

**USULAN PENJADWALAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* DENGAN
MODEL *AGE REPLACEMENT* UNTUK MENINGKATKAN
KEANDALAN MESIN CNC *MILLING* PADA PT ARISTO
SATRIA MANDIRI INDONESIA**

TUGAS AKHIR

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

OLEH

NAMA : YUNITA ENDAH

NIM : 1112085



**POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI
JAKARTA**

2016

**POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI**

LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

**JUDUL TUGAS AKHIR : USULAN PENJADWALAN *PREVENTIVE
MAINTENANCE* DENGAN MODEL *AGE
REPLACEMENT* UNTUK MENINGKATKAN
KEANDALAN MESIN *CNC MILLING* PADA
PT ARISTO Satria Mandiri Indonesia**

**DISUSUN OLEH :
NAMA : YUNITA ENDAH
NIM : 1112085
PROGRAM STUDI : TEKNIK INDUSTRI OTOMOTIF**

**Telah Diperiksa dan Disetujui Untuk Diajukan dan Dipertahankan Dalam
Ujian Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta**

**Menyetujui,
Jakarta, Oktober 2016**

Dosen Pembimbing

Asisten Dosen Pembimbing

**Ir. Moh. Rahmatullah, MBA
195504071984031004**

**Dianasanti Salati, ST, MT
198109112009012007**

POLITEKNIK STMI JAKARTA
d.h. SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL TUGAS AKHIR : USULAN PENJADWALAN *PREVENTIVE MAINTENANCE*
DENGAN MODEL *AGE REPLACEMENT* UNTUK
MENINGKATKAN KEANDALAN MESIN CNC *MILLING*
PADA PT ARISTO SATRIA MANDIRI INDONESIA

DISUSUN OLEH :

NAMA : YUNITA ENDAH

NIM : 1112085

PROGRAM STUDI : TEKNIK INDUSTRI OTOMOTIF

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta pada Hari Kamis
Tanggal 27 Oktober 2016.

Jakarta, November 2016

Dosen Penguji 1,

Dosen Penguji 2,

Irma Agustiningsih Imdam, S.ST, MT

Muhamad Agus, ST, MT

NIP. 197208012003122002

NIP. 197008292002121001

Dosen Penguji 3,

Dosen Penguji 4,

Siti Aisyah, ST, MT

NIP. 197712172002122003

Ir. Moh. Rahmatullah, MBA

NIP. 195504071984031004

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yunita Endah
NIM : 1112085
Program Studi : Teknik Industri Otomotif

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

USULAN PENJADWALAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* DENGAN MODEL *AGE REPLACEMENT* UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN MESIN CNC *MILLING* PADA PT ARISTO SATRIA MANDIRI INDONESIA.

- **Dibuat** dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, asistensi dengan dosen pembimbing maupun asisten dosen pembimbing, serta buku-buku maupun jurnal-jurnal ilmiah yang menjadi bahan acuan yang tertera dalam referensi Tugas Akhir ini.
- **Bukan** merupakan hasil duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/ Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan sebagai referensi pendukung, untuk melengkapi informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.
- **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 di atas, maka saya bersedia menerima sanksi atas apa yang telah saya lakukan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Jakarta, Oktober 2016
Yang membuat pernyataan

Yunita Endah

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Tuhan semesta alam, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir ini dikerjakan untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan (S.ST) pada Jurusan Teknik Manajemen Industri di Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.

Pada kesempatan kali ini, penulis bermaksud untuk menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Alm. Bapak yang telah banyak mendidik dan memberikan perhatian dan kasih sayangnya selama beliau ada di dunia ini, dan juga Ibu, Dodi, Wisnu, Mba Dewi atas semua perhatian, dukungan, dan doanya selama perjalanan hidup penulis dan pembuatan Tugas Akhir ini. Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam penulisan Tugas Akhir ini. Semoga segala bantuan yang telah diberikan menjadi amal ibadah yang diterima Allah SWT. Amin. Ucapan terima kasih ini ingin penulis sampaikan kepada:

- Bapak Dr. Mustofa, ST, MT selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
- Bapak Dr. Ridzky Kramanandita, S.Kom., MT, selaku Pembantu Direktur I Politeknik STMI Jakarta.
- Bapak Muhamad Agus, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Otomotif Politeknik STMI Jakarta.
- Bapak Ir. Moh. Rahmatullah, MBA selaku Dosen Pembimbing dan Ibu Dianasanti Salati, ST, MT selaku Asisten Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan memberikan masukan dan pembelajaran serta petunjuk yang berguna dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Bapak Ir. Dadi Siswaya selaku direktur dan Kak Trency Emerald selaku wakil direktur PT Aristo Satria Mandiri Indonesia yang telah mengizinkan penulis untuk melaksanakan penelitian di PT Aristo Satria Mandiri Indonesia.

- Kak Oki Denialsyah selaku pembimbing penulis di lapangan dan seluruh karyawan yang telah banyak membantu dalam penelitian penulis.
- Tommy Sakti dan Putri Apriyanti sebagai teman seperjuangan selama bimbingan atas *sharing* dan telah memberikan tambahan ilmu yang berguna bagi penulis.
- Teman-teman Next Trip dan seperjuangan, Fitri BS, Dana N, Nindia AV, Roro AA, Mia H, N Fatikah, Ayu W, Sapti W, Tommy S, M Trimulya, Wahyudi KI, Septian EP, Tri Angga P, dan Ulul A. Terima kasih telah menjadi teman terbaik bagi penulis dan atas semua dukungan, cerita, pengalaman serta perjalanan yang telah terlewati. Semua itu begitu berkesan dan ditunggu trip berikutnya.
- Teman-teman TMI 2012 yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu, terima kasih telah memberikan masukan dan dukungan selama ini.
- Garnis Eka Suhendar dan Anisa Dwi Aprilia yang selalu mengingatkan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, dan selalu memberikan dukungan serta semangat kepada penulis.
- Semua pihak lain yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung selama masa perkuliahan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan, kemampuan, dan pengalaman yang dimiliki. Untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis menerima segala kritik dan saran dari pembaca demi perbaikan dimasa yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca, khususnya bagi kepentingan mahasiswa Politeknik STMI Jakarta.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Jakarta, Agustus 2016

Yunita Endah

ABSTRAK

PT Aristo Satria Mandiri Indonesia (PT ASMI) merupakan perusahaan yang memproduksi berbagai produk *precision part*, *plastic moulding*, *jig*, dan *die casting*. PT ASMI memiliki jam kerja selama 7 jam per hari. Sistem produksi yang diterapkan adalah sistem produksi *job order*, dimana produksi yang dilakukan sesuai dengan pesanan *costumer*. Mesin-mesin yang ada pada PT ASMI dipelihara dengan program *corrective maintenance*. Program pemeliharaan tersebut tidak tepat karena kerusakan mesin masih sering terjadi khususnya pada mesin CNC *milling* Quaser. Mesin tersebut memiliki frekuensi kerusakan terbanyak dalam periode Januari 2014-Desember 2015 jika dibandingkan dengan mesin CNC *milling* lainnya, yaitu sebanyak 20 kali kerusakan komponen. Frekuensi kerusakan tersebut menyebabkan waktu untuk memperbaiki kerusakan pada mesin CNC *milling* menjadi lama dan mengakibatkan terhentinya produksi. Mengingat pentingnya peran mesin dalam proses produksi PT ASMI, diperlukan program pemeliharaan yang lebih tepat dari yang sebelumnya untuk meminimasi waktu kerusakan mesin dan meningkatkan keandalan (*reliability*) mesin. Pemeliharaan yang diusulkan adalah *preventive maintenance* dengan menggunakan model *age replacement*, yaitu komponen mesin kritis diganti dengan yang baru untuk mencegah terjadinya kerusakan. Komponen mesin kritis untuk mesin CNC *milling* Quaser adalah *bearing* dan *tools collet chuck*. Komponen *bearing* memiliki interval penjadwalan penggantian komponen selama 17.900 menit sekali atau 45 hari sekali dengan keandalan setelah dilakukannya *preventive maintenance* sebesar 80,3177%. *Tools collet chuck* memiliki interval penjadwalan penggantian komponen selama 32.250 menit sekali atau selama 81 hari sekali dengan keandalan setelah dilakukannya *preventive maintenance* sebesar 86,0569%.

Kata kunci: pemeliharaan, keandalan, *corrective maintenance*, *preventive maintenance*, *age replacement*.

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	
Lembar Persetujuan Dosen Pembimbing	
Lembar Bimbingan Tugas Akhir	
Lembar Pernyataan Keaslian	
Lembar Pengesahan Sidang	
Abstrak	
Kata Pengantar	i
Daftar Isi.....	iii
Daftar Tabel	vii
Daftar Gambar.....	x
Daftar Lampiran	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Pembatasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. Pemeliharaan (<i>Maintenance</i>).....	6
2.1.1. Definisi Pemeliharaan (<i>Maintenance</i>)	6
2.1.2. Tujuan Pemeliharaan	6
2.1.3. Kegiatan-Kegiatan Pemeliharaan	7
2.1.4. Jenis Pemeliharaan.....	9
2.1.5. <i>Preventive Maintenance</i>	11
2.2. Pengertian <i>Downtime</i>	14
2.3. Ketersediaan (<i>Availability</i>).....	15

2.4. Keandalan (<i>Reliability</i>).....	16
2.4.1. Definisi Keandalan (<i>Reliability</i>).....	16
2.4.2. Fungsi Keandalan (<i>Reliability Function</i>).....	18
2.5. Keterawatan (<i>Maintainability</i>)	19
2.5.1. <i>Mean Time To Failure (MTTF)</i>	19
2.5.2. <i>Mean Time To Repair (MTTR)</i>	19
2.6. Kerusakan	20
2.6.1. Karakteristik Kerusakan	20
2.6.2. Distribusi–Distribusi Kerusakan.....	22
2.6.3. Identifikasi Distribusi dan Perhitungan Parameter Distribusi	28
2.7. Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Optimal Dengan Minimasi <i>Downtime</i>	37
2.7.1. <i>Age Replacement</i>	38
2.8. Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Tanpa dan Dengan Tindakan <i>Preventive Maintenance</i>	39

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Studi Pendahuluan	46
3.2. Perumusan Masalah.....	48
3.3. Tujuan Penelitian dan Pembatasan Masalah	48
3.4. Landasan Teori	48
3.5. Pengumpulan Data.....	48
3.6. Pengolahan Data	49
3.7. Analisis dan Pembahasan	51
3.8. Kesimpulan dan Saran	52

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan Data.....	53
4.1.1. Sejarah Perusahaan	53
4.1.2. Visi, Misi, dan Motto Perusahaan.....	55
4.1.3. Struktur Organisasi Perusahaan	55

