	-	Y	N	N	Y	-	CD
4	Roll Wheel Assembly	Menghancurkan batubara menjadi bubuk	Keausan roller/ball	Y	Y	N	N	N	Y	-	TD
5	Coal Pipe	Mengalirkan batubara yang sudah dihaluskan	Erosi, kebocoran	N	-	Y	N	N	Y	-	CD
6	Swing Valve	Mengatur aliran material	Macet, tidak dapat menutup sempurna	N	-	Y	N	N	Y	-	CD
7	Valve System	Mengatur aliran fluida masuk dan keluar	Kebocoran	N	-	Y	N	N	Y	-	CD

Machine: Pulverizer											
No	***Equipment***	***Function***	***Failure Mode***	***Critical Analysis***							***Category***
				1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	
8	Control Damper	Mengatur volume dan tekanan udara	Macet	N	-	Y	N	N	Y	-	CD
9	Gear Drive	Mentransmisikan daya ke komponen berputar	Keausan gigi, patah	Y	Y	N	N	N	Y	-	TD
10	Classifier	Memisahkan partikel batubara berdasarkan ukuran	Penyumbatan	N	-	Y	N	N	Y	-	CD
11	Seal Air	Mencegah kebocoran batubara dari sistem	Degradasi seal	N	Y	Y	Y	Y	Y	-	FF
12	Throat Ring	Mengarahkan aliran batubara	Keausan, deformasi	N	-	Y	N	N	Y	-	CD
13	Raw Coal Pipe	Mengalirkan batubara mentah ke sistem pulverisasi	Penyumbatan, erosi	N	-	Y	N	N	Y	-	CD
14	Body Air Chamber	Menyediakan ruang udara untuk proses pulverisasi	Retak atau pecah	N	-	Y	N	N	Y	-	CD

4.3.5 Penentuan Komponen Kritis

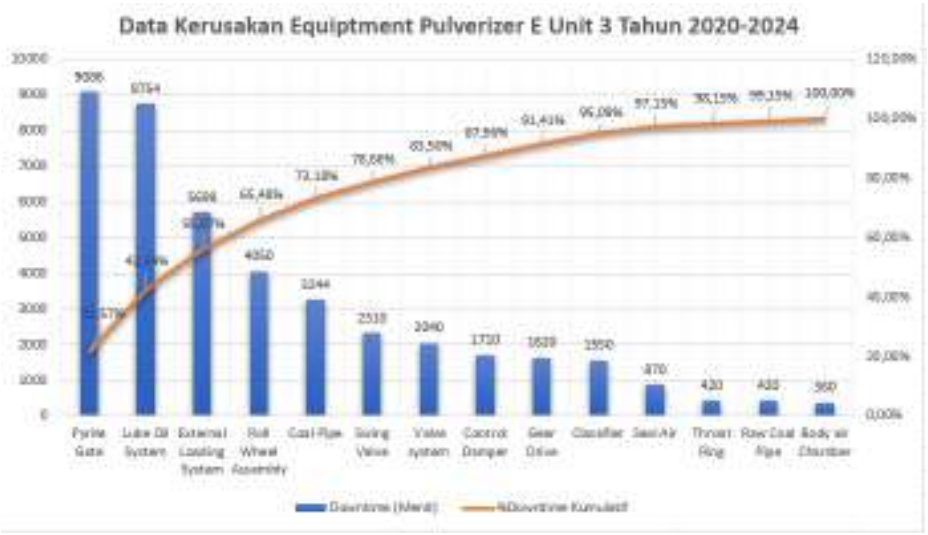
Pengujian berdasarkan data *dowtime* komponen mesin Pulverrizer E:

Tabel 4. 5 Penentuan Komponen Kritis Pulverizer

No	**Komponen**	**Frekuensi Kerusakan**	***Downtime* (Menit)**	**% *Downtime***	**% *Downtime* Kumulatif**
1	Pyrite Gate	53	9086	22%	21,57%

No	Komponen	Frekuensi Kerusakan	*Downtime* (Menit)	% *Downtime*	% *Downtime* Kumulatif
2	Lube Oil System	20	8754	21%	42,34%
3	External Loading System	17	5698	14%	55,87%
4	Roll Wheel Assembly	4	4050	10%	65,48%
5	Coal Pipe	9	3244	8%	73,18%
6	Swing Valve	4	2310	5%	78,66%
7	Valve system	9	2040	5%	83,50%
8	Control Damper	7	1710	4%	87,56%
9	Gear Drive	9	1620	4%	91,41%
10	Classifier	6	1550	4%	95,09%
11	Seal Air	3	870	2%	97,15%
12	Throat Ring	3	420	1%	98,15%
13	Raw Coal Pipe	6	420	1%	99,15%
14	Body air Chamber	1	360	1%	100,00%
Total		**151**	**42132**		

Berikut merupakan grafik diagram pareto dari data kerusakan komponen pulverizer E unit 3 tahun 2020-2024 sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Pareto Komponen Pulverizer E Unit 3

4.3.6 Penentuan Distribusi (*Time To Failure*)

Setelah mengetahui komponen kritis dilakukan pencariak jarak antar kerusakan pada komponen Pyrite Gate:

Tabel 4. 6 Penentuan Distribusi (*Time To Failure*)

Pyrite Gate			
No	**Start**	**Finish**	**ti**
1	17/10/2020 10:00	17/10/2020 13:00	
2	27/11/2020 10:00	27/11/2020 13:00	58860
3	19/12/2020 10:00	19/12/2020 14:00	31500
4	26/01/2021 10:04	26/01/2021 14:04	54484
5	06/03/2021 08:00	06/03/2021 16:00	55796
6	18/04/2021 08:00	18/04/2021 16:00	61440
7	13/05/2021 08:00	13/05/2021 16:00	35520
8	21/06/2021 08:00	21/06/2021 16:00	55680
9	20/07/2021 08:00	20/07/2021 16:00	41280
10	30/08/2021 15:13	30/08/2021 16:14	58993
11	07/09/2021 09:17	07/09/2021 12:17	11103
12	16/10/2021 12:24	16/10/2021 15:24	56167
13	01/12/2021 13:03	01/12/2021 16:03	66099
14	30/01/2022 10:19	30/01/2022 12:19	86056
15	21/02/2022 06:09	21/02/2022 10:09	31310
16	09/04/2022 09:58	09/04/2022 10:30	67669
17	27/04/2022 06:20	27/04/2022 08:20	25670
18	15/05/2022 08:14	15/05/2022 10:14	25914
19	21/06/2022 14:29	21/06/2022 15:30	53535
20	08/07/2022 09:28	08/07/2022 11:28	24118
21	26/08/2022 10:00	26/08/2022 14:00	70472
22	10/09/2022 10:25	10/09/2022 10:55	21385
23	07/10/2022 11:11	07/10/2022 13:11	38896
24	20/10/2022 08:21	20/10/2022 09:30	18430
25	26/11/2022 08:03	26/11/2022 11:03	53193
26	15/12/2022 06:00	15/12/2022 06:40	27057
27	31/12/2022 14:31	31/12/2022 16:31	23511
28	15/02/2023 08:28	15/02/2023 10:28	65757
29	18/03/2023 09:00	18/03/2023 09:55	44552
30	30/04/2023 08:19	30/04/2023 10:19	61824
31	20/06/2023 10:14	20/06/2023 11:15	73435
32	09/08/2023 06:51	09/08/2023 08:51	71736
33	17/09/2023 08:11	17/09/2023 10:11	56120

Pyrite Gate			
No	**Start**	**Finish**	**ti**
34	23/10/2023 06:45	23/10/2023 08:45	51634
35	30/10/2023 11:00	30/10/2023 12:20	10215
36	08/11/2023 06:27	08/11/2023 08:27	12607
37	09/12/2023 07:40	09/12/2023 09:00	44593
38	01/02/2024 06:37	01/02/2024 09:37	77617
39	07/03/2024 15:51	07/03/2024 17:04	50774
40	26/03/2024 08:15	26/03/2024 14:00	26831
41	05/04/2024 09:58	05/04/2024 11:58	14158
42	18/04/2024 17:56	18/04/2024 19:56	19078
43	29/04/2024 10:00	29/04/2024 14:30	15244
44	10/05/2024 10:00	10/05/2024 14:00	15570
45	20/05/2024 08:39	20/05/2024 10:39	14079
46	31/05/2024 17:32	31/05/2024 21:32	16253
47	16/06/2024 22:49	17/06/2024 00:49	23117
48	06/07/2024 10:32	06/07/2024 15:13	27943
49	28/07/2024 10:59	28/07/2024 15:17	31426
50	20/08/2024 06:25	20/08/2024 07:55	32588
51	05/09/2024 13:30	05/09/2024 14:30	23375
52	14/10/2024 17:30	14/10/2024 18:30	56340
53	30/11/2024 10:45	30/11/2024 11:45	67215
Total			2158219

Pengujian berikut dengan Teknik *least square curve fitting* (LSCF) dimana adanya pencarian nilai *Index Of Fit* (IOF) terbesar.

1. Perhitungan Distribusi *Eksponensial*

   Berikut ini adalah contoh bentuk perhitungan manual distribusi Eksponensial (i = 1):

$$\square_i = \square_i$$

$$= 10215$$

$$\square_i^2 = 10215^2$$

$$= 104346225$$

$$\square_{(t\square\square)} = \frac{\square - 0,3}{0,3} = \frac{1 - \square + 0,4}{52 + 0,4}$$

$$F_i = \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right)\right] = \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1-0{,}01336}\right)\right]$$

$$= 0{,}01345$$

$$F_i^2 = 0{,}01345^2$$

$$= 0{,}00018$$

$$F_{i-1}. = 10215 * 0{,}01345$$

$$F_i = 137{,}37959$$

Perhitungan *Index Of Fit* distribusi *eksponensial*:

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} F_{i-1}F_i - \left(\sum_{i=1}^{n} F_{i-1}\right)\left(\sum_{i=1}^{n} F_i\right)}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} F_{i-1}^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} F_{i-1}\right)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} F_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} F_i\right)^2\right]}}$$

$$r = \frac{(52 * (3114780{,}0005)) - (2158219 * 50{,}9506)}{\sqrt{((52 * 1{,}14692E+11) - (2158219)^2) * ((52 * 94{,}5954) - (50{,}9506)^2)}}$$

$$r = 0{,}944167332 \approx 94{,}4\%\%$$

Berikut merupakan tabel perhitungan distribusi *Eksponensial* dengan bantuan software berupa Excel:

Tabel 4. 7 Perhitungan Distribusi *Eksponensial (Time To Failure)*

Exponensial							
No	t_i	F_{i-1}	F_{i-1}^2	$F(t_i)$	F_i	F_i^2	$F_{i-1}. F_i$
1	10215	10215	104346225	0,01336	0,01345	0,00018	137,37959
2	11103	11103	123276609	0,03244	0,03298	0,00109	366,18450
3	12607	12607	158936449	0,05153	0,05290	0,00280	666,93121
4	14079	14079	198218241	0,07061	0,07323	0,00536	1030,97083
5	14158	14158	200448964	0,08969	0,09398	0,00883	1330,50079
6	15244	15244	232379536	0,10878	0,11516	0,01326	1755,53603
7	15570	15570	242424900	0,12786	0,13681	0,01872	2130,10513
8	16253	16253	264160009	0,14695	0,15893	0,02526	2583,13951
9	18430	18430	339664900	0,16603	0,18156	0,03296	3346,12296
10	19078	19078	363970084	0,18511	0,20471	0,04191	3905,41295
11	21117	21117	445927689	0,20420	0,22841	0,05217	4823,23815
12	21385	21385	457318225	0,22328	0,25268	0,06385	5403,52970
13	23117	23117	534395689	0,24237	0,27756	0,07704	6416,24827
14	23375	23375	546390625	0,26145	0,30307	0,09185	7084,19092
15	23511	23511	552767121	0,28053	0,32925	0,10840	7740,91439

Exponensial							
No		$=$		$F_{(t)}$			.
16	24118	24118	581677924	0,29962	0,35613	0,12683	8589,13939
17	25670	25670	658948900	0,31870	0,38376	0,14727	9851,01402
18	25914	25914	671535396	0,33779	0,41217	0,16988	10680,89316
19	26831	26831	719902561	0,35687	0,44141	0,19484	11843,43828
20	27057	27057	732081249	0,37595	0,47153	0,22234	12758,22816
21	27943	27943	780811249	0,39504	0,50259	0,25260	14043,86987
22	31310	31310	980316100	0,41412	0,53464	0,28584	16739,70166
23	31426	31426	987593476	0,43321	0,56776	0,32235	17842,41148
24	31500	31500	992250000	0,45229	0,60201	0,36242	18963,29826
25	32588	32588	1061977744	0,47137	0,63747	0,40637	20774,00852
26	35520	35520	1261670400	0,49046	0,67424	0,45460	23949,11228
27	38896	38896	1512898816	0,50954	0,71242	0,50754	27710,11716
28	41280	41280	1704038400	0,52863	0,75210	0,56566	31046,82619
29	44593	44593	1988535649	0,54771	0,79343	0,62953	35381,49281
30	45014	45014	2026260196	0,56679	0,83654	0,69980	37656,08659
31	47480	47480	2254350400	0,58588	0,88159	0,77721	41858,09883
32	51634	51634	2666069956	0,60496	0,92877	0,86262	47956,25946
33	53193	53193	2829495249	0,62405	0,97829	0,95705	52038,07122
34	53535	53535	2865996225	0,64313	1,03038	1,06169	55161,55752
35	54484	54484	2968506256	0,66221	1,08534	1,17797	59133,77090
36	55680	55680	3100262400	0,68130	1,14350	1,30759	63669,96151
37	55796	55796	3113193616	0,70038	1,20525	1,45262	67247,89906
38	56167	56167	3154731889	0,71947	1,27106	1,61559	71391,57633
39	56340	56340	3174195600	0,73855	1,34151	1,79965	75580,71613
40	58860	58860	3464499600	0,75763	1,41730	2,00875	83422,54863
41	58993	58993	3480174049	0,77672	1,49932	2,24795	88449,25200
42	61440	61440	3774873600	0,79580	1,58866	2,52385	97607,44550
43	61824	61824	3822206976	0,81489	1,68678	2,84523	104283,53036
44	66099	66099	4369077801	0,83397	1,79558	3,22412	118686,27811
45	67215	67215	4517856225	0,85305	1,91769	3,67752	128897,28213
46	67669	67669	4579093561	0,87214	2,05680	4,23042	139181,53592
47	70472	70472	4966302784	0,89122	2,21844	4,92148	156337,93303
48	73435	73435	5392699225	0,91031	2,41134	5,81458	177077,05271
49	80376	80376	6460301376	0,92939	2,65057	7,02554	213042,51747
50	83377	83377	6951724129	0,94847	2,96565	8,79511	247267,40179
51	86056	86056	7405635136	0,96756	3,42828	11,75309	295023,92085
52	89192	89192	7955212864	0,98664	4,31558	18,62424	384915,34829

Exponensial							
No	t_i	$t_i =$	t_i^2	$F_{(t_i)}$	R_i	R_i^2	$t_i . R_i$
Total	2158219	2158219	1,14692E+11	26	50,9506	94,5954	3114780,0005

2. Perhitungan Distribusi *Normal*

Berikut ini adalah contoh bentuk perhitungan manual distribusi *Normal* (i = 1):

