

No. doc = 7693
copy = 1

DI
621.816
Tig
P

**PENERAPAN JADWAL *PREVENTIVE MAINTENANCE* PENGGANTIAN
KOMPONEN KRITIS PADA MESIN CNC BUBUT DENGAN
METODE *AGE REPLACEMENT*
DI PT TOSAMA ABADI**

TUGAS AKHIR

**Untuk Memenuhi Sebagian Syarat Penyelesaian Program Diploma IV
Program Studi Teknik Industri Otomotif pada
Politeknik STMI Jakarta**

**OLEH :
RONY SEPTIADY TIGOR
NIM. 1113022**



**POLITEKNIK STMI JAKARTA
d.h. SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I.
JAKARTA
2019**

**POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN**

TANDA PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL TUGAS AKHIR:

**PENJADWALAN *PREVENTIVE MAINTANANCE* PENGGANTIAN
KOMPONEN KRITIS PADA MESIN CNC BUBUT DENGAN METODE
AGE REPLACEMENT DI PT TOSAMA ABADI.**

DISUSUN OLEH:

**NAMA : RONY SEPTIADY TIGOR
NIM : 1113022
PROGRAM STUDI : TEKNIK INDUSTRI OTOMOTIF**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diajukan dan
Dipertahankan dalam Ujian Tugas Akhir
Politeknik STMI Jakarta**



Jakarta, ²¹..... Agustus 2019

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Mohammad Rachmatullah".

Ir. Mohammad Rachmatullah, MBA

(NIP: 19450407.198403.1.004)

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN

TANDA PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL TUGAS AKHIR:

PENERAPAN JADWAL *PREVENTIVE MAINTENANCE*

PENGGANTIAN KOMPONEN KRITIS PADA MESIN CNC BUBUT

DENGAN METODE *AGE REPLACEMENT* DI PT TOSAMA ABADI


DISUSUN OLEH:

NAMA : RONY SEPTIADY TIGOR
NIM : 1113022
PROGRAM STUDI : TEKNIK INDUSTRI OTOMOTIF


Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta pada
hari Kamis..... Tanggal 29 Agustus 2019.....

Jakarta, 29..... Agustus 2019


Dosen Penguji 1


Dr. Dewi Auditya Marizka, S.T., M.T.
NIP. (19750318200712003)


Dosen Penguji 2


Indra Yusuf R.S.T., M.T.
NIP. (1973.1230.2001.21002)

Dosen Penguji 3


Lucyana Tresia, S.T., M.T.
NIP. (197803012008032001)

Dosen Penguji 4


Dr. Ir. Drs. Hasan Sudrajat, MM, MH
(.....)
NIP. 195804091979031002



LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR

Nama : Rony Septiady Tigor
 NIM : 1113022
 Judul TA : Penjadwalan Preventive Maintenance penggantian komponen kritis pada mesin CNC Bubut dengan metode Age Replacement di PT Tosama Abadi.
 Pembimbing : Ir. Mohammad Rachmatullah, MBA
 Asisten Pembimbing : _____

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
24/10/17	I	Pengajuan BAB I	
26/10/17	I, II, III	Revisi BAB I, pengajuan BAB II dan BAB III	
30/10/17	II, III	Revisi BAB II dan BAB III	
6/11/17	IV	Pengajuan BAB IV	
18/02/19	IV	Revisi BAB IV	
13/03/19	IV, V	Revisi BAB IV, pengajuan BAB V	
26/04/19	IV, V	Revisi BAB IV dan V	
11/05/19	V	Revisi BAB V	
05/06/19	V, VI	Revisi BAB V dan Pengajuan BAB VI	
09/08/19	I-VI	Acc BAB I sampai dengan BAB VI	

Mengetahui,
Ka Prodi

TIO

o/n

Muhammad Agus, ST., MT

NIP: 19700829.200212.1.001



Pembimbing

21/8/19

Ir. Mohammad Rachmatullah, MBA

NIP: 194509071989031009

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rony Septiady Tigor

Nim : 1113022

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir yang telah saya buat dengan judul

“PENJADWALAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* PENGGANTIAN KOMPONEN KRITIS PADA MESIN CNC BUBUT DENGAN METODE *AGE REPLACEMENT* DI PT TOSAMA ABADI”

- **Dibuat** dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, assistensi dengan dosen pembimbing dan buku-buku maupun jurnal-jurnal ilmiah yang menjadi bahan acuan yang tertera dalam referensi karya Tugas Akhir ini.
- **Bukan** merupakan hasil duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai sebelumnya untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas / Perguruan Tinggi lain, kecuali yang telah disebutkan sumbernya dan dicantumkan pada referensi karya Tugas Akhir ini.
- **Bukan** merupakan karya tulis hasil terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi karya Tugas Akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan diatas, maka saya bersedia menerima sanksi atas apa yang telah saya lakukan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Jakarta, Agustus 2019

Yang Membuat Pernyataan



Rony Septiady Tigor

ABSTRAK

Pemeliharaan pencegahan merupakan suatu pemeliharaan yang dilakukan pada selang waktu yang telah ditentukan sebelumnya. PT Tosama Abadi dalam melakukan pemeliharaan komponen mesin pada mesin CNC Bubut, yang dalam hal ini adalah masih bersifat *corrective maintenance*, artinya komponen akan diganti apabila benar-benar telah mengalami kerusakan. Pada mesin CNC Bubut *downtime* terbesar diakibatkan oleh komponen *Cross Slide* yang mengalami kerusakan sebanyak 7 kali dalam satu tahun. Usulan dalam perawatan pencegahan ini difokuskan pada komponen *Cross Slide*. Data yang digunakan adalah data kerusakan komponen pada Januari sampai dengan Desember 2018. Satuan yang digunakan dalam perhitungan ini adalah produk, jadi perhitungan diukur dengan seberapa banyak produk yang dapat dihasilkan oleh suatu komponen dalam keadaan yang optimal. Metode yang digunakan untuk menentukan interval waktu penggantian pencegahan adalah berbasis pergantian umur yaitu menentukan interval penggantian pencegahan berdasarkan umur optimal komponen. Dari hasil perhitungan yang dilakukan maka diketahui interval waktu penggantian pencegahan dengan menggunakan metode berbasis pergantian umur untuk komponen *Cross Slide* 32000 menit. Berdasarkan hasil perhitungan biaya sebelum melakukan tindakan *preventive maintenance* sebesar Rp 40.950.000 dan sesudah adanya tindakan *preventive maintenance* sebesar Rp 33.727.280. Penghematan biaya yang terjadi adalah 17,63%.

Kata kunci : Komponen Kritis, Pemeliharaan Pencegahan, Minimasi Biaya, Penggantian Umur

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan rahmatNya, sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan Tugas Akhir (TA) ini dengan judul **“PENERAPAN JADWAL *PREVENTIVE MAINTANANCE* PENGGANTIAN KOMPONEN KRITIS PADA MESIN CNC BUBUT DENGAN METODE *AGE REPLACEMENT* DI PT TOSAMA ABADI”**. Penulisan laporan Tugas Akhir ini merupakan pemenuhan salah satu persyaratan akademis untuk menyelesaikan Program Studi D-IV Teknik Industri Otomotif di Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir ini. Terutama untuk Orang tua saya Bapak Drs. Simon Aruan dan Ibu Eva Nadapdap yang selalu memberikan dukungan dan kasih sayang yang tiada terhingga. Dan kepada Priscilla Jowi Angelina yang selalu mendukung penulis dalam setiap suasana. Ucapan terima kasih penulis sampaikan juga kepada :

- Bapak Dr. Mustofa, ST, MT selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
- Bapak Ridzky Kramanandita, S.Kom, MT selaku Pembantu Direktur 1 Politeknik STMI Jakarta.
- Bapak Muhamad Agus, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Otomotif..
- Bapak Ir. Mohammad Rachmatullah, MBA selaku dosen pembimbing penulis dalam menyelesaikan laporan ini, yang telah sabar dan memberikan ilmu-ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
- Ibu Dewi Auditya Marizka, S.T., M.T, selaku dosen wali saya yang telah sabar dan memberikan ilmu-ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
- Seluruh dosen di Politeknik STMI Jakarta yang telah memberikan ilmu-ilmu yang bermanfaat bagi penulis.

- Bapak Hendrik, selaku pembimbing yang selalu memberikan ilmu dan saran selama penulis berada di PT Tosama Abadi.
- Seluruh staff dan karyawan yang berada dalam struktur organisasi perusahaan yang bersedia menjawab pertanyaan-pertanyaan penulis dan semua ilmu yang diberikan di PT Tosama Abadi.
- Sahabat-sahabat dekat di Politeknik STMI Jakarta (Septi, Claudia, Meti, Galih, Andhika, Acong, Wisnu, Rama, Siswo, Dhihyau), yang selalu memberikan semangat moral yang tak pernah berhenti.
- Keluarga Himpunan Mahasiswa Teknik Industri (HMTI) yang selalu memberikan semangat.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan baik dalam tata cara penulisan, peletakan gambar dan lainnya yang terdapat di dalam laporan ini. Oleh karena itu penulis dengan segala kerendahan hati, sangat ingin menerima kritik dan saran yang membangun dari semua pihak yang akan mengevaluasi laporan ini, agar kiranya laporan ini tidak hanya menjadi dokumen biasa tetapi dapat digunakan di masa yang akan datang dan dapat berguna bagi kita semua. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan semoga laporan ini bermanfaat bagi pembaca.

Jakarta, Agustus 2019



Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	
LEMBAR PERSETUJUAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR.....	
DAFTAR ISI.....	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBAR.....	
DAFTAR LAMPIRAN	
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metode Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. Pemeliharaan (<i>maintenance</i>)	6
2.2. Tujuan Pemeliharaan	7
2.3. Jenis Pemeliharaan	8
2.4. Kegiatan Pemeliharaan	9
2.5. <i>Preventive Maintenance</i>	12
2.6. <i>Corrective Maintenance</i>	15
2.7. Konsep Pemeliharaan	17
2.8. Fungsi Kerusakan	20
2.9. Distribusi Kerusakan	21
2.10. Identifikasi Distribusi Kerusakan	26
2.11. <i>Mean Time To Failure (MTTF)</i> dan <i>Mean Time To Repair</i> (<i>MTTR</i>)	34

2.12. <i>Downtime</i>	35
2.13. Model Penentuan Interval Waktu Penggantian dengan Kriteria Minimasi <i>Downtime</i>	36
2.14. Model Penentuan Interval Waktu Pemeriksaan Optimal dengan Kriteria Minimasi <i>Downtime</i>	38
2.15. Nilai Keandalan <i>Reliability</i> Sebelum dan Sesudah Perawatan.	38
2.16. Diagram Pareto	40

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Jenis Data.....	42
3.2. Sumber Data	43
3.3. Metode Pengumpulan Data	43
3.4. Teknik Analisis.....	44
3.4.1. Study Lapangan.....	44
3.4.2. Identifikasi Masalah	44
3.4.3. Studi Pustaka.....	44
3.4.4. Tujuan Penelitian	45
3.4.5. Pengumpulan Data	45
3.4.6. Pengolahan Data.....	45
3.4.7. Analisis dan Pembahasan.....	47
3.4.8. Kesimpulan dan Saran.....	48
3.5. Kerangka Pemecahan Masalah.....	48

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan Data.....	53
4.1.1. Sejarah Perusahaan	53
4.1.2. Visi dan Misi Perusahaan	54
4.1.3. Struktur Organisasi Perusahaan dan Uraian Jabatan	54
4.1.3.1. Struktur Organisasi.....	55
4.1.3.2. Uraian Jabatan.....	58
4.1.4. Tenaga Kerja dan Jam Kerja.....	62
4.1.5. Jenis-jenis Produk.....	62
4.1.6. Proses Produksi.....	63

4.1.7.	Mesin CNC Bubut	64
4.2.	Pengolahan Data	68
4.2.1.	Penentuan Komponen Kritis Mesin CNC Bubut	69
4.2.2.	Perhitungan Selang Waktu antar Kerusakan dan Selang Waktu antar Perbaikan Komponen Kritis	72
4.2.3.	Perhitungan <i>Index of Fit</i> (IoF) TTF dan TTR Komponen Kritis	74
4.2.3.1.	Perhitungan <i>Index of Fit</i> (IoF) TTF Komponen <i>Cross Slide</i>	74
4.2.3.2.	Perhitungan <i>Index of Fit</i> (IoF) TTF Komponen <i>Cross Slide</i>	79
4.2.4.	Pemilihan <i>Index of Fit</i> TTF dan TTR Komponen Kritis	84
4.2.4.1.	Pemilihan Distribusi TTF dan TTR <i>Cross Slide</i>	85
4.2.4.2.	Pemilihan Distribusi TTF dan TTR <i>Tailstock</i> ..	85
4.2.5.	Pengujian Keselarasan Distribusi Terpilih	85
4.2.5.1.	Pengujian Keselarasan TTF Komponen <i>Cross Slide</i>	86
4.2.5.2.	Pengujian Keselarasan TTR Komponen <i>Cross Slide</i>	87
4.2.6.	Perhitungan Estimasi Parameter Setiap Distribusi Terpilih	88
4.2.6.1.	Perhitungan Estimasi Parameter Komponen <i>Cross Slide</i>	89
4.2.6.2.	Perhitungan Estimasi Parameter Komponen <i>Tailstock</i>	96
4.2.7.	Perhitungan <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF)	100
4.2.7.1.	Perhitungan <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF) Komponen <i>Cross Slide</i>	100
4.2.7.2.	Perhitungan <i>Mean Time To Failure</i>	

(MTTF) Komponen <i>Tailstock</i>	110
4.2.8. Perhitungan <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR)	110
4.2.8.1. Perhitungan <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR) Komponen <i>Cross Slide</i>	111
4.2.8.2. Perhitungan <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR) Komponen <i>Tailstock</i>	112
4.2.9. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Kritis dengan metode <i>Age Replacement</i>	115
4.2.9.1. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Cross</i> <i>Slide</i>	115
4.2.9.2. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Tailstock</i>	116
4.2.10. Perhitungan Perbandingan Keandalan (<i>Reliability</i>) Sebelum dan Sesudah Pemeliharaan Pencegahan	112

BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN MASALAH

5.1. Analisa Penentuan Komponen Kritis	120
5.2. Analisa Perhitungan Selang Waktu antar Kerusakan dan Selang Waktu antar Perbaikan.....	120
5.3. Analisa Penentuan Distribusi Kerusakan Komponen Kritis	121
5.4. Analisa Pengujian Keelaksanaan Distribusi Terpilih	121
5.5. Analisa Estimasi Parameter	122
5.6. Analisa <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF)	123
5.7. Analisa <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR).....	123
5.8. Analisa Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Kritis ...	124
5.9. Analisa Tingkat Keandalan Komponen Kritis Sebelum dan Sesudah Penggantian Pencegahan	125
5.10. Penjadwalan Pemeliharaan	126

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan.....	122
6.2. Saran.....	122

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

2.1	Nilai Parameter β	24
4.1	Jam Kerja PT Tosama Abadi	61
4.2	Frekuensi Kerusakan Komponen <i>Cross Slide</i>	71
4.3	Frekuensi Kerusakan Komponen <i>Tailstock</i>	72
4.4	Frekuensi Kerusakan Komponen <i>Carriage</i>	72
4.5	Frekuensi Kerusakan Komponen <i>Saddle</i>	72
4.6	Penentuan Komponen Kritis Mesin CNC Bubut.....	73
4.7	Data Perhitungan TTF dan TTR Komponen <i>Cross Slide</i>	74
4.8	Data Perhitungan TTF dan TTR Komponen <i>Tailstock</i>	76
4.9	Perhitungan IoF Distribusi Weibull TTF Komponen <i>Cross Slide</i>	76
4.10	Perhitungan IoF Distribusi Normal TTF Komponen <i>Cross Slide</i>	78
4.11	Perhitungan IoF Distribusi Lognormal TTF Komponen <i>Cross Slide</i>	79
4.12	Perhitungan IoF Distribusi Exponential TTF Komponen <i>Cross Slide</i>	80
4.13	Perhitungan IoF Distribusi Weibull TTR Komponen <i>Cross Slide</i>	82
4.14	Perhitungan IoF Distribusi Normal TTR Komponen <i>Cross Slide</i>	83
4.15	Perhitungan IoF Distribusi Lognormal TTR Komponen <i>Cross Slide</i>	84
4.16	Perhitungan IoF Distribusi Exponential TTR Komponen <i>Cross Slide</i>	85
4.17	Nilai IoF TTF dan TTR Komponen <i>Cross Slide</i>	87
4.18	Nilai IoF TTF dan TTR Komponen <i>Tailstock</i>	88
4.19	Perhitungan Uji Keselarasan TTF Komponen <i>Cross Slide</i>	89

4.20	Perhitungan Uji Keselarasan TTR Komponen <i>Cross Slide</i>	90
4.21	Perhitungan MLE TTF Komponen <i>Cross Slide</i>	92
4.22	Iterasi Metode Newton Raphson Komponen <i>Cross Slide</i>	93
4.23	Iterasi Kelima Metode Newton Raphson Komponen <i>Cross Slide</i>	93
4.24	Iterasi Keenam Metode Newton Raphson Komponen <i>Cross Slide</i> ...	93
4.25	Perhitungan MLE TTR Komponen <i>Cross Slide</i>	95
4.26	Iterasi Metode Newton Raphson Komponen <i>Cross Slide</i>	96
4.27	Iterasi Kelima Newton Raphson Komponen <i>Cross Slide</i>	97
4.28	Iterasi Keenam Metode Newton Raphson Komponen <i>Cross Slide</i> ...	97
4.29	Perhitungan MLE TTF Komponen <i>Tailstock</i>	99
4.30	Perhitungan MLE TTTR Komponen <i>Tailstock</i>	100
4.31	Iterasi Metode Newton Raphson Komponen <i>Tailstock</i>	101
4.32	Iterasi Ketujuh Metode Newton Raphson Komponen <i>Tailstock</i>	101
4.33	Iterasi Kedelapan Metode Newton Raphson Komponen <i>Tailstock</i>	101
4.34	Rekapitulasi Perhitungan MTTR dan MTTF.....	105
4.35	Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Cross Slide</i>	107
4.36	Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Tailstock</i>	110
4.37	Waktu Penjadwalan Komponen Kritis	113
4.38	Perhitungan Keandalan Komponen <i>Cross Slide</i>	114
4.39	Perhitungan Keandalan Komponen <i>Tailstock</i>	115
5.1	Ringkasan perhitungan IoF Komponen Kritis	122

5.2	Ringkasan Hasil Penaksiran Parameter.....	124
5.3	Ringkasan Hasil Perhitungan MTTF Komponen Kritis.....	124
5.4	Ringkasan Hasil Perhitungan MTTR Komponen Kritis.....	125
5.5	Contoh Jadwal Pemeliharaan Pencegahan Komponen <i>Cross Slide</i>	128
5.6	Contoh Jadwal Pemeliharaan Pencegahan Komponen <i>Tailstock</i>	128

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis Pemeliharaan	8
Gambar 2.2	<i>Bathtub curve</i>	19
Gambar 2.3	Kurva Fungsi Kepadatan Probabilitas.....	21
Gambar 2.4	Model Penggantian Umur (Age Replacement).....	38
Gambar 3.1	Flowchart Pemecahan Masalah.....	49
Gambar 4.1	Struktur Organisasi PT Tosama Abadi.....	55
Gambar 4.2	Daftar Produk Perusahaan.....	59
Gambar 4.3	Mesin CNC Bubut.....	62
Gambar 4.4	Diagram Pareto.....	66
Gambar 4.5	Perbandingan Keandalan Komponen <i>Cross Slide</i>	117
Gambar 4.6	Perbandingan Keandalan Komponen <i>Tailstock</i>	120

BAB I PENDAHULUAN



1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang begitu cepat mendorong lahirnya berbagai kemudahan yang diperoleh manusia di setiap bagian dalam kehidupannya. Hal ini dirasakan pula oleh seluruh pelaku industri, dimana kegiatan memproduksi suatu produk yang sesuai dengan keinginan konsumen semakin mudah dan cepat untuk dilakukan, sehingga memacu para pelaku industri untuk berlomba-lomba memenuhi permintaan konsumen secepat mungkin dengan tetap memperhatikan kualitas produk yang dihasilkan untuk memperoleh laba perusahaan semaksimal mungkin. Keadaan persaingan yang seperti ini memaksa seluruh pelaku industri untuk dapat menyesuaikan dirinya agar mampu bertahan dalam persaingan memenuhi permintaan konsumen tersebut.

Oleh karena itu, para pelaku industri dituntut agar dapat memiliki cara untuk dapat terus memperbaiki seluruh komponen dalam kegiatan industrinya secara berkesinambungan dengan memanfaatkan sumber daya yang ada secara efisien dan efektif sehingga produktivitas kerja dapat meningkat pula. Tidak terkecuali PT Tosama Abadi yang terus melaksanakan perbaikan-perbaikan mulai dari sistem kerja produksi, kebutuhan bahan baku, kebutuhan tenaga kerja dan lain sebagainya.

Dalam melakukan perbaikan pada sistem kerja produksi, perusahaan terus menerus melakukan perbaikan agar dapat menciptakan sebuah sistem kerja yang produktif, efisien dan efektif. Sistem kerja yang produktif, efektif dan efisien harus dilihat sebagai sebuah satu kesatuan utuh dari berbagai kegiatan kerja yang dilakukan dalam perusahaan. Kegiatan produksi merupakan "jantung" dari perusahaan manufaktur seperti PT Tosama Abadi, dimana kegiatan produksi yang dihasilkan berupa *parts* dan komponen kendaraan otomotif. Kelancaran proses produksi dipengaruhi oleh keandalan dan ketersediaan mesin atau alat penunjang proses produksi yang dipergunakan. Mesin atau alat penunjang

proses produksi yang tidak beroperasi dengan normal akibat kerusakan dapat menyebabkan terjadinya *downtime*, sehingga mengganggu jalannya proses produksi yang telah direncanakan. Cara yang tepat untuk mengatasi hal tersebut adalah diperlukan suatu pemeliharaan. Pemeliharaan (*maintenance*) dapat diartikan sebagai kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas/peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian/ penggantian yang diperlukan supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan.

Pemeliharaan tersebut terbagi atas pemeliharaan pencegahan dan pemeliharaan perbaikan. Pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara berkala pada saat sebelum mesin mengalami kerusakan, sedangkan pemeliharaan perbaikan (*corrective maintenance*) adalah perbaikan yang dilakukan saat sudah terjadi kerusakan pada mesin. Tujuan utama dari kegiatan ini adalah untuk menjaga mesin agar dalam keadaan siap pakai ketika diperlukan dan memperpanjang umur ekonomis mesin. Oleh karena itu, perusahaan harus menerapkan sistem pemeliharaan (*maintenance*) yaitu pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) pada mesin-mesin produksinya.

PT Tosama Abadi merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi *part* dan komponen kendaraan otomotif. Dalam proses pembuatan *part* terdapat beberapa seksi yang ada pada PT Tosama Abadi. Salah satunya adalah Seksi *Insert Plate*, di PT Tosama Abadi memproduksi komponen otomotif yang terbuat dari logam. Kerusakan mesin CNC (*Computerized Numerical Control*) Bubut terjadi akibat rusaknya komponen mesin yang tidak dapat diketahui dengan pasti. Setiap komponen mesin yang berbeda jenisnya memiliki keandalan dan laju kerusakan yang juga berbeda. Kondisi tersebut menyebabkan diperlukannya kebijakan perawatan yang baik serta memadai pada saat dibutuhkan. Salah satu bentuk aktivitas perawatan adalah penggantian (*replacement*) komponen yang telah mengalami kerusakan. Pada perusahaan ini sistem penggantian komponen mesin yang diterapkan pada perusahaan ini masih

corrective (komponen diganti bila terjadi kerusakan) yang mengakibatkan adanya pemberentian proses produksi secara tiba-tiba. Metode *preventive maintenance* merupakan suatu solusi yang dapat dipertimbangkan dalam memperbaiki kinerja mesin yang ada. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan untuk menanggulangi hal tersebut. Metode *Age Replacement* dapat digunakan untuk menekan terjadinya kerusakan pada komponen kritis mesin CNC Bubut dengan cara menentukan waktu penggantian komponen kritis yang paling efektif, sehingga proses produksi dapat berjalan dengan lancar.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang dapat diambil berdasarkan latar belakang masalah diatas adalah sebagai berikut:

1. Komponen manakah yang merupakan bagian kritis mesin CNC Bubut ?
2. Bagaimana waktu penggantian komponen kritis mesin CNC Bubut ?
3. Bagaimana perhitungan *reliability* (keandalan) komponen kritis pada kondisi tanpa dan dengan adanya penggantian pencegahan?

1.3 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan perumusan masalah yang ada, maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menentukan komponen kritis mesin CNC Bubut.
2. Menentukan waktu penggantian komponen kritis mesin CNC Bubut berdasarkan umur pakai komponen (*Age Replacement*).
3. Melakukan perhitungan *reliability* (keandalan) komponen kritis pada kondisi tanpa dan dengan adanya penggantian pencegahan.

1.4 Batasan Masalah

Melihat luasnya bidang yang harus diteliti dan keterbatasan kemampuan yang dimiliki peneliti dan waktu yang tersedia, maka dalam penelitian ini terdapat pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di PT Tosama Abadi.
2. Penelitian ini dilakukan pada mesin CNC Bubut.

3. Data yang diambil adalah data produksi periode Januari 2018-Desember 2018.
4. Biaya pemeliharaan dan perawatan mesin atau peralatan tidak diperhitungkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penulisan tugas akhir ini, yaitu sebagai berikut:

1. Pihak perusahaan

Untuk membantu perusahaan membuat perencanaan dalam menentukan waktu *preventif maintenance* melakukan penggantian komponen kritis yang optimal agar dapat menekan frekuensi kerusakan, dan dapat diterapkan pada PT Tosama Abadi untuk melakukan perawatan pada komponen kritis tersebut.

2. Pihak peneliti

Mendapatkan kesempatan untuk mengaplikasikan ilmu-ilmu yang selama ini didapat secara akademis, dan mendapatkan tambahan wawasan mengenai dunia kerja secara langsung.

3. Bagi masyarakat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu dan informasi untuk melakukan penelitian selanjutnya ke arah yang lebih baik, lebih mendalam dan lebih kompleks.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari 6 (enam) bab dengan perincian sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, manfaat tugas akhir, serta sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan tentang teori-teori yang berhubungan dengan pokok permasalahan dan tujuan penelitian dan digunakan sebagai landasan teori dalam menyusun tugas akhir ini.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi langkah-langkah sistematis yang ditempuh untuk memecahkan masalah agar penelitian yang dilakukan lebih terarah. Langkah-langkah tersebut terdiri dari studi pendahuluan dan studi pustaka, identifikasi masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, pengumpulan data, pengolahan data, analisis hasil evaluasi, kesimpulan dan saran.

BAB IV: PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini berisi data-data yang diperoleh dari wawancara dan pengamatan. Data berupa dokumen perusahaan yang sudah ada, terdiri dari sejarah umum perusahaan dan struktur organisasi. Selain itu pada bab ini juga dilakukan pengolahan data *downtime* mesin CNC Bubut, selanjutnya data tersebut diolah untuk kemudian digunakan dalam metode *Age Replacement*.

BAB V: ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan pembahasan dan analisa dari hasil pengumpulan dan pengolahan data mulai dari hasil penjadwalan pemeliharaan mesin beserta masalah-masalah yang berkaitan dengan pengolahan data tersebut.

BAB IV: PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan berdasarkan pengolahan dan analisis masalah, serta saran-saran yang mungkin bermanfaat bagi pihak perusahaan.

BAB II LANDASAN TEORI



2.1 Pemeliharaan (*Maintenance*)

Pemeliharaan adalah kombinasi dari berbagai kegiatan yang dilakukan untuk memelihara fasilitas dan peralatan agar tetap berfungsi dengan baik selama kegiatan produksi berlangsung. Pemeliharaan sangat penting karena apabila kita mempunyai peralatan atau fasilitas maka biasanya kita selalu berusaha untuk tetap mempergunakan peralatan atau fasilitas tersebut. Sama halnya dengan perusahaan pabrik, dimana pimpinan perusahaan pabrik akan selalu berusaha agar fasilitas atau peralatan produksinya dapat dipergunakan dengan baik sehingga tidak mengganggu jalannya proses produksi. Menurut Corder (1996), pemeliharaan adalah suatu kombinasi dari setiap tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang, atau memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima.

Menurut Assauri (2004), pemeliharaan (*maintenance*) dapat diartikan sebagai kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Jadi dengan adanya kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) ini, maka fasilitas atau peralatan pabrik dapat dipergunakan untuk produksi sesuai dengan rencana, dan tidak mengalami kerusakan selama fasilitas atau peralatan tersebut dipergunakan untuk proses produksi atau sebelum jangka waktu tertentu yang direncanakan tercapai.

Menurut Dhillon (1985), pemeliharaan merupakan semua tindakan yang dilakukan untuk mempertahankan atau mengembalikan *item* atau peralatan kedalam kondisi tertentu. Pada dasarnya program pemeliharaan suatu mesin atau peralatan terbagi menjadi empat tingkatan, yaitu:

1. Pemeriksaan

Kegiatan ini berusaha untuk memeriksa kemampuan suatu peralatan dibandingkan dengan standar yang ada berikut prosedur penyetelan yang harus dilakukan.