4.1.4. Tenaga Kerja.....	56
4.1.5. Jam Kerja.....	57
4.1.6. Program Pemeliharaan.....	57
4.1.7. Hasil Produksi.....	58
4.1.8. Prosedur Produksi.....	60
4.1.9. Daftar Mesin	61
4.1.10. Data <i>Equipment Failure</i> Mesin	62
4.2. Pengolahan Data.....	62
4.2.1. Penentuan Mesin Kritis.....	62
4.2.2. Penentuan Komponen Mesin Kritis.....	63
4.2.3. Perhitungan <i>Time To Failure (TTF)</i> dan <i>Time To Repair (TTR)</i> Komponen Mesin Kritis.....	65
4.2.4. Perhitungan <i>Index Of Fit</i>	67
4.2.5. Uji Kesesuaian Distribusi Terpilih (<i>Goodness Of Fit</i>).	80
4.2.6. Perhitungan Estimasi Parameter Distribusi Pilihan.....	87
4.2.7. Perhitungan MTTF dan MTTR	96
4.2.8. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan dengan <i>Age Replacement</i>	99
4.2.9. Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Komponen Kritis Tanpa dan Dengan Adanya <i>Preventive Maintenance</i> ...	102

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis Penentuan Mesin Kritis	108
5.2. Analisis Penentuan Komponen Mesin Kritis	108
5.3. Analisis Perhitungan <i>Time To Failure (TTF)</i> dan <i>Time To Repair (TTR)</i>	108
5.4. Analisis Identifikasi Distribusi (<i>Index Of Fit</i>).....	109
5.5. Analisis Kesesuaian Distribusi (<i>Goodness Of Fit</i>).....	110
5.6. Analisis Perhitungan <i>Mean Time To Failure (MTTF)</i> dan <i>Mean Time To Repair (MTTR)</i>	112

5.7. Analisis Interval Waktu Penggantian Pencegahan dengan <i>Age Replacement</i>	114
5.8. Analisis Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Komponen Kritis Tanpa dan Dengan Adanya <i>Preventive Maintenance</i>	115

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan.....	117
6.2. Saran	118

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel II.1.	Parameter β (<i>Shape</i>) dalam Distribusi Weibull.....	25
Tabel II.2.	Tabel Perbandingan Distribusi-Distribusi Kerusakan	27
Tabel II.3.	Tabel Perbandingan Perhitungan <i>Index Of Fit</i>	31
Tabel II.4.	Tabel Perbandingan Perhitungan Parameter Distribusi Kerusakan	33
Tabel II.5.	Tabel Perbandingan Uji <i>Goodness Of Fit</i>	37
Tabel II.6.	Tabel Perbandingan Perhitungan <i>Reliability</i> Distribusi Tanpa Dan Dengan Adanya Penggantian Pencegahan	42
Tabel III.1.	<i>State Of The Art</i>	47
Tabel IV.1.	Rincian Jumlah Tenaga Kerja Pada PT Aristo Satria Mandiri Indonesia	56
Tabel IV.2.	Jam Kerja Karyawan PT Aristo Satria Mandiri Indonesia	57
Tabel IV.3.	Prosedur Produksi PT Aristo Satria Mandiri Indonesia.....	60
Tabel IV.4.	Daftar Mesin Pada PT Aristo Satria Mandiri Indonesia.....	61
Tabel IV.5.	Tabel Frekuensi Kerusakan Mesin CNC <i>Milling</i>	62
Tabel IV.6.	Frekuensi Kerusakan Komponen Mesin CNC <i>Milling</i> Quaser ..	63
Tabel IV.7.	Frekuensi Kerusakan <i>Tools</i> Mesin CNC <i>Milling</i> Quaser	64
Tabel IV.8.	Data Kerusakan dan Perhitungan TTF dan TTR Komponen <i>Bearing</i>	65
Tabel IV.9.	Data Kerusakan dan Perhitungan TTF dan TTR <i>Tools</i> <i>Collet Chuck</i>	66
Tabel IV.10	Distribusi Eksponensial TTF Komponen <i>Bearing</i>	67
Tabel IV.11.	Distribusi Eksponensial TTR Komponen <i>Bearing</i>	69
Tabel IV.12.	Distribusi Weibull TTF Komponen <i>Bearing</i>	70
Tabel IV.13.	Distribusi Weibull TTR Komponen <i>Bearing</i>	71
Tabel IV.14.	Distribusi Normal TTF Komponen <i>Bearing</i>	73
Tabel IV.15.	Distribusi Normal TTR Komponen <i>Bearing</i>	74
Tabel IV.16.	Distribusi Lognormal TTF Komponen <i>Bearing</i>	75
Tabel IV.17.	Distribusi Lognormal TTR Komponen <i>Bearing</i>	76

Tabel IV.18. Rekapitulasi Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Komponen Mesin	
Kritis	78
Tabel IV.19. Perhitungan <i>Kolmogorov-Smirnov Test</i> TTF Komponen	
<i>Bearing</i>	80
Tabel IV.20. Perhitungan <i>Mann's Test</i> TTR Komponen <i>Bearing</i>	82
Tabel IV.21. Perhitungan <i>Kolmogorov-Smirnov Test</i> TTF <i>Tools</i>	
<i>Collet Chuck</i>	84
Tabel IV.22. Perhitungan <i>Mann's Test</i> TTR <i>Tools Collet Chuck</i>	85
Tabel IV.23. Rekapitulasi Uji <i>Goodness Of Fit</i> TTF.....	87
Tabel IV.24. Rekapitulasi Uji <i>Goodness Of Fit</i> TTR	87
Tabel IV.25. Perhitungan MLE TTF Komponen <i>Bearing</i>	88
Tabel IV.26. Perhitungan MLE TTR Komponen <i>Bearing</i>	88
Tabel IV.27. Iterasi Metode Newton-Raphson Komponen <i>Bearing</i>	89
Tabel IV.28. Iterasi Keempat Metode Newton-Raphson Komponen <i>Bearing</i>	90
Tabel IV.29. Iterasi Kelima Metode Newton-Raphson Komponen <i>Bearing</i> ...	90
Tabel IV.30. Perhitungan MLE TTF <i>Tools Collet Chuck</i>	92
Tabel IV.31. Perhitungan MLE TTR <i>Tools Collet Chuck</i>	93
Tabel IV.32. Iterasi Metode Newton-Raphson <i>Tools Collet Chuck</i>	93
Tabel IV.33. Iterasi Keempat Metode Newton-Raphson <i>Tools Collet</i>	
<i>Chuck</i>	94
Tabel IV.34. Iterasi Kelima Metode Newton-Raphson <i>Tools Collet</i>	
<i>Chuck</i>	94
Tabel IV.35. Rekapitulasi Perhitungan MTTF dan MTTR.....	96
Tabel IV.36. Perhitungan Laju Kerusakan Komponen <i>Bearing</i>	97
Tabel IV.37. Perhitungan Laju Kerusakan <i>Tools Collet Chuck</i>	98
Tabel IV.38. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen	
<i>Bearing</i>	100
Tabel IV.39. Rekapitulasi Perhitungan Interval Waktu Penggantian	102
Tabel IV.40. Simulasi Perhitungan Tingkat Keandalan Komponen <i>Bearing</i>	
Tanpa dan Dengan Adanya <i>Preventive Maintenance</i>	103

Tabel IV.41. Rekapitulasi Keandalan Tanpa dan Dengan Adanya <i>Preventive Maintenance</i>	107
Tabel V.1. Penjadwalan Penggantian Komponen <i>Bearing</i>	115
Tabel V.2. Penjadwalan Penggantian <i>Tools Collet Chuck</i>	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Hubungan Antara Berbagai Bentuk Pemeliharaan	9
Gambar II.2.	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> Berdasarkan <i>Six Big Losses</i>	14
Gambar II.3.	Diagram Hubungan Antara Keandalan (<i>Reliability</i>) dengan Perawatan (<i>Maintenance</i>).....	18
Gambar II.4	<i>The Bathtub Curve</i>	20
Gambar II.5.	Model Penggantian Umur (<i>Age Replacement</i>).....	38
Gambar III.1.	Kerangka Pemecahan Masalah	44
Gambar IV.1.	Struktur Organisasi PT Aristo Satria Mandiri Indonesia	56
Gambar IV.2.	Hasil Produksi PT ASMI	58
Gambar IV.3.	CNC <i>Milling</i> Quaser	63
Gambar IV.4.	Komponen Mesin Kritis CNC <i>Milling</i> Quaser.....	64
Gambar IV.5.	Hasil Perhitungan Data <i>Time To Failure</i> Komponen <i>Bearing</i> dengan <i>Software</i> MINITAB 14	79
Gambar IV.6.	Hasil Perhitungan Data <i>Time To Repair</i> Komponen <i>Bearing</i> dengan <i>Software</i> MINITAB 14	79
Gambar IV.7.	Grafik Tingkat Keandalan Komponen <i>Bearing</i> Tanpa dan Dengan Adanya <i>Preventive Maintenance</i>	106
Gambar V.1.	Grafik Laju Kerusakan	113

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Data Kerusakan Komponen Kritis dan *Tools* Mesin CNC *Milling*
Quaser
- Lampiran B Prosedur Pemeliharaan (*Maintenance*)
- Lampiran C Tabel-Tabel yang Digunakan
- Lampiran D Perhitungan *Index Of Fit*, *Age Replacement*, dan Keandalan
Tools Collet Chuck

BAB I

PENDAHULUAN

1.7. Latar Belakang

Perusahaan dalam menjalankan proses produksinya bertujuan untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Pemenuhan kebutuhan tersebut dilakukan dengan cara membuat produk yang berkualitas baik dan tepat waktu. Hal tersebut dapat dicapai apabila salah satu faktor yang mendukung proses produksi, yaitu mesin, memiliki kinerja yang baik. Kinerja mesin perlu dipertahankan oleh perusahaan sehingga nilai keandalan mesin dapat terjaga. Mesin yang digunakan untuk proses produksi dapat gagal secara tiba-tiba dan mengakibatkan mesin tersebut berhenti. Kegagalan mesin tersebut dapat mengganggu kelancaran proses produksi yang mengakibatkan proses produksi menjadi terhambat.

PT Aristo Satria Mandiri Indonesia (PT ASMI) merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak dalam pembuatan produk *precision part, jig, die casting*, dan *plastic moulding*. Produk-produk yang dibuat merupakan produk yang dipesan oleh konsumen sehingga harus sesuai dengan spesifikasi dan standar yang telah ditetapkan. Produk-produk tersebut akan melalui serangkaian proses dalam rantai produksi, dimana salah satu prosesnya melewati mesin CNC *milling*. Mesin CNC *milling* merupakan mesin otomatis yang digunakan untuk memproses benda kerja yang berbentuk balok.