$t_i = t_i$

$= 10215$

$t_i^2 = 10215^2$

$= 104346225$

$F_{(t_i)} = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{52 + 0,4}$

$Z_i = Z_i = \Phi^{-1}[F_{(t_i)}]$

$= -2,21562$

$Z_i^2 = -2,21562^2$

$= 4,90897$

$t_i . Z_i = 10215 * -2,21562$

$= -22632,55542$

Perhitungan *Index Of Fit* distribusi *Normal*:

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} t_i Z_i - (\sum_{i=1}^{n} t_i)(\sum_{i=1}^{n} Z_i)}{\sqrt{[n\sum_{i=1}^{n} t_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} t_i)^2][n\sum_{i=1}^{n} Z_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} Z_i)^2]}}$$

$$r = \frac{(52 * (1073350,280)) - (2158219 * 0)}{\sqrt{((52 * 1,14692 * 11) - (2158219)^2) * ((52 * 48,3414) - (0)^2)}}$$

$r = 0,974098822 \approx 97,4\%$

Berikut merupakan tabel perhitungan distribusi *Normal* dengan bantuan *software* berupa Excel:

Normal							
No	t_i	$t_i =$	t_i^2	$F_{(t_i)}$	Z_i	Z_i^2	$t_i . Z_i$
1	10215	10215	104346225	0,01336	-2,21562	4,90897	-22632,55542

Tabel 4. 8 Perhitungan Distribusi *Normal (Time To Failure)*

Normal							
No		$_i =$		$F_{(t)}$	$_i$		$_{}. _i$
2	11103	11103	123276609	0,03244	-1,84605	3,40789	-20496,65106
3	12607	12607	158936449	0,05153	-1,63023	2,65764	-20552,27742
4	14079	14079	198218241	0,07061	-1,47126	2,16460	-20713,84050
5	14158	14158	200448964	0,08969	-1,34264	1,80268	-19009,06472
6	15244	15244	232379536	0,10878	-1,23305	1,52041	-18796,60841
7	15570	15570	242424900	0,12786	-1,13655	1,29175	-17696,13046
8	16253	16253	264160009	0,14695	-1,04962	1,10170	-17059,46426
9	18430	18430	339664900	0,16603	-0,96997	0,94084	-17876,56105
10	19078	19078	363970084	0,18511	-0,89604	0,80290	-17094,73659
11	21117	21117	445927689	0,20420	-0,82672	0,68346	-17457,80289
12	21385	21385	457318225	0,22328	-0,76115	0,57936	-16277,28561
13	23117	23117	534395689	0,24237	-0,69871	0,48820	-16152,09604
14	23375	23375	546390625	0,26145	-0,63888	0,40817	-14933,82849
15	23511	23511	552767121	0,28053	-0,58125	0,33786	-13665,88289
16	24118	24118	581677924	0,29962	-0,52550	0,27615	-12673,97472
17	25670	25670	658948900	0,31870	-0,47133	0,22215	-12099,05962
18	25914	25914	671535396	0,33779	-0,41851	0,17515	-10845,33045
19	26831	26831	719902561	0,35687	-0,36684	0,13457	-9842,60890
20	27057	27057	732081249	0,37595	-0,31612	0,09993	-8553,36685
21	27943	27943	780811249	0,39504	-0,26621	0,07087	-7438,74761
22	31310	31310	980316100	0,41412	-0,21695	0,04707	-6792,82648
23	31426	31426	987593476	0,43321	-0,16822	0,02830	-5286,40157
24	31500	31500	992250000	0,45229	-0,11988	0,01437	-3776,14267
25	32588	32588	1061977744	0,47137	-0,07182	0,00516	-2340,34996
26	35520	35520	1261670400	0,49046	-0,02392	0,00057	-849,65579
27	38896	38896	1512898816	0,50954	0,02392	0,00057	930,41137
28	41280	41280	1704038400	0,52863	0,07182	0,00516	2964,57734
29	44593	44593	1988535649	0,54771	0,11988	0,01437	5345,69936
30	45014	45014	2026260196	0,56679	0,16822	0,02830	7572,14028
31	47480	47480	2254350400	0,58588	0,21695	0,04707	10300,97098
32	51634	51634	2666069956	0,60496	0,26621	0,07087	13745,56398
33	53193	53193	2829495249	0,62405	0,31612	0,09993	16815,58350
34	53535	53535	2865996225	0,64313	0,36684	0,13457	19638,62947
35	54484	54484	2968506256	0,66221	0,41851	0,17515	22802,22985
36	55680	55680	3100262400	0,68130	0,47133	0,22215	26243,69458
37	55796	55796	3113193616	0,70038	0,52550	0,27615	29320,71869
38	56167	56167	3154731889	0,71947	0,58125	0,33786	32647,34142

Normal							
No	□	□$_i$ =	□	$F_{(t□□)}$	□$_i$	□	□$_{□□}$. □$_i$
39	56340	56340	3174195600	0,73855	0,63888	0,40817	35994,51967
40	58860	58860	3464499600	0,75763	0,69871	0,48820	41126,11380
41	58993	58993	3480174049	0,77672	0,76115	0,57936	44902,77811
42	61440	61440	3774873600	0,79580	0,82672	0,68346	50793,55067
43	61824	61824	3822206976	0,81489	0,89604	0,80290	55397,05393
44	66099	66099	4369077801	0,83397	0,96997	0,94084	64114,09706
45	67215	67215	4517856225	0,85305	1,04962	1,10170	70550,16859
46	67669	67669	4579093561	0,87214	1,13655	1,29175	76909,40603
47	70472	70472	4966302784	0,89122	1,23305	1,52041	86895,47284
48	73435	73435	5392699225	0,91031	1,34264	1,80268	98596,60034
49	80376	80376	6460301376	0,92939	1,47126	2,16460	118253,82796
50	83377	83377	6951724129	0,94847	1,63023	2,65764	135923,47382
51	86056	86056	7405635136	0,96756	1,84605	3,40789	158863,35258
52	89192	89192	7955212864	0,98664	2,21562	4,90897	197615,55393
Total	2158219	2158219	1,14692E+11	26	0	48,3414	1073350,280

3. Perhitungan Distribusi *Lognormal*

Berikut ini adalah contoh bentuk perhitungan manual distribusi *Lognormal* (i = 1):

□$_i$ $= \ln$ □□ $=$ □□(10215)

$= 9{,}2316$

□$_i^2$ $= 9{,}2316^2$

$= 85{,}22267$

□$_{(t□□)}$ $= \frac{□ - 0{,}3}{0{,}3} = \frac{1 -}{□ + 0{,}4} \quad \frac{}{52 + 0{,}4}$

□$_i$ $=$ □$_□ = \Phi^{-1}$ [□$_{(□□)}$]

$= -2{,}21562$

□$_i^2$ $= -2{,}21562^2$

$= 4{,}90897$

□$_{□□}$. $= 9{,}2316$ □ $- 2{,}21562$

□$_i$ $= -20{,}45374$

Perhitungan *Index Of Fit* distribusi *Lognormal*:

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]}}$$

$$r = \frac{(52 \times (29{,}1098)) - (544{,}6023 \times 0)}{\sqrt{((52 \times 5721{,}92) - (544{,}6023)^2)((52 \times 48{,}3414) - (0)^2)}}$$

$$= 0{,}980438314 \approx 98{,}0\%$$

Berikut merupakan tabel perhitungan distribusi *Lognormal* dengan bantuan *software* berupa Excel:

Tabel 4. 9 Perhitungan Distribusi *Lognormal* (*Time To Failure*)

Log Normal							
No	t_i	$y_i = ln\, t_i$	z_i	$F(t_i)$	z_i	y_i	$z_i \cdot y_i$
1	10215	9,2316	85,22267	0,01336	-2,21562	4,90897	-20,45374
2	11103	9,3150	86,76868	0,03244	-1,84605	3,40789	-17,19587
3	12607	9,4420	89,15151	0,05153	-1,63023	2,65764	-15,39262
4	14079	9,5524	91,24910	0,07061	-1,47126	2,16460	-14,05410
5	14158	9,5580	91,35604	0,08969	-1,34264	1,80268	-12,83298
6	15244	9,6319	92,77429	0,10878	-1,23305	1,52041	-11,87666
7	15570	9,6531	93,18236	0,12786	-1,13655	1,29175	-10,97126
8	16253	9,6960	94,01305	0,14695	-1,04962	1,10170	-10,17714
9	18430	9,8217	96,46648	0,16603	-0,96997	0,94084	-9,52680
10	19078	9,8563	97,14647	0,18511	-0,89604	0,80290	-8,83168
11	21117	9,9578	99,15845	0,20420	-0,82672	0,68346	-8,23232
12	21385	9,9704	99,40977	0,22328	-0,76115	0,57936	-7,58905
13	23117	10,0483	100,96881	0,24237	-0,69871	0,48820	-7,02087
14	23375	10,0594	101,19198	0,26145	-0,63888	0,40817	-6,42677
15	23511	10,0652	101,30873	0,28053	-0,58125	0,33786	-5,85046
16	24118	10,0907	101,82250	0,29962	-0,52550	0,27615	-5,30266
17	25670	10,1531	103,08500	0,31870	-0,47133	0,22215	-4,78546
18	25914	10,1625	103,27719	0,33779	-0,41851	0,17515	-4,25315
19	26831	10,1973	103,98520	0,35687	-0,36684	0,13457	-3,74075
20	27057	10,2057	104,15633	0,37595	-0,31612	0,09993	-3,22627
21	27943	10,2379	104,81505	0,39504	-0,26621	0,07087	-2,72545
22	31310	10,3517	107,15754	0,41412	-0,21695	0,04707	-2,24584
23	31426	10,3554	107,23412	0,43321	-0,16822	0,02830	-1,74196
24	31500	10,3577	107,28284	0,45229	-0,11988	0,01437	-1,24166
25	32588	10,3917	107,98742	0,47137	-0,07182	0,00516	-0,74629
26	35520	10,4779	109,78537	0,49046	-0,02392	0,00057	-0,25064
27	38896	10,5686	111,69629	0,50954	0,02392	0,00057	0,25281

Log Normal							
No	□	$□_i = l□□$	□	$F_{(t□□)}$	$□_i$	□	$□_{□□}.□_i$
28	41280	10,6281	112,96722	0,52863	0,07182	0,00516	0,76327
29	44593	10,7053	114,60414	0,54771	0,11988	0,01437	1,28333
30	45014	10,7147	114,80541	0,56679	0,16822	0,02830	1,80240
31	47480	10,7681	115,95120	0,58588	0,21695	0,04707	2,33617
32	51634	10,8519	117,76451	0,60496	0,26621	0,07087	2,88891
33	53193	10,8817	118,41101	0,62405	0,31612	0,09993	3,43996
34	53535	10,8881	118,55052	0,64313	0,36684	0,13457	3,99416
35	54484	10,9057	118,93347	0,66221	0,41851	0,17515	4,56415
36	55680	10,9274	119,40755	0,68130	0,47133	0,22215	5,15041
37	55796	10,9295	119,45304	0,70038	0,52550	0,27615	5,74341
38	56167	10,9361	119,59795	0,71947	0,58125	0,33786	6,35665
39	56340	10,9392	119,66522	0,73855	0,63888	0,40817	6,98881
40	58860	10,9829	120,62447	0,75763	0,69871	0,48820	7,67388
41	58993	10,9852	120,67405	0,77672	0,76115	0,57936	8,36141
42	61440	11,0258	121,56863	0,79580	0,82672	0,68346	9,11524
43	61824	11,0320	121,70606	0,81489	0,89604	0,80290	9,88520
44	66099	11,0989	123,18578	0,83397	0,96997	0,94084	10,76562
45	67215	11,1157	123,55771	0,85305	1,04962	1,10170	11,66720
46	67669	11,1224	123,70741	0,87214	1,13655	1,29175	12,64118
47	70472	11,1630	124,61192	0,89122	1,23305	1,52041	13,76450
48	73435	11,2042	125,53311	0,91031	1,34264	1,80268	15,04312
49	80376	11,2945	127,56507	0,92939	1,47126	2,16460	16,61708
50	83377	11,3311	128,39446	0,94847	1,63023	2,65764	18,47232
51	86056	11,3628	129,11217	0,96756	1,84605	3,40789	20,97617
52	89192	11,3985	129,92687	0,98664	2,21562	4,90897	25,25484
	2158219	544,6023	5721,92	26	0	48,3414	29,1098

4. Perhitungan Distribusi *Weibull*

Berikut ini adalah contoh bentuk perhitungan manual distribusi *Weibul* (i = 1):

$□_i$ $= \ln □□ =$
$□□(10215)$

$□_i^2$ $= 9{,}23161^2$

$= 85{,}22267$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{52 + 0,4}$$

$$= 0,01336$$

$$y_i = \ln[\ln(\frac{1}{1 - F(t_i)})] = \ln[\ln(\frac{1}{1 - 0,01336})]$$

$$y_i^2 = -4,30886^2$$

$$= 18,56631$$

$$x_i. = 6,1549 \; x_i - 4,2289$$

$$x_i y_i = -26,52045$$

Perhitungan *Index Of Fit* distribusi *Weibull*:

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

$$r = \frac{(52 \; x \; (-269,4147)) - (544,6023 \; x \; -29,1973)}{\sqrt{((52 \; x \; 5721,9222) - (544,6023)^2)x((52 \; x \; 92,6553) - (-29,1973)^2)}}$$

$$r = 0,9753 \approx 97,5\%$$

Berikut merupakan tabel perhitungan distribusi *Weibull* dengan bantuan *software* berupa Excel:

Tabel 4. 10 Perhitungan Distribusi *Weibull* (*Time To Failure*)

Weibull							
No	$x_i = ln(TTF)$	y_i	$F(t_i)$	x_i^2	y_i^2	$x_i . y_i$
1	10215	9,23161	85,22267	0,01336	-4,30886	18,56631	-39,77777
2	11103	9,31497	86,76868	0,03244	-3,41183	11,64061	-31,78113
3	12607	9,44201	89,15151	0,05153	-2,93932	8,63961	-27,75309
4	14079	9,55244	91,24910	0,07061	-2,61418	6,83395	-24,97183
5	14158	9,55804	91,35604	0,08969	-2,36472	5,59192	-22,60212
6	15244	9,63194	92,77429	0,10878	-2,16141	4,67170	-20,81859
7	15570	9,65310	93,18236	0,12786	-1,98917	3,95682	-19,20170
8	16253	9,69603	94,01305	0,14695	-1,83927	3,38292	-17,83364
9	18430	9,82174	96,46648	0,16603	-1,70618	2,91104	-16,75762
10	19078	9,85629	97,14647	0,18511	-1,58617	2,51594	-15,63378
11	21117	9,95783	99,15845	0,20420	-1,47663	2,18044	-14,70406
12	21385	9,97045	99,40977	0,22328	-1,37564	1,89238	-13,71572
13	23117	10,04832	100,96881	0,24237	-1,28173	1,64284	-12,87929