2. Reparasi dan Pergantian Komponen

Perbaikan atas mesin atau peralatan yang rusak harus segera dilakukan pergantian komponen yang didasarkan atas hasil pemeriksaan dan perbaikan.

3. Perbaikan dan Pembongkaran Mesin

Pada kegiatan ini peralatan diperiksa secara menyeluruh dan selanjutnya di *set-up* kembali. Ada saat dimana terdapat bagian-bagian yang diganti, diperbaiki atau dibersihkan saja.

4. Penggantian Mesin dan Peralatan

Pergantian ini dilakukan karena ketiga kegiatan diatas dianggap tidak mampu untuk mengembalikan mesin atau peralatan pada kondisi semula.

2.2 Tujuan Pemeliharaan

Dalam istilah *maintenance* terdapat dua istilah penting yaitu perawatan dan perbaikan. Perawatan adalah kegiatan yang digunakan untuk mencegah kerusakan, sedangkan perbaikan adalah kegiatan yang dilakukan untuk memperbaiki kerusakan. Terdapat 4 (empat) tujuan pemeliharaan yang utama (Corder, 1996) :

1. Untuk memperpanjang usia penggunaan *asset* yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan, dan isinya.
2. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi dan mendapatkan laba investasi yang maksimum.
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran dan penyelamatan, dan sebagainya.
4. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

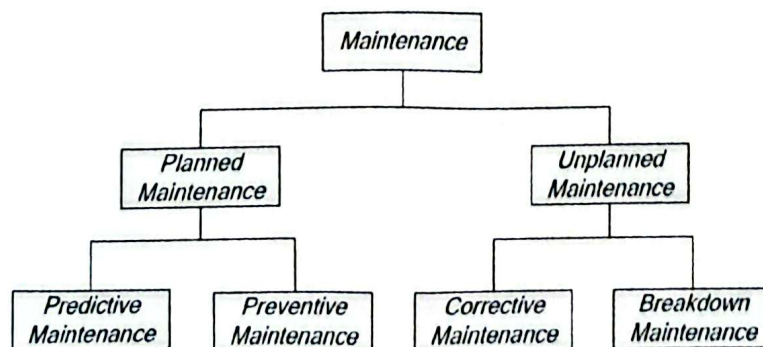
Sedangkan menurut Assauri (1993), terdapat 6 (enam) tujuan perawatan yaitu:

1. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.

3. Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpangan yang diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan tersebut.
4. Untuk mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan pemeliharaan secara efektif dan efisien.
5. Menghindari kegiatan pemeliharaan yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja.
6. Mengadakan suatu kerjasama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan (*return on investment*) yang sebaik mungkin dan total biaya rendah.

2.3 Jenis Pemeliharaan

Setiap perusahaan memiliki teknik pemeliharaan yang berbeda, banyaknya jenis pemeliharaan yang ada diharapkan dapat menjadi alternatif bagi perusahaan agar dapat melakukan kegiatan pemeliharaan yang sesuai dengan kondisi yang dialami oleh perusahaan. Terdapat dua jenis pemeliharaan, yaitu pemeliharaan terencana (*planned maintenance*) dan pemeliharaan tidak terencana (*unplanned maintenance*).



Gambar 2.1 Jenis Pemeliharaan

1. Pemeliharaan Terencana (*Planned Maintenance*)

Pemeliharaan terencana adalah pemeliharaan yang dijadwalkan dan dilakukan dengan pemikiran ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan

rencana yang telah ditentukan sebelumnya (Corder, 1996). Terdapat tiga jenis pemeliharaan terencana, antara lain:

a. Pemeliharaan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Preventive Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan pada selang waktu yang ditentukan sebelumnya, atau terhadap kriteria lain yang diuraikan dan dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan bagian-bagian lain tidak memenuhi kondisi yang bisa diterima.

b. *Predictive Maintenance*

Predictive Maintenance adalah pemeliharaan pencegahan yang diarahkan untuk mencegah kegagalan suatu sarana, dan dilaksanakan dengan memeriksa mesin-mesin tersebut pada selang waktu yang teratur dan ditentukan sebelumnya, pelaksanaan tingkat reparasi selanjutnya tergantung pada apa yang ditentukan selama pemeriksaan.

2. Pemeliharaan Tidak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

Adalah suatu tindakan atau kegiatan perawatan yang pelaksanaannya tidak direncanakan. *Unplanned Maintenance* terbagi atas 2, yaitu:

a. Pemeliharaan Perbaikan (*Corrective Maintenance*)

Corrective Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian yang terhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima. Dalam perbaikan dapat dilakukan perubahan atau modifikasi rancangan agar peralatan menjadi lebih baik.

b. *Breakdown Maintenance*

Adalah suatu kegiatan perawatan yang pelaksanaannya menunggu sampai dengan peralatan tersebut rusak lalu dilakukan perbaikan. Cara ini dilakukan apabila efek *failure* tidak bersifat signifikan terhadap operasi ataupun produksi.

2.4 Kegiatan Pemeliharaan

Dalam pemeliharaan terdapat kegiatan yang harus dilakukan untuk menunjang keberhasilan dari pemeliharaan, menurut Assauri (2008) semua tugas atau kegiatan pemeliharaan dapat digolongkan ke dalam salah satu dari lima tugas pokok yang berikut:

1. Inspeksi (*inspection*)

Kegiatan inspeksi meliputi kegiatan pengecekan atau pemeriksaan secara berkala (*routine schedule check*) bangunan dan peralatan pabrik sesuai dengan rencana serta kegiatan pengecekan atau pemeriksaan terhadap peralatan yang mengalami kerusakan dan membuat laporan-laporan dari hasil pengecekan atau pemeriksaan tersebut. Maksud kegiatan inspeksi ini adalah untuk mengetahui apakah perusahaan pabrik selalu mempunyai peralatan/fasilitas produksi yang baik untuk menjamin kelancaran proses produksi. Jika seandainya terdapat kerusakan, maka dapat segera diadakan perbaikan-perbaikan yang diperlukan sesuai dengan laporan hasil inspeksi, dan berusaha untuk mencegah sebab-sebab timbulnya kerusakan dengan melihat sebab-sebab kerusakan yang diperoleh dari hasil inspeksi. Oleh karena itu hasil laporan inspeksi haruslah memuat keadaan peralatan yang diinspeksi, sebab-sebab terjadinya kerusakan bila ada, usaha-usaha penyesuaian atau perbaikan kecil yang telah dilakukan dan saran-saran/usul-usul perbaikan atau penggantian yang diperlukan.

Laporan hasil inspeksi dibuat dan diberikan oleh bagian pemeliharaan untuk pemimpin perusahaan, dan laporan ini sangat berguna bagi pimpinan. Misalnya laporan tentang mesin atau peralatan yang sering rusak, merupakan bahan pertimbangan bagi pimpinan perusahaan untuk dapat mengambil keputusan, apakah mesin atau peralatan tersebut perlu diganti atau tidak.

2. Kegiatan teknik (*Engineering*)

Kegiatan teknik meliputi kegiatan percobaan atas peralatan yang baru dibeli, dan kegiatan-kegiatan pengembangan peralatan atau komponen peralatan yang perlu diganti, serta melakukan penelitian-penelitian terhadap kemungkinan pengembangan tersebut. Dalam kegiatan inilah dilihat

kemampuan untuk mengadakan perubahan-perubahan dan perbaikan-perbaikan bagi perluasan dan kemajuan dari pembangunan dan peralatan pabrik. Oleh karena itu kegiatan teknik ini sangat diperlukan terutama apabila dalam perbaikan mesin-mesin yang rusak tidak diperoleh/didapatkan komponen yang sama dengan yang dibutuhkan. Dalam hal ini perlu diadakan perubahan-perubahan atau perbaikan-perbaikan tertentu terhadap komponen dan mesin-mesin yang bersangkutan, agar mesin tersebut dapat bekerja kembali.

Dalam kegiatan teknik ini termasuk pula kegiatan penyelidikan sebab-sebab terjadinya kerusakan pada peralatan tertentu dan cara-cara atau usaha-usaha untuk mengatasi/memperbaikinya yang sangat diperlukan dalam kegiatan produksi. Dalam mengetahui sebab-sebab ini, maka dengan kegiatan teknik dapat atau harus pula diusahakan atau dibuat alat-alat penjaga atau pencegah terjadinya kerusakan pada masa-masa yang akan datang. Di samping itu dalam kegiatan ini dipelajari spesifikasi mesin dan usaha-usaha agar mesin dapat bekerja lebih efektif dan efisien.

3. Kegiatan produksi

Kegiatan produksi ini merupakan kegiatan pemeliharaan yang sebenarnya, yaitu memperbaiki dan mereparasi mesin-mesin dan peralatan. Secara fisik, melaksanakan pekerjaan yang disarankan atau diusulkan dalam kegiatan inspeksi dan teknik (*engineering*), melaksanakan kegiatan pelayanan (*service*) dan peminyakan (*lubrication*). Kegiatan produksi ini dimaksudkan agar kegiatan pengolahan pada pabrik dapat berjalan lancar sesuai dengan rencana, dan untuk ini diperlukan usaha-usaha perbaikan segera jika terdapat kerusakan pada peralatan.

4. Pekerjaan administrasi (*clerical work*)

Pekerjaan administrasi ini merupakan kegiatan yang berhubungan dengan pencatatan-pencatatan mengenai biaya-biaya yang terjadi dalam melakukan pekerjaan-pekerjaan pemeliharaan dan biaya-biaya yang berhubungan dengan kegiatan pemeliharaan, komponen atau *spare parts* yang dibutuhkan, *progress report* tentang apa yang telah dikerjakan, waktu dilakukannya

inspeksi dan perbaikan, serta selamanya perbaikan tersebut, dan komponen atau *spare parts* yang tersedia di bagian pemeliharaan. Jadi dalam kegiatan pencatatan ini termasuk penyusunan *planning* dan *scheduling*, yaitu rencana kapan suatu mesin harus di cek atau diperiksa, diminyaki atau di *service* dan direparasi.

Pekerjaan administrasi (*clerical work*) ini merupakan kegiatan administrasi dari pekerjaan pemeliharaan yang menjamin adanya catatan-catatan mengenai kegiatan atau kejadian-kejadian yang penting dari bagian pemeliharaan.

5. Pemeliharaan bangunan (*House keeping*)

Kegiatan pemeliharaan bangunan merupakan kegiatan untuk menjaga agar bangunan gedung tetap terpelihara dan terjamin kebersihannya. Jadi kegiatan ini meliputi pembersihan dan pengecatan gedung, pembersihan toilet, pembersihan halaman dan kegiatan pemeliharaan peralatan lain yang tidak termaksud dalam kegiatan teknik dan produksi dari bagian pemeliharaan (*maintenance*).

2.5 Preventive Maintenance

Menurut Assauri (2008) *preventif maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi. Sedangkan menurut Heizer dan Render (2010) *preventive maintenance* adalah suatu rencana yang mencakup inspeksi rutin, perawatan rutin, dan pemeliharaan fasilitas untuk mencegah terjadinya kegagalan. Dengan demikian semua fasilitas produksi yang mendapatkan perawatan pencegahan akan terjamin kelancaran kerjanya dan akan selalu diusahakan dalam kondisi yang siap setiap saat. Berdasarkan hal tersebut maka memungkinkan pembuatan suatu rencana jadwal perawatan dan rencana produksi yang lebih tepat dan efektif dalam menghadapi fasilitas-fasilitas produksi yang termaksud kedalam golongan *critical unit*. Sebuah fasilitas atau peralatan produksi akan termaksud

dalam golongan *critical unit* apabila: Kerusakan fasilitas atau peralatan produksi akan membahayakan keselamatan atau kesehatan para pekerja.

1. Kerusakan fasilitas akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan.
2. Kerusakan fasilitas tersebut akan menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi.
3. Modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut cukup besar dan mahal. Apabila pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) dilaksanakan pada fasilitas-fasilitas atau peralatan yang termaksud dalam "*critical unit*", maka tugas-tugas pemeliharaan (*maintenance*) dapatlah dilakukan dengan suatu perencanaan yang intensif untuk unit yang bersangkutan, sehingga rencana produksi dapat dicapai dengan jumlah hasil produksi yang lebih besar dalam waktu yang lebih singkat (Assauri, 2008).

Menurut Assauri (2008) dalam praktiknya *preventive maintenance* yang dilakukan oleh suatu perusahaan pabrik dapat dibedakan atas 2 macam, yaitu *routine maintenance* dan *periodic maintenance*.

1. *Routine Preventive Maintenance*

Routine preventive maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara rutin misalnya setiap hari. Sebagai contoh dari kegiatan pemeliharaan rutin (*routine maintenance*) adalah pembersihan fasilitas/peralatan, pelumasan (*lubrication*) atau pengecekan oli, serta pengecekan isi bahan bakarnya dan mungkin termaksud pemanasan (*warming up*) dari mesin-mesin selama beberapa menit sebelum dipakai beroperasi sepanjang hari. Dengan adanya keterlibatan operator mesin terhadap kegiatan ini dapat mengurangi keterlibatan personel pemeliharaan dalam mengerjakan tugas harian ini.

2. *Periodic Maintenance*

Periodic maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara berkala atau dalam jangka waktu tertentu, misalnya setiap satu minggu sekali, lalu meningkat setiap bulan sekali, dan akhirnya setiap satu tahun sekali. Pemeliharaan periodik (*Periodic maintenance*) dapat dilakukan pula dengan memakai lamanya jam kerja mesin atau fasilitas

produksi tersebut sebagai jadwal kegiatan, misalnya setiap seratus jam kerja mesin sekali dan seterusnya. Jadi kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) ini tetap secara periodik atau berkala. Kegiatan pemeliharaan periodik (*periodic maintenance*) adalah jauh lebih berat dari pada *routine maintenance*. Sebagai contoh dari kegiatan *periodic maintenance* adalah pembongkaran karburator ataupun pembongkaran alat-alat di bagian sistem aliran bensin, penyetelan katup-katup pemasukan dan pembuangan silinder mesin dan pembongkaran mesin/fasilitas tersebut untuk penggantian roda (*bearing*), serta *service* dan *overhaul* besar ataupun kecil.

Menurut Ebeling (1997) *preventive maintenance* merupakan pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal, umumnya secara periodik, dimana sejumlah tugas pemeliharaan seperti *inspeksi*, perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan dan penyesuaian dilaksanakan. Tindakan perawatan pencegahan dilakukan untuk menghindari kerusakan pada suatu peralatan atau sistem, tapi pada kenyataannya mungkin tidak dapat diketahui bagaimana cara untuk menghindari adanya kerusakan. Ada empat faktor dasar dalam memutuskan penerapan *preventive maintenance* :

1. Mencegah terjadinya kegagalan.
2. Mendeteksi kegagalan.
3. Mengungkap kegagalan tersembunyi (*hidden failure*).
4. Tidak melakukan apapun karena lebih efektif daripada dilakukan penggantian.

Dengan mengidentifikasi keempat faktor dalam melaksanakan *preventive maintenance*, terdapat empat kategori dalam mengspesifikasikan *preventive maintenance*. Keempat kategori tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Time Directed Maintenance* adalah perawatan yang diarahkan secara langsung pada pencegahan kegagalan atau kerusakan. Kebijakan perawatan yang sesuai untuk diterapkan pada *Time Directed Maintenance* adalah *periodic maintenance* dan *on condition maintenance*. *Periodic maintenance* (*hard time maintenance*) adalah perawatan pencegahan yang dilakukan secara terjadwal dan bertujuan untuk mengganti sebuah komponen atau sistem

berdasarkan interval waktu tertentu. *On condition maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan .

2. *Condition Directed Maintenance* adalah perawatan yang diarahkan pada deteksi kegagalan atau gejala-gejala kerusakan. Kebijakan yang sesuai dengan kondisi tersebut adalah *Predictive Maintenance*. *Predictive Maintenance* merupakan suatu kegiatan perawatan yang dilakukan dengan menggunakan sistem *monitoring*.
3. *Failure Finding Maintenance* adalah perawatan yang diarahkan pada penemuan kegagalan tersembunyi, dilakukan dengan cara memeriksa fungsi tersembunyi (*hidden function*) secara periodik untuk memastikan kapan suatu komponen mengalami kegagalan.
4. *Run to Failure Maintenance* adalah perawatan yang didasarkan pada pertimbangan untuk menjalankan komponen hingga rusak karena pilihan lain tidak memungkinkan atau tidak menguntungkan dari segi ekonomi. Disebut juga sebagai *no schedule maintenance* karena dilakukan jika tidak ada tindakan pencegahan yang efektif dan efisien yang dapat dilakukan, jika dilakukan pencegahan terlalu mahal atau dampak kegagalan yang tidak terlalu *esensial* (tidak terlalu berpengaruh) (Ebeling, 1997).

Menurut Ebeling (1997) kegiatan *preventive maintenance* dibagi menjadi dua kelompok, yaitu :

1. *Subjective Monitoring*

Monitoring yang dilakukan dengan menggunakan indera seperti mendengarkan, melihat, menyentuh, merasakan, dan membaui, kemudian mengestimasi kondisi berdasarkan indera tersebut. Perawatan ini bersifat subjektif karena bergantung pada keahlian operator dalam memonitor kondisi mesin.

2. *Objective Condition Monitoring*

Monitoring yang dilakukan berdasarkan hasil yang ditunjukkan oleh alat ukur. Pada metode ini perawatan dilakukan dengan cara memasang alat ukur pada peralatan/mesin yang tidak sedang beroperasi, kemudian sensor dari alat ukur tersebut akan memberikan informasi bila terjadi penyimpangan.

2.6 Corrective Maintenance

Menurut Heizer dan Render (2010) *corrective maintenance* adalah pemeliharaan yang bersifat perbaikan yang terjadi ketika peralatan mengalami kegagalan dan menuntut perbaikan darurat atau berdasarkan prioritas. Dengan *corrective* atau *breakdown maintenance* dimaksudkan adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadi suatu kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) yang dilakukan sering disebut dengan kegiatan perbaikan atau reparasi. Perbaikan yang dilakukan karena adanya kerusakan yang dapat terjadi. Akibat tidak dilakukannya *preventive maintenance* ataupun telah dilakukan pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) tetapi sampai pada waktu tertentu fasilitas atau peralatan tersebut tetap rusak. Jadi dalam hal ini kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) sifatnya hanya menunggu sampai kerusakan terjadi dahulu, baru kemudian diperbaiki atau dibetulkan. Maksud tindakan perbaikan ini adalah agar fasilitas atau peralatan tersebut dapat dipergunakan kembali dalam proses produksi, sehingga operasi atau proses produksi dapat berjalan lancar kembali. Dengan demikian apabila perusahaan hanya mengambil kebijaksanaan untuk melakukan pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) saja, maka terdapatlah faktor ketidakpastian (*uncertainty*) dalam kelancaran proses produksinya akibat ketidakpastian atau kelancaran bekerjanya fasilitas, atau peralatan produksi yang ada. Oleh karena itu kebijaksanaan untuk melakukan pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) saja tanpa pencegahan (*preventive*) ataupun memacetkan kegiatan produksi apabila terjadi suatu kerusakan yang tiba-tiba pada fasilitas produksi yang digunakan.

Secara sepintas lalu kelihatan pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) saja adalah lebih murah biayanya daripada mengadakan pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*). Hal ini adalah benar, selama kerusakan belum terjadi pada fasilitas/peralatan sewaktu proses produksi berlangsung. Tetapi sekali kerusakan terjadi pada fasilitas/peralatan selama proses produksi berlangsung, maka akibat dari kebijaksanaan pemeliharaan korektif

(*corrective maintenance*) saja akan jauh lebih parah dari pada pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*). Di samping itu akan terdapat suatu kenaikan yang melonjak dari biaya-biaya perawatan dan pemeliharaan pada saat terjadinya kerusakan tersebut. Oleh karena *corrective maintenance* ini mahal, maka sedapat mungkin harus dicegah dengan mengintensifkan kegiatan *preventive maintenance*. Di samping itu perlu pula kita pertimbangkan bahwa dalam jangka panjang untuk mesin-mesin yang mahal dan termaksud dalam "critical unit" dari proses produksi, *preventive maintenance* akan lebih menguntungkan daripada *corrective maintenance* saja.

2.7 Konsep Pemeliharaan

Dalam melakukan pemeliharaan terhadap mesin/peralatan terdapat konsep yang harus dilakukan agar dapat memenuhi kriteria pemeliharaan yang baik diantaranya (Ebeling, 1997):

A. Konsep Keandalan (*Reliability*)

Keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas sistem akan memiliki kinerja sesuai fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu (Ebeling, 1997). Definisi lain keandalan adalah probabilitas suatu sistem akan berfungsi secara normal ketika digunakan untuk periode waktu yang diinginkan dalam kondisi operasi yang spesifik (Dhillon, 1997). Berdasarkan definisi diatas, maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu (Ebeling, 1997):

1. Probabilitas

Setiap elemen dalam suatu sistem akan selalu memiliki umur atau aktual hidup (berfungsi dengan baik) yang berbeda-beda, sehingga terdapat sekelompok elemen yang memiliki rata-rata hidup tertentu. Probabilitas nilai *reliability* adalah berada antara 0-1. Dimana nilai 0 berarti keandalan sangat rendah dan komponen tidak dapat dipakai, sehingga nilai 1 menunjukkan keandalan yang tinggi.

2. Kemampuan yang diharapkan

Hal ini harus digambarkan secara terang atau jelas. Bagi setiap unit terdapat suatu standar untuk menentukan apa yang dimaksud dengan kemampuan yang diharapkan.

3. Tujuan yang diinginkan

Kegunaan peralatan harus spesifik. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa tingkatan dalam memproduksi suatu barang konsumen.

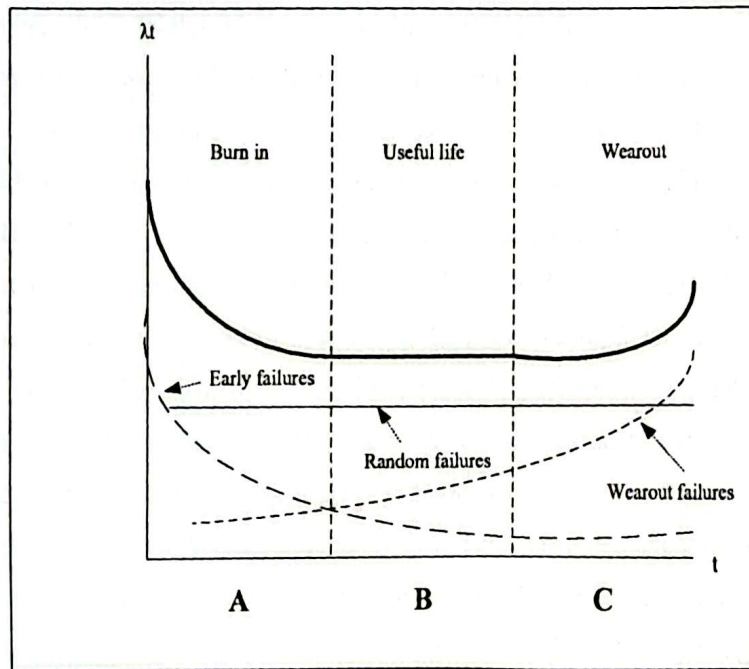
4. Waktu

Waktu merupakan parameter yang penting untuk melakukan penilaian kemungkinan suksesnya suatu sistem.

5. Kondisi operasi

Merupakan faktor lingkungan yang mempengaruhi jalannya operasi sistem tersebut. Faktor ini antara lain: suhu, kelembapan, kondisi listrik, getaran, tekanan, dan faktor lainnya.

Menurut pengertian umum, keandalan dapat dikatakan sebagai sebuah patokan atau standar kemampuan dari suatu komponen untuk dapat berfungsi pada kondisi operasi tertentu selama selang waktu tertentu. Pengetahuan mengenai keandalan suatu sistem terlebih dahulu harus memperhatikan laju kerusakan dari suatu sistem. Laju kerusakan suatu sistem umumnya digambarkan dalam *bathub curve* seperti terlihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 *Bathtub curve*
(Sumber : Ebeling, 1997)

Keterangan gambar *bathtub curve* :

1. Merupakan kondisi yang terjadi pada fase awal penggunaan suatu alat, dimana laju kerusakan terus menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Kerusakan yang mungkin ditimbulkan pada fase ini adalah kerusakan yang diakibatkan oleh kurangnya pengetahuan yang dimiliki oleh operator dalam menggunakan alat tersebut, rendahnya *quality control*, dan lain-lain.
2. Pada fase ini, kerusakan yang timbul relatif konstan dan salah satu penyebabnya adalah akibat *human error*.
3. Merupakan fase akhir dari penggunaan suatu alat. Fase ini ditandai dengan terjadinya peningkatan kerusakan serta penurunan fungsi dari peralatan tersebut. Pada umumnya, kerusakan yang timbul pada fase ini disebabkan oleh korosi, umur, dan *fatigue* dari alat yang digunakan.

B. Ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan adalah peluang suatu sistem atau komponen beroperasi sesuai dengan fungsinya pada jangka waktu tertentu, atau melebihi periode waktu yang seharusnya ketika digunakan, dan dirawat pada kondisi operasi yang ditetapkan

(Ebeling, 1997). Ketersediaan dapat diinterpretasikan sebagai peluang suatu sistem beroperasi untuk waktu yang diperlukan atau sebagai presentase dari waktu, dalam suatu interval waktu dimana sistem itu beroperasi. Ketersediaan berbeda dengan keandalan, dimana ketersediaan adalah probabilitas komponen berada dalam kondisi tidak mengalami kerusakan meskipun sebelumnya komponen tersebut telah mengalami kerusakan dan diperbaiki atau dipulihkan kembali pada kondisi operasi normalnya. Oleh karena itu, ketersediaan sistem tidak pernah lebih daripada keandalan sistem. Ketersediaan mengandung dua komponen utama yaitu keandalan (*reliability*) dan keterawatan (*maintainability*). Tingkat keandalan yang rendah dapat diimbangi dengan usaha peningkatan perawatan sehingga tingkat kecepatan aksi perawatan berpengaruh terhadap tingkat ketersediaan sistem. Seperti halnya pada keandalan dan keterawatan, ketersediaan merupakan probabilitas sehingga teori probabilitas dapat digunakan untuk menghitung nilai ketersediaan.

C. Keterawatan (*Maintainability*)

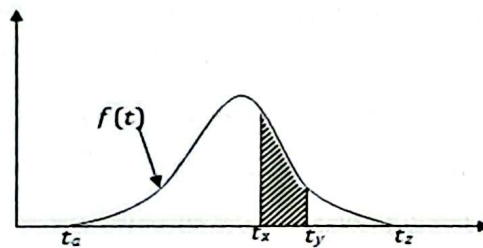
Keterawatan adalah probabilitas bahwa komponen atau sistem yang rusak akan diperbaiki ke dalam suatu kondisi tertentu dalam periode waktu tertentu sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan (Ebeling, 1997). Prosedur perawatan melibatkan perbaikan, ketersediaan sumber daya perawatan (tenaga kerja, suku cadang, peralatan), program perawatan pencegahan, keahlian tenaga kerja, dan jumlah orang yang termasuk di dalam bagian perawatan tersebut.

2.8 Fungsi Kerusakan

Ada empat macam fungsi probabilitas yang dapat digunakan dalam menghitung keandalan, yaitu fungsi kemungkinan kepadatan (*probability density function*), fungsi distribusi kumulatif (*cummulative distribution function*), fungsi keandalan (*reliability function*), dan fungsi laju kerusakan (*hazard rate function*).

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

Fungsi kepadatan probabilitas merupakan suatu kurva kontinu yang menggambarkan distribusi kerusakan yang persamaan garis kurvanya dinyatakan dengan $f(t)$.



Gambar 2.3 Kurva fungsi kepadatan probabilitas

(Sumber : Ebeling, 1997)

Luas daerah di bawah kurva menyatakan probabilitas terjadinya kerusakan dalam interval waktu tertentu, yaitu terjadi pada selang waktu t_x dan t_y , yang secara matematis dinyatakan sebagai :

$$\int_{t_x}^{t_y} f(t) dt$$

Sedangkan probabilitas terjadinya kerusakan dalam selang waktu antara t_a dan t_z adalah sama dengan satu yang dinyatakan sebagai :

$$\int_{t_a}^{t_z} f(t) dt = 1$$

Karakteristik kerusakan pada setiap peralatan berbeda-beda. Bahkan bila sejumlah peralatan yang sama dioperasikan pada lingkungan yang sama pun dapat mempunyai karakteristik yang berbeda.

2. Fungsi Distribusi Kumulatif (*Cummulative Distribution Function*)

Fungsi distribusi kumulatif merupakan probabilitas terjadinya kerusakan sebelum waktu t , yang dinyatakan sebagai $F(t)$.

$$F(t) = \text{Probabilitas kerusakan sebelum waktu } t = \int_{-\infty}^t f(t) dt$$

Jika t mendekati tak terhingga (∞) maka $F(t)$ mendekati satu. fungsi ini merupakan laju kerusakan yang terintegrasi.

3. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

Fungsi keandalan merupakan probabilitas bahwa suatu peralatan akan beroperasi tanpa mengalami kerusakan dalam rentang waktu tertentu. Fungsi keandalan dilambangkan dengan $R(t)$ dan didefinisikan sebagai

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Jika t mendekati tak terhingga (∞) maka $R(t)$ mendekati nol, yang berarti keandalan mesin akan mendekati nol.