Pemeliharaan yang diterapkan pada PT ASMI adalah pemeliharaan perbaikan (*corrective maintenance*). Pemeliharaan perbaikan merupakan kegiatan perbaikan mesin setelah mesin mengalami kegagalan dan berhenti. Tidak tepatnya program pemeliharaan yang diterapkan tersebut mengakibatkan mesin CNC *milling* pada PT ASMI mempunyai banyak waktu kegagalan mesin. Kegagalan tersebut diakibatkan oleh komponen-komponen yang mengalami kerusakan. Untuk memperbaikinya membutuhkan waktu, dan hal inilah yang merugikan perusahaan

karena proses produksi menjadi berhenti dalam waktu yang lama. Kegagalan ini juga mengakibatkan rendahnya nilai keandalan dari mesin CNC *milling*.

Bentuk pemeliharaan yang lebih tepat untuk mengatasi permasalahan pada mesin CNC *milling* adalah pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*). Pemeliharaan pencegahan merupakan pemeliharaan yang dilakukan untuk mencegah adanya kegagalan pada mesin. Pemeliharaan pencegahan yang terjadwal akan berdampak baik bagi perusahaan karena dapat meningkatkan nilai keandalan mesin, dan menjadikan kegiatan produksi perusahaan lebih lancar sehingga meningkatkan volume produksi. Bentuk pemeliharaan pencegahan yang diusulkan untuk mesin CNC *milling* menggunakan *age replacement*. *Age replacement* dapat menentukan interval penggantian komponen-komponen kritis yang optimal pada mesin CNC *milling*. Waktu yang dibutuhkan untuk penggantian komponen secara terjadwal dapat lebih singkat daripada waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan. Nilai keandalan dari mesin CNC *milling* juga dapat dipertahankan dengan baik karena menjadi minimnya kegagalan-kegagalan mesin yang terjadi.

1.2. Perumusan Masalah

Dari permasalahan yang telah dijelaskan, maka perumusan masalah yang dihadapi adalah sebagai berikut:

1. Mesin CNC *milling* manakah yang merupakan mesin kritis dari kelompok mesin CNC *milling*?
2. Komponen mesin CNC *milling* apa yang merupakan komponen kritis pada mesin CNC *milling* PT ASMI?
3. Bagaimana penjadwalan penggantian komponen mesin agar keandalan mesin CNC *milling* dapat meningkat?

1.3. Tujuan Penelitian

Sesuai dengan permasalahan yang dihadapi, maka tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan mesin CNC *milling* kritis dari kelompok mesin CNC *milling*.
2. Menentukan komponen mesin kritis dari mesin CNC *milling* pada PT ASMI.
3. Membuat penjadwalan penggantian komponen mesin agar keandalan mesin CNC *milling* dapat meningkat.

1.4. Pembatasan Masalah

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

1. Penelitian dilaksanakan di PT Aristo Satria Mandiri Indonesia.
2. Penentuan kelompok mesin kritis berdasarkan wawancara dan diskusi dengan bagian *maintenance*.
3. Kelompok mesin yang menjadi fokus utama pada penelitian ini adalah kelompok mesin CNC *milling*.
4. Penelitian ini menggunakan data kerusakan komponen pada mesin CNC *milling* selama periode Januari 2014-Desember 2015.
5. Material, biaya, dan kebutuhan tenaga kerja tidak diperhitungkan.
6. Fokus pada penjadwalan penggantian komponen kritis.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Bagi perusahaan, dapat mengetahui jadwal penggantian komponen mesin berdasarkan model *age replacement*.
2. Bagi penulis, dapat menambah pengetahuan dan wawasan mengenai penjadwalan penggantian komponen mesin.
3. Bagi peneliti lain, hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan dan informasi untuk melakukan penelitian selanjutnya secara lebih mendalam.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini terdiri dari enam bab dengan rincian sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan penjelasan tentang teori-teori yang relevan dengan permasalahan yang akan dibahas dan digunakan sebagai landasan teori dalam menyusun penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang akan ditempuh untuk memecahkan permasalahan. Berisikan gambaran, pola pikir, dan langkah-langkah sistematis yang akan dilakukan.

BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Dalam bab ini diuraikan mengenai pengumpulan yang berisi tentang sejarah perusahaan, visi dan misi perusahaan, jam kerja perusahaan, hingga struktur organisasi perusahaan serta data *equipment failure* mesin produksi CNC *milling*. Pengolahan data berisikan mengenai penentuan mesin CNC *milling* kritis, perhitungan *time to failure* dan *time to repair*, perhitungan nilai *index of fit*, pengujian *goodness of fit*, perhitungan nilai *mean time to failure* dan *mean time to repair*. Selanjutnya nilai tersebut diolah dengan model *age replacement*, dan dihitung tingkat keandalannya.

BAB V : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan analisis dan pembahasan dari hasil pengumpulan dan pengolahan data. Analisis yang dilakukan yaitu analisis hasil penjadwalan dengan interval waktu penggantian komponen kritis pada mesin CNC *milling*.

BAB VI: KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini dijelaskan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan berdasarkan pengolahan dan analisis masalah. Serta memberikan saran-saran yang membangun sebagai perbaikan bagi perusahaan dimasa yang akan datang.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Pemeliharaan (*Maintenance*)

2.1.1. Definisi Pemeliharaan (*Maintenance*)

Menurut Assauri (2004), pemeliharaan (*maintenance*) dapat diartikan sebagai kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas/ peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian/ 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/ peralatan pabrik dapat dipergunakan untuk produksi sesuai dengan rencana, dan tidak mengalami kerusakan selama fasilitas/ peralatan tersebut dipergunakan untuk proses produksi atau sebelum jangka waktu tertentu yang direncanakan tercapai.

Menurut Corder (1996), pemeliharaan adalah suatu kombinasi dari setiap tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang, atau untuk memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima.

Menurut Stephens (2004), pemeliharaan dapat didefinisikan sebagai seluruh aktifitas yang diperlukan untuk menjaga sistem dan semua komponennya dapat bekerja dengan baik.

Lebih jauh Ebeling (1997) mendefinisikan pemeliharaan sebagai bentuk kegiatan yang dilakukan untuk mencapai hasil yang mampu mengembalikan *item* atau mempertahakannya pada kondisi yang selalu dapat berfungsi.

2.1.2. Tujuan Pemeliharaan

Dalam istilah pemeliharaan (*maintenance*) tercakup dua pekerjaan yaitu istilah perawatan dan perbaikan. Perawatan dimaksudkan sebagai aktifitas untuk mencegah kerusakan, sedangkan istilah perbaikan dimaksudkan sebagai tindakan untuk memperbaiki kerusakan. Pemilihan program perawatan akan mempengaruhi

kelangsungan produktivitas produksi pabrik. Karena itu perlu dipertimbangkan secara cermat mengenai bentuk perawatan yang akan digunakan terutama berkaitan dengan kebutuhan produksi, waktu, biaya, keterandalan tenaga perawatan, dan kondisi peralatan yang dikerjakan.

Tujuan pemeliharaan yang utama antara lain (Corder, 1996):

1. Untuk memperpanjang usia penggunaan aset 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.

2.1.3. Kegiatan-Kegiatan Pemeliharaan

Semua kegiatan pemeliharaan dapat digolongkan ke dalam salah satu dari lima tugas pokok yang berikut (Assauri, 2004):

1. Inspeksi (*Inspection*)

Kegiatan inspeksi meliputi kegiatan pengecekan atau pemeriksaan secara berkala 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:

- a. Keadaan peralatan yang diinspeksi.

- b. Sebab-sebab terjadinya kerusakan bila ada.
 - c. Usaha-usaha penyesuaian atau perbaikan kecil yang telah dilakukan.
 - d. Saran-saran/ usul-usul perbaikan atau penggantian yang diperlukan.
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 bangunan dan peralatan pabrik. Oleh karena itu kegiatan teknik ini sangat diperlukan terutama apabila dalam perbaikan mesin-mesin yang rusak tidak diperoleh atau 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.
3. Kegiatan Produksi (*Production*)
- 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, serta melaksanakan kegiatan lubrikasi. Kegiatan produksi ini dimaksudkan agar kegiatan pengolahan/ pabrik dapat berjalan lancar sesuai dengan rencana, sehingga diperlukan usaha-usaha perbaikan segera jika terdapat kerusakan pada peralatan.
4. Pekerjaan Administrasi (*Clerical Work*)
- Pekerjaan administrasi 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 lamanya perbaikan tersebut, dan komponen atau *spare parts* yang tersedia di bagian pemeliharaan. Jadi dalam kegiatan

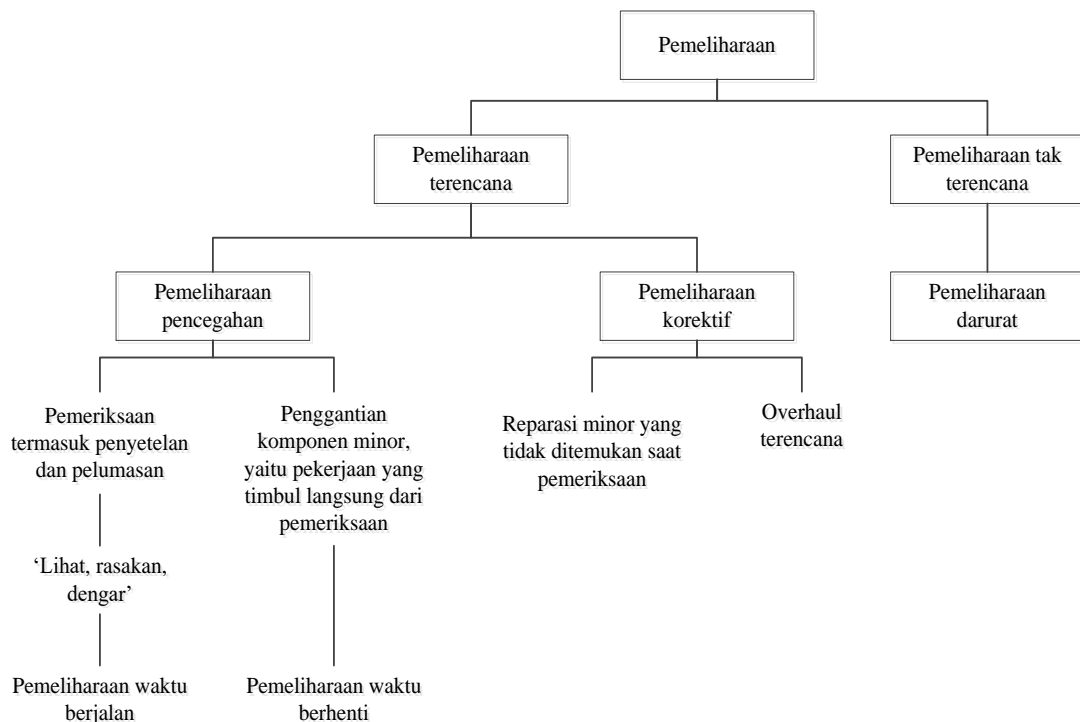
pencatatan ini termasuk penyusunan *planning* dan *scheduling*, yaitu rencana kapan suatu mesin harus dicek/ diperiksa, diminyaki/ diservice dan direparasi.