Weibull							
No	□	$□_i = l□□$	□	$F_{(t□□)}$	$□_i$	□	$□_{□□} . □_i$
14	23375	10,05942	101,19198	0,26145	-1,19380	1,42516	-12,00895
15	23511	10,06522	101,30873	0,28053	-1,11095	1,23421	-11,18195
16	24118	10,09071	101,82250	0,29962	-1,03246	1,06597	-10,41826
17	25670	10,15308	103,08500	0,31870	-0,95775	0,91728	-9,72410
18	25914	10,16254	103,27719	0,33779	-0,88633	0,78558	-9,00733
19	26831	10,19731	103,98520	0,35687	-0,81778	0,66877	-8,33920
20	27057	10,20570	104,15633	0,37595	-0,75177	0,56516	-7,67233
21	27943	10,23792	104,81505	0,39504	-0,68798	0,47332	-7,04349
22	31310	10,35169	107,15754	0,41412	-0,62615	0,39207	-6,48176
23	31426	10,35539	107,23412	0,43321	-0,56606	0,32042	-5,86174
24	31500	10,35774	107,28284	0,45229	-0,50748	0,25754	-5,25637
25	32588	10,39170	107,98742	0,47137	-0,45024	0,20272	-4,67877
26	35520	10,47785	109,78537	0,49046	-0,39416	0,15537	-4,13000
27	38896	10,56865	111,69629	0,50954	-0,33909	0,11498	-3,58376
28	41280	10,62813	112,95722	0,52863	-0,28488	0,08116	-3,02776
29	44593	10,70533	114,60414	0,54771	-0,23139	0,05354	-2,47709
30	45014	10,71473	114,80541	0,56679	-0,17848	0,03185	-1,91235
31	47480	10,76806	115,95120	0,58588	-0,12602	0,01588	-1,35703
32	51634	10,85194	117,76451	0,60496	-0,07389	0,00546	-0,80186
33	53193	10,88168	118,41101	0,62405	-0,02195	0,00048	-0,23887
34	53535	10,88809	118,55052	0,64313	0,02993	0,00090	0,32589
35	54484	10,90566	118,93347	0,66221	0,08190	0,00671	0,89312
36	55680	10,92738	119,40755	0,68130	0,13409	0,01798	1,46527
37	55796	10,92946	119,45304	0,70038	0,18668	0,03485	2,04035
38	56167	10,93608	119,59795	0,71947	0,23985	0,05753	2,62303
39	56340	10,93916	119,66522	0,73855	0,29380	0,08632	3,21389
40	58860	10,98292	120,62447	0,75763	0,34876	0,12163	3,83037
41	58993	10,98517	120,67405	0,77672	0,40501	0,16403	4,44911
42	61440	11,02582	121,56863	0,79580	0,46289	0,21427	5,10377
43	61824	11,03205	121,70606	0,81489	0,52282	0,27334	5,76779
44	66099	11,09891	123,18578	0,83397	0,58533	0,34261	6,49653
45	67215	11,11565	123,55771	0,85305	0,65112	0,42396	7,23762
46	67669	11,12238	123,70741	0,87214	0,72115	0,52006	8,02092
47	70472	11,16297	124,61192	0,89122	0,79680	0,63490	8,89470
48	73435	11,20416	125,53311	0,91031	0,88018	0,77472	9,86172
49	80376	11,29447	127,56507	0,92939	0,97478	0,95019	11,00958
50	83377	11,33113	128,39446	0,94847	1,08710	1,18178	12,31804

Weibull							
No							
51	86056	11,36275	129,1217	0,96756	1,23206	1,51797	13,99957
52	89192	11,39855	129,92687	0,98664	1,46223	2,13812	16,66732
	2158219	544,6023	5721,9222	26	-29,1973	92,6553	-269,4147

Tabel di bawah ini merupakan hasil *Index Of Fit* dari perhitungan yang telah dilakukan pada 4 distribusi yaitu distribusi *Eksponensial*, *Normal*, *Lognormal* dan *Weibull* sebagai berikut:

Tabel 4. 11 *Index Of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen

Data waktu antar kerusakan komponen pyrite gate		
Distribusi	***Index Of Fit***	***Index Of Fit %***
Exponensial	0,94417	94,4%
Normal	0,97410	97,4%
Log Normal	0,98044	98,0%
Weibull	0,97534	97,5%

Dari tabel di atas maka didapat nilai terbesar dari hasil *Index Of Fit* yaitu distribusi Log Normal dengan nilai *Index Of Fit* sebesar 98,7%. Distribusi yang dipilih yaitu distribusi Log Normal.

4.3.7 Penentuan Distribusi (*Time To Repair*)

1. Perhitungan Distribusi *Eksponensial*

Berikut ini adalah contoh bentuk perhitungan manual distribusi *Eksponensial* (i = 1):

$$= 30$$

$$= 30^2$$

$$= 900$$

$$= \frac{ - 0,3}{0,3} = \frac{1 -}{ + 0,4} \quad 53 + 0,4$$

$$= \ln[\ln(\frac{1}{1-0,01311})] = \ln[\ln(\frac{1}{1-0,01311})]$$

$$= 0,0143^2$$

$$= 0,00017$$

$$= 30 \times 0,01320$$

$$= 0,39586$$

Perhitungan *Index Of Fit* distribusi *eksponensial*:

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sqrt{[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2][n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} y_i)^2]}}$$

$$r = \frac{(53 \times (14717,0165)) - (9086 \times 51,94677)}{\sqrt{((53 \times 2351752) - (9086)^2)((53 \times 96,54053) - (51,94677)^2)}}$$

$$r = 0,96549 \approx 96,0\%$$

Berikut merupakan tabel perhitungan distribusi *Eksponensial* dengan bantuan software berupa Excel:

Tabel 4. 12 Perhitungan Distribusi *Eksponensial* (*Time To Repair*)

No				Exponensial			
1	30	30	900	0,01311	0,01320	0,00017	0,39586
2	32	32	1024	0,03184	0,03235	0,00105	1,03529
3	40	40	1600	0,05056	0,05188	0,00269	2,07539
4	55	55	3025	0,06929	0,07181	0,00516	3,94932
5	60	60	3600	0,08801	0,09213	0,00849	5,52790
6	60	60	3600	0,10674	0,11288	0,01274	6,77276
7	60	60	3600	0,12547	0,13407	0,01797	8,04399
8	61	61	3721	0,14419	0,15571	0,02425	9,49846
9	61	61	3721	0,16292	0,17784	0,03163	10,84807
10	61	61	3721	0,18165	0,20046	0,04019	12,22822
11	69	69	4761	0,20037	0,22361	0,05000	15,42922
12	73	73	5329	0,21910	0,24731	0,06116	18,05360
13	80	80	6400	0,23783	0,27158	0,07376	21,72661
14	80	80	6400	0,25655	0,29646	0,08789	23,71676
15	90	90	8100	0,27528	0,32197	0,10367	28,97740
16	120	120	14400	0,29401	0,34815	0,12121	41,77808

Exponensial							
No	□□□	$□_i$ =	□ $□_i$	$F_{(t□□)}$	$□_i$	□ $□_i$	$□_{□□}.□_i$
17	120	120	14400	0,31273	0,37503	0,14065	45,00408
18	120	120	14400	0,33146	0,40266	0,16214	48,31921
19	120	120	14400	0,35019	0,43107	0,18582	51,72853
20	120	120	14400	0,36891	0,46031	0,21189	55,23755
21	120	120	14400	0,38764	0,49044	0,24053	58,85228
22	120	120	14400	0,40637	0,52149	0,27196	62,57929
23	120	120	14400	0,42509	0,55355	0,30642	66,42577
24	120	120	14400	0,44382	0,58666	0,34417	70,39964
25	120	120	14400	0,46255	0,62091	0,38553	74,50963
26	120	120	14400	0,48127	0,65638	0,43083	78,76540
27	120	120	14400	0,50000	0,69315	0,48045	83,17766
28	120	120	14400	0,51873	0,73132	0,53483	87,75837
29	120	120	14400	0,53745	0,77101	0,59445	92,52090
30	120	120	14400	0,55618	0,81234	0,65989	97,48028
31	120	120	14400	0,57491	0,85545	0,73179	102,65350
32	180	180	32400	0,59363	0,90050	0,81090	162,08973
33	180	180	32400	0,61236	0,94768	0,89809	170,58187
34	180	180	32400	0,63109	0,99719	0,99439	179,49458
35	180	180	32400	0,64981	1,04929	1,10100	188,87170
36	180	180	32400	0,66854	1,10425	1,21936	198,76430
37	180	180	32400	0,68727	1,16240	1,35118	209,23236
38	180	180	32400	0,70599	1,22415	1,49854	220,34701
39	240	240	57600	0,72472	1,28996	1,66401	309,59118
40	240	240	57600	0,74345	1,36041	1,85073	326,49958
41	240	240	57600	0,76217	1,43621	2,06270	344,69010
42	240	240	57600	0,78090	1,51822	2,30500	364,37326
43	240	240	57600	0,79963	1,60757	2,58427	385,81608
44	240	240	57600	0,81835	1,70568	2,90936	409,36437
45	258	258	66564	0,83708	1,81449	3,29237	468,13783
46	270	270	72900	0,85581	1,93659	3,75038	522,87941
47	281	281	78961	0,87453	2,07570	4,30854	583,27260
48	345	345	119025	0,89326	2,23734	5,00571	771,88388
49	480	480	230400	0,91199	2,43025	5,90611	1166,51915
50	480	480	230400	0,93071	2,66948	7,12611	1281,34940
51	480	480	230400	0,94944	2,98456	8,90759	1432,58831
52	480	480	230400	0,96816	3,44718	11,88307	1654,64760
53	480	480	230400	0,98689	4,33449	18,78777	2080,55313

Exponensial							
No		$_i =$	$_i$	$F_{(t__)}$	$_i$	$_i$	$__. _i$
Total	9086	9086	2351752	26,5	51,94677	96,54053	14717,0165

2. Perhitungan Distribusi *Normal*

Berikut ini adalah contoh bentuk perhitungan manual distribusi *Normal* (i = 1):

$_i = __i$

$= 30$

$_i^2 = 30^2$

$= 900$

$_{(t__)} = \frac{_ - 0,3}{0,3} = \frac{1 - 0,3}{53 + 0,4}$

$_i = __ = \Phi^{-1}[_{(__)}]$

$= -2,22298$

$_i^2 = -2,22298^2$

$= 4,94163$

$__. = 30 * -2,22298$

$_i = -66,68936$

Perhitungan *Index Of Fit* distribusi *Normal*:

$$_ = \frac{_\sum^{_} ____ - (\sum^{_} __)(\sum^{_} __)}{\sqrt{[\sum^{_} __^2 - (\sum^{_} __)^2][\sum^{_} __^2 - (\sum^{_} __)^2]}}$$

$$_ = \frac{(52 _ (5680,633)) - (9086 _ 1,11022E-14)}{\sqrt{((52 _ 2351752) - 9086^2) _ ((52 _ 49,327393) - (1,11022E-14)^2)}}$$

$_ = 0,90764 \approx 90,8\%$

Berikut merupakan tabel bentuk perhitungan manual distribusi *Normal* dengan bantuan *software* berupa Excel:

Normal							
No		$_i =$	$_i$	$F_{(t__)}$	$_i$	$_i$	$__. _i$
1	30	30	900	0,01311	-2,22298	4,94163	-66,68936

Tabel 4. 13 Perhitungan Distribusi *Normal (Time To Repair)*

Normal							
No							
2	32	32	1024	0,03184	-1,85448	3,43910	-59,34338
3	40	40	1600	0,05056	-1,63943	2,68773	-65,57723
4	55	55	3025	0,06929	-1,48111	2,19369	-81,46115
5	60	60	3600	0,08801	-1,35308	1,83083	-81,18482
6	60	60	3600	0,10674	-1,24404	1,54765	-74,64268
7	60	60	3600	0,12547	-1,14808	1,31808	-68,88469
8	61	61	3721	0,14419	-1,06166	1,12712	-64,76133
9	61	61	3721	0,16292	-0,98252	0,96535	-59,93385
10	61	61	3721	0,18165	-0,90910	0,82647	-55,45527
11	69	69	4761	0,20037	-0,84028	0,70608	-57,97961
12	73	73	5329	0,21910	-0,77523	0,60099	-56,59198
13	80	80	6400	0,23783	-0,71331	0,50881	-57,06461
14	80	80	6400	0,25655	-0,65400	0,42772	-52,32040
15	90	90	8100	0,27528	-0,59692	0,35631	-53,72266
16	120	120	14400	0,29401	-0,54171	0,29345	-65,00578
17	120	120	14400	0,31273	-0,48812	0,23826	-58,57384
18	120	120	14400	0,33146	-0,43588	0,18999	-52,30600
19	120	120	14400	0,35019	-0,38481	0,14808	-46,17779
20	120	120	14400	0,36891	-0,33473	0,11205	-40,16777
21	120	120	14400	0,38764	-0,28547	0,08150	-34,25690
22	120	120	14400	0,40637	-0,23690	0,05612	-28,42804
23	120	120	14400	0,42509	-0,18888	0,03568	-22,66554
24	120	120	14400	0,44382	-0,14129	0,01996	-16,95486
25	120	120	14400	0,46255	-0,09402	0,00884	-11,28235
26	120	120	14400	0,48127	-0,04696	0,00221	-5,63494
27	120	120	14400	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000
28	120	120	14400	0,51873	0,04696	0,00221	5,63494
29	120	120	14400	0,53745	0,09402	0,00884	11,28235
30	120	120	14400	0,55618	0,14129	0,01996	16,95486
31	120	120	14400	0,57491	0,18888	0,03568	22,66554
32	180	180	32400	0,59363	0,23690	0,05612	42,64207
33	180	180	32400	0,61236	0,28547	0,08150	51,38535
34	180	180	32400	0,63109	0,33473	0,11205	60,25165
35	180	180	32400	0,64981	0,38481	0,14808	69,26669
36	180	180	32400	0,66854	0,43588	0,18999	78,45901
37	180	180	32400	0,68727	0,48812	0,23826	87,86076
38	180	180	32400	0,70599	0,54171	0,29345	97,50867

Normal							
No	□□□	□$_i$ =	□$_i$	$F_{(t□□)}$	□$_i$	□$_i$	□$_{□□}$. □$_i$
39	240	240	57600	0,72472	0,59692	0,35631	143,26044
40	240	240	57600	0,74345	0,65400	0,42772	156,96119
41	240	240	57600	0,76217	0,71331	0,50881	171,19383
42	240	240	57600	0,78090	0,77523	0,60099	186,05582
43	240	240	57600	0,79963	0,84028	0,70608	201,66821
44	240	240	57600	0,81835	0,90910	0,82647	218,18467
45	258	258	66564	0,83708	0,98252	0,96535	253,49070
46	270	270	72900	0,85581	1,06166	1,12712	286,64853
47	281	281	78961	0,87453	1,14808	1,31808	322,60994
48	345	345	119025	0,89326	1,24404	1,54765	429,19539
49	480	480	230400	0,91199	1,35308	1,83083	649,47857
50	480	480	230400	0,93071	1,48111	2,19369	710,93367
51	480	480	230400	0,94944	1,63943	2,68773	786,92673
52	480	480	230400	0,96816	1,85448	3,43910	890,15076
53	480	480	230400	0,98689	2,22298	4,94163	1067,02983
Total	9086	9086	2351752	26,5	1,11022E-14	49,327393	5680,633

3. Perhitungan Distribusi *Lognormal*

Berikut ini adalah contoh bentuk perhitungan manual distribusi *Lognormal* (i = 1):