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Rate Function*)

Fungsi ini memberikan nilai peluang terjadinya kerusakan sesaat dari besarnya peluang reliabilitas mesin pada rentang waktu tertentu. Fungsi ini dilambangkan dengan $Z(t)$ Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)}$$

Bila peluang $Z(t)$ meningkat sesuai dengan nilai waktu, maka sifatnya disebut laju kegagalan yang meningkat (*Increasing Failure Rate*), sebaliknya jika $Z(t)$ menurun sesuai dengan nilai waktu disebut laju kegagalan yang menurun (*Decreasing Failure Rate*).

2.9 Distribusi Kerusakan

Fasilitas produksi seperti mesin, memiliki karakteristik komponen penyusun yang berbeda-beda. Demikian pula dengan karakteristik kegagalan yang mungkin terjadi. Data kerusakan suatu peralatan atau mesin mengikuti suatu distribusi kerusakan. Distribusi kerusakan adalah informasi dasar mengenai umur pakai suatu peralatan dalam suatu populasi. Ada beberapa distribusi kerusakan yang sering digunakan dalam mengidentifikasi fungsi kerusakan dan fungsi reliabilitas, yaitu distribusi normal, distribusi lognormal, Eksponensial dan distribusi Weibull. Distribusi Weibull dapat digunakan pada model yang mengalami laju kerusakan menaik maupun menurun. Distribusi eksponensial dapat digunakan pada model laju kerusakan tidak berubah atau konstan. Distribusi Normal dapat digunakan pada model terjadinya *wearout region*. Distribusi Lognormal memiliki kesamaan dengan distribusi Weibull. Berikut ini penjelasan mengenai distribusi-distribusi kerusakan:

1. Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan distribusi yang paling banyak digunakan untuk waktu kerusakan karena distribusi ini dapat digunakan baik untuk laju

kerusakan yang meningkat maupun laju kerusakan yang menurun. Distribusi ini merupakan distribusi yang paling *fleksibel* yang berarti dapat diterapkan dan banyak digunakan untuk menginterpretasi data kelelahan (*fatigue*) dan gejala-gejala yang berkaitan dengan umur suatu komponen atau mesin. Distribusi ini memiliki dua parameter yaitu parameter bentuk atau angka kemiringan kurva (β) dan parameter skala atau parameter umur (θ). Parameter skala menggambarkan karakteristik umur, sedangkan parameter bentuk menggambarkan bentuk laju kegagalan.

Beberapa fungsi yang ada dalam distribusi weibull, yaitu (Ebeling, 1997) :

a) Fungsi Kepadatan Probabilitas

Merupakan probabilitas terjadinya kerusakan pada setiap satuan waktu.

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\theta}\right) \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

dimana: $\theta \geq 0$, $\beta \geq 0$, $t \geq 0$

b) Fungsi Distribusi Kumulatif

Merupakan probabilitas terjadinya kerusakan sebelum waktu t.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

c) Fungsi Keandalan

Merupakan probabilitas suatu alat/ komponen dapat berfungsi sampai suatu periode t.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

d) Fungsi Laju Kerusakan

Merupakan gambaran laju kerusakan dalam selang waktu tertentu.

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\theta}\right) \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1}$$

Keterangan:

$F(t)$: fungsi distribusi kumulatif

$f(t)$: fungsi kepadatan peluang

$R(t)$: fungsi keandalan

$\lambda(t)$: fungsi laju kerusakan

θ : parameter skala

β : parameter bentuk

t : waktu

Perubahan nilai β (parameter bentuk) dari distribusi akan mengakibatkan distribusi Weibull ekuivalen dengan distribusi tertentu, sehingga distribusi Weibull dapat mewakili semua jenis distribusi kerusakan lainnya. Hal ini dapat dilihat dari perubahan nilai β sebagai berikut (Ebeling, 1997):

Tabel 2.1 Nilai Parameter β

Nilai	Sifat Distribusi
$0 < \beta < 1$	Fungsi kerusakan menurun (DFR)
$\beta = 1$	Fungsi kerusakan tetap, ekuivalen dengan distribusi eksponensial (CFR)
$1 < \beta < 2$	Fungsi kerusakan meningkat, kurva <i>concave</i> (rata-rata naik secara perlahan)
$\beta = 2$	Fungsi kerusakan linier dengan distribusi <i>Rayleigh</i> (LFR)
$\beta > 2$	Fungsi kerusakan meningkat, kurva <i>convex</i> (rata-rata naik dan terus meningkat tajam/ IFR)
$3 < \beta < 4$	Fungsi kerusakan meningkat, ekuivalen dengan distribusi normal (IFR)

(Sumber: Ebeling, 1997)

Dimana: DFR = *Decreasing Failure Rate*

CFR = *Constan Failure Rate*

LFR = *Linier Failure Rate*

IFR = *Increasing Failure Rate*

2. Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini memiliki laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, sehingga probabilitas

terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ini memiliki satu parameter yaitu laju kegagalan yang dilambangkan dengan λ . Adapun fungsi-fungsi dari distribusi Eksponensial sebagai berikut (Ebeling,1997):

1. Fungsi kepadatan probabilitas

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

2. Fungsi Distribusi Kumulatif

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

3. Fungsi Keandalan

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

4. Fungsi Laju Kerusakan

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

Keterangan: F(t): fungsi distribusi kumulatif

f(t): fungsi kepadatan peluang

R(t): fungsi keandalan

$\lambda(t)$: fungsi laju kerusakan

t: waktu

λ : rata-rata kerusakan yang terjadi

3. Distribusi Normal

Distribusi Normal dapat digunakan untuk memodelkan fenomena keausan atau kondisi *wearout* dari suatu mesin. Distribusi ini memiliki bentuk kurva seperti lonceng (*bell shape*) dan simetris terhadap nilai rerata. Distribusi ini memiliki dua parameter yaitu nilai rata-rata (μ) dan simpangan baku (σ). Bentuk kurva normal akan tergantung pada besar kecilnya nilai simpangan baku. Jika nilai σ semakin besar maka kurva akan melebar (*platikurtik*), sebaliknya jika nilai σ semakin kecil maka kurva akan menyempit (*leptokurtik*). Fungsi-fungsi kerusakan dari distribusi ini akan dijabarkan sebagai berikut (Ebeling,1997):

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\left[\frac{1}{2\sigma^2}(t-\mu)^2\right]}$$

2. Fungsi Distribusi Kumulatif

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

3. Fungsi Keandalan

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

4. Fungsi Laju Kerusakan

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

Keterangan: $F(t)$: fungsi distribusi kumulatif

$f(t)$: fungsi kepadatan peluang

$R(t)$: fungsi keandalan

$\lambda(t)$: fungsi laju kerusakan

t : waktu

μ : nilai tengah

σ : standar deviasi

4. Distribusi Lognormal

Distribusi ini termasuk dalam distribusi yang bentuk kurvanya tidak simetris, yang digunakan untuk menggambarkan fenomena umur atau ketahanan suatu komponen atau sistem. Pada distribusi ini dikenal adanya dua parameter, yaitu s yang merupakan parameter bentuk dan t_{med} sebagai parameter lokasi yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini hanya untuk nilai t positif dan lebih sesuai daripada distribusi Normal dalam hal kerusakan. Seperti halnya distribusi Weibull, distribusi Lognormal ini dapat memiliki berbagai macam bentuk. Seringkali dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi Weibull sesuai pula dengan distribusi Lognormal. Adapun fungsi-fungsi dari distribusi Lognormal sebagai berikut (Ebeling, 1997):

1. Fungsi kepadatan Probabilitas

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

2. Fungsi Distribusi Kumulatif

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

3. Fungsi Keandalan

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

4. Fungsi Laju Kerusakan:

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

Keterangan: F(t): fungsi distribusi kumulatif
f(t) : fungsi kepadatan peluang
R(t): fungsi keandalan
 $\lambda(t)$: fungsi laju kerusakan
t: waktu
 t_{med} : parameter lokasi
s: parameter bentuk

2.10 Identifikasi Distribusi Kerusakan

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui distribusi dari suatu data kerusakan melalui tes statistik dalam hal menerima atau menolak suatu hipotesis bahwa suatu kerusakan atau perbaikan yang diteliti berasal dari distribusi tertentu (Ebeling, 1997). Pemilihan distribusi ini menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square curve of fitting*). Pada metode ini identifikasi distribusi dilakukan dengan menggunakan *index of fit* yang merupakan ukuran hubungan linier antara peubah x dan y. Pada metode *least square curve fitting*, distribusi dengan nilai *index of fit* yang terbesar yang dipilih.

1. *Index of fit*

Pengidentifikasi kerusakan atau perbaikan suatu komponen digunakan *index of fit* (r) yang merupakan ukuran hubungan linear antar peubah x dan y

dengan *curve fitting distribution* yang terpilih (*index of fit* terbesar).

Perhitungan umum pada metode *least square curve fitting* yaitu:

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

dimana : i = data waktu ke- t

n = Jumlah data yang diamati.

Analisis regresi dikembangkan untuk mengkaji dan mengukur hubungan antara dua variabel atau lebih. Analisis ini menggunakan persamaan regresi atau persamaan estimasi yang digunakan untuk mengestimasi nilai dari suatu variabel berdasarkan nilai variabel lainnya. variabel yang diestimasi tersebut adalah variabel dependen (atau variabel terikat) yang dilukiskan pada arah sumbu- Y (dan karenanya diberi simbol y). Sementara variabel yang mempengaruhinya adalah variabel independen (atau variabel bebas) dan dilukis pada sumbu- X dan lazimnya diberi simbol x , berdasarkan konsep ini, maka hubungan antara variabel y dan variabel x dapat diwakili dengan sebuah garis regresi.

$$\hat{y} = a + bx$$

dimana : a = menyatakan intersepsi atau perpotongan dengan sumbu tegak.

b = kemiringan atau gradiennya.

Lambang \hat{y} digunakan untuk membedakan nilai ramalan yang dihasilkan garis regresi dengan nilai pengamatan y yang sesungguhnya untuk nilai x tertentu. Sedangkan nilai gradien dinyatakan dengan formulasi sebagai berikut:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

untuk distribusi Weibull, Normal dan Lognormal.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}$$

untuk distribusi Eksponensial.

dimana : n adalah jumlah kerusakan yang terjadi

intersep: $a = \bar{y} - bx$

Analisis korelasi mencoba mengukur kekuatan hubungan antara dua peubah melalui sebuah bilangan yang disebut *index of fit* atau koefisien korelasi yang dilambangkan dengan r. Dengan koefisien korelasi ini dua peubah dapat diukur hubungannya meskipun memiliki satuan yang berbeda.

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

Nilai r berada antar -1 sampai dengan 1, nilai r yang mendekati -1 atau 1 menunjukkan hubungan yang kuat antara dua peubah acak, sedangkan nilai r yang mendekati nol menunjukkan hubungan yang lemah bahkan mungkin tidak ada hubungan antara kedua peubah acak tersebut.

Berikut ini merupakan perhitungan khusus untuk setiap distribusi (Ebeling, 1997):

1. Distribusi Eksponensial

$x_i = t_i$, dimana t_i adalah data ke-i

$$y_i = \ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right)$$

$$\text{Parameter : } \lambda = b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}$$

dimana : i = urutan data kerusakan (1,2,3,...,n)

t_i = data kerusakan ke-i

n = jumlah data kerusakan

2. Distribusi Weibull

$x_i = \ln t_i$, dimana t_i adalah data ke- i

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

Parameter : $\beta = b$ dan $\theta = e^{\left(\frac{-a}{b}\right)}$

dimana : i = urutan data kerusakan (1,2,3,...,n)

t_i = data kerusakan ke- i

n = jumlah data kerusakan

a = intersep

β = paramter bentuk

θ = paramter skala

3. Distribusi Normal

$x_i = t_i$, dimana t_i adalah data ke- i

$$y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] = \frac{t_i - \mu}{\sigma}$$

parameter $\sigma = \frac{1}{b}$ dan $\mu = -a\sigma$

dimana : i = urutan data kerusakan (1,2,3,...,n)

t_i = data kerusakan ke- i

n = jumlah data kerusakan

a = intersep

Z_i = indeks dari tabel distribusi normal

b = gradien

μ = rata-rata

σ = standar deviasi

4. Distribusi Lognormal

$x_i = \ln t_i$, dimana t_i adalah data ke- i

$$y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] = \frac{1}{s} \ln t - \frac{1}{s} \ln t_{med}$$

parameter : $s = \frac{1}{b}$ dan $t_{med} = e^{-sa}$

dimana : i = urutan data kerusakan (1,2,3,...,n)

t_i = data kerusakan ke-i
 n = jumlah data kerusakan
 a = intersep
 Z_i = indeks dari tabel distribusi normal
 b = gradien
 t_{med} = nilai tengah (median)
 s = parameter bentuk

2. Uji Keselarasan Distribusi

Jika distribusi kerusakan terpilih, maka selanjutnya dilakukan uji statistik, yaitu dengan uji keselarasan (*goodness of fit*) terhadap distribusi tersebut. Uji dilakukan dengan membandingkan antara hipotesis nol (H_0) yang menyatakan bahwa data kerusakan mengikuti distribusi pilihan dan hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan bahwa data kerusakan tidak mengikuti distribusi pilihan (Ebeling, 1997). Uji kesesuaian distribusi ini dilakukan dengan membandingkan dua hipotesis yang berlawanan yaitu :

H_0 : data kerusakan atau perbaikan menghampiri suatu distribusi tertentu.

H_1 : data kerusakan atau perbaikan tidak menghampiri suatu distribusi tertentu.

Pengujian distribusi pada penelitian ini menggunakan uji secara spesifik (*specific test*) yang dikhususkan untuk satu jenis distribusi. Pengujian yang akan dilakukan adalah uji *Bartlett* untuk distribusi Eksponensial, uji *Mann* untuk distribusi Weibull, serta uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk distribusi Normal dan Lognormal. Berikut ini mengenai pengujian distribusi:

1. Uji Bartlett untuk Distribusi Eksponensial

Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah (Ebeling, 1997):

H_0 : Data berdistribusi Eksponensial.

H_1 : Data tidak berdistribusi Eksponensial.

$$\text{Uji statistiknya : } B = \frac{2r \left[\ln \left\{ \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right\} - \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}}$$

Keterangan: r = jumlah kerusakan

t_i = data waktu kerusakan ke- i

B = nilai uji statistik untuk *Bartlett test*

H_0 diterima apabila nilai B jatuh dalam wilayah kritis:

$$\frac{X_{1-\alpha}^2}{2, r-1} < B < X_{\frac{\alpha}{2}}^2$$

2. Uji *Mann* untuk Distribusi Weibull

Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah (Ebeling, 1997):

H_0 : Data berdistribusi Eksponensial.

H_1 : Data tidak berdistribusi Eksponensial.

$$\text{Uji statistiknya : } \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}$$

$$k_1 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor ; k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor$$

dimana : $M_i = Z_{i+1} - Z_i$

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

Keterangan: M = nilai uji statistik untuk *Mann's Test*

t_i = data waktu kerusakan ke- i .

t_{i+1} = data waktu kerusakan ke- $(i+1)$

r = jumlah unit yang diamati.

Bila $M > F_{\text{crit}}$ maka H_1 diterima. Nilai F_{crit} diperoleh dari tabel distribusi

F dengan $v_1 = 2k_1$ dan $v_2 = 2k_2$.

3. Uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk Distribusi Normal dan Lognormal

Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah (Ebeling, 1997):

H_0 : Data berdistribusi Normal atau Lognormal.

H_1 : Data tidak berdistribusi Normal atau Lognormal.

Uji statistiknya adalah : $D = \max \{D_1, D_2\}$

$$D_1 = \max \left\{ \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\}$$

dimana :

$$D_2 = \max \left\{ \frac{1}{n} - \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) \right\}$$

$$i = \sum_{j=1}^n \frac{t_j}{n} \quad \text{dan} \quad s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}$$

Keterangan :

t_i = data waktu antar kerusakan ke-i.

t = data waktu antar kerusakan.

s = standar deviasi.

n = banyaknya data kerusakan.

Bila $D_n < D_{crit}$ maka terima H_0 , dan bila sebaliknya maka terima H_1 . Nilai D_{crit} diperoleh dari tabel *critical value for the Kolmogorov-Smirnov test for Normality*.

3. Penentuan estimasi parameter dengan metode penaksiran kemungkinan maksimum (*Maximum Likelihood Estimator/ MLE*)

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui nilai paramter-parameter dari distribusi data yang telah dipilih. Masing-masing distribusi memiliki jenis parameter dan cara perhitungan yang berbeda-beda. Estimasi parameter untuk tiap-tiap distribusi menggunakan perhitungan sebagai berikut (Ebeling,1997):

1. Distribusi Weibull

Untuk distribusi ini, perhitungan estimasi parameter dengan *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) diperoleh dengan menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$g(\beta) = \frac{\sum_{i=1}^r t_i^\beta \ln t_i + (n-r)t_s^\beta \ln t_s}{\sum_{i=1}^r t_i^\beta + (n-r)t_s^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_i = 0$$

Kemudian, MLE mengestimasi nilai parameter θ yang didapat dari persamaan:

$$\theta = \left\{ \frac{1}{r} \left[\sum_{i=1}^r t_i^{\beta} + (n-r)t_s^{\beta} \right] \right\}^{\frac{1}{\beta}}$$

Dimana:

r = Jumlah Kerusakan

t_i = Data waktu kerusakan ke i

t_s = Waktu kerusakan = 1

n = Jumlah unit yang diamati

2. Distribusi Eksponensial

Untuk distribusi ini, perhitungan estimasi parameter dengan *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) diperoleh dengan menggunakan formulasi sebagai berikut:

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

Dimana: r = Jumlah kerusakan

T = Total waktu pengujian

3. Distribusi Normal

Untuk distribusi ini, perhitungan estimasi parameter dengan *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) diperoleh dengan menggunakan formulasi sebagai berikut:

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

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n-1} \text{ atau } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n-1}}$$

Dimana:

t_i = Data waktu kerusakan ke i

n = Jumlah unit yang diamati

4. Distribusi Lognormal

Untuk distribusi ini, perhitungan estimasi parameter dengan *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) diperoleh dengan menggunakan formulasi sebagai berikut:

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

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

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

Dimana: t_i = Data waktu kerusakan ke i

n = Jumlah unit yang diamati

t_{med} = Nilai tengah data kerusakan

2.11 Mean Time To Failure (MTTF) dan Mean Time To Repair (MTTR)

MTTF adalah nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan (*expected value*) dari suatu distribusi kerusakan. MTTR adalah nilai tengah dari selang waktu antara perbaikan yang dihitung dari awal kerusakan hingga selesai perbaikan (Ebeling, 1997). Secara umum waktu perbaikan dapat diberlakukan sebagai variabel random karena kejadian yang berulang-ulang dapat mengakibatkan waktu perbaikan yang berbeda-beda. Cara untuk pengukuran keandalan dan keterawatan yang paling sering digunakan adalah *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR). Berikut ini rumus-rumus untuk menghitung MTTF dan MTTR untuk distribusi Weibull, Eksponensial, Normal, dan Lognormal yang ditunjukkan pada persamaan berikut (Ebeling, 1997):

1. Distribusi Weibull

$$MTTF=MTTR = \theta \Gamma(x) = \theta \Gamma(1+(1/\beta))$$

2. Distribusi Eksponensial

$$MTTF=MTTR = 1/\lambda \text{ atau } 1/r$$

3. Distribusi Normal

$$MTTF=MTTR = \mu$$

4. Distribusi Lognormal

$$MTTF=MTTR = t_{med} \exp\left(\frac{s^2}{2}\right)$$

2.12 Downtime

Downtime merupakan waktu yang dibutuhkan oleh mesin yang mengalami kerusakan atau berhenti, sampai dengan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan dan mesin yang digunakan kembali. *Downtime* terdiri dari beberapa unsur, yaitu (Ebeling, 1997):

1. *Supply Delay*

Merupakan waktu yang dibutuhkan oleh personil *maintenance* untuk memperoleh komponen yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses perbaikan.

2. *Maintenance Delay*

Merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menunggu ketersediaan sumber daya perawatan untuk melakukan proses perbaikan.

3. *Access Time*

Merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan akses ke komponen yang mengalami kerusakan.

4. *Diagnosis Time*

Merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menentukan penyebab kerusakan dan langkah perbaikan apa yang harus ditempuh untuk memperbaiki kerusakan.

5. *Repair or Replacement Time*

Merupakan waktu aktual yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pemulihan, setelah permasalahan dapat diidentifikasi dan akses komponen yang rusak dapat dicapai.

6. *Verification and Allingment Time*

Merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memastikan bahwa unit telah kembali pada kondisi operasi semula.

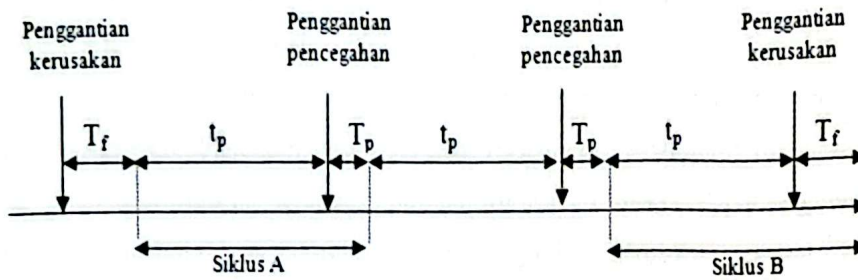
2.13 Model Penentuan Interval Waktu Penggantian dengan Kriteria Minimasi *Downtime*

Prinsip pada manajemen pemeliharaan adalah untuk menekan periode kerusakan sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen sistem berdasarkan *downtime* minimum menjadi sangat penting. Tujuan dilakukannya penggantian pencegahan adalah untuk menentukan waktu terbaik untuk melakukan penggantian pencegahan sehingga dapat meminimasi total *downtime* per unit waktu.

Terdapat dua jenis model standar bagi permasalahan penggantian yang dikemukakan oleh Jardine (2006) yaitu penggantian blok (*Block Replacement*) dan model penggantian umur (*Age Replacement*). Pada model *block replacement*, tindakan penggantian dilakukan pada suatu interval yang tetap. Model ini bertujuan menentukan interval penggantian optimal diantara penggantian pencegahan untuk meminimasi total *downtime* per unit waktu. Sedangkan pada model *age replacement* penggantian pencegahan dilakukan tergantung pada umur pakai dari komponen. Tujuan model ini untuk menentukan umur optimal dimana penggantian pencegahan harus dilakukan, sehingga dapat meminimasi total *downtime*. Pada penelitian ini hanya menggunakan metode *Age Replacement*.

1. Model penggantian umur (*Age Replacement*).

Pada model ini pelaksanaan penggantian pencegahan dilakukan dengan tergantung pada umur pakai dari komponen. Penggantian pencegahan dilakukan dengan menetapkan kembali interval waktu penggantian pencegahan berikutnya sesuai dengan interval yang telah ditentukan jika terjadi kerusakan yang menurut dilakukannya tindakan penggantian. Terdapat dua macam siklus penggantian pada model ini, siklus pertama ditentukan oleh komponen yang telah mencapai umur penggantian (t_p) sesuai dengan yang telah direncanakan atau siklus pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian pencegahan. Siklus kedua ditentukan oleh komponen yang telah mengalami kerusakan sebelum mencapai waktu penggantian yang telah ditetapkan sebelumnya atau siklus kerusakan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian kerusakan. Model penggantian umur dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.4 Model Penggantian Umur (*Age Replacement*)

(Sumber: Jardine, 2006)

Dari kedua model diatas, dapat terlihat bahwa dari segi efisiensi biaya penggantian, maka akan lebih efisien bila penentuan selang waktu perawatan pencegahan dilakukan dengan model penggantian umur. Total *downtime* per unit waktu untuk penggantian pencegahan saat t_p dinotasikan dengan $D(t_p)$.

$$D(t_p) = \frac{\text{Total ekspektasi downtime per siklus}}{\text{Ekspektasi panjang siklus}}$$

Total ekspektasi *downtime* per siklus (EDS) adalah

$$EDS = [T_p \times R(t_p)] + [T_f(1 - R(t_p))]$$

Ekspektasi panjang siklus kerusakan (EPS)

$$EPS = [(t_p + T_p) \times R(t_p)] + [(M(t_p) + T_f) \times (1 - R(t_p))]$$

sehingga

$$D(t_p) = \frac{[T_p \times R(t_p)] + [T_f(1 - R(t_p))]}{[(t_p + T_p) \times R(t_p)] + [(M(t_p) + T_f) \times (1 - R(t_p))]}$$

$$M(t_p) = \frac{MTTF}{F(t_p)} \quad F(t_p) = 1 - R(t_p)$$

Dimana:

$D(t_p)$ = Total *downtime* per unit waktu untuk penggantian pencegahan.

T_f = Waktu untuk melakukan perbaikan karena kerusakan.

T_p = Waktu untuk melakukan penggantian pencegahan.

t_p = Panjang interval waktu penggantian.

$R(t_p)$ = Fungsi keandalan (probabilitas untuk siklus pencegahan).

$M(t_p)$ = Nilai harapan panjang siklus kerusakan.

2.14 Model Penentuan Interval Waktu Pemeriksaan Optimal dengan Kriteria Minimasi *Downtime*

Selain penggantian pencegahan, perlu juga dilakukan tindakan pemeriksaan yang dilakukan secara berkala. Tujuannya adalah untuk meminimasi total *downtime* mesin, sehingga jumlah kerusakan mesin dapat dikurangi. Kebijakan tersebut dibuat untuk meminimasi terjadinya kerusakan per unit waktu dari peralatan dan mesin tersebut (Jardine, 2006). Inspeksi optimal dan dinotasikan sebagai (n) dirumuskan dengan (Jardine, 2006):

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

Keterangan: n = Interval inspeksi optimal
 k = Probabilitas kerusakan dalam satuan waktu
 i = Rata-rata waktu inspeksi dalam n inspeksi
 μ = Nilai tengah waktu perbaikan

Perhitungan nilai *downtime* pemeriksaan dirumuskan sebagai berikut (Jardine, 2006):

$$D(n) = k/n\mu + n/i$$

2.15 Nilai Keandalan (*Reliability*) Sebelum dan Sesudah Perawatan

Tingkat keandalan suatu mesin akan berkurang seiring berjalannya waktu terlebih jika mesin tersebut tidak mendapatkan pemeliharaan pencegahan yang tepat. Model keandalan berikut ini dapat mengurangi efek dari *wearout* dan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap umur hidup sistem dengan mengasumsikan kembali ke kondisi awal setelah dilakukan tindakan perawatan pencegahan. Bila $R(t)$ adalah keandalan sistem tanpa tindakan perawatan pencegahan, sedangkan T adalah interval waktu anatar tindakan pencegahan, dan $R_m(T)$ adalah keandalan sistem kumulatif setelah tindakan perawatan pencegahan, maka:

$$R_m(t) = R(t) \quad \text{untuk } 0 \leq t < T$$

$$R_m(t) = R(T) R(t-T) \quad \text{untuk } T \leq t < 2T$$

sehingga didapatkan persamaan secara umum sebagai berikut

$$R_m(t) = R(T)^n \times R(t-nT) \quad \text{untuk } nT \leq t < (n+1)T$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

Keterangan:

$R(t-T)$ = Probabilitas nilai keandalan pada waktu lebih $(t - T)$ dan sistem akan kembali ke kondisi awal saat T .

$R(T)^n$ = Probabilitas nilai keandalan pada n -interval tindakan perawatan T .

$R(t-nT)$ = Probabilitas nilai keandalan selama $(t - nT)$ unit waktu setelah tindakan perawatan pencegahan yang terakhir.

Nilai reliabilitas berbeda-beda tergantung dengan distribusi kerusakannya, rumus yang digunakan untuk keempat distribusi adalah:

1. Distribusi Weibull

Nilai reliabilitas tanpa perawatan pencegahan:

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

Nilai reliabilitas dengan perawatan pencegahan:

$$R(t - nT) = \exp \left[- \left(\frac{t - nT}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \text{Untuk } nT \leq t < (n+1)T$$

2. Distribusi Eksponensial

Nilai reliabilitas tanpa perawatan pencegahan:

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

Nilai reliabilitas dengan perawatan pencegahan:

$$R(t - nT) = R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{Untuk } nT \leq t < (n+1)T$$

3. Distribusi Normal

Nilai reliabilitas tanpa perawatan pencegahan:

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

Nilai reliabilitas dengan perawatan pencegahan:

$$R(t - nT) = 1 - \Phi \left(\frac{t - \mu - nT}{\sigma} \right) \quad \text{Untuk } nT \leq t < (n+1)T$$

4. Distribusi Lognormal

Nilai reliabilitas tanpa perawatan pencegahan:

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

Nilai reliabilitas dengan perawatan pencegahan:

$$R(t - nT) = 1 - \Phi \left[\frac{1}{s} \ln \left(\frac{t - nT}{t_{med}} \right) \right] \text{ Untuk } nT \leq t < (n+1)T$$

2.16 Diagram Pareto

Diagram Pareto diperkenalkan oleh seorang ahli yaitu Alfredo Pareto pada tahun 1848-1923. Diagram ini merupakan suatu grafik yang mengurutkan klasifikasi suatu data dari kiri ke kanan menurut urutan ranking tertinggi sampai terendah. Klasifikasi data yang dimaksud bisa bermacam-macam seperti berdasarkan kegagalan, masalah, komplain, penyebab, jenis ketidaksesuaian, dan sebagainya. Ada enam langkah dalam pembuatan diagram Pareto, yaitu:

1. Menentukan metode atau arti dari pengklasifikasian data misalnya berdasarkan masalah, penyebab, jenis ketidaksesuaian, dan sebagainya.
2. Menentukan satuan yang digunakan untuk membuat urutan karakteristik tersebut, misalnya frekuensi, unit, dan sebagainya.
3. Mengumpulkan data sesuai dengan interval waktu yang telah ditentukan.
4. Merangkum data dan membuat ranking kategori dari yang terbesar hingga yang terkecil.
5. Menghitung frekuensi *kumulatif* atau *persentase kumulatif* yang digunakan.
6. Menggambar digram batang yang akan menunjukkan tingkat kepentingan dari setiap masalah. Mengidentifikasi beberapa hal yang penting untuk mendapat perhatian.