5. Pemeliharaan Bangunan (*Housekeeping*)

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

2.1.4. Jenis Pemeliharaan

Pemeliharaan dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu pemeliharaan terencana (*planned maintenance*) dan pemeliharaan tidak terencana (*unplanned maintenance*). Kedua jenis pemeliharaan tersebut dapat dilihat pada Gambar II.1.



Gambar II.1. Hubungan Antara Berbagai Bentuk Pemeliharaan
(Sumber: Corder, 1996)

1. Pemeliharaan Terencana (*Planned Maintenance*)

Pemeliharaan Terencana (*Planned Maintenance*) adalah pemeliharaan yang dijadwalkan dan dilakukan dengan pemikiran ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya (Corder, 1996).

Keuntungan dilakukan *planned maintenance* antara lain:

- a. Pengurangan pemeliharaan darurat, ini tidak diragukan lagi, merupakan alasan utama untuk merencanakan pekerjaan pemeliharaan.
- b. Pengurangan waktu menganggur (*idle*), hal ini tidaklah sama dengan pengurangan waktu reparasi pemeliharaan darurat. Waktu yang digunakan untuk pembelian suku cadang, baik dibeli dari luar atau dibuat lokal, mengakibatkan waktu menganggur meskipun pekerjaan darurat tersebut misalnya hanya memasang bagian mesin yang tidak lama.
- c. Meningkatkan ketersediaan (*availability*) untuk produksi, hal ini erat hubungannya dengan pengurangan waktu menganggur pada mesin atau pelayanan.
- d. Meningkatkan penggunaan tenaga kerja untuk pemeliharaan dan produksi.
- e. Pengurangan penggantian suku cadang.
- f. Meningkatkan efisiensi mesin/ peralatan.

Pemeliharaan terencana terdiri dari tiga macam, yaitu sebagai berikut:

1. 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 (Corder, 1996).

2. Pemeliharaan Perbaikan (*Corrective Maintenance*)

Corrective maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian (termasuk penyetelan dan reparasi) yang telah terhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima (Corder, 1996). Dalam perbaikan dapat dilakukan peningkatan-peningkatan sedemikian rupa,

seperti melakukan perubahan atau modifikasi rancangan agar peralatan menjadi lebih baik. Pemeliharaan ini bertujuan untuk mengubah mesin sehingga operator yang menggunakan mesin tersebut menjadi lebih mudah dan dapat mengurangi *equipment failure*.

3. *Predictive Maintenance*

Predictive Maintenance adalah pemeliharaan pencegahan yang diarahkan untuk mencegah kegagalan (*failure*) 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 ditemukan selama pemeriksaan.

2. Pemeliharaan Tak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

Pada *unplanned maintenance* hanya ada satu jenis pemeliharaan yang dapat dilakukan yaitu *emergency maintenance*. *Emergency maintenance* didefinisikan sebagai pemeliharaan dimana perlu segera dilaksanakan tindakan untuk mencegah akibat yang serius, misalnya hilangnya produksi, kerusakan besar pada peralatan, atau untuk alasan keselamatan kerja (Corder, 1996).

Adanya berbagai jenis pemeliharaan di atas diharapkan dapat menjadi alternatif untuk melakukan pemeliharaan sesuai dengan kondisi yang dialami perusahaan. Sebaiknya pemeliharaan yang baik adalah pemeliharaan yang tidak mengganggu jadwal produksi atau dijadwalkan sebelum kerusakan mesin terjadi sehingga tidak mengganggu produktivitas mesin.

2.1.5. *Preventive Maintenance*

Subbab 2.1.4. telah menjelaskan secara singkat mengenai *preventive maintenance*, akan tetapi karena fokus pada penelitian ini adalah *preventive maintenance*, maka pada subbab ini akan dibahas mengenai *preventive maintenance* secara lebih mendalam.

Menurut Stephens (2004), *preventive maintenance* dapat didefinisikan sebagai kegiatan pemeliharaan yang telah ditetapkan dan terjadwal yang didesain untuk mengurangi kerusakan peralatan atau mesin, meningkatkan keandalan peralatan

atau mesin, dan memperbaiki produktivitas. Keuntungan dari *preventive maintenance* termasuk peningkatan umur pemanfaatan peralatan, mengurangi pemberhentian produksi dan keterlambatan mesin, lebih tepat dalam jadwal pengiriman, dan meningkatkan semangat kerja karyawan.

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.

Secara umum tujuan dari *preventive maintenance* adalah sebagai berikut:

1. Meminimumkan *downtime* serta meningkatkan efektivitas mesin/ peralatan dan menjaga agar mesin dapat berfungsi tanpa ada gangguan.
2. Meningkatkan keandalan mesin/ peralatan.
3. Meningkatkan efisiensi dan umur ekonomis mesin/ peralatan.

1. Jenis *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance dapat digolongkan menjadi dua kategori, yaitu sebagai berikut (Stephens, 2004):

a. *Routine Preventive Maintenance*

Routine preventive maintenance adalah kegiatan yang berkaitan dengan pembersihan dan kegiatan rutin yang normalnya dilakukan oleh operator mesin. Kegiatan ini melibatkan partisipasi operator mesin dalam kegiatan-kegiatan dasar dan dapat dikerjakan hanya dalam beberapa menit. Keterlibatan operator mesin meningkatkan rasa pemberdayaan dan kepemilikan terhadap peralatan dan dapat meringankan beban pihak *maintenance* dalam menjalankan tugas harian. *Routine preventive maintenance* dilakukan secara sistematis dan mengacu pada jadwal yang telah ditetapkan, seperti kegiatan pembersihan, inspeksi, pelumasan, dan beberapa kegiatan pemeliharaan rutin lainnya.

1) *Cleaning* (Pembersihan)

Pembersihan termasuk membersihkan debu dan minyak dari peralatan dan mesin. Pembersihan adalah langkah awal dalam inspeksi dan pendeteksian masalah-masalah yang sudah dan akan terjadi.

2) *Inspection* (Inspeksi)

Dalam inspeksi, operator perlu memeriksa komponen yang hilang atau rusak, mengecek level dari *coolant*, dan melihat adanya kabel listrik yang aus atau usang.

3) *Lubrication* (Pelumasan)

Setiap permukaan komponen yang saling bergesekan membutuhkan pelumasan untuk mengurangi gesekan dan keausan. Sikap mengerti akan pentingnya pelumasan dapat meningkatkan kemudahan akses ke titik pelumasan.

4) Kegiatan pemeliharaan rutin lainnya

Kegiatan ini meliputi pengujian terhadap peralatan, membuat penyesuaian-penyesuaian kecil, mengencangkan baut-baut yang longgar, dan beberapa perbaikan-perbaikan kecil.

b. *Major Preventive Maintenance*

Kegiatan *major preventive maintenance* dilakukan oleh pihak *maintenance* perusahaan. Kegiatan-kegiatan ini, jika dibandingkan dengan *routine preventive maintenance*, membutuhkan waktu yang lebih lama, membutuhkan *skill* yang lebih tinggi, dan biasanya membutuhkan jadwal pemberhentian peralatan atau mesin. Kegiatan *preventive* ini, bertujuan untuk memecahkan dan memperbaiki masalah yang akan datang secara teratur sebelum kerusakan terjadi. Kegiatan *major preventive maintenance* termasuk pembongkaran parsial peralatan atau mesin, pemeriksaan komponen mesin secara keseluruhan, atau mengganti *part* yang usang.

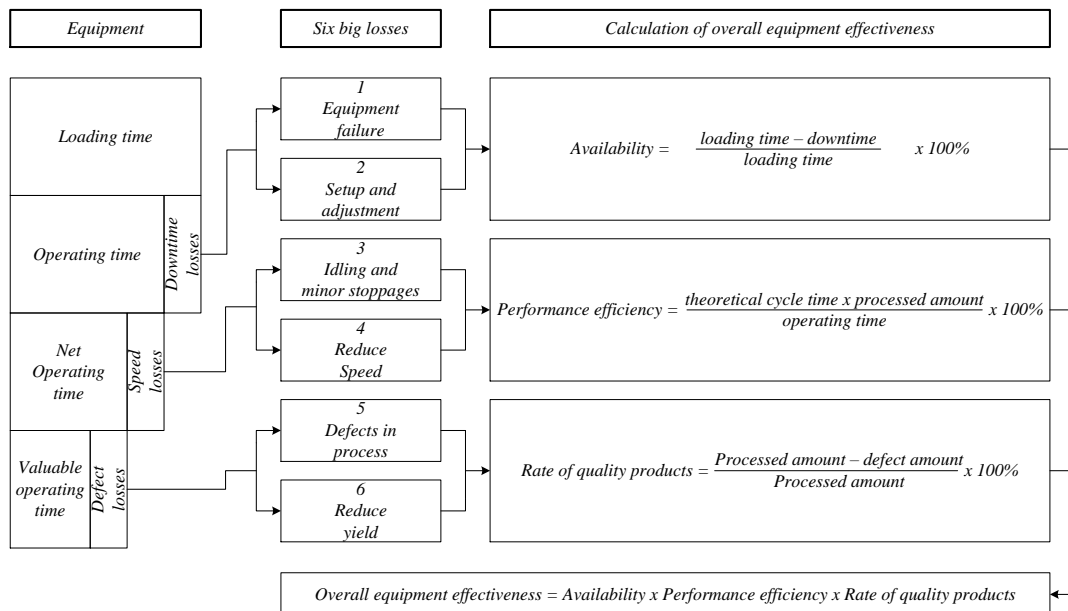
2. Keuntungan *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance memiliki banyak keuntungan, diantaranya adalah sebagai berikut (Mann, 1976):

- a. Biaya pemeliharaan minimum.
- b. Pemeliharaan dapat dilakukan pada saat yang tepat.
- c. Pengurangan *downtime*.
- d. Persediaan *spare part* minimum.
- e. Lebih sedikitnya gangguan dari pemeliharaan darurat.
- f. Lebih sedikitnya peralatan atau mesin yang harus *standby*.
- g. Pengurangan jam lembur.
- h. Meningkatkan keselamatan kerja.
- i. Mengurangi polusi.