□$_i$ $= \ln$ □□□ $=$ □□(30)

$= 3{,}40120$

□$_i^2$ $= 3{,}40120^2$

$= 11{,}56814$

□$_{(t□□)}$ $= \frac{□ - 0{,}3}{□ + 0{,}4} = \frac{1 - 0{,}3}{53 + 0{,}4}$

□$_i$ $= □_{□} = \Phi^{-1}\ [□_{(□□)}]$

$= -2{,}22298$

□$_i^2$ $= -2{,}22298^2$

$= 4{,}94163$

□$_{□□}$. $= 3{,}40120$ □ $- 2{,}22298$

$$= -7{,}56079$$

Perhitungan *Index Of Fit* distribusi *Lognormal*:

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]}}$$

$$r = \frac{(53 \times (34{,}62739)) - (260{,}30384 \times 1{,}11022E-14)}{\sqrt{((53 \times 1303{,}63032) - (260{,}30384)^2)\times((53 \times 49{,}32739) - (1{,}11022E-14)^2)}}$$

$$r = 0{,}98262 \approx 98{,}3\%$$

Berikut merupakan tabel perhitungan distribusi *Lognormal* dengan bantuan *software* berupa Excel:

Tabel 4.14 Perhitungan Distribusi *Lognormal* (*Time To Repair*)

Log Normal							
No	t_i	$y_i = \ln t_i$	y_i^2	$F(t_i)$	z_i	z_i^2	$y_i \cdot z_i$
1	30	3,40120	11,56814	0,01311	-2,22298	4,94163	-7,56079
2	32	3,46574	12,01133	0,03184	-1,85448	3,43910	-6,42714
3	40	3,68888	13,60783	0,05056	-1,63943	2,68773	-6,04766
4	55	4,00733	16,05872	0,06929	-1,48111	2,19369	-5,93531
5	60	4,09434	16,76366	0,08801	-1,35308	1,83083	-5,53998
6	60	4,09434	16,76366	0,10674	-1,24404	1,54765	-5,09355
7	60	4,09434	16,76366	0,12547	-1,14808	1,31808	-4,70063
8	61	4,11087	16,89928	0,14419	-1,06166	1,12712	-4,36436
9	61	4,11087	16,89928	0,16292	-0,98252	0,96535	-4,03902
10	61	4,11087	16,89928	0,18165	-0,90910	0,82647	-3,73721
11	69	4,23411	17,92766	0,20037	-0,84028	0,70608	-3,55785
12	73	4,29046	18,40804	0,21910	-0,77523	0,60099	-3,32610
13	80	4,38203	19,20216	0,23783	-0,71331	0,50881	-3,12573
14	80	4,38203	19,20216	0,25655	-0,65400	0,42772	-2,86587
15	90	4,49981	20,24829	0,27528	-0,59692	0,35631	-2,68602
16	120	4,78749	22,92008	0,29401	-0,54171	0,29345	-2,59346
17	120	4,78749	22,92008	0,31273	-0,48812	0,23826	-2,33685
18	120	4,78749	22,92008	0,33146	-0,43588	0,18999	-2,08679
19	120	4,78749	22,92008	0,35019	-0,38481	0,14808	-1,84230
20	120	4,78749	22,92008	0,36891	-0,33473	0,11205	-1,60252
21	120	4,78749	22,92008	0,38764	-0,28547	0,08150	-1,36671
22	120	4,78749	22,92008	0,40637	-0,23690	0,05612	-1,13416
23	120	4,78749	22,92008	0,42509	-0,18888	0,03568	-0,90426
24	120	4,78749	22,92008	0,44382	-0,14129	0,01996	-0,67643

Log Normal							
No	□□□	$□_i = l□□$	□	$F_{(t□□)}$	$□_i$	□	$□_{□□}.□_i$
			$□_i$			$□_i$	
25	120	4,78749	22,92008	0,46255	-0,09402	0,00884	-0,45012
26	120	4,78749	22,92008	0,48127	-0,04696	0,00221	-0,22481
27	120	4,78749	22,92008	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000
28	120	4,78749	22,92008	0,51873	0,04696	0,00221	0,22481
29	120	4,78749	22,92008	0,53745	0,09402	0,00884	0,45012
30	120	4,78749	22,92008	0,55618	0,14129	0,01996	0,67643
31	120	4,78749	22,92008	0,57491	0,18888	0,03568	0,90426
32	180	5,19296	26,96680	0,59363	0,23690	0,05612	1,23021
33	180	5,19296	26,96680	0,61236	0,28547	0,08150	1,48245
34	180	5,19296	26,96680	0,63109	0,33473	0,11205	1,73825
35	180	5,19296	26,96680	0,64981	0,38481	0,14808	1,99833
36	180	5,19296	26,96680	0,66854	0,43588	0,18999	2,26352
37	180	5,19296	26,96680	0,68727	0,48812	0,23826	2,53476
38	180	5,19296	26,96680	0,70599	0,54171	0,29345	2,81310
39	240	5,48064	30,03740	0,72472	0,59692	0,35631	3,27149
40	240	5,48064	30,03740	0,74345	0,65400	0,42772	3,58437
41	240	5,48064	30,03740	0,76217	0,71331	0,50881	3,90938
42	240	5,48064	30,03740	0,78090	0,77523	0,60099	4,24877
43	240	5,48064	30,03740	0,79963	0,84028	0,70608	4,60529
44	240	5,48064	30,03740	0,81835	0,90910	0,82647	4,98246
45	258	5,55296	30,83536	0,83708	0,98252	0,96535	5,45591
46	270	5,59842	31,34233	0,85581	1,06166	1,12712	5,94363
47	281	5,63835	31,79104	0,87453	1,14808	1,31808	6,47327
48	345	5,84354	34,14701	0,89326	1,24404	1,54765	7,26963
49	480	6,17379	38,11563	0,91199	1,35308	1,83083	8,35363
50	480	6,17379	38,11563	0,93071	1,48111	2,19369	9,14407
51	480	6,17379	38,11563	0,94944	1,63943	2,68773	10,12149
52	480	6,17379	38,11563	0,96816	1,85448	3,43910	11,44917
53	480	6,17379	38,11563	0,98689	2,22298	4,94163	13,72420
Total	9086	260,30384	1303,63032	26,5	1,11022E-14	49,32739	34,62739

4. Perhitungan Distribusi *Weibull*

Berikut ini adalah contoh bentuk perhitungan manual distribusi *Weibul* (i = 1):

$$□_i = \ln □□□ = □□(30)$$

$$= 3{,}40120$$

$$\square_i^2 = 3{,}40120^2$$

$$= 11{,}56814$$

$$\square_{(t\square\square)} = \frac{\square - 0{,}3}{\square + 0{,}4} = \frac{1 - 0{,}3}{53 + 0{,}4}$$

$$= 0{,}01311$$

$$\square_i = \square\square[\square\square(\frac{1}{1-\square_{(\square\square)}})] = \square\square[\square\square(\frac{1}{1-0{,}01311})]$$

$$\square_i^2 = -4{,}32790^2$$

$$= 18{,}73068$$

$$\square_{\square\square}. = 3{,}4012\ \square - 4{,}2495$$

$$\square_i = -14{,}72003$$

Perhitungan *Index Of Fit* distribusi *Weibull*:

$$\square = \frac{\square\sum_{i=1}^{\square}(\square\square\square\square - (\sum_{i=1}^{\square}\square\square)(\sum_{i=1}^{\square}\square\square)}{\sqrt{[\square\sum_{\square\square=1}^{\square}\square\square^2 - (\sum_{\square\square=1}^{\square}\square\square)^2][\square\sum_{\square\square=1}^{\square}\square\square^2 - (\sum_{\square\square=1}^{\square}\square\square)^2]}}$$

$$\square = \frac{(52\ \square\ (-103{,}65937)) - (260{,}30384\ \square\ -29{,}77121)}{\sqrt{((52\ \square\ 1303{,}63032) - (260{,}30384)^2)\square((52\ \square\ 94{,}57646) - (-29{,}77121)^2)}}$$

$$\square = 0{,}96130 \approx 96{,}1\%$$

Berikut merupakan tabel perhitungan distribusi *Weibull* dengan bantuan *software* berupa Excel:

Tabel 4.5 Perhitungan Distribusi *Weibull* (*Time To Repair*)

No	$\square_i$	$\square_i$	$\square_i^2$	$F(t)$	$\square_i$	$\square_i^2$	$\square_{\square\square}.\ \square_i$
				Weibull			
1	30	3,40120	11,56814	0,01311	-4,32790	18,73068	-14,72003
2	32	3,46574	12,01133	0,03184	-3,43105	11,77210	-11,89111
3	40	3,68888	13,60783	0,05056	-2,95873	8,75408	-10,91439
4	55	4,00733	16,05872	0,06929	-2,63379	6,93685	-10,55447
5	60	4,09434	16,76366	0,08801	-2,38454	5,68601	-9,76311
6	60	4,09434	16,76366	0,10674	-2,18144	4,75866	-8,93155
7	60	4,09434	16,76366	0,12547	-2,00942	4,03776	-8,22725
8	61	4,11087	16,89928	0,14419	-1,85974	3,45865	-7,64517
9	61	4,11087	16,89928	0,16292	-1,72689	2,98214	-7,09901
10	61	4,11087	16,89928	0,18165	-1,60713	2,58286	-6,60670

Weibull							
No							
11	69	4,23411	17,92766	0,20037	-1,49784	2,24354	-6,34203
12	73	4,29046	18,40804	0,21910	-1,39711	1,95193	-5,99426
13	80	4,38203	19,20216	0,23783	-1,30349	1,69908	-5,71192
14	80	4,38203	19,20216	0,25655	-1,21584	1,47828	-5,32786
15	90	4,49981	20,24829	0,27528	-1,13329	1,28435	-5,09960
16	120	4,78749	22,92008	0,29401	-1,05512	1,11328	-5,05138
17	120	4,78749	22,92008	0,31273	-0,98074	0,96185	-4,69528
18	120	4,78749	22,92008	0,33146	-0,90966	0,82749	-4,35500
19	120	4,78749	22,92008	0,35019	-0,84148	0,70809	-4,02859
20	120	4,78749	22,92008	0,36891	-0,77585	0,60194	-3,71437
21	120	4,78749	22,92008	0,38764	-0,71246	0,50760	-3,41090
22	120	4,78749	22,92008	0,40637	-0,65106	0,42388	-3,11693
23	120	4,78749	22,92008	0,42509	-0,59141	0,34976	-2,83135
24	120	4,78749	22,92008	0,44382	-0,53330	0,28441	-2,55319
25	120	4,78749	22,92008	0,46255	-0,47656	0,22711	-2,28154
26	120	4,78749	22,92008	0,48127	-0,42102	0,17726	-2,01562
27	120	4,78749	22,92008	0,50000	-0,36651	0,13433	-1,75468
28	120	4,78749	22,92008	0,51873	-0,31290	0,09791	-1,49803
29	120	4,78749	22,92008	0,53745	-0,26006	0,06763	-1,24502
30	120	4,78749	22,92008	0,55618	-0,20784	0,04320	-0,99504
31	120	4,78749	22,92008	0,57491	-0,15613	0,02438	-0,74748
32	180	5,19296	26,96680	0,59363	-0,10481	0,01098	-0,54426
33	180	5,19296	26,96680	0,61236	-0,05374	0,00289	-0,27908
34	180	5,19296	26,96680	0,63109	-0,00281	0,00001	-0,01460
35	180	5,19296	26,96680	0,64981	0,04811	0,00231	0,24984
36	180	5,19296	26,96680	0,66854	0,09916	0,00983	0,51495
37	180	5,19296	26,96680	0,68727	0,15049	0,02265	0,78148
38	180	5,19296	26,96680	0,70599	0,20225	0,04090	1,05026
39	240	5,48064	30,03740	0,72472	0,25461	0,06483	1,39545
40	240	5,48064	30,03740	0,74345	0,30779	0,09473	1,68688
41	240	5,48064	30,03740	0,76217	0,36201	0,13105	1,98403
42	240	5,48064	30,03740	0,78090	0,41754	0,17434	2,28839
43	240	5,48064	30,03740	0,79963	0,47472	0,22536	2,60178
44	240	5,48064	30,03740	0,81835	0,53397	0,28512	2,92648
45	258	5,55296	30,83536	0,83708	0,59580	0,35498	3,30847
46	270	5,59842	31,34233	0,85581	0,66093	0,43683	3,70016
47	281	5,63835	31,79104	0,87453	0,73030	0,53334	4,11769

Weibull							
No	□□□	□$_i$ =	□	$F_{(t□□)}$	□$_i$	□	□$_{□□}$. □$_i$
			□$_i$			□$_i$	
48	345	5,84354	34,14701	0,89326	0,80529	0,64849	4,70575
49	480	6,17379	38,11563	0,91199	0,88799	0,78853	5,48228
50	480	6,17379	38,11563	0,93071	0,98188	0,96409	6,06194
51	480	6,17379	38,11563	0,94944	1,09345	1,19564	6,75074
52	480	6,17379	38,11563	0,96816	1,23756	1,53155	7,64041
53	480	6,17379	38,11563	0,98689	1,46660	2,15092	9,05449
Total	9086	260,30384	1303,63032	26,5	-29,77121	94,57646	-103,65937

Tabel di bawah ini merupakan hasil *Index Of Fit* dari perhitungan yang telah dilakukan pada 4 distribusi yaitu distribusi *Eksponensial*, *Normal*, *Lognormal* dan *Weibull* sebagai berikut:

Tabel 4. 16 *Index Of Fit Time To Repair*

Data waktu antar perbaikan komponen pyrite gate		
Distribusi	***Index Of Fit***	***Index Of Fit %***
Exponensial	0,96549	96,5%
Normal	0,90764	90,8%
Log Normal	0,98262	98,3%
Weibull	0,96130	96,1%

Dari tabel di atas maka didapat nilai terbesar dari hasil *Index Of Fit* yaitu distribusi *Lognormal* dengan nilai *Index Of Fit* sebesar 98,3%. Distribusi yang dipilih yaitu distribusi *Lognormal*.

4.3.8 Uji *Goodnees Of Fit (Time To Failure)*

Berikut ini merupakan Uji *Goodness Of Fit* pada distribusi data waktu antar kerusakan menggunakan Uji *Kolmogorov-Smirnov* yang dimana sebelumnya distribusi terbesar yaitu distribusi *Lognormal*.