Prinsip Pareto juga dikenal sebagai aturan 80/20 dengan melakukan 20% dari pekerjaan bisa menghasilkan 80% manfaat dari pekerjaan itu. Mamfaat dari diagram Pareto sebagai berikut (Wigjosobroto, 2003):

1. Menunjukkan masalah utama yang dominan dan perlu segera diatasi.
2. Menyatakan perbandingan masing-masing persoalan terhadap keseluruhan.

3. Menunjukkan tingkat perbaikan setelah tindakan perbaikan dilakukan pada daerah yang terbatas.
4. Menunjukkan masing-masing persoalan sebelum dan setelah perbaikan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan suatu cara melakukan sesuatu dengan menggunakan pikiran secara seksama secara sistematis untuk mengumpulkan, mengolah, dan menyimpulkan data dengan menggunakan metode dan teknik tertentu dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan yang dihadapi. Langkah-langkah yang terstruktur dan sistematis dalam pemecahan masalah ini antara sebagai berikut:

3.1 Jenis Data

Berdasarkan data-data yang dikumpulkan, jenis data dikelompokkan ke dalam dua macam, yaitu:

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh langsung dari sumber data yang diamati dan dikumpulkan melalui survey lapangan dengan menggunakan teknik pengumpulan data. Data-data primer tersebut antara lain:

- a. Data jam kerja mesin CNC Bubut.
- b. Data waktu kerusakan dan perbaikan mesin CNC Bubut.
- c. Data *history* tentang komponen mesin CNC Bubut.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang sudah tersedia atau data yang diperoleh melalui data yang telah diteliti dan dikumpulkan oleh pihak lain yang berkaitan dengan permasalahan penelitian. Data-data tersebut sebagai berikut:

- a. Sejarah perusahaan.
- b. Visi dan misi perusahaan.
- c. Struktur organisasi dan uraian jabatan.
- d. Tenaga kerja dan jam kerja.
- e. Prosedur produksi.
- f. Jenis-jenis produk yang dihasilkan.

- g. Proses produksi.
- h. Mesin CNC Bubut.

3.2 Sumber Data

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Data primer yang berasal dari penelitian yang dilakukan penulis di PT Tosama Abadi.
2. Data sekunder yang berasal dari bagian Produksi.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Penulisan tugas akhir ini merupakan bagian dari penulisan karya ilmiah, maka dari itu kegiatan pengumpulan data merupakan sebuah keharusan dalam menyusun penulisan karya ilmiah. Pengumpulan data dilakukan untuk mendukung menyelesaikan permasalahan yang ada. Adapun metode yang digunakan dalam pengumpulan data dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian Lapangan (*Field Research*)

Penelitian lapangan ini dilakukan guna mencari data, mengumpulkan data ,serta mengolahnya dengan cara melakukan pengamatan secara langsung di lapangan pada PT Tosama Abadi. Diskusi juga dilakukan dengan karyawan perusahaan yang bersangkutan dengan bidang yang diamati dalam menyusun tugas akhir ini.

2. Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)

Dalam penyusunan tugas akhir ini, dilakukan pula penelitian kepustakaan (*library research*) guna memenuhi dasar teori dalam menyusun tugas akhir ini. Penelitian kepustakaan ini dilakukan dengan cara mengumpulkan dan mempelajari data-data kepustakaan baik yang diperoleh melalui buku-buku, diktat kuliah, jurnal maupun literatur lainnya yang berhubungan dengan permasalahan yang dihadapi sehingga dapat menunjang dalam penyusunan tugas akhir ini.

3. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan karyawan PT Tosama Abadi yang berhubungan langsung dengan permasalahan yang dihadapi dengan cara mengajukan beberapa pertanyaan mengenai permasalahan tersebut guna memperoleh informasi yang cukup terkait masalah yang sedang dihadapi.

3.4 Teknik Analisis

Langkah-langkah dalam teknik analisis ini dimulai dari survey lapangan pada perusahaan yang menjadi tempat penelitian. Langkah-langkah tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

3.4.1 Survey Lapangan

Survey lapangan dilaksanakan untuk mengamati objek yang akan diteliti. Studi lapangan merupakan salah satu proses kegiatan observasi pengungkapan fakta-fakta, dalam proses memperoleh keterangan atau data dengan cara terjun langsung ke lapangan. Survey lapangan berguna untuk berbagi penelitian dan merupakan cara ilmiah yang dilakukan dengan rancangan operasional, serta dapat memberikan hasil yang lebih akurat untuk menghindari kesalahan penelitian, serta dapat menambah pengalaman. Dari survey lapangan diharapkan dapat diperoleh gambaran tentang pendekatan yang sesuai untuk pelaksanaan penelitian.

3.4.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Setelah melakukan studi pendahuluan dan studi pustaka, maka tahap selanjutnya adalah mengidentifikasi dan merumuskan masalah. Untuk tahap ini, telah dijelaskan pada bab I.

3.4.3 Studi Pustaka

Setelah mengidentifikasi dan merumuskan permasalahan, diperlukan suatu studi pustaka yang dapat dijadikan landasan teori dari penelitian. Studi pustaka akan digunakan untuk mendapatkan kajian secara teoritis, mengenai metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini. Selain itu juga dilakukan studi terhadap penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya yang dapat dijadikan pertimbangan dan acuan bagi penelitian yang akan dilakukan.

3.4.4 Tujuan Penelitian

Setelah melakukan identifikasi dan perumusan masalah, maka langkah selanjutnya adalah menentukan tujuan dari penelitian ini. Tujuan penelitian ini telah disebutkan pada bab I.

3.4.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperlukan untuk memperoleh informasi-informasi yang berkaitan dengan obyek yang akan diteliti. Informasi tersebut akan menjadi dasar dalam melakukan analisis dan pemecahan masalah. Dibutuhkan beberapa data untuk mendukung proses selanjutnya, yaitu proses pengolahan data. Data yang dibutuhkan tersebut diperoleh melalui data rekaman perusahaan, hasil wawancara, serta pengamatan langsung pada proses produksi *Insert Plate* pada mesin CNC Bubut. Adapun data-data yang dikumpulkan telah dijelaskan pada bagian jenis data.

3.4.6 Pengolahan Data

Pada tahap ini dijelaskan tahap-tahap dalam mengolah data terhadap data yang telah diambil dari tahap pengumpulan data, dengan metode-metode yang dipilih guna memecahkan masalah secara baik dan terencana. Adapun langkah-langkah dalam pengolahan data sebagai berikut:

1. Penentuan Komponen Kritis dari Mesin CNC Bubut.

Komponen kritis adalah suatu komponen dari mesin yang berkontribusi terhadap frekuensi *breakdown* terbanyak dalam kurun waktu tertentu, memiliki nilai *downtime* terbesar, dan berpengaruh terhadap proses produksi. Penentuan komponen kritis ini dengan menggunakan diagram pareto untuk menentukan komponen yang menjadi komponen kritis berdasarkan total *downtime* terbesar.

2. Perhitungan *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR) pada komponen.

Selang waktu antar kerusakan (*time to failure*) adalah selang waktu dari kerusakan komponen yang pertama hingga kerusakan selanjutnya terjadi. Untuk itu diperlukan informasi tanggal dan waktu terjadinya kerusakan hingga waktu selesai dilakukan perbaikan masing-masing komponen.

Selang waktu perbaikan (*time to repair*) adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemeriksaan, perbaikan, ataupun penggantian komponen yang mengalami kerusakan hingga mesin tersebut dapat beroperasi. Data selang waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan komponen ini sebagai langkah awal untuk menentukan dan mengidentifikasi pola kerusakan yang terjadi.

3. Identifikasi Distribusi Peluang Kerusakan.

Pengidentifikasi distribusi dari data waktu kerusakan dan data waktu perbaikan yang dimiliki dilakukan dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*. Distribusi dipilih berdasarkan *index of fit* (r) terbesar yang mendekati 1. Jenis distribusi yang digunakan adalah distribusi Weibull, Normal, Lognormal, dan Eksponensial.

4. Pengujian Keselarasan Distribusi.

Setelah diketahui jenis distribusi yang sesuai dengan data kerusakan, selanjutnya dilakukan pengujian keselarasan distribusi dengan *goodness of fit* yang spesifik. Uji keselarasan ini dilakukan untuk mengetahui apakah distribusi yang dipergunakan sesuai apa tidak. Apabila berdasarkan uji tersebut tidak memenuhi kecocokkan, maka diambil distribusi dengan nilai (r) terbesar kedua, dan seterusnya. Pengujian yang dilakukan masing-masing distribusi antara lain: *Mann's test* untuk distribusi Weibull, *Bartlett's test* untuk distribusi Eksponensial, dan *Kolmogorov-Smirnov test* untuk distribusi Normal dan Lognormal.

5. Estimasi Parameter untuk Tiap Distribusi Terpilih.

Perhitungan ini bertujuan untuk menggambarkan keadaan optimal data secara lebih akurat. Metode yang digunakan dalam penaksiran parameter ini adalah penaksiran kemungkinan terbesar atau *Maximim Likelihood Estimator* (MLE). Parameter yang dihitung nanti akan digunakan dalam perhitungan MTTF (*Mean Time To Failure*) dan MTTR (*Mean Time To Repair*).

6. Perhitungan Waktu Rata-Rata Antar Kerusakan (MTTF) dan Waktu Rata-Rata Perbaikan (MTTR).

Setelah melakukan pengujian terhadap distribusi data waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan komponen, maka selanjutnya akan dilakukan perhitungan MTTF dan MTTR dari masing-masing komponen. MTTF adalah nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan (*expected value*) dari suatu distribusi kerusakan. Sedangkan MTTR adalah nilai tengah dari selang waktu antara perbaikan yang dihitung dari awal kerusakan hingga selesai perbaikan.

7. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan.

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dilakukan berdasarkan *downtime* minimum. Berdasarkan kenyataan bahwa pada dasarnya prinsip utama dalam manajemen pemeliharaan adalah untuk menekan periode kerusakan (*breakdown period*) sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen berdasarkan *downtime* minimum menjadi sangat penting. Setelah dilakukan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan, maka kita bisa mengetahui jadwal waktu penggantian pencegahan komponen kritis.

8. Perhitungan Keandalan (*Reability*) Komponen Kondisi Sebelum dan Sesudah Penggantian Pencegahan.

Perhitungan keandalan (*reability*) dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan nilai keandalan komponen sebelum dilakukan jadwal penggantian pencegahan dan sesudah dilakukan jadwal penggantian.

3.4.7 Analisis dan Pembahasan

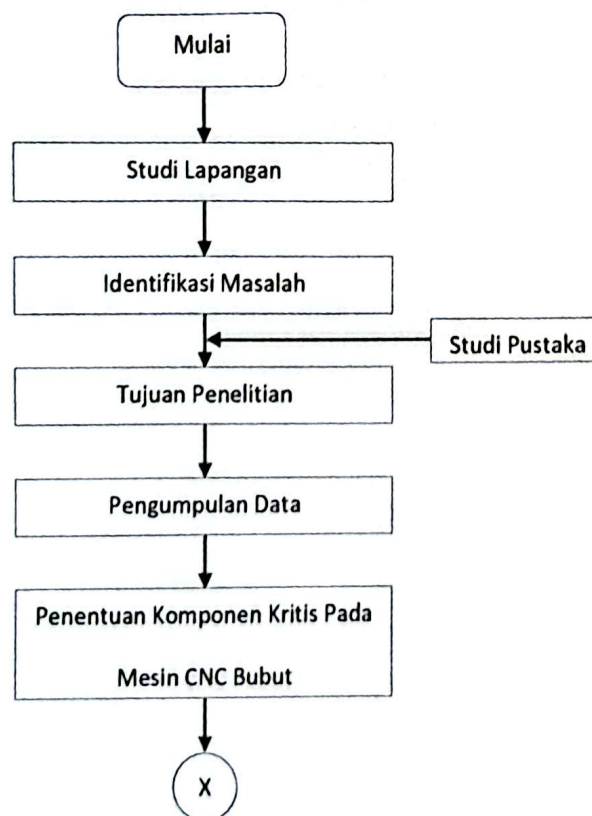
Setelah semua data diolah, kemudian dilakukan analisa terhadap hasil pengolahan data yang dilakukan dengan menentukan interval waktu penggantian komponen yang optimal berdasarkan kriteria *downtime* minimum. Penentuan interval waktu penggantian pencegahan dihitung berdasarkan umur pakai optimal dari komponen kritis.

3.4.8 Kesimpulan dan Saran

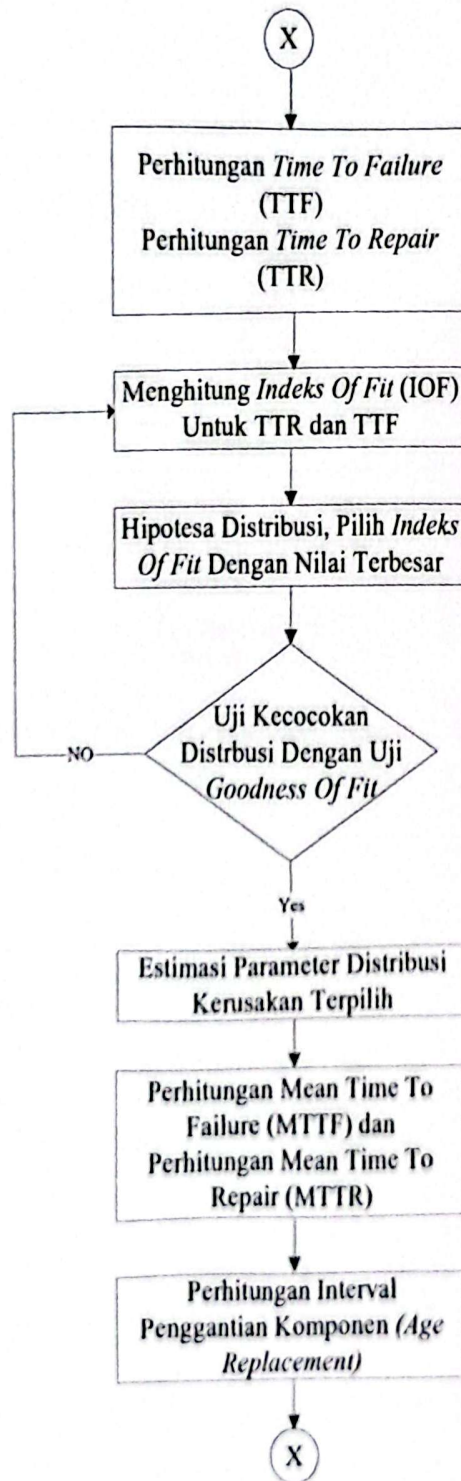
Kesimpulan diperoleh setelah memperoleh hasil pengolahan data dan analisa yang dilakukan terhadap data hasil penelitian yang telah diperoleh. Kesimpulan yang diambil sedapat mungkin harus dapat menjawab semua tujuan penelitian yang telah ditentukan sebelumnya. Kemudian atas dasar kesimpulan tersebut, penulis memberikan saran kepada perusahaan yang diharapkan dapat memberikan kontribusi kepada kemajuan perusahaan.

3.5 Kerangka Pemecahan Masalah (*Flowchart*)

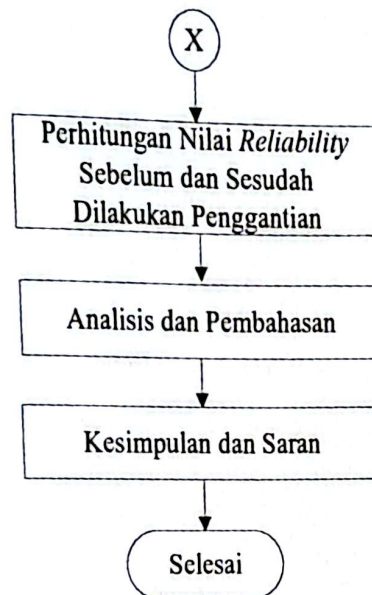
Kerangka pemecahan masalah (*Flowchart*) menggambarkan langkah-langkah dalam pemecahan masalah. *Flowchart* pemecahan masalah tersebut dapat dilihat pada gambar 3.1 :



Gambar 3.1 *Flowchart* Pemecahan Masalah



Gambar 3.1 Flowchart Pemecahan Masalah (Lanjutan)



Gambar 3.1 *Flowchart* Pemecahan Masalah (Lanjutan)

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Kegiatan pengumpulan data merupakan sebuah keharusan dalam menyusun penulisan karya ilmiah. Pengumpulan data dilakukan untuk mendukung menyelesaikan permasalahan yang ada. Berikut ini merupakan data yang dikumpulkan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada.

4.1.1 Sejarah Perusahaan

PT. TOSAMA ABADI (PT TA) merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dibidang industri komponen otomotif. Perusahaan ini didirikan pada tahun 1988 oleh Bapak H. Thoyib S.E.,M.M. sekaligus sebagai pemilik perusahaan. Sebelumnya, produk unggulan PT TA adalah pembuatan per, kini PT TA dapat membuat barang-barang yang dikerjakan dengan mesin seperti: baut, pin, *bushing*, *part stamping*, *shaft*, *wiar bolt battery* juga barang-barang untuk keperluan *spare part* otomotif lainnya. Keuntungan yang didapat, digunakan untuk menambah investasi dalam bentuk tempat usaha yang semula hanya seluas kurang lebih 50m², kini sudah meluas menjadi kurang lebih 6.000m².

Saat ini, Investasi Mesin telah mencapai lebih dari 5 miliar rupiah, yang terdiri dari berbagai macam type mesin seperti : *grinder*, *turret*, *stamping*, *straightening* dan *cutting*, *milling*, *tread rolling*, *shearing*, *bend saw*, *spot welding*, *CO₂ welding*, *CNC bending* kawat, *CNC bubut*, *CNC bending* pipa dan generator listrik sebesar 200kVa.

Guna menjaga dan meningkatkan mutu produk serta memenuhi kepuasan pelanggan, PT TA selalu meningkatkan kualitas sumber daya manusianya dengan merekrut tenaga kerja yang kompeten, memberikan pelatihan-pelatihan yang dibutuhkan dan sebagainya. Dengan profesionalisme sumber daya manusianya dan kesadaran akan mutu serta

kepuasan pelanggan yang diaktualisasikan melalui implementasi sistem manajemen mutu internasional ISO 9001:2008, PT TA merupakan salah satu *vendor* atau *supplier* komponen otomotif untuk PT Astra Green Company (AGC). Berbekal Program AGC, PT TA optimis dalam menghadapi persaingan dan perkembangan pasar global.

PT TA memiliki komitmen untuk menghasilkan produk yang bermutu sesuai dengan persyaratan dan harapan pelanggan, dengan cara melaksanakan dan memelihara sistem manajemen mutu sesuai dengan standard ISO 9001:2008, serta bertekad untuk menjadi perusahaan yang ramah lingkungan sesuai dengan Program AGC. Komitmen tersebut diwujudkan dengan tanda tangan komitmen bersama ISO 9001:2008 dan AGC, yang dilakukan pada tanggal 10 April 2004 untuk AGC dan tanggal 1 April 2008 untuk ISO 9001:2000 serta pada bulan November 2010 PT TA melakukan upgrade ISO 9001:2000 ke ISO 9001:2008 Dengan hal tersebut, PT TA berharap untuk dapat selalu berada selangkah didepan pesaing-pesaingnya dan tetap eksis dalam industri nasional maupun internasional.

4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan

PT Tosama Abadi memiliki visi dan misi sebagai berikut:

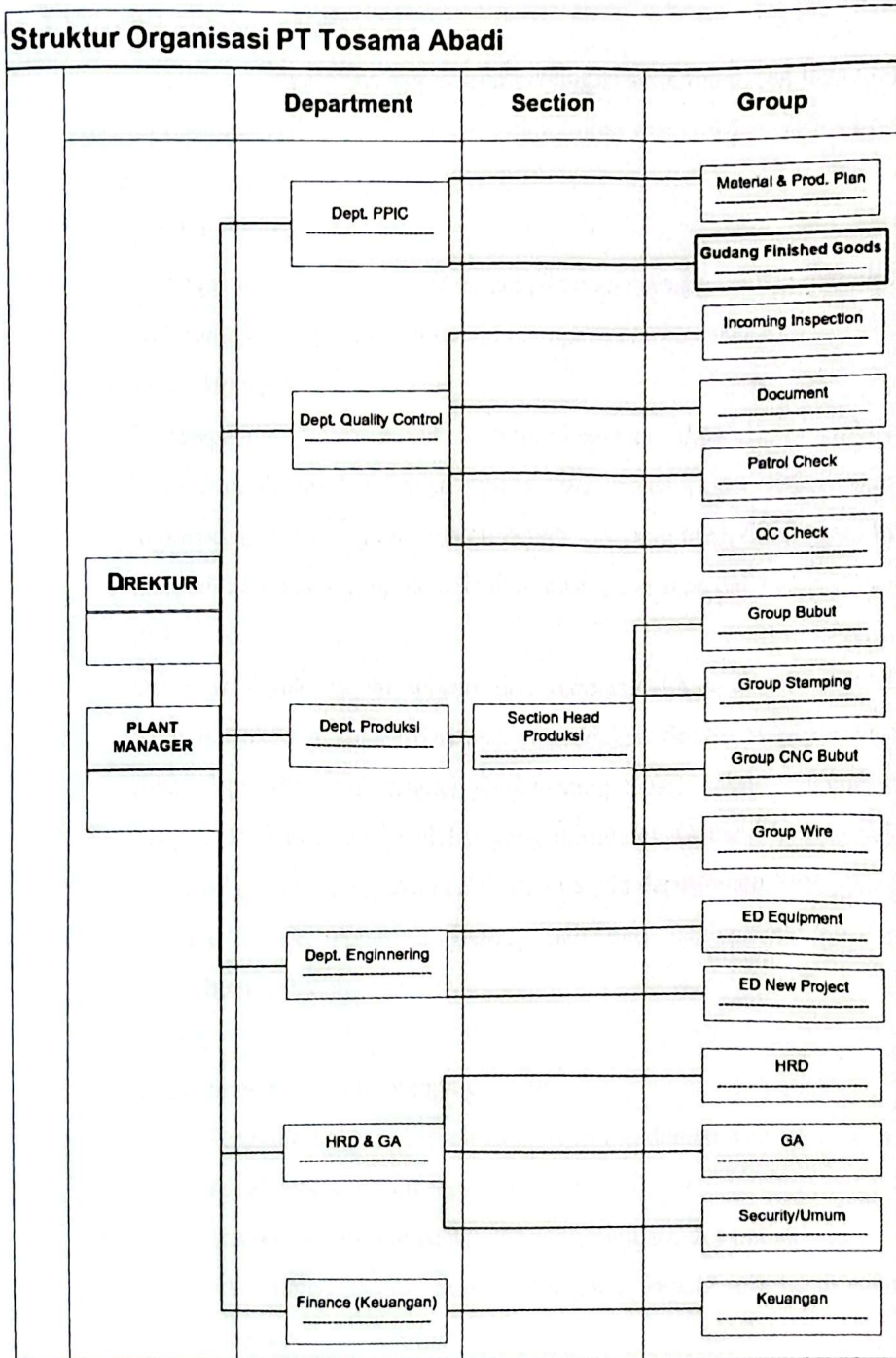
1. Visi
 - a. Menjadi perusahaan yang tangguh, efektif dan efisien.
 - b. Menjadi perusahaan yang berkelas nasional dengan tetap berwawasan lingkungan.
2. Misi
 - a. Memberikan pelayanan yang terbaik kepada pelanggan sebagai prioritas utama.
 - b. Penguasaan teknologi dengan menggunakan sumber daya manusia yang terampil, ramah dan berdisiplin tinggi.

4.1.3 Struktur Organisasi Perusahaan dan Uraian Jabatan

Didalam sebuah perusahaan struktur organisasi diperlukan agar semua kegiatan yang berkaitan dengan kelancaran tugas yang akan dikerjakan bisa berjalan lancar dan tidak terjadi kesalahan dalam menyelesaikan *job desk* masing-masing. Uraian jabatan diperlukan agar setiap karyawan perusahaan mengetahui uraian pekerjaan apa saja yang wajib dilakukannya.

4.1.3.1 Struktur Organisasi Perusahaan

Organisasi adalah kumpulan orang-orang yang bekerja sama untuk mencapai tujuan tertentu. Organisasi perusahaan merupakan alat yang berfungsi untuk mencapai tujuan perusahaan yaitu untuk meraih keuntungan sesuai dengan yang ditargetkan. Adapun struktur organisasi yang terdapat di PT Tosama Abadi dapat dilihat pada gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1 Struktur Organisasi PT Tosama Abadi
(Sumber: PT Tosama Abadi, 2019)

4.1.3.2 Uraian Jabatan

Untuk memperjelas bagaimana hubungan serta tugas dan tanggung jawab masing-masing bagian organisasi tersebut maka di bawah ini akan dijelaskan uraian kerjanya:

1. **Direktur Utama**

Bertugas untuk memimpin atau menjalankan perusahaan dan memiliki tanggung jawab yang besar dalam mengarahkan perusahaan.

2. **Plant Manager**

Bertanggung jawab untuk semua kegiatan dipabrik, membuat keputusan dalam hal fungsi operasi dan transformasi sistem yang digunakan, dan mengembangkan keputusan yang telah dibuat saat ini menjadi keputusan yang lebih baik dimasa yang akan datang.

3. **PPIC**

Bertugas untuk merencanakan dan mengendalikan aliran material yang masuk dan keluar dari sistem produksi. Sehingga permintaan pasar dapat dipenuhi dengan jumlah yang tepat, waktu penyerahan yang tepat, dan biaya produksi yang minimum. Gudang barang jadi (*finished goods*) merupakan salah satu bagian departemen PPIC, yang bertugas untuk menerima barang jadi dari bagian *quality* dan mengeluarkan barang jadi.

4. **Quality**

Mempunyai tugas dan tanggung jawab:

- a. Mengatur dan mengawasi kualitas terkait dengan kebijakan, dan prosedur perusahaan.
- b. Memonitor dan menganalisis hasil pengujian dan pengukuran, serta menyediakan *feedback* kepada kepala produksi atau pekerja pabrik.
- c. Memelihara catatan dan dokumen yang berkaitan dengan kualitas.
- d. Merancang dan menerapkan prosedur yang diperlukan untuk mencapai kualitas hasil proses produksi.

5. *Production*

Mempunyai tugas untuk mengontrol jalannya produksi, seperti saat melakukan proses kegiatan produksi dalam mengelola bahan baku menjadi bahan jadi.

6. *Enginnering*

Tugasnya untuk mengontrol persediaan peralatan CNC, *press*, *stamping*, dan lainnya yang berhubungan dengan produksi, memperhatikan keamanan dan keselamatan dalam bekerja.

7. *Human Resources Development*

Berperan sebagai *strategic partner*, pengelola sumber daya manusia dan administrasi *support*, mencari dan menyeleksi tenaga kerja, melakukan pengembangan tenaga kerja dan *job evolution*, membuat kebijakan tentang *reward* dan kompensasi untuk mensejahterakan karyawan. Pekerja sendiri mempunyai tugas dan tanggung jawab seperti menangani pembelian aset-aset perusahaan dan mengadakan pengawasan fisik atas *aktiva* perusahaan.

8. *Finance*

Berperan dalam menyelenggarakan persediaan dan perhitungan barang-barang kantor maupun produksi serta aset-aset lainnya, menghitung neraca, laba rugi dan pajak, dan menyusun anggaran perusahaan.

4.1.4 Tenaga Kerja dan Jam Kerja

Tenaga kerja adalah setiap orang yang mampu melakukan pekerjaan guna menghasilkan barang atau jasa. Atas dasar tersebut, dapat dikatakan bahwa tenaga kerja merupakan aspek terpenting dalam suatu perusahaan. Tenaga kerja atau Sumber Daya Manusia (SDM) sangat menentukan maju mundurnya suatu perusahaan, yang dipengaruhi oleh keadaan manusia di dalamnya.

4.1.4.1 Tenaga Kerja

Jumlah tenaga kerja PT Tosama Abadi terhitung sebanyak 96 orang. Ditinjau dari aktivitas yang dilakukan, tenaga kerja dibagi menjadi dua, yakni:

1. Tenaga kerja langsung (*Direct*)

Tenaga kerja yang secara fisik langsung terlibat dalam proses produksi. PT Tosama Abadi memiliki tenaga kerja langsung sebanyak 80 orang.