2.2. Pengertian *Downtime*

Berdasarkan Gambar II.2., pada *downtime losses* terdapat dua kerugian, yaitu *equipment failure* dan *setup and adjustment*. *Equipment failure* adalah kerugian yang berhubungan dengan kegagalan atau kerusakan, atau dengan kata lain dapat disebut juga sebagai *breakdown time*. Sedangkan *setup and adjustment* adalah kerugian kemacetan yang terjadi ketika adanya perubahan sistem kerja, kerugian ini disebabkan adanya perubahan pada saat peralatan beroperasi.



Gambar II.2. Overall Equipment Effectiveness Berdasarkan Six Big Losses
(Sumber: Nakajima, 1988)

Downtime menurut Ebeling (1997) merupakan waktu yang dibutuhkan oleh mesin yang mengalami kerusakan dan berhenti, sampai dengan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan dan mesin siap digunakan kembali. *Downtime* menurut Ebeling (1997) ini sama halnya dengan *equipment failure* menurut Nakajima (1988), dan untuk bab selanjutnya kata *downtime* akan dirubah dengan kata *equipment failure*. *Downtime* terdiri dari beberapa unsur, yaitu (Ebeling, 1997):

1. *Supply delay* yaitu waktu yang dibutuhkan oleh personil *maintenance* untuk memperoleh komponen atau *sparepart* yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses perbaikan.
2. *Maintenance delay* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menunggu ketersediaan sumber daya perawatan untuk melakukan proses perbaikan.
3. *Access time* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan akses ke komponen yang mengalami kerusakan.
4. *Diagnosis time* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menentukan penyebab kerusakan dan langkah perbaikan apa yang harus ditempuh untuk memperbaiki kerusakan.
5. *Repair or replacement time* yaitu waktu aktual yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pemulihan serta permasalahan dapat diidentifikasi dan akses ke komponen yang rusak dapat dicapai.
6. *Verification and alignment time* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk memastikan bahwa unit telah kembali pada kondisi operasi semula.

Repair time merupakan suatu waktu yang termasuk dalam *downtime*, akan tetapi hanya mulai dari *access time* sampai dengan *verification and alignment time* (Ebeling, 1997).

2.3. Ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan (*availability*) adalah peluang suatu komponen atau sistem dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya pada waktu tertentu ketika digunakan dibawah kondisi operasi yang telah ditetapkan (Ebeling, 1997). *Availability* juga dapat diinterpretasikan sebagai persentase waktu operasi dari sebuah komponen atau

sistem selama interval waktu tertentu atau persentase komponen yang beroperasi pada waktu tertentu.

Konsep *availability* mengandung dua komponen utama, yaitu *maintainability* dan *reliability*. Tingkat *reliability* yang rendah dapat diimbangi dengan usaha meningkatkan *maintainability* sehingga tingkat *availability* mesin optimal. Tingkat *availability* bersama-sama dengan biaya yang diperlukan untuk melakukan tindakan perawatan merupakan dua faktor utama yang harus diperhatikan dalam menentukan jadwal perawatan *preventive* yang optimal.

2.4. Keandalan (*Reliability*)

2.4.1. Definisi Keandalan (*Reliability*)

Keandalan (*reliability*) mempunyai beberapa definisi dari para ahli, berikut merupakan definisinya:

Menurut Stephens (2004), keandalan adalah kemampuan sistem untuk dapat menjalankan fungsinya selama periode hidup yang diharapkan. Dengan kata lain, mesin, komponen, atau produk, selama periode hidup yang diharapkan.

Menurut Ebeling (1997), keandalan merupakan probabilitas suatu peralatan atau komponen dapat berfungsi dengan baik dalam suatu periode waktu ketika digunakan berdasarkan kondisi operasi yang ditetapkan.

Definisi lain menurut Dhillon (1997), keandalan adalah probabilitas suatu sistem akan berfungsi secara normal ketika digunakan untuk periode waktu yang diinginkan dalam kondisi operasi yang spesifik.

Perkembangan keilmuan manajemen perawatan berkembang pesat diawali dari evaluasi keandalan sampai kepada strategi kinerja perawatan, sehingga keandalan mencakup berbagai isu, antara lain (Ansori, 2013):

1. Pemodelan keandalan

Model keandalan menguraikan pengembangan model untuk memprediksi, mengestimasi, dan optimasi ketahanan atau kinerja peralatan, pengaruh ketidakandalan, dan mengurangi pengaruh tersebut.

2. Optimisasi dan analisis keandalan

Analisis keandalan dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu:

- a. Kualitatif (kesuksesan operasi atau kinerja dan ketiadaan kerusakan). Bertujuan untuk memverifikasi berbagai mode kerusakan dan yang menyebabkan kontribusi terhadap ketidakandalan peralatan.
- b. Kuantitatif (*reliability modelling*). Menggunakan data kerusakan bersama dengan model matematik yang sesuai untuk mengevaluasi keandalan peralatan.

3. Rekayasa keandalan

Rekayasa keandalan menguraikan desain dan konstruksi peralatan, meliputi perhitungan ketidakandalan dari *part* dan komponen. Hal ini juga melibatkan pengujian dan program untuk memperbaiki keandalan. Rekayasa keandalan yang baik menghasilkan produk yang lebih mampu diandalkan.

4. Ilmu keandalan

Ilmu keandalan dikaitkan dengan sifat-sifat material dan sebab-sebab deteorisasi/ kemerosotan menyebabkan kerusakan *part* dan komponen. Hal ini menguraikan pengaruh proses manufaktur dalam keandalan *part* atau komponen yang diproduksi. Misal: kerusakan karena korosi.

5. Teknologi keandalan

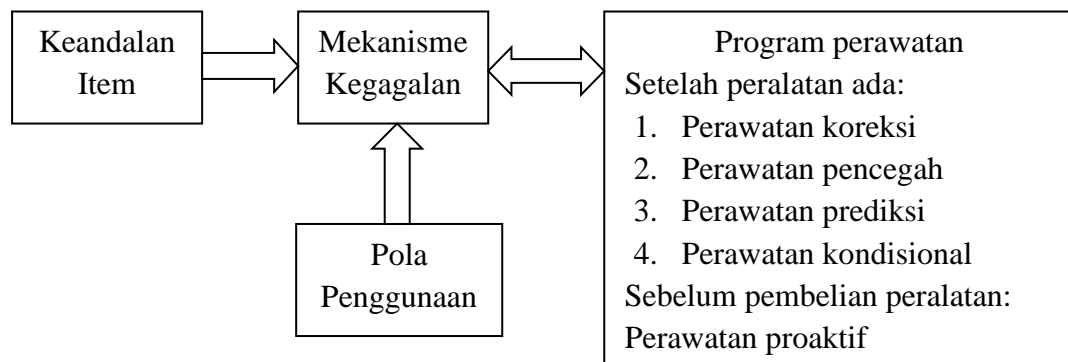
Teknologi keandalan dikaitkan dengan teknologi yang cocok untuk memonitor, merasakan dan mengukur degradasi peralatan dan menilai status peralatan. Misal: penggunaan gelombang elektronik untuk mendeteksi *micro crack*.

6. Manajemen keandalan

Manajemen keandalan menguraikan berbagai isu manajemen dalam konteks mengelola desain, pembuatan, dan atau operasi peralatan yang mampu diandalkan. Penekanannya adalah sudut pandang bisnis, karena

ketidakandalan dapat memiliki konsekuensi negatif pada keseluruhan kinerja bisnis (atau risiko pembongkaran).

Selanjutnya, untuk menjaga keandalan yang tinggi perlu program pemeliharaan (*maintenance*) yang baik. Dengan demikian, program pemeliharaan yang baik perlu informasi mekanisme kerusakan (*failure mechanism*) dan pola penggunaan (*usage pattern*). Pengertian *failure* disini dalam arti yang luas dipengaruhi oleh keandalan *item* (*reliability of item*). Program pemeliharaan sendiri juga mempengaruhi mekanisme kegagalan. Sehingga kesemuanya memiliki hubungan yang bersifat bolak-balik, seperti yang terlihat pada Gambar II.3.



Gambar II.3. Diagram Hubungan Antara Keandalan (*Reliability*) dengan Perawatan (*Maintenance*)
(Sumber: Ansori, 2013)

2.4.2. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

Fungsi keandalan merupakan probabilitas bahwa suatu peralatan akan beroperasi tanpa mengalami kerusakan dalam rentang waktu tertentu. Kemungkinan gagal sebagai fungsi waktu dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P(x \leq t) = F(t)$$

Dimana x adalah variabel acak yang menyatakan waktu kegagalan dan $F(t)$ menggambarkan kemungkinan sistem rusak setelah beroperasi selama t satuan waktu atau disebut juga distribusi kerusakan sistem. $F(t)$ disebut juga sebagai

fungsi ketidakandalan, dan $R(t)$ adalah fungsi keandalan. Secara matematis, keandalan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - F(t) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$= 1 - P(x \leq t)$$

2.5. Keterawatan (*Maintainability*)

Keterawatan adalah peluang bahwa sebuah komponen/ sistem yang gagal atau rusak akan dipulihkan/ diperbaiki kepada kondisi yang telah ditentukan selama periode waktu tertentu ketika perawatan dilakukan sesuai prosedur yang ditetapkan (Ebeling, 1997). *Maintainability* suatu peralatan didefinisikan sebagai probabilitas peralatan yang rusak akan beroperasi kembali dalam periode waktu perawatan T tertentu, dimana tindakan perawatan seperti perbaikan (*repair*), *overhaul*, atau penggantian (*replacement*) dilakukan.