Tabel 4. 17 Uji *Goodness Of Fit Time To Failure*

No	ln_{ti}	$[ln_{(t□□)} - \bar{x}ln_{t□□}]$□	z_{ti}	F_{ti}	D□	□□ □
1	9,231612507	1,5413	-2,096489099	0,018019413	0,018019413	0,001211356

No	ln_{ti}	$[ln_{(t\square\square)} - \bar{x}ln_{t\square\square}]^{\square}$	z_{ti}	F_{ti}	$D_{\square}$	$\square\square_{\square}$
2	9,314970621	1,3413	-1,95572546	0,025248752	0,006017983	0,013212787
3	9,442007494	1,0632	-1,74120318	0,040823985	0,002362447	0,016868323
4	9,552439604	0,8477	-1,554720725	0,060006298	0,002313991	0,016916779
5	9,558035114	0,8374	-1,545271803	0,061140266	-0,01578281	0,03501358
6	9,631941262	0,7076	-1,420469335	0,077735545	-0,018418301	0,03764907
7	9,653101265	0,6724	-1,384737252	0,083066412	-0,032318203	0,051548973
8	9,696032786	0,6039	-1,312240444	0,09471951	-0,039895875	0,059126644
9	9,821735051	0,4243	-1,099971867	0,13567219	-0,018173964	0,037404733
10	9,856291118	0,3805	-1,041618366	0,148794325	-0,024282598	0,043513367
11	9,957833682	0,2655	-0,870147344	0,192109944	-0,000197749	0,019428518
12	9,970445021	0,2527	-0,848851062	0,197982086	-0,013556375	0,032787144
13	10,04832356	0,1805	-0,717340575	0,236581988	0,005812758	0,013418012
14	10,05942235	0,1711	-0,698598463	0,242401502	-0,007598498	0,026829267
15	10,06522368	0,1664	-0,688801994	0,24547394	-0,023756829	0,042987598
16	10,09071373	0,1462	-0,645757923	0,259218071	-0,029243467	0,048474237
17	10,15307827	0,1024	-0,540445315	0,294444982	-0,013247326	0,032478095
18	10,16253864	0,0965	-0,524469955	0,299975856	-0,026947221	0,04617799
19	10,19731321	0,0761	-0,465747473	0,320698134	-0,025455712	0,044686482
20	10,20570103	0,0715	-0,45158329	0,325784605	-0,03960001	0,058830779
21	10,237922	0,0553	-0,397172979	0,345619953	-0,038995431	0,058226201
22	10,35169281	0,0147	-0,205052582	0,418765521	0,014919368	0,004311402
23	10,35539085	0,0139	-0,198807844	0,42120653	-0,001870393	0,021101162
24	10,35774282	0,0133	-0,194836163	0,422760606	-0,019547087	0,038777856
25	10,3916994	0,0066	-0,137494998	0,445319773	-0,016218688	0,035449458
26	10,4778512	0,0000	0,007986224	0,503186009	0,022416778	-0,003186009

No	ln_{ti}	$[ln_{(t\square\square)} - \bar{x}ln_{t\square\square}]^{\square}$	z_{ti}	F_{ti}	$D_{\square}$	$\square\square_{\square}$
27	10,5686467	0,0091	0,161309091	0,564075018	0,064075018	-0,044844249
28	10,6281334	0,0240	0,261761998	0,603247531	0,084016761	-0,064785992
29	10,70533218	0,0539	0,392124599	0,652516924	0,114055385	-0,094824616
30	10,71472883	0,0584	0,407992371	0,658360362	0,100668054	-0,081437285
31	10,76806385	0,0870	0,498057162	0,690778124	0,113855047	-0,094624277
32	10,85193565	0,1435	0,639688245	0,73881235	0,142658504	-0,123427735
33	10,88168209	0,1669	0,689919911	0,754877723	0,139493108	-0,120262338
34	10,88809092	0,1722	0,700742267	0,758268063	0,123652679	-0,10442191
35	10,90566236	0,1871	0,730414473	0,767431563	0,113585409	-0,09435464
36	10,9273763	0,2063	0,767081961	0,778483607	0,105406684	-0,086175914
37	10,92945746	0,2082	0,770596346	0,779526886	0,087219194	-0,067988425
38	10,93608467	0,2143	0,781787466	0,782830256	0,071291794	-0,052061025
39	10,93916004	0,2172	0,78698072	0,784353424	0,053584193	-0,034353424
40	10,98291702	0,2599	0,860871449	0,805345576	0,055345576	-0,036114807
41	10,98517407	0,2622	0,864682842	0,806393555	0,037162786	-0,017932017
42	11,02581637	0,3055	0,933313924	0,824671046	0,036209507	-0,016978738
43	11,03204692	0,3124	0,943835213	0,827373069	0,019680761	-0,000449992
44	11,0989089	0,3916	1,056742466	0,854685431	0,027762354	-0,008531585
45	11,11565172	0,4128	1,085015419	0,861042587	0,014888741	0,004342028
46	11,12238345	0,4215	1,096383042	0,863544409	-0,001840206	0,021070976
47	11,16297075	0,4759	1,164921246	0,877974564	-0,006640821	0,02587159
48	11,20415594	0,5344	1,234469098	0,891485923	-0,012360231	0,031591001
49	11,2944709	0,6746	1,3869805	0,917276146	-0,005800778	0,025031547
50	11,33112777	0,7362	1,448881543	0,926314667	-0,015993026	0,035223795
51	11,36275353	0,7914	1,502286739	0,933488464	-0,028049998	0,047280767

No	ln_{ti}	$[ln_{(t\square\square)} - \bar{x}ln_{t\square\square}]^{\square}$	z_{ti}	F_{ti}	$D_{\square}$	$\square\square_{\square}$
52	11,39855	0,8564	1,562729173	0,940941845	-0,039827386	0,059058155
	544,60234	18,2355	DnMax		**0,143**	0,059

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa:

Dhitung dapat diperoleh dari nilai terbesar antara D1 dan D2, maka Dhitung = 0,143,

Hipotesa untuk melakukan Kolmogorov-Smirnov Test adalah:

- H0 = Data *Time Failure* berdistribusi Log Normal
- H1 = Data *Time Failure* tidak berdistribusi Log Normal
- α = 0,05
- Dtabel = Dapat dilihat dari tabel D *Kolmogorov-Smirnov*, dengan nilai Dcrit 52;0,05 = 0,184
- Wilayah kritis: Dn < Dcrit maka H0 diterima.
- Bahwa keputusannya Dn < Dcrit, Dn = 0,143 < Dcrit = 0,184, yaitu H0 diterima.

4.3.9 Uji *Goodnees Of Fit (Time To Repair)*

Berikut ini merupakan Uji *Goodness Of Fit* pada distribusi data waktu perbaikan menggunakan Uji *Kolmogorov-Smirnov* yang dimana sebelumnya distribusi terbesar yaitu distribusi *Lognormal*.

Tabel 4. 18 *Goodnees Of Fit Time To Repair*

No	$l\square\square$	$[l\square\square_{(ti)} - \bar{x}$	$\square\square$	$\square\square$	$D_{\square}$	$D_{\square}$
1	3,401197381	2,2807	-2,1912	0,014219117	0,014219117	0,004648808
2	3,465735903	2,0899	-2,0975	0,017972609	-0,000895315	0,01976324
3	3,688879454	1,4945	-1,7738	0,038049687	0,000313837	0,018554087
4	4,007333185	0,8173	-1,3117	0,094806098	0,038202324	-0,019334399
5	4,094344562	0,6676	-1,1855	0,11791389	0,042442191	-0,023574267
6	4,094344563	0,6676	-1,1855	0,11791389	0,023574267	-0,004706342
7	4,094344563	0,6676	-1,1855	0,11791389	0,004706342	0,014161582
8	4,110873864	0,6408	-1,1615	0,122719922	-0,00935555	0,028223474
9	4,110873864	0,6408	-1,1615	0,122719922	-0,028223474	0,047091399
10	4,110873865	0,6408	-1,1615	0,122719922	-0,047091399	0,065959323
11	4,234106505	0,4587	-0,9827	0,16287875	-0,025800495	0,04466842
12	4,290459441	0,3856	-0,9009	0,183812499	-0,023734671	0,042602596
13	4,382026635	0,2802	-0,7681	0,221221762	-0,005193333	0,024061257
14	4,382026635	0,2802	-0,7681	0,221221762	-0,024061257	0,042929182
15	4,49980967	0,1694	-0,5972	0,275194061	0,011043118	0,007824807

No	l_{ti}	$[l_{(ti)} - \bar{x}$			D_1	D_2
16	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	0,145646804	-0,126778879
17	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	0,126778879	-0,107910955
18	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	0,107910955	-0,08904303
19	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	0,08904303	-0,070175106
20	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	0,070175106	-0,051307181
21	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	0,051307181	-0,032439257
22	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	0,032439257	-0,013571332
23	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	0,013571332	0,005296592
24	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	-0,005296592	0,024164517
25	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	-0,024164517	0,043032441
26	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	-0,043032441	0,061900366
27	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	-0,061900366	0,080768291
28	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	-0,080768291	0,099636215
29	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	-0,099636215	0,11850414
30	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	-0,11850414	0,137372064
31	4,787491743	0,0154	-0,1798	0,428665672	-0,137372064	0,156239989
32	5,192956851	0,0793	0,4085	0,658557301	0,07365164	-0,054783716
33	5,192956851	0,0793	0,4085	0,658557301	0,054783716	-0,035915791
34	5,192956851	0,0793	0,4085	0,658557301	0,035915791	-0,017047867
35	5,192956851	0,0793	0,4085	0,658557301	0,017047867	0,001820058
36	5,192956851	0,0793	0,4085	0,658557301	-0,001820058	0,020687982
37	5,192956851	0,0793	0,4085	0,658557301	-0,020687982	0,039555907
38	5,192956851	0,0793	0,4085	0,658557301	-0,039555907	0,058423831
39	5,480638923	0,3240	0,8259	0,795579596	0,078598464	-0,059730539
40	5,480638923	0,3240	0,8259	0,795579596	0,059730539	-0,040862615
41	5,480638923	0,3240	0,8259	0,795579596	0,040862615	-0,02199469
42	5,480638923	0,3240	0,8259	0,795579596	0,02199469	-0,003126766
43	5,480638923	0,3240	0,8259	0,795579596	0,003126766	0,015741159
44	5,480638923	0,3240	0,8259	0,795579596	-0,015741159	0,034609083
45	5,552959585	0,4116	0,9309	0,824038932	-0,006149748	0,025017672
46	5,598421959	0,4720	0,9968	0,840576516	-0,008480088	0,027348012
47	5,638354669	0,5285	1,0548	0,854234662	-0,013689867	0,032557791
48	5,843544417	0,8689	1,3525	0,911889972	0,025097519	-0,006229595
49	6,173786104	1,5936	1,8316	0,966497675	0,060837298	-0,041969373
50	6,173786104	1,5936	1,8316	0,966497675	0,041969373	-0,023101449
51	6,173786104	1,5936	1,8316	0,966497675	0,023101449	-0,004233524
52	6,173786104	1,5936	1,8316	0,966497675	0,004233524	0,014634401
53	6,173786104	1,5936	1,8316	0,966497675	-0,014634401	0,033502325
Total	**260,3038406**	**25,1758**	DnMax		**0,146**	**0,156**

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa:

Dhitung dapat diperoleh dari nilai terbesar antara D1 dan D2, maka Dhitung = 0,156.

Hipotesa untuk melakukan *Kolmogorov-Smirnov Test* adalah:

- H0 = Data *Time Repair* berdistribusi *Lognormal*
- H1 = Data *Time Repair* tidak berdistribusi *Lognormal*
- α = 0,05
- Dtabel = Dapat dilihat dari tabel D *Kolmogorov-Smirnov*, dengan nilai Dcrit 53;0,05 = 0,182
- Wilayah kritis: Dn < Dcrit maka H0 diterima.
- Bahwa keputusannya Dn < Dcrit, Dn = 0,156 < Dcrit = 0, 182, yaitu H0 diterima.

4.3.10 Perhitungan Parameter Dari Distribusi (*Time To Failure*)

Parameter yang digunakan untuk perhitungan dari distribusi data waktu kerusakan yaitu Tmed (parameter lokasi) dan s (parameter bentuk) dengan perhitungan sebagai berikut:

a. (Parameter Lokasi)

$$n = 52 \quad \sum_{ti} = 544{,}60234$$

$$\mu = \frac{\frac{\sum_{ti}}{n}}{n} = \frac{\frac{544{,}60234}{52}}{52} = 10{,}4731$$

$$e^{\mu} = e^{10{,}4731} = 35352{,}41108$$

b. (Parameter Bentuk)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}[\ln(ti)^2 - \mu]}{n}} = \sqrt{\frac{18{,}2355}{52}} = 0{,}592184986$$

4.3.11 Perhitungan Parameter Dari Distribusi (*Time To Repair*)

Parameter yang digunakan untuk perhitungan dari distribusi data waktu Perbaikan komponen Pulverizer, yaitu Tmed (parameter lokasi) dan s (parameter bentuk) dengan perhitungan sebagai berikut:

a. (Parameter Lokasi)

$$n = 53 \quad \sum_{ti} = 260{,}3038406$$

$$\mu = \frac{\frac{\sum_{ti}}{n}}{n} = \frac{\frac{260{,}303840}{6}}{53} = 4{,}9114$$

$$e^{\mu} = e^{4{,}9114} = 135{,}8285$$

b. (Parameter Bentuk)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} f_i (t_i - \bar{t})^2}{n}} = \sqrt{\frac{25,1758}{53}} = 0,689213453$$

4.3.12 Penentuan Nilai Tengah Dari Distribusi (*Time To Failure*)

Selanjutnya melakukan perhitungan penentuan nilai tengah dari distribusi data waktu antar kerusakan (*Mean Time To Failure*) komponen *Pulverizer* untuk distribusi *Lognormal* sebagai berikut:

$$MTTF = t_{med} . \exp^{(\frac{\sigma^2}{2})}$$

$$MTTF = 35352,41108 \times e^{(\frac{0,592184986^2}{2})}$$

$$MTTF = 42127,81135$$

4.3.13 Penentuan Nilai Tengah Dari Distribusi (*Time To Repair*)

Selanjutnya melakukan perhitungan penentuan nilai tengah dari distribusi data waktu perbaikan (*Mean Time To Repair*) komponen *Pulverizer* untuk distribusi *Lognormal* sebagai berikut:

$$MTTR = t_{med} . \exp^{(\frac{\sigma^2}{2})}$$

$$MTTR = 135,8285 \times e^{(\frac{0,689213453^2}{2})}$$

$$MTTR = 172,24206$$

4.3.14 Perhitungan Interval Waktu Penggantian

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan metode *Age Replacement* dilakukan dengan meminimalkan *downtime*, di mana nilai interval waktu antar kerusakan (tp) yang dipilih adalah yang memiliki *downtime* paling kecil.