2. Tenaga kerja tidak langsung (*Indirect*)

Tenaga kerja yang melaksanakan aktivitas perencanaan baik dalam masalah produksi, pemasaran, maupun administrasi, serta pengawasan, dan lain-lain.

4.1.4.2 Jam Kerja

Di PT Tosama Abadi pembagian jam kerja dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

Shift 1 : Senin s/d Jum'at jam 08.00 – 15.00





Shift 2 : Senin s/d Jum'at jam 15.00 – 22.00

Shift 3 : Senin s/d Jum'at jam 22.00 – 05.00 (Khusus Mesin CNC)

Khusus pada hari Sabtu, pembagian jam kerja terbagi menjadi 2 jam kerja.

4.1.5 Jenis – Jenis Produk

PT Tosama Abadi merupakan perusahaan yang memproduksi komponen-komponen otomotif guna menunjang kebutuhan dari industri otomotif dalam memenuhi kebutuhan komponen otomotifnya. Berikut ini adalah beberapa produk yang dihasilkan oleh PT Tosama Abadi:

No	Nama Produk	Gambar	Keterangan
1	ARM VISOR SHAFT S/V D01N RH		SHAFT S/V D01N RH merupakan salah satu komponen dari bagian yang berada di dalam interior mobil yang berfungsi melindungi pengemudi mobil agar tidak silau ketika menyetir. SHAFT S/V D01N RH berbahan batang baja (eSS 400 diameter 8 mm, panjang 132,5 mm)
2	INSERT PLATE		INSERT PLATE merupakan komponen yang terdapat pada rangka jok mobil. Bahan bakunya adalah logam besi dengan jenis SS41
3	BAR SEAT LOCK 2PH		BAR SEAT LOCK 2PH merupakan komponen yang terdapat pada jok motor yang berfungsi sebagai pengunci ketika jok motor tertutup. Bahan baku berupa batang baja SS400.
4	BOLT 66		BOLT BATTERY CLAMP merupakan salah satu komponen pada jok mobil daihatsu. Bahan bakunya adalah logam besi dengan jenis SS41

Gambar 4.2 Daftar Produk Perusahaan

(Sumber PT TA, 2019)

Selain keempat produk di atas, masih terdapat beberapa produk lain yang dihasilkan oleh PT TA. Namun keempat produk tersebut merupakan produk yang paling sering diproduksi dan menjadi andalan dari PT TA.

4.1.6 Proses Produksi

Proses produksi merupakan cara, metode, dan teknik untuk menciptakan atau menambah kegunaan produk dengan mengoptimalkan sumber daya produksi (tenaga kerja, mesin, bahan baku, dan dana) yang ada. *Insert Plate* merupakan komponen yang terdapat pada rangka jok mobil.

Material yang digunakan produk *Insert Plate* ialah berbahan logam besi. Berikut ini merupakan tahapan dalam proses produksi pada *Insert Plate*:

Cutting

Cutting merupakan suatu proses tahap pertama dalam pembuatan produk *Insert Plate*. Dimana pada proses ini menggunakan sebuah mesin CNC (*Computer Numerical Control*) Bubut yang merupakan sistem otomatisasi dan dioperasikan oleh perintah yang telah diprogram.

Perataan Sudut (*Lathe*)

Perataan sudut adalah proses penghilangan dari bagian dari benda kerja untuk memperoleh bentuk tertentu. Disini benda kerja akan diputar/dirotasi dengan kecepatan tertentu bersamaan dengan dilakukannya proses pemakanan oleh mesin CNC (*Computer Numerical Control*) sehingga ketebalan dari benda kerja sesuai dengan ukuran yang ditetapkan.

Pembentukan Sesuai Sudut (Penekukan/*bending*)

Penekukan adalah proses pengerjaan dengan cara memberikan tekanan pada bagian tertentu sehingga terjadi deformasi plastis pada bagian yang diberi tekanan. Pada proses *bending* ini menggunakan mesin CNC (*Computer Numerical Control*) dimana benda kerja yang tadinya lurus menjadi 90 derajat setelah dilakukan pengerjaan.

Pemotongan Material Pada Bagian Tepi (*Trimming*)

Trimming merupakan proses pemotongan material pada bagian tepi produk yang sesuai dengan ukuran dan gambar yang ditetapkan.

Galvanize

Galvanize adalah proses pelapisan besi-besi dengan menggunakan cairan timah yang bertujuan untuk menyempurnakan produk sehingga menjadi bersih dan mulus.

Sizing

Sizing merupakan suatu proses penyempurnaan agar didapat hasil yang lebih sempurna baik dari dimensi maupun visual. Dimana material diberi tekanan tinggi yang mana menyebabkan material mengalir, yang bertujuan untuk memperbesar akurasi dimensi dari part/benda kerja.

Quality Control

Setelah melewati tahap akhir, produk dibawa ke bagian *quality control*. Pada bagian ini produk *Insert Plate* tersebut diperiksa apakah sudah sesuai dengan ukuran yang ditetapkan.

4.1.7 Mesin CNC Bubut

Sejak diciptakan pada tahun 1940-an, mesin CNC (*Computer Numerical Control*) Bubut saat ini telah menjadi mesin pekerja canggih dalam industri manufaktur modern sekarang ini. Karena terbukti mampu mempermudah dan mempercepat proses pekerjaan. Mesin CNC telah mampu pula menghasilkan benda kerja yang lebih presisi dan akurat.

Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) merupakan mesin yang mampu memutar benda kerja untuk melakukan berbagai proses operasi seperti pemotongan, pengeboran dan pengamplasan. Sistem CNC sendiri adalah perpaduan antara servo motor dan mekanis yang menggantikan sistem analog menjadi sistem computer digital. Pada kesempatan kali ini, hanya akan dipaparkan mengenai mesin CNC Bubut, seperti terlihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Mesin CNC Bubut

Ada beberapa bagian mesin CNC (*Computer Numerical Control*) antara lain, yaitu:

- Program
- *Control Unit / Processor*
- Motor listrik servo untuk menggerakkan pahat
- Motor listrik untuk memutar pahat
- Pahat
- Monitor / LCD
- Tombol operasional, seperti: *Automatic, edit, exe, manual*
- Tombol saklar *on, off, emergency, stop, feeding, lubrication, tollturretmrestmcycle, start, feedhold*
- Dan lain-lain.

4.2 Pengolahan Data

Pada tahap ini dijelaskan tahap-tahap dalam mengolah data terhadap data yang telah diambil dari tahap pengumpulan data, dengan metode-metode yang dipilih guna memecahkan masalah secara baik dan terencana. Adapun langkah-langkah dalam pengolahan data sebagai berikut:

1. Penentuan Komponen Kritis dari Mesin CNC Bubut.
2. Perhitungan *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR) pada komponen.
3. Identifikasi Distribusi Peluang Kerusakan.
4. Pengujian Keselarasan Distribusi.
5. Estimasi Parameter untuk Tiap Distribusi Terpilih.
6. Perhitungan Waktu Rata-Rata Antar Kerusakan (MTTF) dan Waktu Rata-Rata Perbaikan (MTTR).
7. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan.
8. Perhitungan Keandalan (*Reability*) Komponen Kondisi Sebelum dan Sesudah Penggantian Pencegahan.

4.2.1 Penentuan Komponen Kritis Mesin CNC Bubut

Berikut ini adalah data komponen yang mengalami kerusakan pada mesin CNC Bubut pada periode tahun 2018.

1. Komponen *Cross Slide*

Tabel 4.1 Frekuensi Kerusakan Komponen *Cross Slide*

No	Tanggal	<i>Downtime</i> (menit)
1	27 Januari 2018	125
2	19 Februari 2018	110
3	28 Maret 2018	140
4	24 May 2018	130
5	25 Juli 2018	135
6	20 September 2018	135

7	14 November 2018	130
Total		905

(Sumber : PT Tosama Abadi)

2. Komponen *Tailstock*

Tabel 4.2 Frekuensi Kerusakan Komponen *Tailstock*

No	Tanggal	<i>Downtime</i> (menit)
1	15 Februari 2018	100
2	02 May 2018	80
3	22 Juli 2018	75
4	29 September 2018	95
5	05 Desember 2018	95
Total		445

(Sumber : PT Tosama Abadi)

3. Komponen *Carriage*

Tabel 4.3 Frekuensi Kerusakan Komponen *Carriage*

No	Tanggal	<i>Downtime</i> (menit)
1	20 Januari 2018	30
2	17 May 2018	40
3	24 Agustus 2018	30
4	14 November 2018	35
Total		135

(Sumber : PT Tosama Abadi)

4. Komponen *Saddle*

Tabel 4.4 Frekuensi Kerusakan Komponen *Saddle*

No	Tanggal	<i>Downtime</i> (menit)
1	09 May 2018	35
2	01 September 2018	45
3	21 Desember 2018	30
Total		110

(Sumber : PT Tosama Abadi)

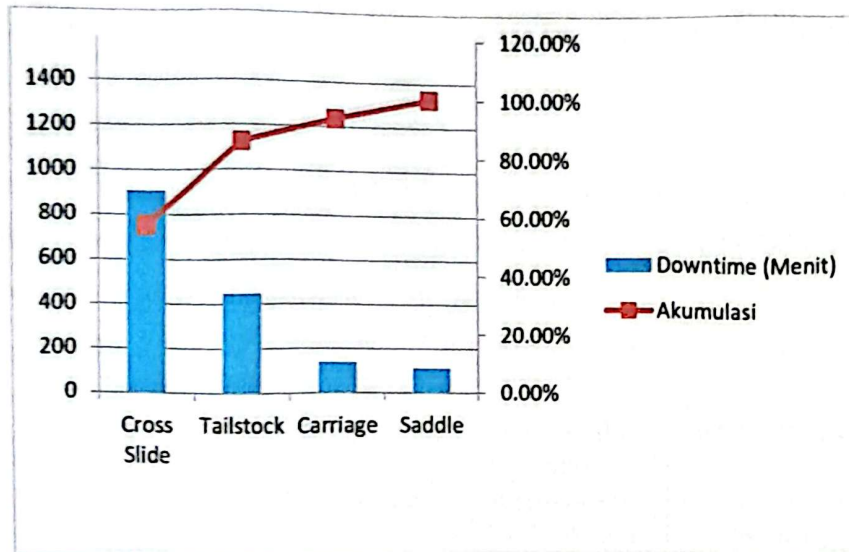
Dari tabel-tabel diatas dapat dilihat frekuensi kerusakan tiap komponen pada mesin CNC Bubut. Dari tabel-tabel diatas akan dibuat diagram pareto untuk menentukan komponen kritis dari mesin kritis. Komponen kritis dapat dilihat dari komponen yang mempunyai persentase kumulatif > 80%. Berikut ini merupakan ringkasan mengenai komponen kritis yang ada pada mesin CNC Bubut dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Penentuan Komponen Kritis Mesin CNC Bubut

No	Nama Komponen	<i>Downtime</i> (menit)	Persentase	Frekuensi Kerusakan
1	<i>Cross Slide</i>	905	56,74%	7
2	<i>Tailstock</i>	445	27,90%	5
3	<i>Carriage</i>	135	8,46%	4
4	<i>Saddle</i>	110	6,90%	3
Total		1595	100%	19

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berikut ini merupakan diagram pareto untuk komponen pada mesin CNC Bubut. Digaram pareto untuk komponen kritis pada mesin CNC Bubut dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Diagram Pareto Komponen Kritis Mesin CNC Bubut

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan diagram pareto diatas terdapat 2 komponen kritis yaitu *Cross Slide*, *Tailstock*. Presentase kumulatif dari kedua komponen kritis tersebut adalah 84,64%, dimana komponen kritis tersebut memiliki presentase kumulatif > 80%. Dan presentase downtime yang dimiliki oleh kedua komponen tersebut masing-masing *Cross Slide* 56,74% dan *Tailstock* 27,90%. Maka dari itu kedua komponen tersebut dinyatakan sebagai komponen kritis yang selanjutnya akan dijadikan sebagai objek penelitian.

4.2.2 Perhitungan Selang Waktu Antar Kerusakan dan Selang Waktu Antar Perbaikan Komponen Kritis

Perhitungan selang waktu antar kerusakan (*time to failure*) adalah perhitungan selang waktu dari kerusakan komponen yang pertama hingga kerusakan selanjutnya terjadi. Sedangkan perhitungan selang waktu perbaikan (*time to repair*) adalah perhitungan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemeriksaan, perbaikan, ataupun penggantian komponen yang mengalami kerusakan hingga mesin tersebut dapat beroperasi. Satuan waktu yang digunakan dalam penelitian ini adalah menit. Perhitungan selang waktu antar

kerusakan dan selang waktu antar perbaikan setiap komponen kritis dijabarkan sebagai berikut:

1. Komponen *Cross Slide*

Berdasarkan data yang diperoleh dari PT Tosama Abadi, perhitungan selang waktu antar kerusakan (TTF) dan selang waktu antar perbaikan (TTR) untuk komponen *Cross Slide* dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Cross Slide*

No	Tanggal	Waktu Kerusakan	Selang Waktu Antar Kerusakan/TTF (Menit)	Selang Waktu Antar Perbaikan/TTR (Menit)
1	27 Januari 2018	11.15-13.20	0	125
2	19 Februari 2018	12.10-14.00	21670	110
3	28 Maret 2018	11.00-13.20	29160	140
4	24 May 2018	09.15-11.25	42915	130
No	Tanggal	Waktu Kerusakan	Selang Waktu Antar Kerusakan/TTF (Menit)	Selang Waktu Antar Perbaikan/TTR (Menit)
5	25 Juli 2018	09.30-11.45	49230	135
6	20 September 2018	13.00-15.15	46920	135
7	14 November 2018	10.15-12.25	41715	130
Total			231610	905

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- a. Perhitungan selang waktu antar kerusakan didapat dari selang waktu dari kerusakan komponen yang pertama hingga kerusakan selanjutnya terjadi. Sebagai contoh, yaitu selang waktu dari pukul 11.15 (27/01/2018) sampai pukul 12.10 (19/02/2018) terdapat 17 hari kerja, 17 hari dikalikan dengan waktu kerja selama tiga shift (1260 menit) dan hasilnya dijumlahkan

dengan waktu awal mulai shift sampai waktu komponen selesai diganti (awal mulai shift 08.00, waktu penyelesaian komponen pukul 11.15, berarti selang waktunya adalah 250 menit) dan jumlahnya adalah 21670 menit. Untuk perhitungan selang waktu antar kerusakan yang lainnya perhitungannya sama dengan langkah-langkah diatas.

- b. Perhitungan selang waktu antar perbaikan didapat dari lamanya waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemeriksaan, perbaikan, ataupun penggantian komponen yang mengalami kerusakan hingga mesin tersebut dapat beroperasi. Sebagai contoh, yaitu pada tanggal 27/01/2018 dilihat dari selisih waktu dari pukul 11.15 sampai 13.20 adalah 125 menit. Untuk perhitungan selang waktu antar perbaikan yang lainnya perhitungannya sama dengan langkah-langkah diatas.

2. Komponen *Tailstock*

Berdasarkan data yang diperoleh dari PT Tosama Abadi, perhitungan selang waktu antar kerusakan (TTF) dan selang waktu antar perbaikan (TTR) untuk komponen *Tailstock* dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Tailstock*

No	Tanggal	Waktu Kerusakan	Selang Waktu Antar Kerusakan/TTF (menit)	Selang Waktu Antar Perbaikan/TTR (menit)
1	15 Februari 2018	08.10-09.50	0	100
2	02 May 2018	10.30-11.50	64270	80
3	22 Juli 2018	13.45-15.00	65670	75
4	29 September 2018	09.40-11.15	56800	95
5	05 Desember 2018	10.15-11.50	54315	95
Total			241055	445

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

4.2.3. Perhitungan *Index of Fit* (IoF) TTF dan TTR Komponen Kritis

Setelah ditentukan selang waktu antar kerusakan (TTF) dan selang waktu antar perbaikan (TTR) komponen kritis, kemudian dilakukan pengidentifikasian distribusi dari data waktu kerusakan dan data waktu perbaikan yang dimiliki dilakukan dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*. Distribusi dipilih berdasarkan *index of fit* (r) terbesar yang mendekati 1 atau -1. Jenis distribusi yang digunakan adalah distribusi Weibull, Normal, Lognormal, dan Eksponensial.

4.2.1.1 Perhitungan *Index of Fit* (IoF) TTF Komponen *Cross Slide*

Perhitungan mengenai mengenai pemilihan distribusi TTF yang sesuai untuk komponen *Cross Slide* dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

1. Distribusi Weibull

Tabel 4.8 Perhitungan IoF Distribusi Weibull TTF Komponen *Cross Slide*

i	t_i	$x_i = \ln t_i$	$F(t_i)$	Y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	21670	9,984	0,109	-2,156	-21,521	99,674	4,647
2	29160	10,281	0,266	-1,175	-12,082	105,690	1,381
3	41715	10,639	0,422	-0,602	-6,400	113,180	0,362
4	42915	10,667	0,578	-0,147	-1,571	113,784	0,022
5	46920	10,756	0,734	0,282	3,032	115,696	0,079
6	49230	10,804	0,891	0,794	8,582	116,732	0,631
Total	231610	63,130	3,000	-3,003	-29,960	664,756	7,122

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = \ln(t_i) = \ln(21670) = 9,984$
- Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

dimana: n = jumlah data = 6

Contoh perhitungan:

$i = 1$

$$F(t_i) = \frac{(1 - 0,3)}{(6 + 0,4)} = 0,1094$$

c. Nilai y_i diperoleh dari rumus: $y_i = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right)\right)$

$$y_i = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-0,1094}\right)\right) = -2,1556$$

Berdasarkan tabel 4.11, untuk menghitung *index of fit* dari distribusi Weibull sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = \frac{\{(6x - 29,960) - (63,130x(-3,003))\}}{\sqrt{(6x664,756) - (63,130)^2} \times (6x7,112) - (-3,003)^2}}$$

$$r = \frac{9,85225}{10,2281413}$$

$$r = 0,963248$$

2. Distribusi Normal

Tabel 4.9 Perhitungan IoF Distribusi Normal TTF Komponen *Cross Slide*

i	Ti	xi=ti	F(ti)	Yi= $\Phi^{-1}[F(ti)]$	xi.yi	xi ²	yi ²
1	21670	21670	0,109	-1,230	-26651	469588900	1,513
2	29160	29160	0,266	-0,626	-18257	850305600	0,392
3	41715	41715	0,422	-0,197	-8222	1740141225	0,039
4	42915	42915	0,578	0,197	8459	1841697225	0,039
5	46920	46920	0,734	0,626	29377	2201486400	0,392
6	49230	49230	0,891	1,230	60546	2423592900	1,513
Total	231610	231610	3,000	0,000	45251	9526812250	3,887

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.

b. Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = t_i$

c. Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

dimana: n = jumlah data = 6

Contoh perhitungan:

$i = 1$

$$F(t_i) = \frac{(1 - 0,3)}{(6 + 0,4)} = 0,1094$$

d. Nilai y_i diperoleh dari fungsi Microsoft Excel yaitu NORMSINV(0,109)

Untuk menghitung *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = \frac{\{(6x - 45251) - (231610x(0,000))\}}{\sqrt{(6x9526812250) - (231610^2)x(6x3,887) - (0,000^2)}}$$

$$r = \frac{271505,7}{286417,8229}$$

$$r = 0,947935$$

3. Distribusi Lognormal

Tabel 4.10 Perhitungan IoF Distribusi lognormal TTF Komponen *Cross*

Slide

I	t_i	$x_i = \ln t_i$	$F(t_i)$	$Y_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	21670	9,984	0,109	-1,230	-12,279	99,674	1,513
2	29160	10,281	0,266	-0,626	-6,437	105,690	0,392
3	41715	10,639	0,422	-0,197	-2,097	113,180	0,039
4	42915	10,667	0,578	0,197	2,102	113,784	0,039

5	46920	10,756	0,734	0,626	6,734	115,696	0,392
6	49230	10,804	0,891	1,230	13,288	116,732	1,513
Total	231610	63,130	3,000	0,000	1,313	664,756	3,887

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = \ln(t_i) = \ln(21670) = 9,984$
- Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

dimana: $n = \text{jumlah data} = 6$

Contoh perhitungan:

$i = 1$

$$F(t_i) = \frac{(1 - 0,3)}{(6 + 0,4)} = 0,1094$$

- Nilai y_i diperoleh dari fungsi Microsoft Excel NORMSINV (0,109)

Untuk menghitung *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = \frac{\{(6x - 1,313) - (63,130 \times 0,000)\}}{\sqrt{(6 \times 664,756) - (63,130^2) \times (6 \times 3,887) - (0,000^2)}}$$

$$r = \frac{7,875492}{8,507142793}$$

$$r = 0,925750$$

4. Distribusi Eksponensial

Tabel 4.11 Perhitungan IoF Distribusi Eksponensial TTF Komponen *Cross*

Slide

I	t_i	$x_i=t_i$	$F(t_i)$	Y_i	$x_i.y_i$	x_i^2	y_i^2
1	21670	21670	0,109	0,116	2510,075	469588900	0,013
2	29160	29160	0,266	0,309	9002,727	850305600	0,095
3	41715	41715	0,422	0,548	22858,367	1740141225	0,300
4	42915	42915	0,578	0,863	37037,628	1841697225	0,745
5	46920	46920	0,734	1,326	62200,424	2201486400	1,757
6	49230	49230	0,891	2,213	108944,658	2423592900	4,897
Total	231610	231610	3,000	5,374	242553,879	9526812250	7,808

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = t_i$
- Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

dimana: n = jumlah data = 6

Contoh perhitungan:

$$i = 1$$

$$F(t_i) = \frac{(1 - 0,3)}{(6 + 0,4)} = 0,1094$$

- Nilai y_i diperoleh dari rumus: $y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right)$

$$y_i = \ln\left(\frac{1}{1-0,1094}\right) = - 0,116$$

Untuk menghitung *index of fit* dari distribusi eksponensial sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = \frac{\{(6x - 242553,897) - (231610 \times 5,374)\}}{\sqrt{(6 \times 9526812250) - (231610^2) \times (6 \times 7,808) - (5,374^2)}}$$

$$r = \frac{210599,9}{251412,529}$$

$$r = 0,837666$$

4.2.1.2 Perhitungan *Index of Fit (IoF)* TTR Komponen *Cross Slide*

Perhitungan mengenai mengenai pemilihan distribusi TTR yang sesuai untuk komponen *Cross Slide* dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

1. Distribusi Weibull

Tabel 4.12 Perhitungan IoF Distribusi Weibull TTR Komponen *Cross Slide*

I	ti	xi= ln ti	F(ti)	Yi	xi.yi	xi ²	yi ²
1	110	4,700	0,095	-2,309	-10,853	22,095	5,331
2	125	4,828	0,230	-1,343	-6,485	23,313	1,804
3	130	4,868	0,365	-0,790	-3,845	23,693	0,624
4	130	4,868	0,500	-0,367	-1,784	23,693	0,134
I	ti	xi= ln ti	F(ti)	Yi	xi.yi	xi ²	yi ²
5	135	4,905	0,635	0,008	0,040	24,062	0,000
6	135	4,905	0,770	0,386	1,893	24,062	0,149
7	140	4,942	0,905	0,858	4,239	24,420	0,736
Total	905	34,016	3,500	-3,556	-16,795	165,336	8,778

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- a. Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTR yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar. Jumlah data menjadi 7 data.
- b. Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = \ln(t_i) = \ln(110) = 4,700$
- c. Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{t-0,3}{n+0,4}$

dimana: $n = \text{jumlah data} = 7$

Contoh perhitungan:

$i = 1$

$$F(t_i) = \frac{(1 - 0,3)}{(7 + 0,4)} = 0,095$$

- d. Nilai y_i diperoleh dari rumus: $y_i = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right)\right)$
 $y_i = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{(1 - 0,095)}\right)\right) = -2,309$

Untuk menghitung *index of fit* dari distribusi Weibull sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = \frac{(7x - 16,795) - (34,016x - 3,556)}{\sqrt{(7x - 16,795)^2 - (34,016)^2} \times \sqrt{(7x - 8,776)^2 - (3,556)^2}}$$

$$r = 0,956722$$

2. Distribusi Normal

Tabel 4.13 Perhitungan IoF Distribusi Normal TTR Komponen *Cross Slide*

i	t_i	$x_i=t_i$	$F(t_i)$	$y_i=\Phi^{-1}[F(t_i)]$	$x_i.y_i$	x_i^2	y_i^2
1	110	110	0,095	-1,313	-144,428	12100	1,724
2	125	125	0,230	-0,740	-92,467	15625	0,547
3	130	130	0,365	-0,345	-44,913	16900	0,119

4	130	130	0,500	0,000	0,000	16900	0,000
5	135	135	0,635	0,345	46,640	18225	0,119
6	135	135	0,770	0,740	99,865	18225	0,547
7	140	140	0,905	1,313	183,817	19600	1,724
Total	905	905	3,500	0,000	48,514	117575	4,781

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTR yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar. Jumlah data menjadi 7 data.
- Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = t_i$
- Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{t-0,3}{n+0,4}$

dimana: $n = \text{jumlah data} = 7$

Contoh perhitungan:

$i = 1$

$$F(t_i) = \frac{(1 - 0,3)}{(7 + 0,4)} = 0,095$$

- Nilai y_i diperoleh dari fungsi Microsoft Excel NORMSINV(0,095)

Untuk menghitung *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = \frac{(7 \times 48,514) - (905 \times 0)}{\sqrt{(7 \times 117575 - 905^2) \times (7 \times 4,781 - 0^2)}}$$

$$r = 0,928174$$

3. Distribusi Lognormal

Tabel 4.14 Perhitungan IoF Distribusi lognormal TTR Komponen *Cross Slide*

I	Ti	xi=ln ti	F(ti)	Yi=f [F(ti)]	xi.yi	xi ²	yi ²
1	110	4,700	0,095	-1,313	-6,172	22,095	1,724
2	125	4,828	0,230	-0,740	-3,572	23,313	0,547
3	130	4,868	0,365	-0,345	-1,682	23,693	0,119
4	130	4,868	0,500	0,000	0,000	23,693	0,000
5	135	4,905	0,635	0,345	1,695	24,062	0,119
6	135	4,905	0,770	0,740	3,629	24,062	0,547
7	140	4,942	0,905	1,313	6,488	24,420	1,724
Total	905	34,016	3,500	0,000	0,387	165,336	4,781

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

a. Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTR yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar. Jumlah data menjadi 7 data.

b. Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = \ln(t_i) = \ln(1,250) = 0,2231$

c. Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

dimana: $n = \text{jumlah data} = 7$

Contoh perhitungan:

$i = 1$

$$F(t_i) = \frac{(1 - 0,3)}{(7 + 0,4)} = 0,0946$$

d. Nilai y_i diperoleh dari fungsi Microsoft Excel NORMSINV(0,0946)

Untuk *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = \frac{(7 \times 0,387) - (34,016 \times 0)}{\sqrt{(7 \times 165,336 - 34,016^2) \times (7 \times 4,781 - 0^2)}}$$

$$r = 0,915175$$

1. Distribusi Eksponensial

Tabel 4.15 Perhitungan IoF Distribusi Eksponensial TTR Komponen *Cross*

Slide

I	Ti	xi=ti	F(ti)	Yi	xi.yi	xi ²	yi ²
1	110	110	0,095	0,099	10,931	12100	0,010
2	125	125	0,230	0,261	32,627	15625	0,068
3	130	130	0,365	0,454	59,009	16900	0,206
I	Ti	xi=ti	F(ti)	Yi	xi.yi	xi ²	yi ²
4	130	130	0,500	0,693	90,109	16900	0,480
5	135	135	0,635	1,008	136,111	18225	1,017
6	135	135	0,770	1,471	198,565	18225	2,163
7	140	140	0,905	2,358	330,142	19600	5,561
Total	905	905	3,500	6,345	857,494	117575	9,505

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTR yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar. Jumlah data menjadi 7 data.
- Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = t_i$

c. Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{l-0,3}{n+0,4}$

dimana: n = jumlah data = 7

Contoh perhitungan:

$i = 1$

$$F(t_i) = \frac{(1 - 0,3)}{(7 + 0,4)} = 0,095$$

d. Nilai y_i diperoleh dari rumus: $y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right)$

$$y_i = \ln\left(\frac{1}{1 - 0,095}\right) = 0,099$$

Untuk menghitung *index of fit* dari distribusi Eksponensial sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = \frac{(7 \times 857,494) - (905 \times 6,345)}{\sqrt{(7 \times 117575 \times 905^2) \times (7 \times 9,505 \times 6,345^2)}}$$

$$r = 0,803472$$

Perhitungan Iof TTF dan TTR untuk komponen kritis *Tailstock* dapat dilihat pada lampiran.

4.2.4 Pemilihan *Index of Fit* Distribusi TTF dan TTR Komponen Kritis

Bedasarkan nilai *index of fit* terbesar tiap distribusi maka didapat distribusi yang terpilih untuk TTF dan TTR. Berikut ini merupakan pemilihan *index of fit* distribusi TTF dan TTR untuk tiap komponen kritis.

4.2.4.1 Pemilihan Distribusi TTF dan TTR *Cross Slide*

Bedasarkan hasil perhitungan, terlihat bahwa distribusi yang sesuai untuk komponen ini adalah distribusi Lognormal untuk selang waktu kerusakan dan selang waktu perbaikan.