2.5.1. Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time To Failure (MTTF) adalah nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan (*expected value*) dari suatu distribusi kerusakan (Ebeling, 1997). Perhitungan MTTF untuk masing-masing distribusi adalah sebagai berikut:

1. Distribusi Eksponensial : $MTTF = 1/\lambda$
2. Distribusi Weibull : $MTTF = \theta\Gamma(1+1/\beta)$
3. Distribusi Normal : $MTTF = \mu$
4. Distribusi Lognormal : $MTTF = t_{med} e^{s^2/2}$

2.5.2. Mean Time To Repair (MTTR)

Untuk dapat menentukan nilai tengah dari fungsi probabilitas untuk waktu perbaikan, distribusi data waktu perbaikan perlu diketahui. Distribusi yang sering digunakan untuk data waktu perbaikan adalah eksponensial dan lognormal. Perhitungan MTTR untuk masing-masing distribusi adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

1. Distribusi Eksponensial : $MTTR = 1/\lambda$

Dimana λ = laju perbaikan

2. Distribusi Lognormal : $MTTR = t_{med} e^{s^2/2}$

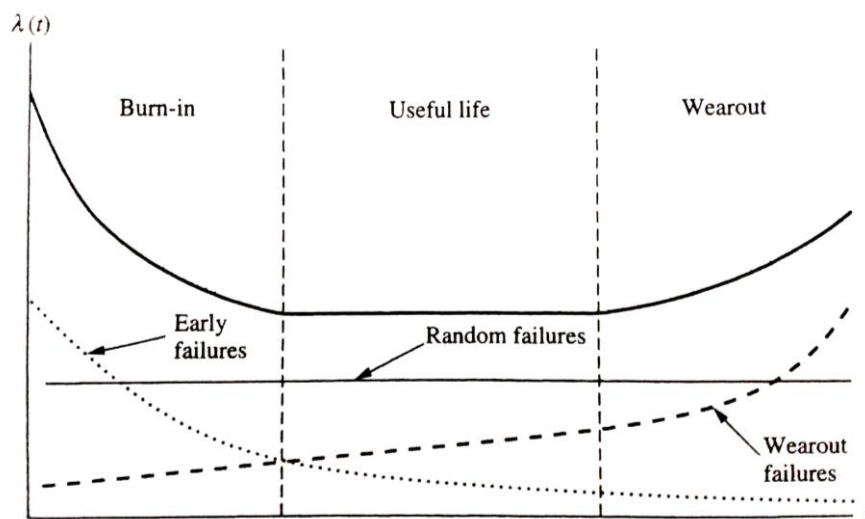
Dimana: t_{med} adalah nilai tengah waktu perbaikan
s adalah standar deviasi

2.6. Kerusakan

Karakteristik kerusakan pada peralatan umumnya tidak sama meskipun dioperasikan pada waktu yang bersamaan, karakteristik yang sama akan memberikan selang waktu terjadinya kerusakan yang berbeda. Menurut Pranoto (2015), kerusakan didefinisikan sebagai ketidakmampuan setiap aset fisik memenuhi standar prestasi yang diinginkan.

2.6.1. Karakteristik Kerusakan

Karakteristik kerusakan pada peralatan dapat dijelaskan melalui kurva yang dikenal dengan nama *the bathtub curve*. Sistem yang laju kerusakannya berbentuk *bathtub curve*, mengalami laju kerusakan yang selalu berubah sesuai dengan bertambahnya waktu. Menurut Ebeling (1997), kurva ini memiliki tiga area dengan karakteristik tertentu. Karakteristik dari kegagalan atau kerusakan pada produk, mesin, ataupun fasilitas sehubungan dengan waktu dapat digambarkan seperti pada Gambar II.4.



Gambar II.4. *The Bathtub Curve*
(Sumber: Ebeling, 1997)

Dari Gambar II.4., kurva tersebut dibagi menjadi jadi tiga fase, yaitu sebagai berikut:

1. Kerusakan Awal (*Early Failures*)

Daerah ini sering disebut juga dengan *burn-in period*, daerah dimana mesin baru mulai digunakan. Pada wilayah ini risiko kerusakan berada pada tingkat yang menurun. Terdapat beberapa alasan yang menyebabkan terjadinya kerusakan awal ini, diantaranya yaitu pengecekan yang tidak sesuai, pengendalian kualitas yang tidak memenuhi syarat, performansi material dan tenaga kerja yang dibawah standar, ketidaksempurnaan perancangan, kesalahan dalam pemasangan dan *set up*, dan kesalahan pengepakan dan metode penanganan material.

2. Kerusakan Acak (*Random Failures*)

Daerah ini ditandai dengan laju kerusakan yang konstan. Fase ini juga sering disebut *usefull life period*. Pada wilayah ini kerusakan sulit diprediksi dan cenderung terjadi secara acak. Beberapa alasan penyebab timbulnya kerusakan pada fase ini adalah kerusakan yang tidak dapat dijelaskan penyebabnya, kesalahan manusia dan kerusakan alamiah, dan kerusakan tidak terhindarkan bahkan dengan tindakan perawatan praktis yang paling efektif sekalipun.

3. Keausan (*Wearout Failures*)

Periode waktu ini ditandai dengan laju kerusakan yang meningkat tajam, karena memburuknya kondisi peralatan. Peningkatan ini mengindikasikan akhir dari umur pemakaian peralatan. Bila suatu peralatan telah memasuki periode ini, sebaiknya dilakukan perawatan pencegahan untuk mengurangi terjadinya kerusakan yang lebih fatal. Penyebab kerusakan pada wilayah ini umumnya adalah kurangnya perawatan, karena peralatan telah dipakai terlalu lama sehingga terjadi karat, keausan, gesekan, atau perubahan pada fisik mesin tersebut.

2.6.2. Distribusi-Distribusi Kerusakan

Setiap mesin memiliki karakteristik kerusakan yang berbeda-beda. Sejumlah peralatan yang sama memiliki karakteristik yang berbeda jika dioperasikan pada keadaan lingkungan yang berbeda. Bahkan bila sejumlah peralatan yang sama jika dioperasikan pada keadaan lingkungan yang sama pun dapat memiliki karakteristik kerusakan yang berbeda.

Keputusan yang berkaitan dengan masalah probabilitas seperti menentukan kapan melaksanakan perawatan pencegahan untuk suatu peralatan, membutuhkan informasi mengenai suatu saat atau waktu peralatan tersebut akan mencapai kondisi gagal atau rusak. Transisi suatu peralatan dari kondisi baik ke gagal tidak bisa diketahui secara pasti waktunya, tetapi dapat diketahui informasi mengenai probabilitas terjadinya transisi tersebut pada waktu tertentu berdasarkan fungsi kerusakannya. Dalam menganalisa masalah pemeliharaan mesin, sering digunakan beberapa jenis distribusi kerusakan dan perbaikan yang dapat memenuhi daerah-daerah pada berbagai fase kerusakan mesin, yaitu distribusi eksponensial, distribusi Weibull, distribusi normal, dan distribusi lognormal.

Kerusakan yang ditunjukkan oleh waktu kerusakan dapat dikarakteristikan oleh empat fungsi berikut:

1. Fungsi kepadatan probabilitas/ *Probability Density Function (PDF)* merupakan probabilitas terjadinya kerusakan pada setiap satuan waktu.
2. Fungsi distribusi kumulatif/ *Cummulative Distribution Function (CDF)* merupakan probabilitas terjadinya kerusakan.
3. Fungsi keandalan (*reliability function*) merupakan probabilitas suatu alat/komponen dapat berfungsi.
4. Fungsi laju kerusakan (*hazard rate function*) merupakan gambaran laju kerusakan dalam selang waktu tertentu.

1. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial memiliki laju kerusakan yang tetap terhadap waktu. Atau dengan kata lain, bahwa probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada

umur alat. Kerusakan yang terjadi secara acak biasanya akan mengikuti distribusi ini. Distribusi ini merupakan distribusi termudah untuk menganalisa kerusakan secara statistik (Ebeling, 1997).

Parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah parameter λ yaitu rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi. Fungsi-fungsi kerusakan distribusi eksponensial adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

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

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana $t > 0, \lambda > 0$

- b. Fungsi distribusi kumulatif (*cumulative distribution function*)

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (2.3)$$

- c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

$$R(t) = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (2.4)$$

- d. Fungsi laju kerusakan (*hazard rate function*)

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (2.5)$$

- e. Nilai rata-rata dari distribusi eksponensial (MTTF dan MTTR)

$$MTTF = MTTR = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (2.6)$$

- f. Variansi (*variance*) dan standar deviasi (*standard deviation*)

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} \left(t - \frac{1}{\lambda}\right)^2 \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (2.8)$$

4. Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan probabilitas distribusi yang paling berguna dalam perhitungan keandalan. Distribusi ini banyak digunakan dalam analisa keandalan terutama untuk menghitung umur komponen karena kemampuannya dapat mencakup ketiga fase kerusakan yang mungkin terjadi pada distribusi kerusakan mesin. Distribusi Weibull banyak digunakan dalam bentuk dua parameter, yaitu θ = parameter skala (*scale*), parameter ini menggambarkan sebaran data pada distribusi Weibull.

β = parameter bentuk (*shape*), parameter ini menggambarkan bentuk distribusi pada distribusi Weibull.

Fungsi-fungsi distribusi Weibull, yaitu sebagai berikut (Ebeling, 1997):

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

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-(t/\theta)^\beta} \dots\dots\dots (2.9)$$

- b. Fungsi distribusi kumulatif (*cumulative distribution function*)

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\theta)^\beta} \dots\dots\dots (2.10)$$

- c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

$$R(t) = e^{-(t/\theta)^\beta} \dots\dots\dots (2.11)$$

- d. Fungsi laju kerusakan (*hazard rate function*)

$$\lambda = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \dots\dots\dots (2.12)$$

- e. Nilai rata-rata dari distribusi Weibull (MTTF)

$$MTTF = \int_0^\infty \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-(t/\theta)^\beta} t dt$$

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots (2.13)$$

f. Variansi (*variance*)

$$\sigma^2 = \theta^2 \left\{ \Gamma \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) - \left[\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]^2 \right\} \dots \dots \dots (2.14)$$

Distribusi Weibull ini sering digunakan dalam menentukan tingkat laju kerusakan. Penentu hal ini adalah nilai parameter β , nilai ini berkaitan dengan laju kerusakan yang akan terjadi. Nilai-nilai β tersebut dapat dilihat pada Tabel II.1.

Tabel II.1. Parameter β (*Shape*) dalam Distribusi Weibull

Nilai	Laju Kerusakan
$0 < \beta < 1$	Pengurangan Laju Kerusakan/ <i>Decreasing Failure Rate (DFR)</i>
$\beta = 1$	Distribusi Eksponensial (CFR)
$1 < \beta < 2$	Peningkatan Laju Kerusakan/ <i>Increasing Failure Rate (IFR)</i> , Konkaf
$\beta = 2$	Distribusi Rayleigh (LFR)
$\beta > 2$	Peningkatan Laju kerusakan/ <i>Increasing Failure Rate (IFR)</i> , Konvek
$3 \leq \beta \leq 4$	Peningkatan Laju Kerusakan/ <i>Increasing Failure Rate (IFR)</i> , Mendekati Distribusi Normal, Simetris

(Sumber: Ebeling, 1997)

5. Distribusi Normal

Distribusi normal telah sukses diterapkan untuk memodelkan fenomena keausan dan kelelahan. Karena hubungannya dengan distribusi lognormal, distribusi normal juga digunakan untuk menganalisa probabilitas lognormal. distribusi normal mempunyai tempat yang istimewa diantara semua distribusi kontinyu karena banyak masalah yang kompleks dapat dibuat model dengan distribusi ini. Bentuk distribusi normal menyerupai lonceng sehingga memiliki nilai simetris terhadap nilai rata-rata dengan dua parameter pembentuk, yaitu μ (nilai tengah) dan σ (standar deviasi).