Dibawah ini merupakan data – data yang sudah diketahui dari perhitungan sebelumnya, yang dimana data ini digunakan untuk mencari interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi *downtime*, yaitu sebagai berikut:

1. Data waktu kerusakan berdistribusi *Lognormal*
   - MTTF = 42127,81135
   - Tmed = 35352,41108

- S = 0,592184986

2. Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen
   - Tf = 172,24206
3. Waktu untuk melakukan penggantian *preventive maintenance*
   - Tp = 172,24206

Berikut merupakan contoh bentuk perhitungan manual interval waktu penggantian pencegahan pada mesin *Pulverizer* komponen Pyrite Gate:

$$t = 30000$$

$$R_{(t)} = \Phi\left(\frac{1}{S}\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right)$$

$$= \Phi\left(\frac{1}{0{,}592184986}\left(\frac{30000}{35352{,}41108}\right)^{\beta}\right) = 0{,}390803198$$

$$D_{(t)} = 1 - R_{(t)}$$

$$= 1 - 0{,}390803198 = 0{,}609196802$$

$$M_{(t)} = \frac{M\,t\,t}{R_{(t)}}$$

$$= \frac{42127{,}81135}{0{,}390803198} = 107798{,}021$$

$$R_{(t)} = \frac{\text{Tp. R(tp) + Tf(1 − R (tp))}}{(\text{tp} + \text{Tp})\text{R(tp)} + (\theta(\beta) + \text{Tf})\,(1 - \text{R(tp)})}$$

$$= 0{,}002846569$$

Berikut merupakan tabel perhitungan interval waktu penggantian dengan bantuan *software* berupa Excel dengan simulasi t sebanyak 12 bulan (530000 menit) waktu beroperasi mesin *pulverizer* secara *non stop*:

Tabel 4. 19 Perhitungan Interval Waktu Penggantian

t	$R_{(t)}$	$\theta(\beta)$	$M_{(t)}$	$D_{(t)}$
1	1	2,7091E-70	1,55505E+74	0,004071815
1000	0,999999999	8,68336E-10	4,85156E+13	0,003977872
10000	0,983513444	0,016486556	2555282,698	0,003303938
20000	0,831954994	0,168045006	250693,6235	0,002923807
30000	0,609196802	0,390803198	107798,021	0,002846569
40000	0,417391415	0,582608585	72308,94369	0,002924544

t	$R_{(t)}$	□□(	$M_{(t)}$	$D_{(t)}$
50000	0,279144322	0,720855678	58441,3949	0,00306846
60000	0,185857708	0,814142292	51745,02269	0,003230874
70000	0,124337624	0,875662376	48109,65107	0,003387067
80000	0,08393776	0,91606224	45987,93567	0,003525412
90000	0,057287622	0,942712378	44687,87335	0,003641977
100000	0,039554765	0,960445235	43862,79386	0,003737073
110000	0,027630214	0,972369786	43324,88727	0,003813036
120000	0,019520442	0,980479558	42966,53715	0,003872903
130000	0,013941779	0,986058221	42723,45228	0,003919702
140000	0,010061031	0,989938969	42555,96828	0,003956124
150000	0,00733206	0,99266794	42438,97644	0,003984421
160000	0,00539305	0,99460695	42356,24069	0,004006409
180000	0,002993897	0,997006103	42254,31643	0,00403687
200000	0,001714729	0,998285271	42200,17321	0,004055517
220000	0,001009871	0,998990129	42170,39801	0,004067094
240000	0,00060982	0,99939018	42153,51742	0,004074394
260000	0,000376644	0,999623356	42143,68452	0,004079071
280000	0,000237426	0,999762574	42137,81598	0,004082114
300000	0,000152474	0,999847526	42134,23571	0,004084122
320000	0,00009959	0,99990041	42132,00744	0,004085467
340000	6,60745E-05	0,999933925	42130,59511	0,004086379
360000	4,44696E-05	0,99995553	42129,68484	0,004087006
380000	3,03284E-05	0,999969672	42129,08906	0,00408744
400000	2,09398E-05	0,99997906	42128,69352	0,004087746
420000	1,46237E-05	0,999985376	42128,42743	0,004087963
430000	1,22703E-05	0,99998773	42128,32828	0,004088047
440000	1,03222E-05	0,999989678	42128,24621	0,004088119
450000	8,70503E-06	0,999991295	42128,17808	0,004088179
460000	7,35894E-06	0,999992641	42128,12137	0,004088231
470000	6,23554E-06	0,999993764	42128,07404	0,004088275
480000	5,2956E-06	0,999994704	42128,03445	0,004088313
490000	0,00000451	0,999995493	42128,00123	0,004088345
500000	3,84438E-06	0,999996156	42127,97331	0,004088373
510000	3,2858E-06	0,999996714	42127,94978	0,004088397
520000	2,81401E-06	0,999997186	42127,9299	0,004088417
530000	2,41466E-06	0,999997585	42127,91308	0,004088435
Min D(tp)				0,002846569

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dilihat nilai D(t) yang paling minimum yaitu pada tp = 30000 atau dapat disimpulkan bahwa waktu interval penggantian komponen Pyrite Gate dengan kriteria minimasi *downtime* pada menit ke 30000 atau 21 hari.

4.3.15 Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan

Selanjutnya melakukan perhitungan interval waktu pemeriksaan pada komponen Pyrite Gate. Berikut ini merupakan perhitungan interval waktu pemeriksaan pada komponen Phyrite Gate:

1. Jumlah pemeriksaan (k)
   - Periode kerusakan komponen Pyrite Gate Oktober 2020 - November 2024 = 49 bulan
   - Frekuensi kerusakan komponen Pyrates Gate selama 2020-2024 = 53 kali

   $$k = \frac{\text{Banyaknya kerusakan}}{\text{Periode kerusakan}} = \frac{53}{49} = 1{,}08163$$

2. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk perbaikan
   - MTTR = 172,2420597 menit = 3 Jam
   - T = 26 hari kerja/bulan x 24 jam/hari = 624 jam/bulan
   - $\frac{1}{\mu} = \frac{\text{MTTR}}{T} = \frac{3}{624} = 0{,}00460$
   - $\mu = \frac{1}{0{,}00460} = 217{,}36851$
3. Waktu rata-rata melakukan pemeriksaan
   - Waktu yang dibutuhkan perusahaan untuk pemeriksaan (ti) komponen Pyrite Gate adalah 60 menit atau 1 jam
   - T = 624 jam/bulan

   $$\frac{1}{\text{Waktu pemeriksaan}} = \frac{1}{624} = 0{,}00160$$

   - $\text{Waktu pemeriksaan} = \frac{1}{624} = 0{,}00160$
4. Perhitungan frekuensi pemeriksaan

   $$\text{Waktu pemeriksaan} = \sqrt{\frac{k.}{\mu}} = \sqrt{\frac{1{,}08163 * 624}{217{,}36851}} = 1{,}76211 \text{ kali pemeriksaan/bulan}$$

5. Interval waktu pemeriksaan

$$\frac{□}{□} = \frac{624}{1{,}76211} = 354{,}1202116\ □□□ = 15 \text{ hari}$$

4.3.16 Perhitungan *Availability*

Perhitungan availability dilakukan untuk menilai tingkat keandalan suatu mesin atau komponen setelah dilaksanakannya kegiatan *preventive maintenance*. Dalam hal ini, *availability* dihitung dari dua peristiwa yang berbeda, yaitu *availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan dan *availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan. Kedua nilai tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam analisis untuk menggambarkan kondisi kesiapan peralatan secara menyeluruh, sebagaimana ditunjukkan pada perhitungan berikut:

a. *Availability* bedasarkan frekuensi kerusakan

$$□(□) = \frac{□}{□□.□} + \frac{1}{□}$$

$$= \frac{1{,}08163}{217{,}36851 * 1{,}76211} + \frac{1}{624}$$

$$= 0{,}004426$$

$$□(□) = 1 - □(□)$$

$$= 1 - 0{,}004426$$

$$= 0{,}995574$$

b. *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan:

$$□(□□) = 1 - □□□\ □(□□)$$

$$= 1 - 0{,}002846569$$

$$= 0{,}997153431$$

c. *Availability* total:

$$□□□□□□□□□□□□□ = □(□) * □(□□)$$

$$= 0{,}995574 * 0{,}997153431$$

$$= 0{,}99274 \approx 99{,}3\%$$

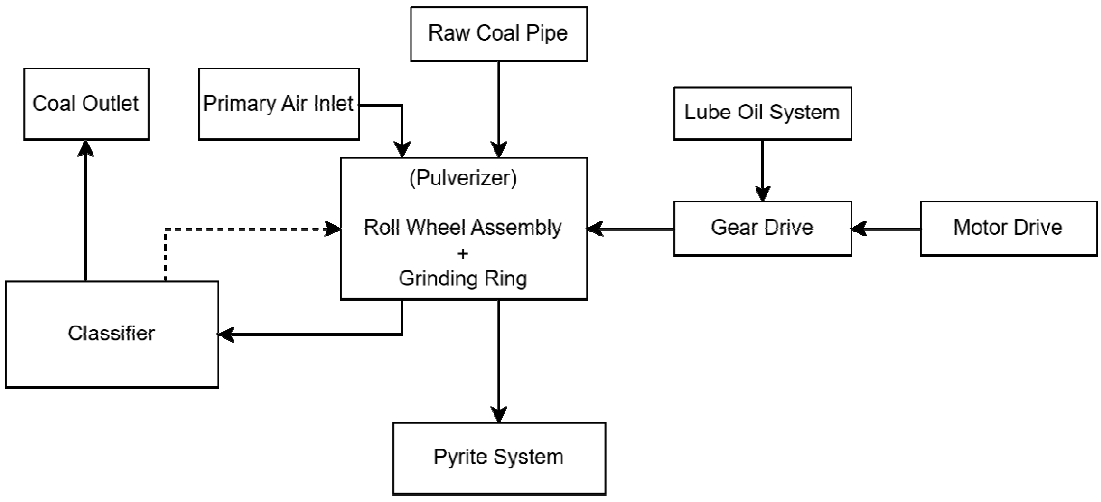
BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Proses *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

5.1.1 *Function Block Diagram* (FBD)

Berikut merupakan FBD dari Pulverizer:



Gambar 5. 1 Pembahasan *Function Block Diagram* Pulverizer

Berdasarkan gambar *Function Block Diagram* (FBD) yang ditampilkan, mekanisme pulverizer bekerja dalam sebuah alur sistematis untuk menghaluskan batubara. Proses dimulai ketika batubara mentah dari Coal Feeder masuk melalui Raw Coal Pipe menuju bagian utama pulverizer, yaitu Roll Wheel Assembly dan Grinding Ring. Secara bersamaan. Sistem penggilingan ditenagai oleh Motor Drive yang mentransmisikan daya melalui Gear Drive, sementara Lube Oil System berfungsi melumasi Gear Drive dan komponen bergerak lainnya untuk mengurangi gesekan dan keausan. Setelah batubara dihancurkan oleh Roll Wheel Assembly dan Grinding Ring, partikel batubara akan terbawa melewati Classifier oleh udara bertekanan tinggi yang bersumber dari Primary Air Inlet. Classifier ini memisahkan partikel batubara berdasarkan ukuran, partikel yang sudah cukup halus akan diteruskan ke Coal Outlet untuk digunakan dalam proses pembakaran di burner untuk bahan bakar boiler, sementara partikel batu bara yang masih

cukup besar dan berat akan turun kembali ke Roll Wheel Assembly untuk digiling ulang hingga mencapai ukuran yang sesuai. Disaat batubara yang keras atau mungkin material campuran bukan batubara yang terikut dalam raw batubara secara proses tidak dapat dihaluskan maka secara sentrifugal akan jatuh ke pyrite gate dan selanjutnya dibuang keluar menuju pyrite box.

5.1.2 *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)

Berdasarkan analisis FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) pada mesin Pulverizer, ditemukan bahwa komponen dengan nilai risiko tertinggi adalah Pyrite Gate dengan nilai RPN sebesar 280. Risiko ini berasal dari kegagalan pembuka/gate yang macet akibat silinder actuator macet, sehingga sistem tidak dapat membuang material asing dari batubara dengan lancar. Hal ini dapat menyebabkan aliran material jadi tersumbat pada pulverizer. Nilai *severity* (S) yang tinggi, dikombinasikan dengan tingkat kejadian (O) yang sering dan tingkat deteksi (D) yang sedang, menunjukkan bahwa komponen ini sangat kritis dan perlu segera ditangani. Komponen lain dengan risiko tinggi meliputi Lube Oil System (RPN 288) yang rawan terhadap kebocoran dan kontaminasi sehingga menyebabkan pelumasan tidak efektif, serta External Loading System dan Roll Wheel Assembly (masing-masing RPN 224) yang mengalami keausan dan kerusakan mekanis yang dapat memengaruhi kinerja penggilingan dan efisiensi energi.

Komponen dengan RPN sekitar 180 seperti Swing Valve, Valve System, Control Damper, dan Gear Drive juga menunjukkan potensi kegagalan menengah-tinggi yang dapat mengganggu pengaturan aliran udara atau material serta menimbulkan getaran dan ketidakstabilan operasional. Sementara itu, beberapa komponen lainnya seperti Classifier, Seal Air, Throat Ring, Raw Coal Pipe, dan Body Air Chamber memiliki nilai RPN yang lebih rendah (antara 40 hingga 140), namun tetap memerlukan perhatian untuk mencegah turunnya efisiensi sistem secara keseluruhan. Kegagalan pada komponen- komponen ini cenderung terjadi lebih jarang atau berdampak lebih kecil, namun akumulasi masalah kecil tetap dapat menyebabkan gangguan besar jika diabaikan.

5.1.3 *Logic Tree Analysis* (LTA)

Logic Tree Analysis (LTA) pada sistem pulverizer menunjukkan pengelompokan komponen berdasarkan tiga parameter kritis, yaitu *evident* (kemudahan deteksi kegagalan), *safety* (dampak terhadap keselamatan), dan *outage* (kemungkinan menyebabkan shutdown unit). Hasil analisis memperlihatkan bahwa sebagian besar komponen termasuk dalam kategori B, yang terdiri dari Pyrite Gate, Lube Oil System, External Loading System, Roll Wheel Assembly, Coal Pipe, Swing Valve, Valve System, Control Damper, Gear Drive, Classifier, Throat Ring, dan Raw Coal Pipe. Hal ini menandakan bahwa kegagalan pada komponen-komponen tersebut dapat terdeteksi dan berpotensi menyebabkan shutdown, sehingga memerlukan prioritas tinggi dalam strategi pemeliharaan. Sementara itu, Body Air Chamber masuk dalam kategori A karena kegagalannya dapat terdeteksi dengan jelas serta tidak berdampak langsung pada keselamatan, sehingga membutuhkan perhatian khusus dalam program perawatan. Adapun Seal Air dikategorikan sebagai D, yang berarti kegagalannya tidak mudah terdeteksi, tidak berdampak pada keselamatan, dan dapat menyebabkan *shutdown* unit.

5.1.4 *Task Selection* (TS)

Hasil Task Selection (TS) pada sistem pulverizer menunjukkan strategi pemeliharaan yang terukur dan spesifik untuk setiap komponen berdasarkan karakteristik kegagalannya. Dari analisis tersebut, teridentifikasi tiga kategori utama strategi pemeliharaan: Condition Directed (CD), Time Directed (TD), dan Failure Finding (FF). Pendekatan TD diterapkan pada 4 komponen (28,6%), yaitu Pyrates Gate, Lube Oil System, Roll Wheel Assembly, dan Gear Drive, yang mengindikasikan pemeliharaan dilakukan berdasarkan interval waktu tertentu. Pendekatan CD digunakan pada 9 komponen (64,3%), yaitu External Loading System, Coal Pipe, Swing Valve, Valve System, Control Damper, Classifier, Throat Ring, Raw Coal Pipe, dan Body Air Chamber, yang menunjukkan pemeliharaan dilakukan berdasarkan pemantauan kondisi aktual komponen. Sementara itu, Seal Air merupakan satu-satunya komponen (7,1%) yang menggunakan pendekatan FF, yang menekankan perlunya pemeriksaan khusus untuk menemukan kegagalan tersembunyi.