Tabel 4.16 Nilai IoF TTF dan TTR Komponen *Cross Slide*

<i>Time to Failure (TTF)</i>		<i>Time to Repair (TTR)</i>	
Jenis Distribusi	<i>Index of Fit</i>	Jenis Distribusi	<i>Index of Fit</i>
Weibull	0,963248	Weibull	0,956722
Normal	0,947935	Normal	0,928174
Lognormal	0,925750	Lognormal	0,915175
Eksponensial	0,837666	Eksponensial	0,803472

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

4.2.4.2 Pemilihan Distribusi TTF dan TTR *Tailstock*

Bedasarkan hasil perhitungan, distribusi yang sesuai untuk komponen ini adalah distribusi weibull untuk selang waktu kerusakan dan distribusi Weibull selang waktu perbaikan.

Tabel 4.17 Nilai IoF TTF dan TTR Komponen *Tailstock*

<i>Time to Failure (TTF)</i>		<i>Time to Repair (TTR)</i>	
Jenis Distribusi	<i>Index of Fit</i>	Jenis Distribusi	<i>Index of Fit</i>
Weibull	0,859522	Weibull	0,954387
Normal	0,953746	Normal	0,942083
Lognormal	0,924510	Lognormal	0,938791
Eksponensial	0,912675	Eksponensial	0,954226

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

4.2.5 Pengujian Keselarasan Distribusi Terpilih

Perhitungan *index of fit* sebelumnya menghasilkan distribusi-distribusi terpilih terhadap TTF dan TTR komponen kritis. Uji keselarasan ini dilakukan untuk mengetahui apakah distribusi yang dipergunakan sesuai apa tidak. Apabila

berdasarkan uji tersebut tidak memenuhi kecocokkan, maka diambil distribusi dengan nilai (r) terbesar kedua, dan seterusnya. Pengujian yang dilakukan masing-masing distribusi antara lain: *Mann's test* untuk distribusi Weibull, *Bartlett's test* untuk distribusi Eksponensial, dan *Kolmogorov-Smirnov test* untuk distribusi Normal dan Lognormal.

4.2.5.1 Pengujian Keselarasan TTF Komponen *Cross Slide*

Berdasarkan perhitungan *index of fit* terbesar TTF dari komponen *Cross Slide* menunjukkan bahwa distribusi yang terpilih adalah distribusi weibull. Maka dari itu uji keselarasan yang terpilih adalah uji *Mann's Test*. Hasil perhitungan uji keselarasan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.18 Perhitungan Uji Keselarasan TTF Komponen *Cross Slide*

i	t_i	$\ln t_i$	$1 - ((i - 0,5)/(n + 0,25))$	Z_i	M_i	$\ln t_{i+1} - \ln t_i$	$(\ln t_{i+1} - \ln t_i) / M_i$
1	21670	9,98	0,92	-2,48	1,19	0,30	0,25
2	29160	10,28	0,76	-1,29	0,62	0,36	0,58
i	t_i	$\ln t_i$	$1 - ((i - 0,5)/(n + 0,25))$	Z_i	M_i	$\ln t_{i+1} - \ln t_i$	$(\ln t_{i+1} - \ln t_i) / M_i$
4	42915	10,67	0,44	-0,20	0,44	0,09	0,20
5	46920	10,76	0,28	0,24	0,51	0,05	0,09
6	49230	10,80	0,12	0,75			
Total	231610	63,13	3,12	-3,65			

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

1. Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah:
2. H_0 : Data waktu kerusakan berdistribusi Weibull.
3. H_1 : Data waktu kerusakan tidak berdistribusi Weibull.
4. Wilayah kritis : Terima H_0 jika nilai $M < F_{tabel}$
5. Nilai F_{tabel} diperoleh dari tabel F.
6. Taraf nyata = $\alpha = 0,05$
7. Perhitungan untuk $i = 1$

$$\ln(t_i) = \ln(21670) = 9,98$$

$$1 - \left(\frac{(1 - 0,5)}{(6 + 0,25)} \right) = 0,92$$

$$Z_i = \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{i - 0,5}{n + 0,5}\right)\right] = \ln[-\ln(0,92)] = -2,48$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i = 1,19$$

$$K_1 = \frac{r}{2} = \frac{6}{2} = 3$$

$$K_2 = \frac{r-1}{2} = \frac{6-1}{2} = 2,5$$

$$M = \frac{K_1 \sum_{i=K_1}^{r-1} \frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i}}{K_2 \sum_{i=K_1}^{r-1} \frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i}} = \frac{3 \times 0,2976}{2,5 \times 0,8853} = 0,4043$$

Degree of freedom pembilang (V_1) = $2k_2 = 2 \times 2,5 = 5$

Degree of freedom penyebut (V_2) = $2k_1 = 2 \times 3 = 6$

8. Hasil perhitungan $M = 0,4043$
9. Nilai $F_{\text{tabel}(0,05;5;6)} = 4,39$
10. Karena $M (0,4043) < F_{\text{tabel}(0,05;5;6)} (4,39)$, maka hipotesis (H_0) diterima dan data waktu perbaikan berdistribusi Weibull.

4.2.5.2 Pengujian Keselarasan TTR Komponen *Cross Slide*

Berdasarkan perhitungan *index of fit* terbesar TTR dari komponen *Cross Slide* menunjukkan bahwa distribusi yang terpilih adalah distribusi Weibull. Maka dari itu uji keselarasan yang terpilih adalah uji *Mann's Test*. Hasil perhitungan uji keselarasan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.19 Perhitungan Uji Keselarasan TTR Komponen *Cross Slide*

I	t_i	$\ln t_i$	$1 - \left(\frac{i - 0,5}{n + 0,25} \right)$	Z_i	M_i	$\ln_{i+1} - \ln_{i_i}$	$(\ln_{i+1} - \ln_{i_i}) / M_i$
1	110	4,70	0,93	-2,67	1,17	0,13	0,11
2	125	4,83	0,80	-1,50	0,60	0,04	0,07

3	130	4,87	0,67	-0,90	0,44	0,00	0,00
4	130	4,87	0,53	-0,46	0,38	0,04	0,10
5	135	4,91	0,40	-0,09	0,37	0,00	0,00
6	135	4,91	0,27	0,28	0,42	0,04	0,09
7	140	4,94	0,13	0,70			
Total	905	34,02	3,73	-4,65			

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

1. Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah:
2. H_0 : Data waktu kerusakan berdistribusi Weibull.
3. H_1 : Data waktu kerusakan tidak berdistribusi Weibull.
4. Wilayah kritis : Terima H_0 jika nilai $M < F_{\text{tabel}}$
5. Nilai F_{tabel} diperoleh dari tabel F.
6. Taraf nyata = $\alpha = 0,05$
7. Perhitungan untuk $i = 1$

$$\ln(t_i) = \ln(110) = 4,70$$

$$1 - \left\{ \frac{1-0,5}{7+0,25} \right\} = 0,93$$

$$Z_i = \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,5}\right)\right] = \ln[-\ln(0,93)] = -2,67$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i = 1,17$$

$$K_1 = \frac{r}{2} = \frac{7}{2} = 3,5$$

$$K_2 = \frac{r-1}{2} = \frac{7-1}{2} = 3$$

$$M = \frac{K_1 \sum_{i=K_1}^{r-1} \frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i}}{K_2 \sum_{i=K_1}^{r-1} \frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i}} = \frac{3,5 \times 0,1864}{3 \times 0,1746} = 1,2457$$

$$\text{Degree of freedom pembilang } (V_1) = 2k_2 = 2 \times 3 = 6$$

$$\text{Degree of freedom penyebut } (V_2) = 2k_1 = 2 \times 3,5 = 7$$

8. Hasil perhitungan $M = 1,2457$
9. Nilai $F_{\text{tabel}(0,05;6;7)} = 3,87$

10. Karena $M(1,2457) < F_{\text{tabel}(0,05;6;7)}(3,87)$, maka hipotesis (H_0) diterima dan data waktu perbaikan berdistribusi Weibull.

4.2.6 Perhitungan Estimasi Parameter Setiap Distribusi Terpilih

Perhitungan ini bertujuan untuk menggambarkan keadaan optimal data secara lebih akurat. Metode yang digunakan dalam penaksiran parameter ini adalah penaksiran kemungkinan terbesar atau *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Parameter yang dihitung nanti akan digunakan dalam perhitungan MTTF (*Mean Time To Failure*) dan MTTR (*Mean Time To Repair*). Berikut ini adalah perhitungan MLE setiap komponen kritis.

4.2.6.1 Perhitungan Estimasi Parameter Komponen *Cross Slide*

1. Estimasi Parameter untuk TTF

Berdasarkan hasil pengujian keselarasan, didapat bahwa distribusi selang waktu kerusakan yang terpilih untuk komponen ini adalah distribusi Weibull.

Berikut ini merupakan perhitungan MLE untuk TTF komponen *Cross Slide*:

Tabel 4.20 Perhitungan MLE TTF Komponen *Cross Slide*

i	t_i	$x_i = \ln t_i$	$F(t_i)$	$y_i = \ln(\ln(1/(1-f(t_i))))$	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	21670	9,9837	0,1094	-2,1556	21,5210	99,6739	4,6467
2	29160	10,2806	0,2656	-1,1753	12,0824	105,6898	1,3813
3	41715	10,6386	0,4219	-0,6015	-6,3996	113,1802	0,3619
4	42915	10,6670	0,5781	-0,1473	-1,5711	113,7844	0,0217
5	46920	10,7562	0,7344	0,2819	3,0324	115,6958	0,0795
6	49230	10,8043	0,8906	0,7943	8,5822	116,7320	0,6310
Total	231610	63,1303	3,0000	-3,0035	29,9595	664,7561	7,1219

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Parameter yang digunakan dalam distribusi Weibull ada dua macam, yaitu parameter bentuk (β) dan parameter skala (θ). Perhitungan parameter untuk TTF komponen *Cross Slide*, sebagai berikut :

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$b = \frac{(6 \times (-29,9595)) - (63,1303)(-3,0035)}{(6 \times 664,7561) - (63,1303)^2} = 3,17476354$$

Nilai $b = 3,17476354$ merupakan estimasi awal untuk menentukan estimasi parameter β . Langkah selanjutnya adalah melakukan pendekatan iterasi metode Newton Raphson yang dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4.21 Iterasi Metode Newton Raphson Komponen *Cross Slide*

Iterasi	B	$g(\beta)$	$g'(\beta)$
1	3.17476354	-0.14789169	0.1252202283
2	4.35581628	-0.03822252	0.0687322118
3	4.91192415	-0.00419921	0.0544468993
4	4.98904901	-0.00006326	0.0528187807
5	4.99024661	-0.00000001	0.0527940718
Iterasi	B	$g(\beta)$	$g'(\beta)$
6	4.99024689	0.00000000	0.0527940660

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Estimasi parameter β yang terpilih adalah pada saat iterasi ke 6, yaitu pada saat $g(\beta)$ menghasilkan nilai 0, dengan nilai $\beta = 4,99024689$. Contoh perhitungan pada saat iterasi kelima dan keenam adalah sebagai berikut :

Tabel 4.22 iterasi kelima Metode Newton Raphson Komponen *Cross Slide*

i	t_i^β	$t_i^{\beta} \ln t_i$	$t_i^\beta (\ln t_i)^2$
1	4.335.161.051.636.000.000.000	43.280.878.438.446.000.000.000	432.102.617.663.218.000.000.000
2	19.071.760.614.301.700.000.000	196.068.249.348.327.000.000.000	2.015.690.065.535.420.000.000.000
3	113.866.961.051.618.000.000.000	1.211.386.880.016.080.000.000.000	12.887.479.910.962.700.000.000.000

4	131.178.283.448.994.000.000.000	1.399.275.692.329.320.000.000.000	14.926.041.198.770.800.000.000.000
5	204.752.137.153.390.000.000.000	2.202.354.794.889.440.000.000.000	23.688.967.109.236.200.000.000.000
6	260.245.982.597.463.000.000.000	2.811.764.862.478.370.000.000.000	30.379.034.338.819.000.000.000.000
	733.450.285.917.402.000.000.000	7.864.131.357.499.980.000.000.000	84.329.315.240.987.200.000.000.000

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Tabel 4.23 Iterasi keenam Metode Newton Raphson Komponen *Cross Slide*

i	t_i^β	$t_i^\beta \ln t_i$	$t_i^\beta (\ln t_i)^2$
1	4.335.173.182.612.140.000.000	43.280.999.550.279.600.000.000	432.103.826.805.504.000.000.000
2	19.071.815.569.271.200.000.000	196.068.814.315.814.000.000.000	2.015.695.873.713.720.000.000.000
3	113.867.300.585.084.000.000.000	1.211.390.492.182.270.000.000.000	12.887.518.339.411.800.000.000.000
4	131.178.675.644.861.000.000.000	1.399.279.875.873.500.000.000.000	14.926.085.824.539.000.000.000.000
5	204.752.754.440.222.000.000.000	2.202.361.434.549.620.000.000.000	23.689.038.526.744.500.000.000.000
6	260.246.770.692.750.000.000.000	2.811.773.377.263.560.000.000.000	30.379.126.334.759.000.000.000.000
	733.452.490.114.801.000.000.000	7.864.154.993.735.040.000.000.000	84.329.568.725.973.500.000.000.000

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berikut adalah contoh perhitungan iterasi ke-5 :

Untuk $i = 1$

$$t_i^\beta = 21670^{4,99024661} = 4.335.161.051.636.000.000.000$$

$$t_i^\beta \ln t_i = 4.335.161.051.636.000.000.000 \times 9,9837$$

$$= 43.280.878.438.446.000.000.000$$

$$t_i^\beta \ln t_i^2 = 4.335.161.051.636.000.000.000 \times (9,9837)^2$$

$$= 432.102.617.663.218.000.000.000$$

$$g(\beta) = \frac{\sum_{i=1}^r t_i^\beta \ln t_i}{\sum_{i=1}^r t_i^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \ln t_i = 0$$

$$g(\beta) = \frac{7.864.131.357.499.980.000.000.000}{733.450.285.917.402.000.000.000} - \frac{1}{4,99024661} - \frac{1}{6} (63,1303) = -0,00000001$$

$$g'(\beta) = \frac{\sum_{i=1}^r t_i^\beta \sum_{i=1}^r t_i^\beta (\ln t_i)^2 - (\sum_{i=1}^r t_i^\beta \ln t_i)^2}{(\sum_{i=1}^r t_i)^\beta} + \frac{1}{\beta^2}$$

$$g'(\beta) = \frac{(733.450.285.917.402.000.000.000 \times 84.329.315.240.987.200.000.000.000) - (7.864.131.357.499.980.000.000.000)^2}{(733.450.285.917.402.000.000.000)^2} + \frac{1}{(4,99024661)^2}$$

$$g'(\beta) = 0,0527940718$$

Dikarenakan nilai $g(\beta)$ belum sama dengan 0, maka dilanjutkan perhitungan ke dalam iterasi keenam, perhitungannya adalah sebagai berikut :

Nilai β pada iterasi keenam ditentukan dari iterasi kelima :

$$\beta_{j+1} = \beta_j - \frac{g(\beta)}{g'(\beta)}$$

$$\beta_{5+1} = 4,99024661 - \frac{-0,00000001}{0,0527940718}$$

$$\beta_6 = 4,99024689$$

Kemudian setelah didapatkan nilai β untuk iterasi keenam, dihitung kembali nilai $g(\beta)$ dan $g'(\beta)$ untuk iterasi keenam menggunakan rumus yang sama dengan iterasi kelima. Pada iterasi keenam didapatkan nilai $g(\beta) = 0,00000000$. Iterasi berhenti pada iterasi keenam, dan didapatkan estimasi parameter $\beta = 4,99024689$. Setelah didapatkan estimasi β , dapat ditentukan nilai estimasi sebagai berikut :

$$\theta = \left\{ \frac{1}{r} \left[\sum_{i=1}^r t_i^\beta \right] \right\}^{\frac{1}{\beta}}$$

$$\theta = \left\{ \frac{1}{6} (733.452.490.114.801.000.000.000) \right\}^{\frac{1}{4,99024689}}$$

$$\theta = 42312,4953$$

2. Estimasi Parameter untuk TTR

Berdasarkan hasil pengujian keselarasan, didapat bahwa distribusi selang waktu perbaikan yang terpilih untuk komponen ini adalah distribusi Weibull.

Berikut ini merupakan perhitungan MLE untuk TTR komponen *Cross Slide*:

Tabel 4.24 Perhitungan MLE TTR Komponen *Cross Slide*

I	t _i	x _i =ln t _i	F(t _i)	y _i = ln(ln(1/(1-f(t _i))))	x _i · y _i	x _i ²	y _i ²
1	110	4.7005	0.0946	-2.3089	-	22.0945	5.3309
2	125	4.8234	0.2297	-1.3432	-6.4853	23.3126	1.8041
3	130	4.8675	0.3649	-0.7898	-3.8446	23.6929	0.6238
4	130	4.8675	0.5000	-0.3665	-1.7840	23.6929	0.1343
5	135	4.9053	0.6351	0.0082	0.0402	24.0617	0.0001
6	135	4.9053	0.7703	0.3858	1.8927	24.0617	0.1489
7	140	4.9416	0.9054	0.8579	4.2393	24.4198	0.7360
Total	905	34.0161	3.5000	-3.5565	-	165.3362	8.7781

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Parameter yang digunakan dalam distribusi Weibull ada dua macam, yaitu parameter bentuk (β) dan parameter skala (θ). Perhitungan parameter untuk TTR komponen *Cross Slide*, sebagai berikut :

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$b = \frac{(7 \times (-16,7945)) - (34,0161)(-3,5565)}{(7 \times 165,3362) - (34,0161)^2} = 13,0745927$$

Nilai $b = 13,0745927$ merupakan estimasi awal untuk menentukan estimasi parameter β . Langkah selanjutnya adalah melakukan pendekatan iterasi metode Newton Raphson yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.25 Iterasi Metode Newton Raphson Komponen *Cross Slide*

Iterasi	B	g(β)	g'(β)
---------	---	--------------	---------------

1	13.07459266	-0.0363040518	0.0075113231
2	17.90783594	-0.0087129563	0.0043730701
3	19.90024769	-0.0007362371	0.0036691653
4	20.10090290	-0.0000060594	0.0036090536
5	20.10258183	-0.0000000004	0.0036085578
6	20.10258195	0.0000000000	0.0036085577

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Estimasi parameter β yang terpilih adalah pada saat iterasi ke 6, yaitu pada saat $g(\beta)$ menghasilkan nilai 0, dengan nilai $\beta = 20,10258196$. Contoh perhitungan pada saat iterasi kelima dan keenam adalah sebagai berikut :

Tabel 4.26 Iterasi kelima Metode Newton Raphson Komponen *Cross Slide*

I	ti^β	$ti^\beta lnti$	$ti^\beta (lnti)^2$
1	1.08959E+41	5.1216E+41	2.4074E+42
2	1.42333E+42	6.87228E+42	3.31815E+43
3	3.13126E+42	1.52415E+43	7.41886E+43
4	3.13126E+42	1.52415E+43	7.41886E+43
5	6.68665E+42	3.27999E+43	1.60892E+44
6	6.68665E+42	3.27999E+43	1.60892E+44
7	1.38904E+43	6.86413E+43	3.39201E+44
	3.50585E+43	1.72109E+44	8.44952E+44

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Tabel 4.27 Iterasi keenam Metode Newton Raphson Komponen *Cross Slide*

I	ti^β	$ti^\beta lnti$	$ti^\beta (lnti)^2$
1	1.08959E+41	5.1216E+41	2.4074E+42
2	1.42333E+42	6.87228E+42	3.31815E+43
3	3.13126E+42	1.52415E+43	7.41887E+43
4	3.13126E+42	1.52415E+43	7.41887E+43

5	6.68666E+42	3.27999E+43	1.60893E+44
6	6.68666E+42	3.27999E+43	1.60893E+44
7	1.38904E+43	6.86414E+43	3.39201E+44
	3.50585E+43	1.72109E+44	8.44952E+44

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berikut adalah contoh perhitungan iterasi ke-5 :

Untuk $i = 1$

$$t_i^\beta = 110^{20,10258183} = 1,08959E+41$$

$$t_i^\beta \ln t_i = (1,08959E+41) \times 4,7005$$

$$= 5,1216E+41$$

$$t_i^\beta \ln t_i^2 = (1,08959E+41) \times 4,7005^2$$

$$= 2,4074E+42$$

$$g(\beta) = \frac{\sum_{i=1}^r t_i^\beta \ln t_i}{\sum_{i=1}^r t_i^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \ln t_i = 0$$

$$g(\beta) = \frac{1,72109E+44}{3,50585E+43} - \frac{1}{20,10258183} - \frac{1}{7} (34,0161) = -0,0000000004$$

$$g'(\beta) = \frac{\sum_{i=1}^r t_i^\beta \sum_{i=1}^r t_i^\beta (\ln t_i)^2 - (\sum_{i=1}^r t_i^\beta \ln t_i)^2}{(\sum_{i=1}^r t_i^\beta)^2} + \frac{1}{\beta^2}$$

$$g'(\beta) = \frac{((3,50585E+43) \times (8,44952E+44)) - (1,72109E+44)^2}{(3,50585E+43)^2}$$

$$+ \frac{1}{(20,10258183)^2}$$

$$g'(\beta) = 0,0036085577$$

Dikarenakan nilai $g(\beta)$ belum sama dengan 0, maka dilanjutkan perhitungan ke dalam iterasi keenam, perhitungannya adalah sebagai berikut :

Nilai β pada iterasi keenam ditentukan dari iterasi kelima :

$$\beta_{j+1} = \beta_j - \frac{g(\beta)}{g'(\beta)}$$

$$\beta_{5+1} = 20,10258183 - \frac{-0,0000000004}{0,0036085577}$$

$$\beta_6 = 20,10258195$$

Kemudian setelah didapatkan nilai β untuk iterasi keenam, dihitung kembali nilai $g(\beta)$ dan $g'(\beta)$ untuk iterasi keenam menggunakan rumus yang sama dengan iterasi kelima. Pada iterasi keenam didapatkan nilai $g(\beta) = 0,00000000$. Iterasi berhenti pada iterasi keenam, dan didapatkan estimasi parameter $\beta = 20,10258195$. Setelah didapatkan estimasi β , dapat ditentukan nilai estimasi sebagai berikut :

$$\theta = \left\{ \frac{1}{r} \left[\sum_{i=1}^r t_i^\beta \right] \right\}^{\frac{1}{\beta}}$$

$$\theta = \left\{ \frac{1}{7} (3,50585E+43) \right\}^{\frac{1}{20,10258195}}$$

$$\theta = 133,073052$$

4.2.6.2 Perhitungan Estimasi Parameter Komponen *Tailstock*

1. Estimasi Parameter untuk TTF

Berdasarkan hasil pengujian keselarasan, didapat bahwa distribusi selang waktu kerusakan yang terpilih untuk komponen ini adalah distribusi lognormal. Parameter yang digunakan distribusi lognormal ada 3 yaitu t_{med} dan parameter lokasi (s). Berikut ini merupakan perhitungan MLE untuk TTF komponen *Tailstock*

Tabel 4.28 Perhitungan MLE TTF Komponen *Tailstock*

I	Ti	ln ti	ln ti /n	(ln ti- μ) ²
1	54315	10.9025557109	2.7256389277	0.0101440244
2	56800	10.9472916047	2.7368229012	0.0031339455
3	64270	11.0708482384	2.7677120596	0.0045663779
4	65670	11.0923974792	2.7730993698	0.0079431268
		44.0130930331	11.0032732583	0.0257874746

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Untuk distribusi ini, perhitungan parameter diperoleh dengan menggunakan formulasi sebagai berikut:

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

$$\mu = 11,0032732583$$

$$t_{med} = e^{\mu} = e^{11,0032732583}$$

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

$$s = \sqrt{\frac{0,0257874746}{4}}$$

$$s = 0,080292395$$

2. Estimasi Parameter untuk TTR

Berdasarkan hasil pengujian keselarasan, didapat bahwa distribusi selang waktu perbaikan yang terpilih untuk komponen ini adalah distribusi Weibull.

Berikut ini merupakan perhitungan MLE untuk TTR komponen *Tailstock* :

Tabel 4.29 Perhitungan MLE TTR Komponen *Tailstock*

I	t_i	$x_i = \ln t_i$	$F(t_i)$	$y_i = \ln(\ln(1/(1-f(t_i))))$	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	75	4.317488114	0.12962963	-1.974458694	-8.5247	18.6407	3.898487
2	80	4.382026635	0.31481481	-0.972686141	-4.26234	19.20216	0.946118
3	95	4.553876892	0.50000000	-0.366512921	-1.66905	20.73779	0.134332
4	95	4.553876892	0.68518519	0.144767396	0.659253	20.73779	0.020958
5	100	4.605170186	0.87037037	0.714455486	3.290189	21.20759	0.510447
Total	445	22.41243872	2.50000000	-2.454434874	-10.5067	100.526	5.510341

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Parameter yang digunakan dalam distribusi Weibull ada dua macam, yaitu parameter bentuk (β) dan parameter skala (θ). Perhitungan parameter untuk TTR komponen *Tailstock*, sebagai berikut :

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$b = \frac{(5 \times (-10,5067)) - (22,41243872)(-2,454434874)}{(5 \times 100,526) - (22,41243872)^2} = 7,9174260719$$

Nilai $b = 7,9174260719$ merupakan estimasi awal untuk menentukan estimasi parameter β . Langkah selanjutnya adalah melakukan pendekatan iterasi metode Newton Raphson yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.30 Iterasi Metode Newton Raphson Komponen *Tailstock*

Iterasi	B	$g(\beta)$	$g'(\beta)$
1	7.9174260719	-0.0558006140	0.021096587270
2	10.5624327402	-0.0130111367	0.012372377607
3	11.6140605806	-0.0011301772	0.010311862815
4	11.7236602938	-0.0000102380	0.010125841017
5	11.7246713698	-0.0000000009	0.010124147249
6	11.7246714543	-0.0000000002	0.010124147144
Iterasi	B	$g(\beta)$	$g'(\beta)$
7	11.7246714781	-0.0000000001	0.010124147114
8	11.7246714848	0.0000000000	0.010124147106

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Estimasi parameter β yang terpilih adalah pada saat iterasi ke 8, yaitu pada saat $g(\beta)$ menghasilkan nilai 0, dengan nilai $\beta = 11,7246714848$. Contoh perhitungan pada saat iterasi ketujuh dan kedelapan adalah sebagai berikut.

Tabel 4.31 Iterasi ketujuh Metode Newton Raphson Komponen *Tailstock*

I	t_i^β	$t_i^{\beta \ln t_i}$	$t_i^\beta (\ln t_i)^2$
1	9.648.884.580.342.110.000.000	41.658.944.484.510.900.000.000	179.861.997.634.345.000.000.000

2	20.563.862.180.025.200.000.000	90.111.391.784.633.100.000.000	394.870.518.887.796.000.000.000
3	154.226.616.956.589.000.000.000	702.329.027.028.340.000.000.000	3.198.319.926.484.650.000.000.000
4	154.226.616.956.589.000.000.000	702.329.027.028.340.000.000.000	3.198.319.926.484.650.000.000.000
5	281.412.082.147.643.000.000.000	1.295.950.530.683.160.000.000.000	5.968.072.746.417.520.000.000.000
	620.078.062.821.189.000.000.000	2.832.378.921.008.980.000.000.000	12.939.445.115.909.000.000.000.000

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Tabel 4.32 Iterasi kedelapan Metode Newton Raphson Komponen *Tailstock*

I	t_i^β	$t_i^\beta \text{Int}_i$	$t_i^\beta (\text{Int}_i)^2$
1	9.648.884.580.342.110.000.000	41.658.944.484.510.900.000.000	179.861.997.634.345.000.000.000
2	20.563.862.180.025.200.000.000	90.111.391.784.633.100.000.000	394.870.518.887.796.000.000.000
3	154.226.616.956.589.000.000.000	702.329.027.028.340.000.000.000	3.198.319.926.484.650.000.000.000
4	154.226.616.956.589.000.000.000	702.329.027.028.340.000.000.000	3.198.319.926.484.650.000.000.000
5	281.412.082.147.643.000.000.000	1.295.950.530.683.160.000.000.000	5.968.072.746.417.520.000.000.000
	620.078.062.821.189.000.000.000	2.832.378.921.008.980.000.000.000	12.939.445.115.909.000.000.000.000

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berikut adalah contoh perhitungan iterasi ke-7 :

Untuk $i = 1$

$$t_i^\beta = 75^{11,7246714781} = 9.648.884.580.342.110.000.000$$

$$t_i^\beta \text{Int}_i = 9.648.884.580.342.110.000.000 \times 4,317488114$$

$$= 41.658.944.484.510.900.000.000$$

$$t_i^\beta \text{Int}_i^2 = 9.648.884.580.342.110.000.000 \times 4,317488114^2$$

$$= 179.861.997.634.345.000.000.000$$

$$g(\beta) = \frac{\sum_{i=1}^r t_i^\beta \text{Int}_i}{\sum_{i=1}^r t_i^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \text{Int}_i = 0$$

$$g(\beta) = \frac{2.832.378.921.008.980.000.000.000}{620.078.062.821.189.000.000.000} - \frac{1}{11,7246714781} - \frac{1}{5} (22,41243872)$$

$$= -0,0000000004$$

$$g'(\beta) = \frac{\sum_{i=1}^r t_i^\beta \sum_{i=1}^r t_i^\beta (\text{Int}_i)^2 - (\sum_{i=1}^r t_i^\beta \text{Int}_i)^2}{(\sum_{i=1}^r t_i^\beta)^2} + \frac{1}{\beta^2}$$

$$g'(\beta) = \frac{(620.078.062.821.189.000.000.000 \times 12.939.445.115.909.000.000.000.000) - (2.832.378.921.008.980.000.000.000)^2}{(620.078.062.821.189.000.000.000)^2} + \frac{1}{(11,7246714781)^2}$$

$$g'(\beta) = 0,010124147114$$

Dikarenakan nilai $g(\beta)$ belum sama dengan 0, maka dilanjutkan perhitungan ke dalam iterasi kedelapan, perhitungannya adalah sebagai berikut :

Nilai β pada iterasi kedelapan ditentukan dari iterasi ketujuh :

$$\beta_{j+1} = \beta_j - \frac{g(\beta)}{g'(\beta)}$$

$$\beta_{5+1} = 11,7246714781 - \frac{-0,0000000004}{0,010124147114}$$

$$\beta_6 = 11,7246714848$$

Kemudian setelah didapatkan nilai β untuk iterasi kedelapan, dihitung kembali nilai $g(\beta)$ dan $g'(\beta)$ untuk iterasi kedelapan menggunakan rumus yang sama dengan iterasi ketujuh. Pada iterasi kedelapan didapatkan nilai $g(\beta) = 0,00000000$. Iterasi berhenti pada iterasi kedelapan, dan didapatkan estimasi parameter $\beta = 11,7246714848$. Setelah didapatkan estimasi β , dapat ditentukan nilai estimasi θ . sebagai berikut :

$$\theta = \left\{ \frac{1}{r} \left[\sum_{i=1}^r t_i^\beta \right] \right\}^{\frac{1}{\beta}}$$

$$\theta = \left\{ \frac{1}{5} (620.078.062.821.189.000.000.000) \right\}^{\frac{1}{11,7246714848}}$$

$$\theta = 93,2498$$

4.2.7 Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF)

Setelah melakukan pengujian terhadap distribusi data waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan komponen, maka selanjutnya akan dilakukan perhitungan MTTF dan MTTR dari masing-masing komponen. MTTF adalah nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan (*expected value*) dari suatu distribusi kerusakan. Berikut ini merupakan perhitungan MTTF setiap komponen kritis:

4.2.7.1 Perhitungan MTTF Komponen *Cross Slide*

Pada komponen *Cross Slide* distribusi yang terpilih adalah distribusi Weibull.