Fungsi-fungsi kerusakan dari distribusi normal, adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

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

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}\right] \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana $-\infty < t < \infty$

b. Fungsi distribusi kumulatif (*cumulative distribution function*)

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (2.16)$$

c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (2.17)$$

d. Fungsi laju kerusakan (*hazard rate function*)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \dots\dots\dots (2.18)$$

e. Nilai rata-rata dari distribusi normal (MTTF dan MTTR)

$$MTTF = MTTR = \mu \dots\dots\dots (2.19)$$

6. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal memiliki parameter bentuk (*shape parameter* = s), dan parameter lokasi (*location parameter* = t_{med}) yang merupakan nilai tengah dari waktu kerusakan. Distribusi ini dimengerti hanya untuk nilai t positif dan lebih sesuai daripada distribusi normal dalam hal kerusakan. Seperti halnya distribusi Weibull, lognormal ini dapat mempunyai berbagai bentuk. Seringkali dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi Weibull sesuai pula dengan distribusi lognormal.

Fungsi-fungsi kerusakan distribusi dalam distribusi lognormal adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

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

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} \exp\left[-\frac{1}{2s^2}\left(\ln\frac{t}{t_{med}}\right)^2\right] \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana $t \geq 0$

b. Fungsi distribusi kumulatif (*cumulative distribution function*)

$$F(t) = \Phi\left(\frac{1}{s}\ln\frac{t}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots (2.21)$$

c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s}\ln\frac{t}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots (2.22)$$

d. Fungsi laju kerusakan (*hazard rate function*)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{1}{s}\ln\frac{t}{t_{med}}\right)} \dots\dots\dots (2.23)$$

e. Nilai rata-rata dari distribusi lognormal (MTTF)

$$MTTF = MTTR = t_{med} \left(e^{s^2/2}\right) \dots\dots\dots (2.24)$$

f. Variansi (*variance*)

$$\sigma^2 = t_{med}^2 \exp(s^2) [\exp(s^2) - 1] \dots\dots\dots (2.25)$$

Tabel II.2. memuat perbandingan keseluruhan perhitungan fungsi terhadap distribusi eksponensial, distribusi Weibull, distribusi normal, dan distribusi lognormal. Tabel tersebut dapat dilihat di bawah ini.

Tabel II.2. Tabel Perbandingan Fungsi Distribusi-Distribusi Kerusakan

Distribusi Eksponensial		Distribusi Weibull	
PDF (f(t))	$\lambda e^{-\lambda t}$	PDF (f(t))	$\frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-(t/\theta)^\beta}$
CDF (F(t))	$1 - e^{-\lambda t}$	CDF (F(t))	$1 - e^{-(t/\theta)^\beta}$

Lanjut...

Tabel II.2. Tabel Perbandingan Fungsi Distribusi-Distribusi Kerusakan (Lanjutan)

Distribusi Eksponensial		Distribusi Weibull	
Fungsi Keandalan (R(t))	$e^{-\lambda t}$	Fungsi Keandalan (R(t))	$e^{-(t/\theta)^\beta}$
Fungsi Laju Kerusakan (λ)	$\frac{f(t)}{R(t)}$	Fungsi Laju Kerusakan (λ)	$\frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1}$
MTTF dan MTTR	$\frac{1}{\lambda}$	MTTF dan MTTR	$\theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$
Variance	$\frac{1}{\lambda^2}$	Variance	$\theta^2 \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \right\}$
Distribusi Normal		Distribusi Lognormal	
PDF (f(t))	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}\right]$	PDF (f(t))	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}st} \exp\left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{med}}\right)^2\right]$
CDF (F(t))	$\Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$	CDF (F(t))	$\Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)$
Fungsi Keandalan (R(t))	$1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$	Fungsi Keandalan (R(t))	$1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)$
Fungsi Laju Kerusakan (λ)	$\frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)}$	Fungsi Laju Kerusakan (λ)	$\frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)}$
MTTF dan MTTR	μ	MTTF dan MTTR	$t_{med} \left(e^{s^2/2}\right)$
Variance	$\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}$	Variance	$t_{med}^2 \exp(s^2) [\exp(s^2) - 1]$

(Sumber: Ebeling, 1997)

2.6.3. Identifikasi Distribusi dan Perhitungan Parameter Distribusi

Pengidentifikasi distribusi dilakukan dengan metode *Least-Squares Curve Fitting*. Sedangkan estimasi parameter distribusi-distribusi terpilih dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* kemudian langkah terakhir dalam pemilihan distribusi kerusakan adalah dengan *Goodness Of Fit*.

1. Identifikasi Distribusi

Identifikasi awal dilakukan dengan metode *least-squares curve fitting*. Dalam mengidentifikasi 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 (dengan *index of fit* terbesar).

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*.

$$y = a + bx$$

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

b = kemiringan atau gradiennya, yang dinyatakan sebagai berikut:

Untuk distribusi eksponensial

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \dots\dots\dots (2.26)$$

Sedangkan, untuk distribusi Weibull, normal dan lognormal

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \dots\dots\dots (2.27)$$

dimana : n adalah jumlah kerusakan yang terjadi

Perhitungan *index of fit* (r) adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana : i = data waktu ke- t

n = jumlah kerusakan yang terjadi untuk data kerusakan

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2)}} \dots\dots\dots (2.29)$$

Nilai r berada antara -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.

Sedangkan perhitungan khusus untuk tiap distribusi adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

a. Distribusi Eksponensial

$$x_i = t_i \dots\dots\dots (2.30)$$

$$y_i = \ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \dots\dots\dots (2.31)$$

t_i = data waktu kerusakan ke- i

b. Distribusi Weibull

$$x_i = \ln t_i \dots\dots\dots (2.32)$$

$$y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] \dots\dots\dots (2.33)$$

t_i = data waktu kerusakan ke- i

c. Distribusi Normal

$$x_i = t_i \dots\dots\dots (2.34)$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \dots\dots\dots (2.35)$$

t_i = data waktu kerusakan ke- i

d. Distribusi Lognormal

$$x_i = \ln t_i \dots\dots\dots(2.36)$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \dots\dots\dots(2.37)$$

Tabel II.3. memuat perbandingan keseluruhan perhitungan *index of fit* terhadap distribusi eksponensial, distribusi Weibull, distribusi normal, dan distribusi lognormal. Tabel tersebut dapat dilihat di bawah ini.

Tabel II.3 Tabel Perbandingan Perhitungan *Index Of Fit*

No.	Distribusi	x_i	y_i
1	Eksponensial	t_i	$\ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right)$
2	Weibull	$\ln t_i$	$\ln\left[\ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right)\right]$
3	Normal	t_i	$\Phi^{-1}[F(t_i)]$
4	lognormal	$\ln t_i$	$\Phi^{-1}[F(t_i)]$

(Sumber: Ebeling, 1997)

2. Metode *Maximum Likelihood Estimator (MLE)*

Perhitungan MLE dilakukan untuk menghitung estimasi parameter dari distribusi data yang telah dipilih. Masing-masing distribusi memiliki jenis parameter dan cara perhitungan yang berbeda-beda. Meskipun analisis linear dalam metode *least-squares curve fitting* dapat menentukan parameter dari tiap distribusi, akan tetapi parameter tersebut belum merupakan estimasi terbaik untuk menentukan parameter distribusi. Oleh karena itu, perhitungan estimasi parameter distribusi ditentukan dengan metode MLE. Estimasi parameter dengan MLE untuk tiap-tiap distribusi menggunakan perhitungan sebagai berikut (Ebeling, 1997):

a. Distribusi Eksponensial

Untuk distribusi eksponensial, perhitungan estimasi parameter dengan MLE diperoleh dengan menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$\hat{\lambda} = \frac{r}{T} \dots\dots\dots(2.38)$$

Dimana:

r = jumlah kerusakan

$\hat{\lambda}$ = nilai rata-rata parameter kerusakan

T = waktu

b. Distribusi Weibull

Untuk distribusi Weibull, perhitungan estimasi parameter bentuk ($\hat{\beta}$) dengan MLE diperoleh dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$g(\hat{\beta}) = \frac{\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} \ln t_i}{\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}}} - \frac{1}{\hat{\beta}} - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \ln t_i = 0 \dots\dots\dots (2.39)$$

Nilai dugaan parameter bagi $\hat{\beta}$ diperoleh melalui pendekatan iterasi metode Newton-Raphson. Rumus pada halaman selanjutnya dibutuhkan untuk mendapatkan estimasi parameter $\hat{\beta}$.

$$\hat{\beta}_{j+1} = \hat{\beta}_j - \frac{g(\hat{\beta})}{g'(\hat{\beta})} \dots\dots\dots (2.40)$$

Dimana:

$$g'(\hat{\beta}) = \frac{\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} \sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} (\ln t_i)^2 - (\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} \ln t_i)^2}{(\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}})^2} + \frac{1}{\hat{\beta}^2} = 0 \dots\dots\dots (2.41)$$

Perhitungan estimasi awal untuk parameter bentuk ($\hat{\beta}$) dapat diperoleh dari metode *least-squares curve fitting* distribusi Weibull. Selanjutnya perhitungan estimasi parameter skala ($\hat{\theta}$) dengan MLE diperoleh dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$\hat{\theta} = \left\{ \frac{1}{r} \left[\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} \right] \right\}^{1/\hat{\beta}} \dots\dots\dots (2.42)$$

c. Distribusi Normal

Untuk distribusi normal, perhitungan estimasi parameter dengan MLE diperoleh dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \dots\dots\dots (2.43)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{(n-1)\hat{s}^2}{n} \dots\dots\dots (2.44)$$

d. Distribusi Lognormal

Untuk distribusi lognormal, perhitungan estimasi parameter dengan MLE diperoleh dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$\hat{\mu} = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n} \dots\dots\dots (2.45)$$

$$\hat{t}_{med} = e^{\hat{\mu}} \dots\dots\dots (2.46)$$

$$\hat{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \hat{\mu})^2}{n}} \dots\dots\dots (2.47)$$

Tabel II.4. memuat perbandingan keseluruhan perhitungan parameter distribusi kerusakan terhadap distribusi eksponensial, distribusi Weibull, distribusi normal, dan distribusi lognormal. Tabel tersebut dapat dilihat di bawah ini.

Tabel II.4. Tabel Perbandingan Perhitungan Parameter Distribusi Kerusakan

Parameter Distribusi		
Distribusi Eksponensial	Distribusi Normal	Distribusi Lognormal
$\hat{\lambda} = \frac{r}{T}$	$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$	$\hat{t}_{med} = e^{\hat{\mu}}$
	$\hat{\sigma}^2 = \frac{(n-1)\hat{s}^2}{n}$	$\hat{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \hat{\mu})^2}{n}}$

Lanjut...