5.2 Proses *Age Replacement*

5.2.1 Penentuan Komponen Kritis

Pada PT. PLN Indonesia Power UBP Suralaya unit 1 sampai 4 memiliki 20 mesin pulverizer. Yang dimana terdapat 5 pulverizer per unitnya dengan penamaan Pulverizer A, Pulverizer B, Pulverizer C, Pulverizer D, dan Pulverizer E. Pada data kerusakan dari bulan Oktober 2020 sampai bulan November 2024 didapat bahwa pulverizer E unit 3 memiliki jumlah kerusakan dan tindakan perawatan tertinggi, yaitu sebanyak 151 kali. Setelah melakukan analisis data pada pulverizer E unit 3 dapat dinyatakan bahwa penyumbang *downtime* terbesar pada pulverizer E yaitu di komponen pyrite gate dengan frekuensi kerusakan sebesar 53 kali dan *downtime* sebesar 9086 menit atau setara dengan 151 jam 26 menit selama 2020 sampai 2024. Adapun komponen lube oil system dengan urutan kedua *downtime* tertinggi yang dimana frekuensi kerusakan sebesar 20 kali dan *downtime* sebesar 8754 menit atau setara dengan 146 jam bulan Oktober 2020 sampai bulan November 2024.

Hal ini mengkonfirmasi juga hasil analisis FMEA sebelumnya yang mengidentifikasi Pyrates Gate dan Lube Oil System memiliki nilai RPN tertinggi. Sehingga dalam penentuan komponen kritis dapat dinyatakan bahwa dengan memfokukan penganalisisan perawatan pada komponen pyrite gate dapat menguragi 21,57% dari keseluruhan waktu henti (*Downtime*) Pulverizer E Unit 3.

5.2.2 Analisis Distribusi

Penentuan distribusi digunakan untuk mengetahui pola kerusakan dan perbaikan komponen agar diharapkan dapat menentukan strategi pemeliharaan yang tepat, menghitung MTTF dan MTTR secara akurat. Berdasarkan data distribusi waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan komponen pyrite gate, diketahui bahwa distribusi Log Normal merupakan distribusi yang paling sesuai untuk keduanya. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *Index Of Fit* tertinggi, yaitu 98,7% untuk waktu antar kerusakan dan 98,3% untuk waktu antar perbaikan. Nilai ini menunjukkan bahwa data paling sesuai mengikuti pola distribusi *lognormal* dibandingkan distribusi lainnya (*Exponential*, *Normal*, dan *Weibull*). Distribusi *lognormal* yang cocok untuk waktu antar kerusakan mengindikasikan bahwa kerusakan cenderung meningkat secara bertahap seiring waktu (tidak terjadi secara

acak), mencerminkan adanya kecenderungan keausan atau penumpukan masalah. Sementara itu, kesesuaian *lognormal* pada waktu perbaikan menunjukkan bahwa durasi perbaikan juga bervariasi secara tidak linier

5.2.3 Analisis Uji *Goodness of Fit*

Uji *Goodness of Fi*t digunakan untuk mengukur seberapa valid dan baik data aktual mengikuti distribusi statistik tertentu agar bisa memilih model yang paling tepat untuk analisis dan memprediksi perencanaan perawatan yang baik. Bedasarkan hasil uji *Goodness Of Fit* yang telah dilakukan dinyatakan bahwa data waktu antar kerusakan dan data waktu perbaikan yaitu berdistribusi *lognormal*, maka uji kecocokan distribusi tersebut dilakukan dengan menggunakan uji *kolmogorov-smirnov test*. Yang dimana jika hasil uji *kolmogorov-smirnov test* H0 diterima maka data antar waktu kerusakan dan antar waktu perbaikan berdistribusi *lognormal* dan jika ditolak maka tidak berdistribusi *lognormal*.

a. Pada data *time to failure* Dhitung diperoleh dari nilai terbesar antara D1 dan D2, maka Dn = 0,143 dan nilai Dcrit 52;0,05 = 0,184. Sehingga keputusannya Dn < Dcrit, Dn = 0,143 < Dcrit = 0,184, yaitu H0 diterima atau Data *Time To Failure* berdistribusi lognormal.
b. Pada data *time to repair* Dhitung diperoleh dari nilai terbesar antara D1 dan D2 pada tabel 4.21, maka Dn = 0,156 dan nilai Dcrit 53;0,05 = 0,182. Sehingga keputusannya Dn < Dcrit, Dn = 0,156 < Dcrit = 0,182, yaitu H0 diterima atau Data *Time To Repair* berdistribusi lognormal.

5.2.4 Analisis *Time to Failure* dan MTTF

Tabel 5. 1 Analisis *Time to Failure* dan MTTF

Komponen	Tmed (parameter lokasi)	s (parameter bentuk)	MTTF
Pyrite gate	35352,41108	0,592184986	42127,81135

Berdasarkan hasil perhitungan *Time to Failure* dan MTTF, diketahui bahwa komponen pyrite gate memiliki nilai Tmed (parameter lokasi) sebesar 35352,41108, dan s (parameter bentuk) sebesar 0,592184986. Parameter ini menunjukkan bahwa distribusi

waktu kegagalan komponen mengikuti pola *lognormal*, di mana Tmed mencerminkan waktu median terjadinya kegagalan, dan s menunjukkan sebaran data atau variasi waktu kegagalan. Nilai MTTF (*Mean Time To Failure*) sebesar 42127,81135 menit menunjukkan bahwa rata-rata waktu saat terjadi kegagalan adalah sekitar 29 hari.

5.2.5 Analisis *Time to Repair* dan MTTR

Tabel 5. 2 Analisis *Time to Repair* dan MTTR

Komponen	Tmed (parameter lokasi)	s (parameter bentuk)	MTTR
Pyrite gate	135,82852	0,689213453	172,2420597

Berdasarkan hasil perhitungan *Time to Repair* dan MTTR, diketahui komponen pyrite gate memiliki nilai Tmed (parameter lokasi) sebesar 135,82852 dan s (parameter bentuk) sebesar 0,689213453, yang menunjukkan bahwa distribusi waktu perbaikan mengikuti pola *lognormal* dengan tingkat variasi yang moderat. Nilai MTTR (*Mean Time To Repair*) sebesar 172,2420597 menit menunjukkan bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki komponen adalah sekitar 3 jam.

5.2.6 Analisis Interval Waktu Penggantian

Hasil perhitungan interval waktu penggantian pencegahan untuk komponen Pyrite Gate di simulasikan dengan penggunaan waktu (t) dalam 12 bulan beroperasi dengan waktu operasi yang berurutan dari menit 1 sampai menit 530000. Didapatkan komponen pyrite gate dengan kriteria minimasi *downtime* menunjukkan waktu penggantian optimal pada tp = 30.000 menit. Pada titik ini, nilai *downtime* (D(t)) mencapai minimum sebesar 0,002846569, dengan probabilitas keandalan (R(t)) sebesar 0,609196802 dan probabilitas kegagalan (F(t)) sebesar 0,390803198. Perhitungan ini didasarkan pada MTTF sebesar 42127,81135 menit dan parameter lokasi (Tmed) sebesar 35352,41108 dengan distribusi kerusakan mengikuti pola Log Normal. Dengan demikian, interval waktu penggantian optimal untuk komponen Pyrite gate adalah setiap 30.000 menit kerja mesin atau setara dengan 29 hari.

5.2.7 Analisis Interval Waktu Pemeriksaan

Pada perhitungan interval waktu pemeriksaan menghasilkan jadwal yang berbeda namun saling melengkapi dengan interval penggantian. Berdasarkan frekuensi kerusakan sebanyak 53 kali selama periode 49 bulan dengan jumlah pemeriksaan (k) = 1,08163, waktu rata-rata perbaikan (MTTR) 172,24206 menit = 3 jam dengan μ = 217,36851

Frekuensi pemeriksaan 1,76211 kali pemeriksaan/bulan dan interval waktu pemeriksaan 354,1202116 Jam atau setara 15 hari. Dengan menerapkan interval pemeriksaan ini, perusahaan dapat memantau kondisi komponen secara efektif sebelum mencapai batas interval penggantiannya, sehingga mendukung strategi pemeliharaan preventif yang lebih kompleks.

5.2.8 Analisis *Availability*

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai availability jika setelah dilakukan *preventive maintenance* mencapai sekitar 0,99274 atau 99,3%. Nilai ini menunjukkan bahwa pyrite gate berada pada kondisi yang sangat baik dan siap beroperasi. Tingginya *availability* diperoleh dari kombinasi dua aspek, yaitu *availability* yang dihitung berdasarkan frekuensi pemeriksaan dengan nilai 0,995574 dan *availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan sebesar 0,997153431. Kedua aspek tersebut saling melengkapi dalam menjaga kesiapan, di mana pemeriksaan rutin berfungsi untuk mendeteksi potensi kerusakan sedini mungkin, sedangkan penggantian pencegahan memastikan komponen tetap dalam kondisi optimal sebelum mengalami kegagalan.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan terhadap *pulverizer E* Unit 3 di PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* dan *Age Replacement*, maka dapat diperoleh kesimpulannya sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) terhadap mesin *Pulverizer E*, komponen dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi adalah *Pyrite gate* dengan skor sebesar 280. Komponen ini tergolong sangat kritis karena mengalami kegagalan berupa macetnya pembuka akibat penumpukan material keras, Oil seal actuator hydrolik Bocor, silinder actuator macet, dan linkage aus yang berpotensi menyebabkan aliran material tersumbat dalam sistem *pulverizer*. Nilai RPN yang tinggi ini didukung oleh kombinasi tingkat keparahan (*severity*) dengan nilai 8, frekuensi kejadian (*occurrence*) dengan nilai 7, dan tingkat deteksi (*detection*) dengan nilai 5.
2. Penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada mesin *Pulverizer* E dilakukan melalui beberapa tahap analisis, termasuk FMEA, *Logic Tree Analysis* (LTA), dan *Task Selection* (TS). Dari hasil LTA, diketahui bahwa *Pyrite Gate*, termasuk dalam kategori B yang menunjukkan bahwa kegagalannya dapat terdeteksi dan dapat menyebabkan *shutdown*. Selanjutnya, melalui analisis TS, Pyrite Gate ditetapkan menggunakan pendekatan *Time Directed*, yaitu pemeliharaan dilakukan berdasarkan interval waktu atau usia pakai komponen yang telah ditentukan. Strategi ini memungkinkan tindakan pemeliharaan dilakukan secara terjadwal, sehingga risiko kegagalan dapat ditekan dengan memastikan komponen diganti atau diperiksa sebelum mencapai batas usia yang kritis.
3. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa komponen kritis pyrite gate memiliki MTTF sebesar 29 hari yang merepresentasikan rata-rata waktu operasi komponen mengalami

kerusakan. Interval waktu penggantian ditetapkan pada 21 hari, sedangkan MTTR sebesar 3 jam menunjukkan rata-rata durasi perbaikan yang dibutuhkan ketika kerusakan terjadi. Interval waktu pengecekan tercatat 15 hari sekali sehingga pemeriksaan dilakukan secara teratur untuk menjaga kondisi komponen tetap optimal. Nilai *availability* sebesar 99,3% menegaskan bahwa peralatan berada dalam kondisi sangat andal dan strategi *preventive maintenance* yang diterapkan efektif dalam menjaga kesiapan operasional serta meminimalkan *downtime* yang dapat diharapkan.

6.1 Saran

6.2.1 Saran untuk perusahaan:

1. Peneliti menyarankan agar metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) diterapkan sebagai pendekatan sistem perawatan di PT. PLN Indonesia Power UBP Suralaya untuk menganalisis mesin-mesin lain, sehingga perusahaan dapat menentukan jenis tindakan perawatan yang paling optimal.
2. Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan peneliti berharap hasil penelitian ini bisa dijadikan rekomendasi atau sebgai pertimbangan dalam perbaikan komponen pyrite gate yaitu interval pemeriksaan tiap 15 hari sekali dan interval waktu penggantian pencegahan selama 21 hari.

6.2.2 Saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Penelitian Selanjutnya dapat menggabungkan pendekatan *Age Replacement*dengan analisis biaya pemeliharaan agar dapat menentukan jadwal perawatan yang tidak hanya optimal secara teknis tetapi juga efisien secara ekonomi.
2. Peneliti menyarankan untuk melakukan analisis perbandingan nilai *reliability* dan *availability* sistem sebelum dan sesudah penggantian pada komponen yang kurang optimal, guna mengevaluasi peningkatan kinerja dan pengurangan *downtime*.

DAFTAR PUSTAKA

A H Nithin, S. S. (2021). Reliability-Centered Maintenance And Cost Optimization For Offshore Oil And Gas Components. Journal Of Physics: Conference Series, 1730(1). Https://Iopscience.Iop.Org/Article/10.1088/1742-6596/1730/1/012007/Meta

A.A.Nannikar, D. D. (2012). Fmea For Manufacturing And Assembly Process. International Conference On Technology And Business Management, 26-28. https://www.researchgate.net/publication/374628699

Andrew K.S. Jardine, A. H. (2013). Maintenance, Replacement, And Reliability: Theory And Applications (Second Edition). Crc Press.

Anthony M. Smith, G. R. (2003). Rcm - Gateway To World Class Maintenance. Burlington: Elsevier Butterworth–Heinemann. Https://dl.mpedia.ir/e-books/16-[Anthony-Smith,Glenn-Hinchcliffe]RCM-Gateway-worldclass-maintenance[mpedia.ir].pdf

Basuki Nanda, Valentino Roni (2023). Cake Breaker Conveyor Machine Maintenance System Analysis Using The Reliability-Centered Maintenance (Rcm) Method. Jurit: Jurnal Riset Ilmu Teknik, 1(3), 151-162. http://jurnaljepip.com/index.php/jurit/article/view/34

Beni Harma, Mutiara Yetrina, Susriyati, Riyan Pebriyanto (2024). Penelitian Terhadap Perawatan Pada Mesin Press Cap Roller Dengan Metode Fmea Dan Rcm. Jurnal Teknologi, 14(1), 20-25. Https://Jitekin-Upiyptk.Org/Ojs/Index.Php/Teknologi/Article/View/116

Dhadung Prihananto, Taufik Roni Sahroni (2023). Effectiveness Analysis Of Hydraulic Torque Wrench Machine Using Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) And Logic Tree Analysis Study Case On Heavy Equipment Manufacturing. Journal Of Applied Engineering And Technological Science, 5(1), 474-494. https://journal.yrpipku.com/index.php/jaets/article/view/1920

Ebeling, C. E. (2010). An Introduction To Reliability And Maintainability Engineering (Second Edition). Illinois: Waveland Press.