Diketahui:

$$\beta = 4,99024689$$

$$\theta = 42312,4953$$

$$MTTF = \theta \tau \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$MTTF = 42312,4953 \tau \left(1 + \frac{1}{4,99024689} \right)$$

$$MTTF = 42312,4953 \tau (1,20039)$$

$$MTTF = 42312,4953 \times 0,91817 = 38850,0638 \text{ menit}$$

Nilai $r(x)$ diambil dari tabel fungsi Gamma.

4.2.7.2 Perhitungan MTTF Komponen *Tailstock*

Pada komponen *Tailstock* distribusi yang terpilih adalah distribusi lognormal.

Diketahui:

$$s = 0,080292395$$

$$t_{med} = 60070,25062$$

$$MTTF = t_{med} \left(\frac{s^2}{e^2} \right)$$

$$MTTF=60070,25062 \left(e^{\frac{0,080292395^2}{2}} \right)$$

$$MTTF=60070,25062 \times 1,00323$$

$$MTTF=60263,998859 \text{ menit}$$

4.2.8 Perhitungan *Mean Time To Repair* (MTTR)

Setelah melakukan perhitungan MTTF, maka dilakukan pula perhitungan MTTR. MTTR adalah nilai tengah dari selang waktu antara perbaikan yang dihitung dari awal kerusakan hingga selesai perbaikan. Berikut ini merupakan perhitungan MTTR setiap komponen kritis:

4.2.8.1 Perhitungan MTTR Komponen *Cross Slide*

Pada komponen *Cross Slide* distribusi yang terpilih adalah distribusi Weibull.

Diketahui:

$$\beta = 20,110258195$$

$$\theta = 133,07300521$$

$$MTTR = \theta r \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$MTTR = 133,0730521 r \left(1 + \frac{1}{20,10258195} \right)$$

$$MTTR = 133,0730521 r(1,04974)$$

$$MTTR = 133,0730521 \times 0,97884 = 130,203997 \text{ menit}$$

Nilai $r(x)$ diambil dari tabel fungsi Gamma.

4.2.8.2 Perhitungan MTTR Komponen *Tailstock*

Pada komponen *Tailstock* distribusi yang terpilih adalah distribusi Weibull.

Diketahui:

$$\beta = 24,8643$$

$$\theta = 6,1820$$

$$MTTR = \theta r \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$MTTR = 93,24983093 r \left(1 + \frac{1}{11,72467148} \right)$$

$$MTTR = 93,24983093 r(1,08529)$$

$$MTTR = 93,24983093 \times 0,95973 = 89,49466023 \text{ menit}$$

Nilai $r(x)$ diambil dari tabel fungsi Gamma.

Rekapitulasi perhitungan MTTF dan MTTR

Tabel 4.33 Rekapitulasi Perhitungan MTTF dan MTTR

No	Komponen	Distribusi	Parameter
1	<i>Cross Slide</i>		
	MTTF	Weibull	38850.06384
	Parameter	β	4.990246891
		θ	42312.49533
	MTTR	Weibull	130.2039971
	Parameter	β	20.10258195
		θ	133.0730521
2	<i>Tailstock</i>		
	MTTF	Lognormal	60263.98859
	Parameter	T_{med}	60070.25062
		S	0.080292395
	MTTR	Weibull	89.49466023
	Parameter	β	11.72467148
		θ	93.24983093

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

4.2.9 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Kritis dengan Metode *Age Replacement*

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dilakukan berdasarkan *downtime* minimum. Berdasarkan kenyataan bahwa pada dasarnya prinsip utama dalam manajemen pemeliharaan adalah untuk menekan periode kerusakan (*breakdown period*) sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen berdasarkan *downtime* minimum menjadi sangat penting. Setelah dilakukan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan, maka kita bisa mengetahui jadwal waktu penggantian pencegahan komponen kritis.

4.2.9.1 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen *Cross Slide*

Berikut ini merupakan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan komponen *Cross Slide* dengan distribusi TTF adalah distribusi Weibull:

Diketahui:

$$\beta = 4,9902468$$

$$\theta = 42312,49$$

$$MTTF = 38850,06$$

$$MTTR = 130,204$$

Sehingga diasumsikan $T_f = T_p = 130,204$

Tabel 4.34 Perhitungan Interval waktu Penggantian Pencegahan Komponen *Cross Slide*

tp (menit)	R(tp)	tp*R(tp)	F(Tp)	Tf*F(tp)	M(Tp)	D(Tp)
10000	0.999253	9992.525	0.000747	0.097325978	51974136	0.002659
11000	0.998798	10986.77	0.001202	0.156563176	32309217	0.002606
12000	0.998144	11977.73	0.001856	0.241613862	20936024	0.002555
13000	0.997235	12964.05	0.002765	0.360077009	14048199	0.002507
14500	0.995236	14430.92	0.004764	0.620327032	8154463	0.002438
15500	0.993361	15397.09	0.006639	0.864465359	5851517	0.002394
16000	0.992225	15875.61	0.007775	1.01229364	4997002	0.002374

16500	0.990941	16350.52	0.009059	1.179546507	4288456	0.002353
17000	0.989493	16821.38	0.010507	1.368032997	3697596	0.002333
17500	0.987868	17287.69	0.012132	1.579658197	3202233	0.002314
18000	0.986049	17748.89	0.013951	1.816422523	2784833	0.002295
18500	0.984022	18204.4	0.015978	2.080420351	2431448	0.002277
19000	0.981768	18653.6	0.018232	2.373837938	2130909	0.002259
19500	0.979271	19095.79	0.020729	2.698950558	1874222	0.002242
20000	0.976513	19530.26	0.023487	3.058118779	1654100	0.002225
20500	0.973474	19956.22	0.026526	3.453783804	1464606	0.002209
21000	0.970136	20372.85	0.029864	3.888461796	1300883	0.002194
21500	0.966478	20779.27	0.033522	4.364737114	1158932	0.002179
25000	0.930182	23254.56	0.069818	9.090523376	556451.3	0.002092
25500	0.923216	23542.01	0.076784	9.99756425	505966.6	0.002083
26000	0.915742	23809.28	0.084258	10.97077419	461082.6	0.002074
26500	0.907739	24055.08	0.092261	12.01275398	421088.6	0.002066
27000	0.899189	24278.1	0.100811	13.12600629	385374.9	0.002058
27500	0.890073	24477.01	0.109927	14.31291119	353417.5	0.002052
28000	0.880375	24650.49	0.119625	15.57570028	324764.4	0.002046
tp (menit)	R(tp)	tp*R(tp)	F(Tp)	Tf*F(tp)	M(Tp)	D(Tp)
28500	0.870077	24797.21	0.129923	16.91642934	299024.9	0.002042
29000	0.859168	24915.86	0.140832	18.33694985	275860.1	0.002038
30000	0.835461	25063.84	0.164539	21.4235713	236115.3	0.002033
31000	0.809183	25084.67	0.190817	24.84514741	203598.5	0.002032
32000	0.780298	24969.55	0.219702	28.60603594	176831	0.002036
33000	0.748822	24711.12	0.251178	32.70438403	154671.4	0.002044
34000	0.714823	24303.98	0.285177	37.13120054	136231.4	0.002057

35000	0.678431	23745.09	0.321569	41.86954941	120814.1	0.002076
35500	0.659397	23408.58	0.340603	44.3479271	114062.5	0.002087
40000	0.469808	18792.32	0.530192	69.03310922	73275.47	0.002254

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Contoh Perhitungan:

Misalkan $t_p = 31000$ menit

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

$$R(tp) = \exp \left[- \left(\frac{31000}{42312,5} \right)^{4,990247} \right]$$

$$R(tp) = 0,809183$$

$$F(tp) = 1 - R(tp) = 1 - 0,809183 = 0,190817$$

$$M(tp) = \frac{MTTF}{F(tp)}$$

$$M(tp) = \frac{38850,06}{0,190817}$$

$$M(tp) = 203598,5$$

$$D(tp) = \frac{(130,204 \times (0,809183) + (24,84514741))}{((31000 + 130,204) \times 0,809183) + ((203598,5 + 130,204) \times (0,190817))}$$

$$D(tp) = 0,002032$$

$$A(\text{Awal}) = \frac{(235 \times 1260 \text{ menit}) - 1595}{235 \times 1260} = \frac{295195}{296100} = 0,99461331$$

$$\text{Availability : } A(tp) = 1 - D(tp) = 1 - 0,002032 = 0,997968$$

Sehingga interval waktu penggantian komponen *Cross Slide* dengan metode perhitungan *age replacement* adalah 31.000 menit atau 516,667 jam atau 24 hari.

4.2.9.2 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen

Tailstock

Berikut ini merupakan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan komponen *Tailstock* dengan distribusi TTF adalah distribusi Lognormal:

Diketahui:

$$t_{med} = 60070,25062$$

$$s = 0,080292395$$

$$MTTF = 60263,98859$$

$$MTTR = 89,49466023$$

Sehingga diasumsikan $T_f = T_p = 89,49466023$

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan komponen *Tailstock* dapat dilihat pada tabel 4.35

Tabel 4.35 Perhitungan Interval waktu Penggantian Komponen Tailstock

tp (Menit)	$1/s \ln$ (tp/ t_{med})	Θ	R(tp)	$T_p * R(tp)$	$1 - R(tp)$	$Tf(1-R(tp))$	$(tp+Tp) * R(tp)$	M(tp)	M(tp)+Tf	D(tp)
32000	-7.843567509	2.18962E-15	1.000	89.495	0.000	1.9872E-13	32089.495	27140487656497700000	27140487656497700000	0.000959045
32100	-7.804707946	2.98197E-15	1.000	89.495	0.000	2.6827E-13	32189.495	201040649307390000000	201040649307390000000	0.000967997
33000	-7.460322511	4.31555E-14	1.000	89.495	0.000	3.8651E-12	33089.495	1395397822956180000	1395397822956180000	0.000958664
33200	-7.385068628	7.61874E-14	1.000	89.495	0.000	6.816E-12	33289.495	791267861705471000	791267861705471000	0.000956615
33400	-7.310266723	1.33306E-13	1.000	89.495	0.000	1.1933E-11	33489.495	451964823588637000	451964823588637000	0.000954574
33500	-7.273033572	1.75751E-13	1.000	89.495	0.000	1.5729E-11	33589.495	342899401850886000	342899401850886000	0.000953557
33700	-7.198899546	3.03502E-13	1.000	89.495	0.000	2.7165E-11	33789.495	198540509557408000	198540509557408000	0.000951529
34000	-7.088519387	6.77772E-13	1.000	89.495	0.000	6.0659E-11	34089.495	88912326475012800	88912326475012900	0.000948504
34500	-6.906698936	2.48031E-12	1.000	89.495	0.000	2.2198E-10	34589.495	24296573704397900	24296573704398000	0.000943504
35000	-6.727494697	8.63046E-12	1.000	89.495	0.000	7.7238E-10	35089.495	6982733265539170	6982733265539260	0.000938557
35500	-6.550832449	2.86086E-11	1.000	89.495	0.000	2.5603E-09	35589.495	2106501993262860	2106501993262950	0.000933661
37000	-6.035401114	7.92842E-10	1.000	89.495	0.000	7.0955E-08	37089.495	76010127191442	76010127191531	0.000919275
40000	-5.064430678	2.04811E-07	1.000	89.495	0.000	1.833E-05	40089.486	294241480753	294241480843	0.000891794
42000	-4.456774569	4.1601E-06	1.000	89.494	0.000	0.00037231	42089.320	14486184671	14486184761	0.000874370
45000	-3.597504251	0.000160643	1.000	89.480	0.000	0.01437666	45082.251	375143205	375143295	0.000849529
50000	-2.285293847	0.011147802	0.989	88.497	0.011	0.99766873	49531.107	5405908	5405997	0.000815099

tp (Memit)	1/s ln (tp/t _{med})	θ	R(tp)	TP*R(tp)	1- R(tp)	Tf(1-R(tp))	(tp+Tp) *R(tp)	M(tp)	M(tp)+Tf	D(tp)
51000	-2.038662427	0.020741865	0.979	87.638	0.021	1.85628616	50029.803	2905428	2905517	0.000811407
51500	-1.917154345	0.027609163	0.972	87.024	0.028	2.47087267	50165.152	2182753	2182843	0.000810408
51700	-1.868881107	0.030819679	0.969	86.736	0.031	2.75819667	50193.359	1955374	1955463	0.000810199
51800	-1.844814472	0.032532266	0.967	86.583	0.033	2.91146407	50201.412	1852437	1852527	0.000810139
51900	-1.820794253	0.034319069	0.966	86.423	0.034	3.07137343	50205.264	1755991	1756081	0.000810109
52000	-1.796820271	0.036182079	0.964	86.257	0.036	3.23810283	50204.788	1665576	1665665	0.000810112
52500	-1.677637738	0.04670892	0.953	85.314	0.047	4.18019897	50133.096	1290203	1290292	0.000810631
52600	-1.653937484	0.049070108	0.951	85.103	0.049	4.39151262	50104.015	1228120	1228210	0.000810843
52700	-1.630282245	0.051520929	0.948	84.884	0.052	4.61084805	50069.731	1169699	1169789	0.000811093
53000	-1.559584914	0.059429002	0.941	84.176	0.059	5.31857834	49934.439	1014050	1014140	0.000812084
53500	-1.442640583	0.074560872	0.925	82.822	0.075	6.67279995	49593.815	808252	808342	0.000814591
53600	-1.419382911	0.077893706	0.922	82.524	0.078	6.97107074	49507.421	773670	773759	0.000815230
53700	-1.39616859	0.081331866	0.919	82.216	0.081	7.27876776	49414.695	740964	741054	0.000815917
53800	-1.372997458	0.084876568	0.915	81.899	0.085	7.59599966	49315.539	710019	710109	0.000816653
53900	-1.349869356	0.088528946	0.911	81.572	0.089	7.92286799	49209.862	680726	680816	0.000817439
54000	-1.326784122	0.092290052	0.908	81.235	0.092	8.25946685	49097.572	652985	653074	0.000818276
54100	-1.3037416	0.09616085	0.904	80.889	0.096	8.60588262	48978.587	626700	626789	0.000819164

tp (Menit)	$1/s \ln$ (tp/t_{med})	Θ	R(tp)	$Tp * R(tp)$	$1 -$ R(tp)	$Tf(1 - R(tp))$	$(tp + Tp) * R(tp)$	M(tp)	M(tp)+Tf	D(tp)
54200	-1.280741631	0.100142216	0.900	80.532	0.100	8.96219359	48852.824	601784	601874	0.000820106

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Contoh Perhitungan:

Misalkan $t_p = 51900$ menit

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

$$M(tp) = \frac{60263,98859}{0,034}$$

$$M(tp) = 1755991$$

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

$$D(tp) = \frac{(89,49466023 \times (0,965680930888199)) + (89,49466023 \times 0,034)}{((51900 + 89,49466023) \times (0,965680930888199)) + (1756081) \times (0,034)}$$

$$D(tp) = 0,000810109$$

$$A(Awal) = \frac{(235 \times 1260 \text{ menit}) - 1595}{235 \times 1260} = \frac{295195}{296100} = 0,99461331$$

$$\text{Availability} : A(tp) = 1 - D(tp) = 1 - 0,000810109 = 0,999189891$$

Sehingga interval waktu penggantian komponen *Cross Slide* dengan metode perhitungan *age replacement* adalah 51.900 menit atau 865 jam atau 41 hari.

Berdasarkan interval waktu penggantian pencegahan komponen kritis diatas, maka diperoleh jadwal penggantian pencegahan komponen kritis pada mesin CNC Bubut seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.36 Waktu Penjadwalan Komponen Kritis

No	Komponen	t_p (Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis)	Availability
1	<i>Cross Slide</i>	31000 menit atau 24 hari	0,997968
2	<i>Tailstock</i>	51900 menit atau 41 hari	0,999189

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

4.2.10 Perhitungan dan Perbandingan Keandalan (*Reliability*) Sebelum dan Sesudah Pemeliharaan Pencegahan

Perhitungan keandalan (*reability*) dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan nilai keandalan komponen sebelum dilakukan jadwal penggantian pencegahan dan sesudah dilakukan jadwal penggantian. Berikut ini merupakan perhitungan keandalan sebelum dan sesudah pemeliharaan pencegahan setiap komponen kritis:

1. Perhitungan Keandalan Komponen *Cross Slide*

Berikut ini merupakan perhitungan keandalan sebelum dan sesudah penggantian pencegahan komponen *Cross Slide* dengan distribusi TTF adalah distribusi Weibull:

Diketahui:

$$\beta = 4,9902468$$

$$\theta = 42312,49$$

$$MTTF = 38850,06$$

$$MTTR = 130,204$$

$$T = 31000$$

Tabel 4.37 Perhitungan Keandalan Komponen *Cross Slide*

t(menit)	R(t)	n	R(t-nT)
1440	1	0	1
2880	0.999999	0	0.999999
4320	0.999989	0	0.999989
5760	0.999952	0	0.999952
7200	0.999855	0	0.999855
8640	0.99964	0	0.99964
10080	0.999222	0	0.999222
11520	0.998486	0	0.998486
12960	0.997277	0	0.997277
14400	0.995397	0	0.995397
15840	0.992604	0	0.992604

t(menit)	R(t)	n	R(t-nT)
17280	0.988606	0	0.988606
18720	0.983059	0	0.983059
20160	0.975572	0	0.975572
21600	0.965706	0	0.965706
23040	0.952986	0	0.952986
24480	0.93691	0	0.93691
25920	0.916973	0	0.916973
27360	0.892684	0	0.892684
28800	0.863606	0	0.863606
30240	0.829391	0	0.829391
31680	0.789825	1	1
33120	0.744873	1	0.9999997
34560	0.694727	1	0.999996
36000	0.639843	1	0.999976
38850.06	0.520432	1	0.999777
38880	0.519125	1	0.999772
40320	0.45563	1	0.999474
41760	0.391991	1	0.998923
43200	0.329841	1	0.997985
44640	0.270814	1	0.996486
46080	0.216409	1	0.994209
47520	0.16786	1	0.990886
48960	0.12602	1	0.986202
50400	0.091292	1	0.979791
51840	0.063609	1	0.971238
53280	0.042483	1	0.960085
54720	0.027099	1	0.945844

t(menit)	R(t)	n	R(t-nT)
56160	0.016446	1	0.928007
57600	0.009459	1	0.906073
59040	0.005133	1	0.879573
60480	0.002617	1	0.848106
61920	0.001248	1	0.811381
63360	0.000553	1	0.769263
64800	0.000227	2	1
66240	8.59E-05	2	0.99999
67680	2.98E-05	2	0.999956
69120	9.38E-06	2	0.999863
70560	2.67E-06	2	0.999656

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Misalkan $t_p = 792$ jam

Nilai reliabilitas tanpa perawatan pencegahan:

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

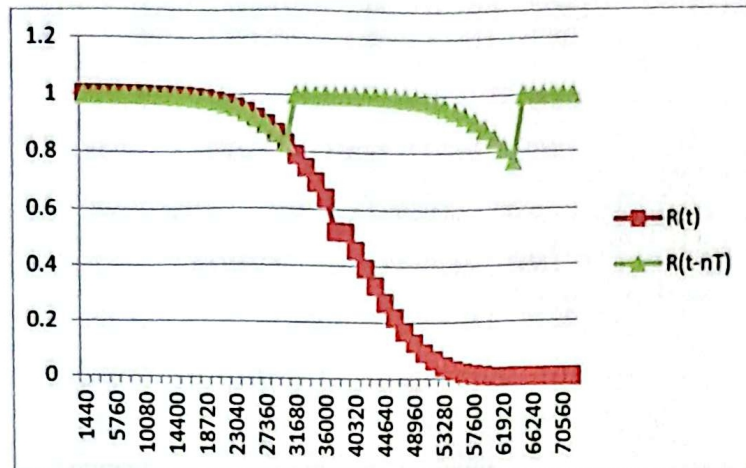
$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{38850,06}{42312,49} \right)^{4,9902468} \right] = 0,520432$$

Nilai reliabilitas dengan perawatan pencegahan:

$$R(t - nT) = \exp \left[- \left(\frac{t - nT}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \text{Untuk } nT \leq t < (n+1)T$$

$$R(t - nT) = \exp \left[- \left(\frac{38850,06 - (1)31000}{42312,49} \right)^{4,9902468} \right] = 0,999777$$

Setelah dilakukan perhitungan keandalan sebelum dan sesudah penggantian pencegahan, maka dibuat grafik yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Keandalan Komponen *Cross Slide*

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

2. Perhitungan Keandalan Komponen *Tailstock*

Berikut ini merupakan perhitungan keandalan sebelum dan sesudah penggantian pencegahan komponen *Tailstock* dengan distribusi TTF adalah distribusi lognormal:

Diketahui:

$$t_{med} = 60070,25062$$

$$s = 0,080292395$$

$$MTTF = 60263,98859$$

$$MTTR = 89,49466023$$

$$T = T_p = 51900$$

Tabel 4.38 Perhitungan Keandalan Komponen *Tailstock*

t(menit)	R(t)	n	R(T) ^a	R(t-nT)	Rm(t)
1440	1	0	1	1	1
2880	1	0	1	1	1
4320	1	0	1	1	1
5760	1	0	1	1	1
7200	1	0	1	1	1
8640	1	0	1	1	1
10080	1	0	1	1	1

t(menit)	R(t)	n	R(T) ^a	R(t-nT)	Rm(t)
11520	1	0	1	1	1
12960	1	0	1	1	1
14400	1	0	1	1	1
15840	1	0	1	1	1
17280	1	0	1	1	1
18720	1	0	1	1	1
20160	1	0	1	1	1
21600	1	0	1	1	1
23040	1	0	1	1	1
24480	1	0	1	1	1
25920	1	0	1	1	1
27360	1	0	1	1	1
28800	1	0	1	1	1
30240	1	0	1	1	1
31680	1	0	1	1	1
33120	1	0	1	1	1
34560	1	0	1	1	1
36000	1	0	1	1	1
37440	0.999999998	0	1	1	1
38880	0.999999997	0	1	1	1
40320	0.999999657	0	1	1	1
41760	0.999997025	0	1	0.999997	0.999997
43200	0.999979865	0	1	0.99998	0.99998
44640	0.999891151	0	1	0.999891	0.999891
46080	0.999520227	0	1	0.99952	0.99952
47520	0.998243556	0	1	0.998244	0.998244
48960	0.99456856	0	1	0.994569	0.994569
50400	0.985594189	0	1	0.985594	0.985594
51840	0.96676203	0	1	0.966762	0.966762
53280	0.932407075	1	0.965681	1	0.965681
54720	0.877346054	1	0.965681	1	0.965681
56160	0.799071843	1	0.965681	1	0.965681
57600	0.69950954	1	0.965681	1	0.965681
59040	0.585294397	1	0.965681	1	0.965681
60263.99	0.484005335	1	0.965681	1	0.965681
60480	0.466263587	1	0.965681	1	0.965681
61920	0.352817153	1	0.965681	1	0.965681
63360	0.253329706	1	0.965681	1	0.965681
64800	0.172601175	1	0.965681	1	0.965681
66240	0.111674349	1	0.965681	1	0.965681

t(menit)	R(t)	n	R(T) ⁿ	R(t-nT)	Rm(t)
67680	0.068703005	1	0.965681	1	0.965681
69120	0.040255421	1	0.965681	1	0.965681
70560	0.022506541	1	0.965681	1	0.965681
72000	0.012030732	1	0.965681	1	0.965681

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Contoh Perhitungan:

MTTF dengan nilai 60263,99

$$R(t) = R(60263,99) = 0.484005335$$

$$Rm(t) = Rm(60263,99) = 0.965681$$

Nilai reliabilitas tanpa perawatan pencegahan:

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

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,080292} \ln \frac{60263,99}{60070,25}\right) = 0,484005335$$

Perhitungan Φ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMDIST.

Nilai reliabilitas dengan perawatan pencegahan:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{T}{tmed}\right)$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,080292} \ln \frac{51900}{60070,25}\right) = 0,965681$$

$$R(T)^n = (1 - 0,034319)^1 = 0,965681$$

$$R(t - nT) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t - nT}{tmed}\right) \quad \text{Untuk } nT \leq t < (n+1) T$$

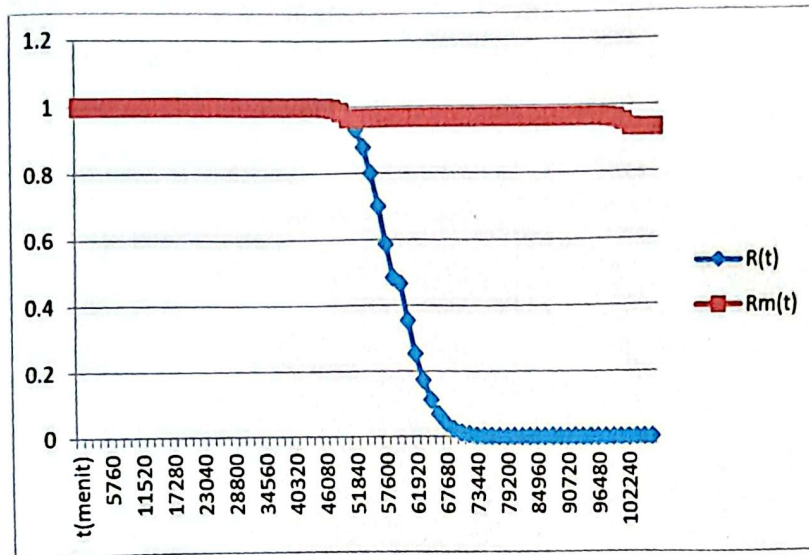
$$R(t - nT) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,080292} \ln \frac{60263,99 - (1 \times 51900)}{60070,25}\right) = 1$$

Sehingga nilai keandalan dengan adanya pencegahan adalah :

$$Rm(t) = R(T)^n \times R(t - nT) = 0,965681 \times 1 = 0,965681 \times 100\% = 96,5681\%$$

$$\text{peningkatan keandalan} = \frac{Rm(t) - R(t)}{R(t)} \times 100\% = 99,51865\%$$

Setelah dilakukan perhitungan keandalan sebelum dan sesudah penggantian pencegahan, maka dibuat grafik yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Keandalan Komponen *Tailstock*
(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN MASALAH

5.1 Analisa Penentuan Komponen Kritis

Mesin CNC Bubut memiliki komponen-komponen yang sering mengalami kerusakan dan perlu diadakan tindakan penggantian. Komponen kritis adalah suatu komponen dari mesin yang berkontribusi terhadap frekuensi *breakdown* terbanyak dalam kurun waktu tertentu, memiliki nilai *downtime* terbesar, dan berpengaruh terhadap proses produksi. Penentuan komponen kritis ini dengan menggunakan diagram pareto untuk menentukan komponen yang menjadi komponen kritis berdasarkan total *downtime* terbesar.