Endro Prihastono, B. P. (2017). Perawatan Preventif Untuk Mempertahankan Utilitas Performance Pada Mesin Cooling Tower Di Cv. Arhu Tapselindo Bandung. Dinamika Teknik Industri, X(2), 17 - 27. Https://Www.Unisbank.Ac.Id/Ojs/Index.Php/Ft1/Article/View/5581

Ferdi Pohan, Imam Saputra, Rahmat tua Pulungan (2023). Scheduling Preventive Maintenance To Determine Maintenance Actions On Screw Press Machine. Jurit: Jurnal Riset Ilmu Teknik, 1(1), 1-14. Http://Jurnaljepip.Com/Index.Php/Jurit/Article/View/4

Harits Dzulyadain, E. B. (2021). Proposed Maintenance Policy Using Reliability Centered Maintenance (Rcm) Method With Fmeca Analysis: A Case Study Of Automotive Industry. Iop Conference Series: Materials Science And Engineering, 1034(1). https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1034/1/012111

Hermita Dyah Puspita, R. P. (2023). Minimize Downtime Of Mension Medical Devices With Age Replacement Method And Group Replacement. Aip Conference Proceedings, 2510(1). https://www.researchgate.net/publication/374559001

Himma Firdaus, T. W. (2015). Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) Sebagai Tindakan Pencegahan Pada Kegagalan Pengujian. Annual Meeting On Testing And Quality, 2015, 131-147. https://www.researchgate.net/profile/Tri-Widianti/publication/290899548

Hj. Ninny Siregar, S. M. (2019). Analisa Perawatan Mesin Digester Dengan Metode Reliabity Centered Maintenance Pada Ptpn Ii Pagar Merbau. Jime (Journal Of Industrial And Manufacture Engineering), 3(2). Https://Core.Ac.Uk/Download/Pdf/538226526.Pdf

Ikhsan Nugroho, Ikhsan nugroho , Dewin Purnama , Muhammad Hidayat Tullah (2024). Penerapan Manajemen Sistem Penggerak Gsu Menggunakan Metode Rcm Pada Pt. Krakatau Bandar Samudera. Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, 459-468. https://ojs.uma.ac.id/index.php/jime/article/view/2948

Irsyaad Ramadhan, Wiwin Widiasih (2023). Analisis Penggantian Dan Perawatan Pada Papermachine Bagian Wire Dan Dryer Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Dan Age Replacement Pada Pt. X. Jurnal Tekstil (Jute), 1-14. https://jute.ak-tekstilsolo.ac.id/index.php/jurnal/article/view/60

Mahmud Iqbal Syam, Cecep Hadiyan, Tusmin Hadi (2020). Analisa Perbaikan Manajemen Perawatan Dengan Metode Reliability Centered Maintenance Bagian Cnc Wirecut Di Pt X. Jurnal Penelitian Teknik Industri, 1(1), 22-30. https://www.academia.edu/66106637

Moubray, J. (2001). Reliability-Centered Maintenance. New York: Industrial Press Inc.

Rudi Setiadi, A. Z. (2023). Pengukuran Kinerja Mesin Rice Milling Unit Dengan Metode Oee, Fmea, Lta Dan Task Selection Di Ud Polos Jaya. Jurnal Arti (Aplikasi Rancangan Teknik Industri), 18(2), 107-116. https://ejurnal.sttdumai.ac.id/index.php/arti/article/view/591

Sri Sukmawati, Asih Setyo Rini , Petrus Canisius Adi Saputra (2024). Analisis Perawatan Sistem Coal Pulverizer Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm) Di Pltu Banten 1 Suralaya 8. Jurnal Taguchi: Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri, 4(2), 415-428. https://taguchi.lppmbinabangsa.id/index.php/home/article/view/249

Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis FMEA from Theory to Execution (Second Edition).* Milwaukee: ASQ Quality Press.

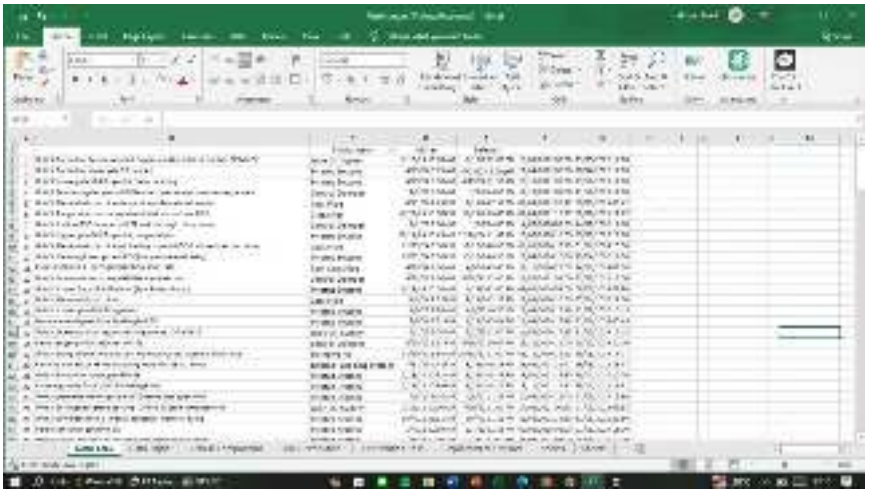
Sulkifli, D. L. (2022). Machine Maintenance Planning Using The Reliability Centered Maintenance (Rcm) Method At Pt Perkebunan Nusantara Xiv Camming Sugar Factory In Bone Regency. Journal Of Sustainability Industrial Engineering And Management System, 1(1), 34-42. https://jsiems.id/index.php/sustainability/article/view/9

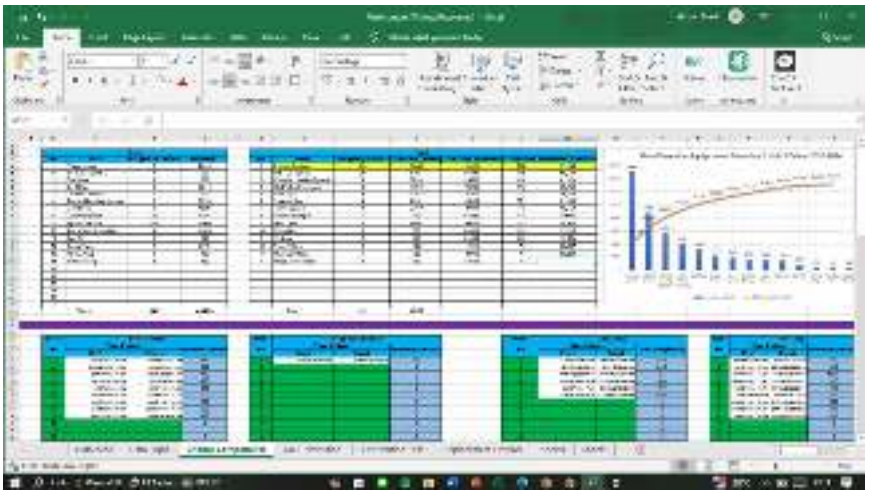
Trio Yonathan Teja Kusuma, Y. A. (2020). Jointing Machine Maintenance Analysis Using Reliability Centered Maintenance (Rcm) Method. Journalof Industrial Engineering And Halal Industries (Jiehis), 1(2), 102-109. Https://Ejournal.Uin-Suka.Ac.Id/Saintek/Jiehis/Article/View/2224

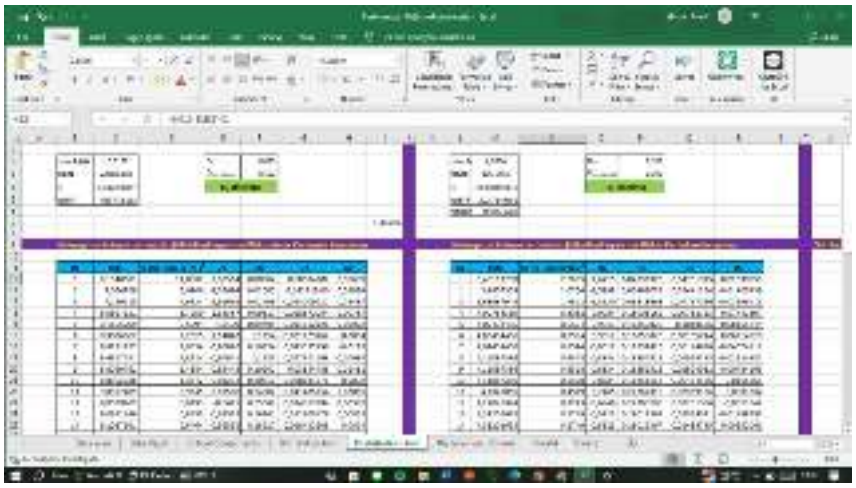
Yayan Saputra, M. W. (2024). Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Metode Reliability Centered Maintenance Dan Age Replacement. Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi, 10(2), 390-400. http://jurnal.utu.ac.id/jmekanova/article/view/10429

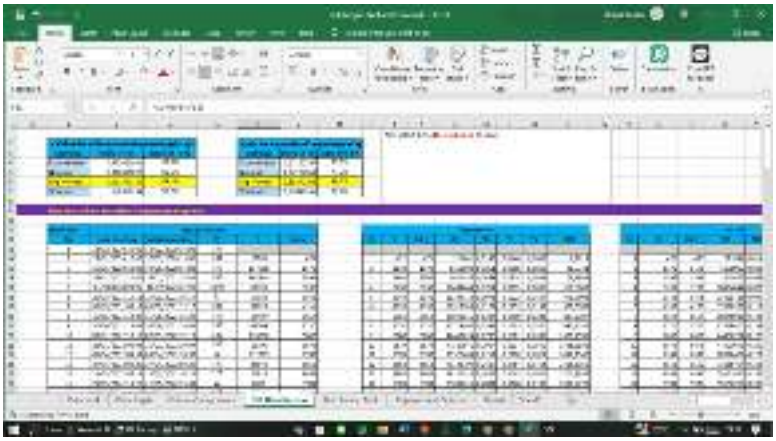
LAMPIRAN

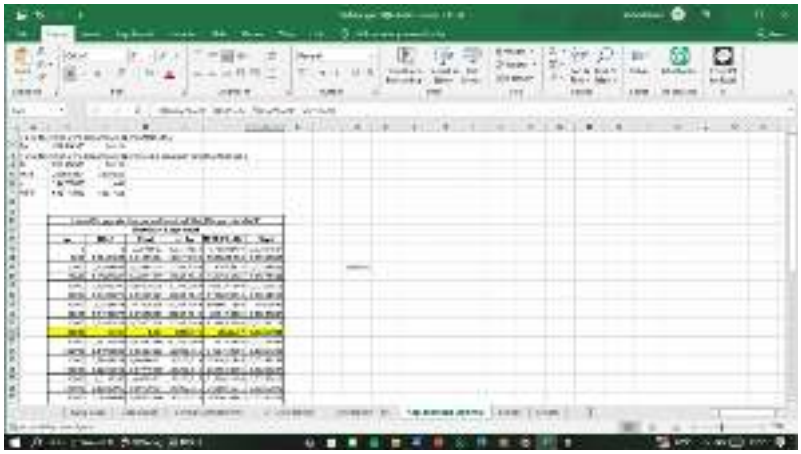
A-Perhitungan *Excel*





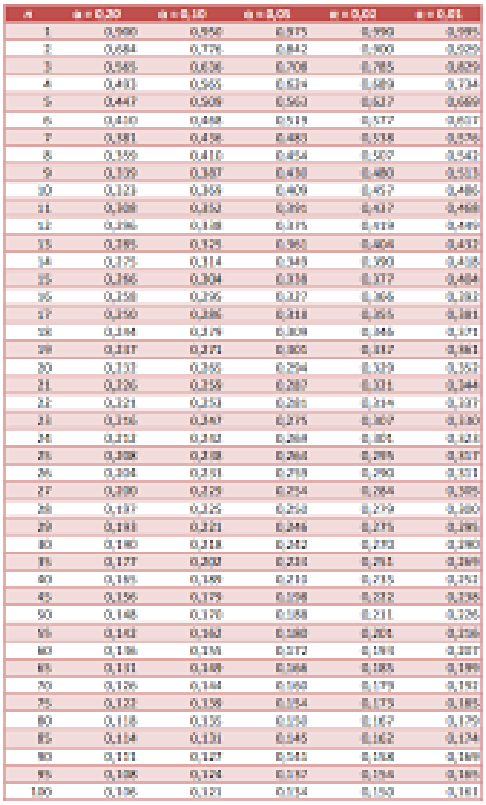




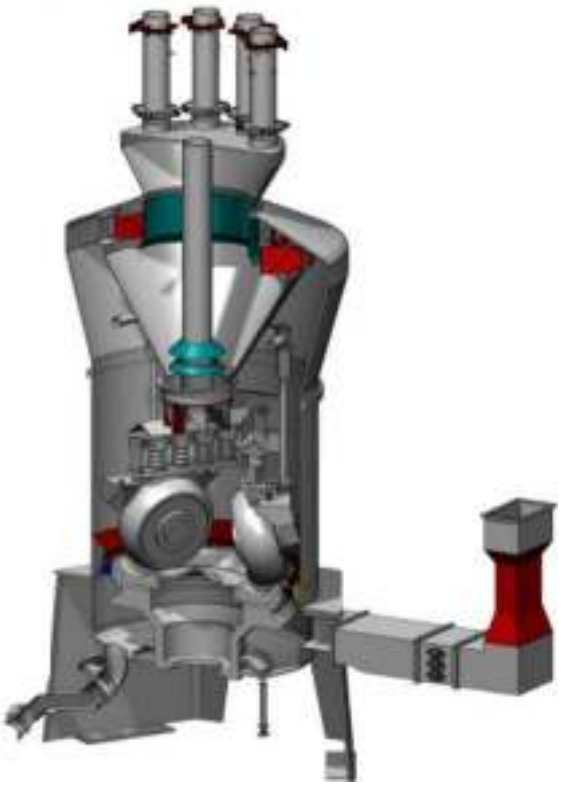


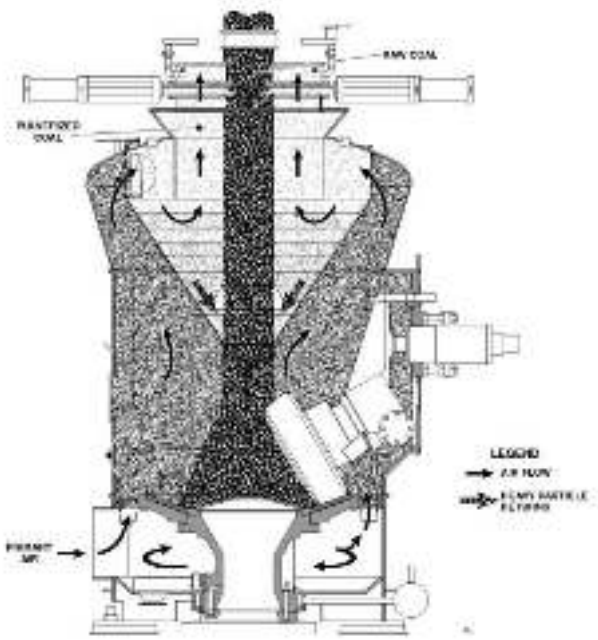
B-Tabel *Kolmogorov Smirnov*

n	D tabel (α = 0,05)	n	D tabel (α = 0,05)
1	0.975	26	0.259
2	0.842	27	0.254
3	0.708	28	0.250
4	0.624	29	0.246
5	0.563	30	0.242
6	0.519	31	0.238
7	0.483	32	0.234
8	0.454	33	0.231
9	0.430	34	0.227
10	0.409	35	0.224
11	0.391	36	0.221
12	0.375	37	0.218
13	0.361	38	0.215
14	0.349	39	0.213
15	0.338	40	0.210
16	0.327	41	0.208
17	0.318	42	0.205
18	0.309	43	0.203
19	0.301	44	0.201
20	0.294	45	0.198
21	0.287	46	0.196
22	0.281	47	0.194
23	0.275	48	0.192
24	0.269	49	0.190
25	0.264	50	0.188



C-Pulverizer





D-Dokumentasi Lapangan

(Dokumentasi Lapangan)