Terdapat dua komponen kritis yang ada pada mesin CNC Bubut yaitu *Cross Slide*, *Tailstock*. Presentase kumulatif dari kedua komponen kritis tersebut adalah 84,64%, dimana komponen kritis tersebut memiliki presentase kumulatif > 80%. Dan presentase *downtime* yang dimiliki oleh kedua komponen tersebut masing-masing *Cross Slide* 56,74% dan *Tailstock* 27,90%. Maka dari itu kedua komponen tersebut dinyatakan sebagai komponen kritis yang selanjutnya akan dijadikan sebagai objek penelitian.

5.2. Analisa Perhitungan Selang Waktu Antar Kerusakan dan Selang Waktu Antar Perbaikan Komponen Kritis

Selang waktu antar kerusakan (*time to failure*) adalah selang waktu dari kerusakan komponen yang pertama hingga kerusakan selanjutnya terjadi. Untuk itu diperlukan informasi tanggal dan waktu terjadinya kerusakan hingga waktu selesai dilakukan perbaikan masing-masing komponen. Selang waktu perbaikan (*time to repair*) adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemeriksaan, perbaikan, ataupun penggantian komponen yang mengalami kerusakan hingga mesin tersebut dapat beroperasi. Data selang waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan komponen ini sebagai langkah awal untuk menentukan dan mengidentifikasi pola kerusakan yang terjadi. Satuan waktu

dalam perhitungan ini adalah menit. Perhitungan dilakukan dari Januari 2018 sampai Desember 2018.

5.3 Analisa Pemilihan Distribusi Kerusakan Komponen Kritis

Pemilihan distribusi ini dilakukan dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting* (LSCF). Distribusi dipilih berdasarkan *index of fit* (r) terbesar yang mendekati 1 atau -1. Jenis distribusi yang digunakan adalah distribusi Weibull, Normal, Lognormal, dan Eksponensial. Hasil ringkasan perhitungan *index of fit* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.1 Ringkasan Perhitungan *Index of Fit* Komponen Kritis

Komponen	Keterangan	Distribusi Terpilih	<i>Index of Fit</i>
Cross Slide	<i>time to failure</i>	Weibull	0,963248
	<i>time to repair</i>	Weibull	0,956722
Tailstock	<i>time to failure</i>	Normal	0,953748
	<i>time to repair</i>	Weibull	0,954387

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Setelah ditentukan distribusi yang terpilih setiap komponen kritis, maka akan dilakukan pengujian keselarasan distribusi kerusakan terpilih. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui distribusi yang terpilih sesuai atau tidak.

5.4 Analisa Pengujian Keselarasan Distribusi Terpilih

Setelah diketahui jenis distribusi yang sesuai dengan data kerusakan, selanjutnya dilakukan pengujian keselarasan distribusi dengan *goodness of fit* yang spesifik. Uji keselarasan ini dilakukan untuk mengetahui apakah distribusi yang dipergunakan sesuai apa tidak. Apabila berdasarkan uji tersebut tidak memenuhi kecocokan, maka diambil distribusi dengan nilai (r) terbesar kedua, dan seterusnya. Pengujian yang dilakukan masing-masing distribusi antara lain: *Mann's test* untuk distribusi Weibull, *Bartlett's test* untuk distribusi Eksponensial, dan *Kolmogorov-Smirnov test* untuk distribusi Normal dan Lognormal. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95%.

Berdasarkan nilai IoF terbesar, TTF komponen *Cross Slide* berdistribusi Weibull. Maka uji *goodness of fit* yang dilakukan adalah uji *Mann's Test*. Hasil

uji untuk TTF *Cross Slide* adalah $M(0,4043) < F_{tabel}(4,39)$ maka H_0 diterima yang berarti dsitribusi TTF untuk komponen ini adalah distribusi Weibull. TTF komponen *Tailstock* berdistribusi Lognormal. Maka uji *goodness of fit* yang dilakukan adalah uji *Kolmogorov-Smirnov test*. Hasil uji untuk TTF *Tailstock* adalah $D_{hitung}(0,23344) < D_{tabel}(0,371)$ maka H_0 diterima yang berarti dsitribusi TTF untuk komponen *Tailstock* adalah distribusi Lognormal.

Berdasarkan nilai IoF terbesar pula, TTR komponen *Cross Slide* berdistribusi Weibull. Maka uji *goodness of fit* yang dilakukan adalah uji *Mann's test*. Hasil uji untuk TTR *Cross Slide* adalah $M(1,2457) < F_{tabel}(3,87)$ maka H_0 diterima yang berarti dsitribusi TTR untuk komponen ini adalah distribusi Weibull. TTR komponen *Tailstock* berdistribusi Weibull. Maka uji *goodness of fit* yang dilakukan adalah uji *Mann's*. Hasil uji untuk TTR *Tailstock* adalah $M(0,3545) < F_{tabel}(5,19)$ maka H_0 diterima yang berarti distribusi TTR untuk komponen ini adalah distribusi Weibull.

5.5 Analisa Estimasi Parameter

Perhitungan ini bertujuan untuk menggambarkan keadaan optimal data secara lebih akurat. Metode yang digunakan dalam penaksiran parameter ini adalah penaksiran kemungkinan terbesar atau *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Parameter yang dihitung nanti akan digunakan dalam perhitungan MTTF (*Mean Time To Failure*) dan MTTR (*Mean Time To Repair*). Maka dari itu dengan menggunakan metode MLE akan didapat nilai estimasi parameter yang lebih akurat dan dapat menggambarkan keadaan yang optimal dari setiap data, yaitu data selang waktu kerusakan dan selang waktu perbaikan. Berikut ini ringkasan hasil penaksiran parameter yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.2 Ringkasan Hasil Penaksiran Parameter

1	<i>Cross Slide</i>	TTF	β	4.990246891
		Weibull	θ	42312.49533
		TTR	β	20.10258195
		Weibull	θ	133.0730521
2	<i>Tailstock</i>	TTF	T_{mod}	60070.25062
		Lognormal	S	0.080292395
		TTR	β	11.72467148
		Weibull	θ	93.24983093

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan nilai parameter tersebut, nilai parameter tersebut akan digunakan dalam perhitungan MTTF (*Mean Time To Failure*) dan MTTR (*Mean Time To Repair*).

5.6 Analisa Mean Time To Failure (MTTF)

Setelah melakukan pengujian terhadap distribusi data waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan komponen, maka selanjutnya akan dilakukan perhitungan MTTF dari masing-masing komponen. MTTF adalah nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan (*expected value*) dari suatu distribusi kerusakan. Nilai parameter yang digunakan adalah nilai parameter MLE. Berikut ini ringkasan hasil perhitungan MTTF komponen kritis yang dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 5.3 Ringkasan Hasil perhitungan MTTF Komponen Kritis

Komponen	Distribusi Terpilih	Nilai MTTF (menit)
<i>Cross Slide</i>	Weibull	38850.06384
<i>Tailstock</i>	Lognormal	60263.98859

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel 5.3, terlihat bahwa nilai ini menunjukkan waktu perkiraan kerusakan berikutnya setelah selesai diperbaiki. Pada komponen *Cross Slide* dapat diperkirakan waktu kerusakan berikutnya akan terjadi 38850,06384 menit kemudian. Pada komponen *Tailstock* dapat diperkirakan waktu kerusakan berikutnya akan terjadi 60263,98869 menit kemudian.

5.7 Analisa Mean Time To Repair (MTTR)

Setelah melakukan perhitungan MMTF, maka selanjutnya akan dilakukan perhitungan MTTR dari masing-masing komponen. MTTR adalah nilai tengah dari selang waktu antara perbaikan yang dihitung dari awal kerusakan hingga selesai perbaikan. Nilai parameter yang digunakan adalah nilai parameter MLE. Berikut ini ringkasan hasil perhitungan MTTR komponen kritis yang dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 5.4 Ringkasan Hasil perhitungan MTTR Komponen Kritis

Komponen	Distribusi Terpilih	Nilai MTTR (menit)
<i>Cross Slide</i>	Weibull	130.2039971
<i>Tailstock</i>	Weibull	89.49466023

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel 5.4, terlihat bahwa nilai ini menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki atau mengganti komponen akibat kerusakan komponen. Pada komponen *Cross Slide* waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki atau mengganti komponen sebesar 130.2039971 menit. Pada komponen *bearing* waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki atau mengganti komponen sebesar 89.49466023 menit.

5.8 Analisa Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Kritis

Pada tahapan ini dilakukan analisa dengan menggunakan kriteria minimasi *downtime* yang berupa usulan interval waktu penggantian pencegahan komponen kritis. Berdasarkan kenyataan bahwa pada dasarnya prinsip utama dalam manajemen pemeliharaan adalah untuk menekan periode kerusakan (*breakdown period*) sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen berdasarkan *downtime* minimum menjadi sangat penting. Setelah dilakukan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan, maka kita bisa mengetahui jadwal waktu penggantian pencegahan komponen kritis.

Dengan menggunakan metode *age replacement*, waktu penggantian pencegahan komponen *Cross Slide* sebesar 31000 menit atau 24 hari. Hal ini berarti selang waktu optimal penggantian komponen setelah komponen

mengalami penggantian atau perbaikan adalah 24 hari, dimana jam kerja mesin adalah 21 jam per hari. Jika dibandingkan antara nilai MTTF dengan waktu penggantian pencegahan lebih kecil dari pada nilai MTTF (31000 jam < 38850,06 jam). waktu penggantian pencegahan komponen *Tailstock* sebesar 51900 menit atau 41 hari. Hal ini berarti selang waktu optimal penggantian komponen setelah komponen mengalami penggantian atau perbaikan adalah 41 hari, dimana jam kerja mesin adalah 21 jam per hari. Jika dibandingkan antara nilai MTTF dengan waktu penggantian pencegahan lebih kecil dari pada nilai MTTF (51900 jam < 60263,988 jam). Nilai penggantian pencegahan lebih kecil dari pada nilai MTTF dikarenakan metode penggantian pencegahan mengupayakan tindakan penggantian sebelum komponen mengalami kerusakan, sehingga mesin selalu dalam kondisi yang optimal.

5.9 Analisa Tingkat Keandalan Komponen Kritis Sebelum dan Sesudah Penggantian Pencegahan

Keandalan dapat dikatakan sebagai sebuah patokan atau standar kemampuan dari suatu komponen untuk dapat berfungsi pada kondisi operasi tertentu selama selang waktu tertentu. Perhitungan keandalan (*reliability*) dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan nilai keandalan komponen sebelum dilakukan jadwal penggantian pencegahan dan sesudah dilakukan jadwal penggantian. Berikut ini merupakan penjelasan keandalan komponen kritis mengenai hasil perhitungan dan grafik sebelum dan sesudah penggantian pencegahan:

1. Komponen *Cross Slide*

Dapat diketahui bahwa nilai keandalan komponen *Cross Slide* akan menurun seiring berjalannya waktu bila tidak dilakukan tindakan penggantian pencegahan dan nilai keandalan komponen *Cross Slide* akan meningkat seiring berjalannya waktu bila dilakukan tindakan penggantian pencegahan. Komponen *Cross Slide* pada saat tindakan *corrective maintenance* memiliki keandalan sebesar 52,04% dan dengan dilakukannya tindakan *preventive maintenance* memiliki keandalan

sebesar 99,97%. Hal tersebut karena sebelum adanya kerusakan pada komponen kritis pada saat *Mean Time To Failure*, yaitu 38850,06 menit, pada komponen kritis dilakukan penggantian komponen pada saat 31000 menit atau 24 hari kerja berdasarkan model *age replacement*, sehingga pada saat MTTF tersebut yang seharusnya komponen sudah rusak dan hanya memiliki keandalan 52,04% tidak mengalami kerusakan dan keandalan dapat dipertahankan pada 99,97%.

2. Komponen *Tailstock*

Dapat diketahui bahwa nilai keandalan komponen *Tailstock* akan menurun seiring berjalannya waktu bila tidak dilakukan tindakan penggantian pencegahan dan nilai keandalan komponen *Tailstock* akan meningkat seiring berjalannya waktu bila dilakukan tindakan penggantian pencegahan. Komponen *Tailstock* pada saat tindakan *corrective maintenance* memiliki keandalan sebesar 48,40% dan dengan dilakukannya tindakan *preventive maintenance* memiliki keandalan sebesar 96,56%. Hal tersebut karena sebelum adanya kerusakan pada komponen kritis pada saat *Mean Time To Failure*, yaitu 60263,99 menit, pada komponen kritis dilakukan penggantian komponen pada saat 51900 menit atau 41 hari kerja berdasarkan model *age replacement*, sehingga pada saat MTTF tersebut yang seharusnya komponen sudah rusak dan hanya memiliki keandalan 48,40% tidak mengalami kerusakan dan keandalan dapat dipertahankan pada 96,56%.

Berdasarkan penjelasan diatas bahwa nilai keandalan sebelum penggantian pencegahan akan lebih rendah dibandingkan sesudah dengan penggantian pencegahan. Hal ini dapat dilihat dari selisih nilai keandalan sebelum dan sesudah penggantian pencegahan. Maka dari itu dengan adanya tindakan penggantian pencegahan akan berpengaruh terhadap tingkat keandalan suatu komponen.

5.10 Penjadwalan Pemeliharaan

Setelah perhitungan interval waktu penggantian komponen kritis, maka dapat dibuat jadwal pemeliharaan komponen kritis. Penjadwalan pemeliharaan merupakan tahapan terakhir dari beberapa rangkaian analisa tindakan pemeliharaan pencegahan yang dilakukan. Penjadwalan ini merupakan usulan terhadap titik lemah sebuah komponen. Artinya, dengan penjadwalan pemeliharaan akan mampu memperkirakan waktu hidup suatu komponen yang berdampak pada ketersediaan penggunaan mesin.

Penjadwalan komponen *Cross Slide* dapat dilihat pada tabel di bawah ini dengan interval waktu penggantian pencegahan sebesar 516 jam atau 24 hari kerja, dimana jam kerja mesin adalah 21 jam per hari. Sebagai contoh kerusakan dimulai pada tanggal 27 Januari 2018.

Tabel 5.5 Contoh Jadwal Pemeliharaan Pencegahan Komponen *Cross Slide*

Tanggal	Penggantian Pencegahan
27 Januari 2018	✓
1 Maret 2018	✓
4 April 2018	✓

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Penjadwalan komponen *Tailstock* dapat dilihat pada tabel di bawah ini dengan interval waktu penggantian pencegahan sebesar 865 jam atau 41 hari kerja, dimana jam kerja mesin adalah 21 jam per hari. Sebagai contoh kerusakan dimulai pada tanggal 15 Februari 2018.

Tabel 5.6 Contoh Jadwal Pemeliharaan Pencegahan Komponen *Tailstock*

Tanggal	Penggantian Pencegahan
15 Februari 2018	✓
12 April 2018	✓
8 Juni 2018	✓

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengumpulan data dan data yang telah diolah, serta analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Komponen kritis pada mesin CNC Bubut yang terpilih dari keempat komponen mesin CNC Bubut yang rusak adalah komponen *cross slide* dengan persentase *downtime* 56,74%, komponen *tailstock* dengan persentase *downtime* 27,90%.
2. Waktu penggantian komponen kritis mesin CNC Bubut berdasarkan umur pakai komponen (*Age Replacement*) pada komponen *cross slide* adalah 24 hari, komponen *tailstock* adalah 41 hari.
3. Berdasarkan hasil perhitungan keandalan komponen sebelum dan sesudah penggantian pencegahan, maka dapat diketahui nilai keandalan sebelum penggantian pencegahan lebih rendah dari pada nilai keandalan sesudah penggantian pencegahan. Pada komponen *cross slide* bila penggantian komponen dilakukan pada 24 hari, maka nilai keandalan sebelum penggantian pencegahan adalah 52,04%, sedangkan nilai keandalan setelah penggantian pencegahan adalah 99,97%. Pada komponen *tailstock* bila penggantian komponen dilakukan pada 41 hari, maka nilai keandalan sebelum penggantian pencegahan adalah 48,40%, sedangkan nilai keandalan setelah penggantian pencegahan adalah 96,56%.

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, maka dapat dikemukakan beberapa saran yang dapat dipertimbangkan bagi pihak perusahaan sebagai berikut:

1. Sebaiknya pihak perusahaan melakukan pemeliharaan pencegahan dibandingkan pemeliharaan perbaikan dalam menangani mesin produksi yang ada, sehingga dapat meminimalkan kerusakan yang terjadi pada

mesin produksi, mesin dalam keadaan siap pakai ketika diperlukan, serta memperpanjang umur ekonomis mesin produksi.

2. Sebaiknya perusahaan melakukan pelatihan terhadap para operator mengenai penanganan mesin CNC Bubut ketika terjadi kerusakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Assauri, S, 1993, Manajemen Produksi dan Operasi, Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia (FE-UI), Jakarta.
- Corder, A.S, 1980, Teknik Manajemen Pemeliharaan, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Dhillon, 1997, "*Maintainability, Maintenance and Reliability for Engineers*", Taylor and Francis, New York.
- Ebeling, C.E, 1997, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, Mc Graw Hill, New York.
- Heizer, Jay & Barry Render, 2010, Manajemen Operasi. Edisi Ketujuh Buku 1, Salemba Empat, Jakarta.
- Jardine, 2006, *Maintanance, Replacement, and Reliability*, Pitman Publishing, Canada.
- Wignjosobroto, Sritomo, 2003, Ergonomi Studi Gerak dan Waktu, Cetakan Ketiga, Guna Widya, Jakarta.

Perhitungan *Index of Fit (IoF)* TTF Komponen *Tailstock*

Perhitungan mengenai mengenai pemilihan distribusi TTF yang sesuai untuk komponen *Tailstock* dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

1. Distribusi Weibull

Tabel 1 Perhitungan IoF Distribusi Weibull TTF Komponen *Tailstock*

I	t_i	$x_i = \ln t_i$	$F(t_i)$	Y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	54315	10,903	0,159	-1,753	-19,111	118,866	3,073
2	56800	10,947	0,386	-0,717	-7,846	119,843	0,514
3	64270	11,071	0,614	-0,050	-0,556	122,564	0,377
4	65670	11,092	0,841	0,609	6,753	123,041	0,707
Total	241055	44,013	2,000	-1,911	-20,760	484,314	4,670

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = \ln(t_i) = \ln(54315) = 10,903$
- Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$
dimana: $n = \text{jumlah data} = 4$
- Nilai y_i diperoleh dari rumus: $y_i = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right)\right)$

Berdasarkan tabel 1, untuk menghitung *index of fit* dari distribusi weibull sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = 0,859522$$

2. Distribusi Normal

Tabel 2 Perhitungan IoF Distribusi Normal TTF Komponen *Tailstock*

i	Ti	xi=ti	F(ti)	Yi= Φ ⁻¹ [F(ti)]	xi.yi	xi ²	yi ²
1	54315	54315	0,159	-0,998	-54217,3	2950119225	0,996
2	56800	56800	0,386	-0,289	-16404,4	3226240000	0,083
3	64270	64270	0,614	0,289	18561,78	4130632900	0,083
4	65670	65670	0,841	0,998	65551,87	4312548900	0,996
Total	241055	241055	2,000	0,000	13491,98	14619541025	2,160

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = t_i$
- Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$
- Nilai y_i diperoleh dari fungsi Microsoft Excel yaitu NORMSINV (0,159)

Berdasarkan tabel 2, untuk menghitung *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = 0,95374630$$

1. Distribusi Lognormal

Tabel 3 Perhitungan IoF Distribusi lognormal TTF Komponen *Tailstock*

I	t _i	x _i =ln t _i	F(t _i)	Y _i =Φ ⁻¹ [F(t _i)]	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	54315	10,903	0,159	-0,998	-10,883	118,865721	0,996
2	56800	10,947	0,386	-0,289	-3,162	119,8431935	0,083
3	64270	11,071	0,614	0,289	3,197	122,5636807	0,083
4	65670	11,092	0,841	0,998	11,072	123,0412818	0,996
Total	241055	44,013	2,000	0,000	0,225	484,3138771	2,160

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- Nilai x_i, diperoleh dengan x_i= ln (t_i) = ln(54315) = 10,903
- Nilai F(t_i), diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$
- Nilai y_i diperoleh dari fungsi Microsoft Excel NORMSINV (0,159)

Berdasarkan tabel 3, untuk menghitung *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = 0,9542107$$

2. Distribusi Eksponensial

Tabel 4 Perhitungan IoF Distribusi Eksponensial TTF Komponen *Tailstock*

i	t _i	x _i =t _i	F(t _i)	Y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	54315	54315	0.159	0.173	9411.254	2950119225	0.030
2	56800	56800	0.386	0.488	27738.44	3226240000	0.238
3	64270	64270	0.614	0.951	61119.25	4130632900	0.904
4	65670	65670	0.841	1.838	120719.8	4312548900	3.379
Total	241055	241055	2.000	3.451	218988.8	14619541025	4.552

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- Nilai x_i, diperoleh dengan x_i = t_i
- Nilai F(t_i), diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$
- Nilai y_i diperoleh dari rumus: $y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right)$

Berdasarkan tabel 4, untuk menghitung *index of fit* dari distribusi eksponensial sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = 0,912675685$$

Perhitungan *Index of Fit* (IoF) TTR Komponen *Tailstock*

Perhitungan mengenai mengenai pemilihan distribusi TTR yang sesuai untuk komponen *Tailstock* dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

1. Distribusi Weibull

Tabel 5 Perhitungan IoF Distribusi Weibull TTR Komponen *Tailstock*

I	t_i	$x_i = \ln t_i$	$F(t_i)$	Y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	75	4.317	0.130	-1.974	-8.525	18.641	3.898
2	80	4.382	0.315	-0.973	-4.262	19.202	0.946
3	95	4.554	0.500	-0.367	-1.669	20.738	0.134
4	95	4.554	0.685	0.145	0.659	20.738	0.021
5	100	4.605	0.870	0.714	3.290	21.208	0.510
Total	445	22.412	2.500	-2.454	-10.507	100.526	5.510

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTR yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar. Jumlah data menjadi 7 data.
- Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = \ln(t_i) = \ln(75) = 4,317$
- Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$
- Nilai y_i diperoleh dari rumus: $y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right)$

Berdasarkan tabel 4.15, untuk menghitung *index of fit* dari distribusi weibull sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$r = 0,95438784$

2. Distribusi Normal

Tabel 6 Perhitungan IoF Distribusi Normal TTR Komponen *Tailstock*

i	Ti	xi=ti	F(ti)	yi=Ø [F(ti)]	xi.yi	xi ²	yi ²
1	75	75	0.130	-1.128	-84.611	5625	1.273
2	80	80	0.315	-0.482	-38.580	6400	0.233
3	95	95	0.500	0.000	0.000	9025	0.000
4	95	95	0.685	0.482	45.814	9025	0.233
5	100	100	0.870	1.128	112.814	10000	1.273
6	445	445	2.500	0.000	35.437	40075	3.011

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- a. Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTR yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar. Jumlah data menjadi 7 data.
- b. Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = t_i$
- c. Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{t-0.3}{n+0.4}$
- d. Nilai y_i diperoleh dari fungsi Microsoft Excel NORMSINV(0,130)

Berdasarkan tabel 6, untuk menghitung *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = 0,928174$$

3. Distribusi Lognormal

Tabel 7 Perhitungan IoF Distribusi lognormal TTR Komponen *Tailstock*

I	Ti	xi=ln ti	F(ti)	Yi=f [F(ti)]	xi.yi	xi ²	yi ²
1	75	4.317	0.130	-1.128	-4.871	18.641	1.273
2	80	4.382	0.315	-0.482	-2.113	19.202	0.233
3	95	4.554	0.500	0.000	0.000	20.738	0.000
4	95	4.554	0.685	0.482	2.196	20.738	0.233
5	100	4.605	0.870	1.128	5.195	21.208	1.273
Total	445	22.412	2.500	0.000	0.407	100.526	3.011

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTR yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar. Jumlah data menjadi 7 data.
- Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = \ln(t_i) = \ln(75) = 0,4371$
- Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$
- Nilai y_i diperoleh dari fungsi Microsoft Excel NORMSINV(0,130)

Berdasarkan tabel 7, untuk *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$r = 0,938791$

Distribusi Eksponensial

Tabel 8 Perhitungan IoF Distribusi Eksponensial TTR Komponen *Tailstock*

I	Ti	xi=ti	F(ti)	Yi	xi.yi	xi ²	yi ²
1	75	75	0.130	-1.974	-148.084	5625	3.898
2	80	80	0.315	-0.973	-77.815	6400	0.946
3	95	95	0.500	-0.367	-34.819	9025	0.134
4	95	95	0.685	0.145	13.753	9025	0.021
5	100	100	0.870	0.714	71.446	10000	0.510
Total	445	445	2.500	-2.454	-175.520	40075	5.510

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTR yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar. Jumlah data menjadi 5 data.
- Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = t_i$
- Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{t-0.3}{n+0.4}$
- Nilai y_i diperoleh dari rumus: $y_i = \ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right)$

Berdasarkan tabel 8, untuk menghitung *index of fit* dari distribusi eksponensial sebagai berikut:

Index of Fit (IoF)

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

$$r = 0,95422628$$

Pengujian Keselarasan TTF Komponen *Tailstock*

Berdasarkan perhitungan *index of fit* terbesar TTF dari komponen *Tailstock* menunjukkan bahwa distribusi yang terpilih adalah distribusi weibull. Maka dari itu uji keselarasan yang terpilih adalah uji *Mann's Test*. Hasil perhitungan uji keselarasan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 9 Perhitungan Uji Keselarasan TTF Komponen *Tailstock*

I	(i-1)/n	i/n	t _i	(t _i -t) ²	z _i =(t _i -t)/s	F(z _i)	D1i	D2i
1	0	0.25	54315	35387626.6	-1.07037	0.142227	0.142227	0.107773
2	0.25	0.5	56800	11997564.1	-0.62324	0.266564	0.016564	0.233436
3	0.5	0.75	64270	16050039.1	0.720852	0.7645	0.2645	-0.0145
4	0.75	1	65670	29227539.1	0.972756	0.834663	0.084663	0.165337
Total			241055	92662768.8				

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

1. Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah:
2. H₀ : Data waktu kerusakan berdistribusi lognormal
3. H₁ : Data waktu kerusakan tidak berdistribusi lognormal
4. Taraf nyata = $\alpha = 0,05$
5. Nilai D_{tabel} diperoleh dari *critical value for kolmogorof smirnof test*

6. Wilayah Kritis terima H_0 jika $D_{hitung} < D_{tabel}$

7. Taraf nyata = $\alpha = 0,05$

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} = 60263,75$$

8.
$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1} =, s = 5557,660$$

9. Uji statistiknya adalah : $D = \max \{D_1, D_2\}$

$$D_1 = \max \left\{ \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} = 0,2645$$

10. dimana :

$$D_2 = \max \left\{ \frac{1}{n} - \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) \right\} = 0,2334$$

11. Nilai Z_i diperoleh dari tabel normal atau formula *normsdist* pada microsof excel.

12. $D_n = \max(D_1, D_2) = 0,2645$

13. Nilai $D_{crit}(4, 0,05) = 0,317$ (Diperoleh dari Tabel *Kolmogorov-Smirnov*)

14. Kesimpulan: Karena $D_n(0,2645) < D_{crit}(0,317)$ maka H_0 diterima yang berarti distribusi TTF untuk komponen ini adalah distribusi lognormal.

Pengujian Keselarasan TTR Komponen *Tailstock*

Berdasarkan perhitungan *index of fit* terbesar TTR dari komponen *Tailstock* menunjukkan bahwa distribusi yang terpilih adalah distribusi weibull. Maka dari itu uji keselarasan yang terpilih adalah uji *Mann's Test*. Hasil perhitungan uji keselarasan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.20 Perhitungan Uji Keselarasan TTR Komponen *Tailstock*

i	t _i	ln t _i	$1 - \frac{(i-0,5)}{(n+0,25)}$	Z _i	M _i	$\frac{\ln_{i+1} - \ln_i}{M_i}$	$\frac{(\ln_{i+1} - \ln_i)}{M_i}$
1	75	4.317488	0.904762	-2.30175086	1.212511	0.064539	0.053227
2	80	4.382027	0.714286	-1.08923964	0.653254	0.17185	0.263068
3	95	4.553877	0.52381	-0.4359854	0.530033	0	0
4	95	4.553877	0.333333	0.09404783	0.571682	0.051293	0.089723
5	100	4.60517	0.142857	0.66572981			
Total	445		2.619048				

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

- Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah:
- H_0 : Data waktu kerusakan berdistribusi Weibull.
- H_1 : Data waktu kerusakan tidak berdistribusi Weibull.
- Wilayah kritis : Terima H_0 jika nilai $M < F_{tabel}$
- Nilai F_{tabel} diperoleh dari tabel F.
- Taraf nyata = $\alpha = 0,05$
- Perhitungan untuk $i = 1$
 $\ln(t_i) = \ln(110) = 4,70$
Degree of freedom pembilang (V_1) = $2k_2 = 2 \times 2 = 4$
Degree of freedom penyebut (V_2) = $2k_1 = 2 \times 2,5 = 5$
- Hasil perhitungan $M = 0,354588$
- Nilai $F_{tabel(0,05;4;5)} = 5,19$
- Karena $M(5,19) < F_{tabel(0,05;4;5)}(0,354588)$, maka hipotesis (H_0) diterima dan data waktu perbaikan berdistribusi Weibull.