Tabel II.4. Tabel Perbandingan Perhitungan Parameter Distribusi Kerusakan (Lanjutan)

Parameter Distribusi
Distribusi Weibull
$g(\hat{\beta}) = \frac{\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} \ln t_i}{\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}}} - \frac{1}{\hat{\beta}} - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \ln t_i = 0$
$\hat{\theta} = \left\{ \frac{1}{r} \left[\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} \right] \right\}^{1/\hat{\beta}}$

(Sumber: Ebeling, 1997)

3. Uji *Goodness of Fit*

Langkah selanjutnya dalam pemilihan distribusi secara teori adalah dengan uji statistik, yaitu *goodness of fit*. Uji ini dilakukan dengan membandingkan antara hipotesis nol (H_0) dengan hipotesis alternatif (H_1), yaitu (Ebeling, 1997):

H_0 : data kerusakan mengikuti distribusi pilihan

H_1 : data kerusakan tidak mengikuti distribusi pilihan

Pada uji ini, perhitungan statistik didasarkan pada data waktu kerusakan. Kemudian membandingkan dengan nilai kritis yang diperoleh dari tabel-tabel nilai. Umumnya, jika uji ini kurang dari nilai kritis, maka hipotesis nol (H_0) diterima, tetapi jika lebih dari nilai kritis, maka hipotesis alternatif (H_1) yang diterima.

Pada dasarnya ada dua jenis uji *goodness of fit*, yaitu uji umum (*general test*) dan uji khusus (*specific test*). Uji umum dapat digunakan untuk menguji beberapa distribusi, sedangkan uji khusus masing-masing hanya dapat menguji satu jenis distribusi. Dibandingkan dengan uji umum, uji khusus lebih akurat dalam menolak distribusi yang tidak sesuai. Uji umum yaitu *chi-square*, sedangkan uji khusus terdiri dari *Bartlett's test* untuk distribusi eksponensial, *Mann's test* untuk distribusi Weibull, dan *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk distribusi normal dan

lognormal. Penelitian ini menggunakan uji khusus dalam pengujian *goodness of fit*, yaitu sebagai berikut:

a. *Bartlett's Test* untuk Distribusi Eksponensial

Hipotesis untuk uji ini adalah (Ebeling, 1997):

H₀ : data kerusakan berdistribusi eksponensial.

H₁ : data kerusakan tidak berdistribusi eksponensial.

$$\text{Uji statistiknya adalah: } B = \frac{2r \left[\ln \left\{ \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right\} - \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \dots\dots\dots (2.48)$$

Dimana : t_i = data waktu kerusakan ke-i

r = jumlah kerusakan

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

H₀ diterima apabila nilai B jatuh dalam wilayah kritik :

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

Dimana : distribusi chi-square memiliki r-1 derajat kebebasan.

b. *Mann's Test* untuk Distribusi Weibull

Hipotesis untuk uji ini adalah (Ebeling, 1997):

H₀ : data kerusakan berdistribusi Weibull.

H₁ : data kerusakan tidak berdistribusi Weibull.

$$\text{Uji statistiknya adalah: } M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]} \dots\dots\dots (2.49)$$

$$\text{Dimana : } k_1 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor ; k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor \dots\dots\dots (2.50)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \dots\dots\dots (2.51)$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i - 0,5}{n + 0,25} \right) \right] \dots\dots\dots (2.52)$$

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 = n = adalah jumlah unit yang diamati.

i = nomor data kerusakan (1,2,3,...,n)

Bila $M > F_{tabel}$ maka H_1 diterima. Nilai F_{tabel} diperoleh dari tabel distribusi F dengan *degree of freedom* pembilang (N_1) = $2k_2$ dan *degree of freedom* penyebut (N_2) = $2k_1$.

c. *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk Distribusi Normal dan Lognormal

Hipotes untuk uji ini adalah (Ebeling, 1997):

H_0 : data kerusakan berdistribusi normal atau lognormal.

H_1 : data kerusakan tidak berdistribusi normal atau lognormal.

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

Dimana :

$$D_1 = \max \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i - n}{n} \right\} \dots\dots\dots (2.53)$$

$$D_2 = \max \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} \dots\dots\dots (2.54)$$

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} \dots\dots\dots (2.55)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n - 1} \dots\dots\dots (2.56)$$

Keterangan:

t_i = data waktu antar kerusakan ke- i .

t = data waktu antar kerusakan.

s = standar deviasi.

n = banyaknya data kerusakan.

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

Tabel II.5. memuat perbandingan keseluruhan perhitungan uji *goodness of fit* terhadap empat distribusi kerusakan. Tabel tersebut dapat dilihat di bawah ini.

Tabel II.5. Tabel Perbandingan Uji *Goodness Of Fit*

No.	Uji <i>Goodness Of Fit</i>	Perhitungan
1	<i>Bartlett's Test</i> (Distribusi Eksponensial)	$B = \frac{2r \left[\ln \left\{ \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right\} - \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}}$
2	<i>Mann's Test</i> (Distribusi Weibull)	$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}$
3	<i>Kolmogorov-Smirnov Test</i> (Distribusi Normal dan Lognormal)	$D_n = \max \{D_1, D_2\}$ $D_1 = \max \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i - n}{s} \right\}$ $D_2 = \max \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\}$

(Sumber: Ebeling, 1997)

2.7. Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Optimal dengan Minimasi *Downtime*

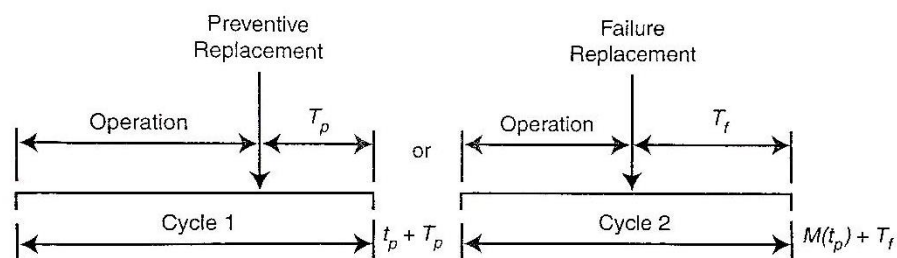
Dalam penelitian ini model yang digunakan adalah model standar dari AKS Jardine, yaitu model pendekatan dengan kriteria minimasi *downtime*. Melalui model ini dicari interval waktu penggantian komponen yang optimal untuk mencegah kerusakan mesin agar dapat meminimasi waktu *downtime* yang terjadi. Terdapat dua jenis model standar bagi permasalahan penggantian yang

dikemukakan oleh Jardine, yaitu *age replacement* dan *block replacement*. Pada penelitian ini hanya menggunakan *age replacement*.

2.7.1. Age Replacement

Jardine (2006) menyatakan untuk menentukan waktu terbaik melakukan penggantian komponen adalah pada saat total *downtime* minimum. Pada *age replacement*, pelaksanaan penggantian pencegahan dilakukan tergantung pada umur pakai dari komponen. Penggantian pencegahan ini dilakukan dengan menetapkan kembali interval waktu penggantian pencegahan berikutnya sesuai dengan interval yang telah ditentukan jika terjadi kerusakan yang menuntut dilakukannya tindakan penggantian (Jardine, 2006). Terdapat dua macam siklus penggantian pada *age replacement* yang tergambar pada Gambar II.5., yaitu:

1. 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 (*preventive replacement*).
2. 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 (*failure replacement*).



Gambar II.5. Model Penggantian Umur (*Age Replacement*)
(Sumber: Jardine, 2006)

Total *downtime* per unit waktu untuk penggantian pencegahan saat t_p dinotasikan dengan $D(t_p)$.

$$D(t_p) = \frac{\text{Total ekspektasi downtime per siklus}}{\text{Ekspektasi panjang siklus}} \dots\dots\dots (2.57)$$

Total ekspektasi *downtime* per siklus (TEDS) = $[T_p \cdot R(t_p)] + [T_f \cdot (1 - R(t_p))]$

Ekspektasi panjang siklus (EPS)

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

Jadi total *downtime* per unit waktu adalah (Jardine, 2006):

$$D(t_p) = \frac{[T_p \cdot R(t_p)] + [T_f \cdot (1 - R(t_p))]}{[(t_p + T_p) \cdot R(t_p)] + [M(t_p) + T_f] \cdot [1 - R(t_p)]} \dots\dots\dots (2.58)$$

$$M(t_p) = \frac{MTTF}{1 - R(t_p)} \dots\dots\dots (2.59)$$

Dimana:

T_f = Waktu untuk melakukan perbaikan karena kerusakan komponen.

T_p = Waktu untuk melakukan penggantian pencegahan.

t_p = Panjang interval waktu antara tindakan pencegahan.

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

$t_p + T_p$ = Panjang siklus pencegahan

$M(t_p)$ = ekspektasi panjang siklus kerusakan

2.8. Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Tanpa dan Dengan Tindakan Preventive Maintenance

Peningkatan keandalan dapat ditempuh dengan cara perawatan pencegahan. Perawatan pencegahan dapat mengurangi pengaruh *wearout* dan menunjukkan hasil yang signifikan terhadap umur mesin. Model keandalan berikut ini mengasumsikan sistem kembali ke kondisi baru setelah mengalami perawatan pencegahan.

$R(t)$ adalah keandalan sistem tanpa adanya pemeliharaan, T adalah interval waktu pemeliharaan pencegahan, dan $R_m(t)$ adalah keandalan sistem dengan adanya pemeliharaan pencegahan, maka (Ebeling, 1997):

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

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

Sehingga didapatkan persamaan secara umum sebagai berikut:

$$R_m(T) = R(T)^n \times R(t - nT) \dots \dots \dots (2.60)$$

untuk $nT \leq t < (n+1)T$

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

dimana:

$R(t-T)$ = 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.

Berikut ini terdapat model keandalan untuk masing-masing distribusi:

1. Distribusi Eksponensial

a. Tanpa tindakan pencegahan:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (2.61)$$

Disini tidak dibutuhkan pergantian pencegahan karena laju kerusakannya konstan.

b. Untuk laju kerusakan yang konstan nilai $R(t) = e^{-\lambda t}$ maka:

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

$$R_m(t) = (e^{-\lambda nT})e^{-\lambda t} e^{\lambda nT} = e^{-\lambda t} = R(t) \dots \dots \dots (2.62)$$

Ini membuktikan bahwa bila dilakukan *preventive maintenance* pada distribusi eksponensial yang laju kerusakannya konstan, tidak menghasilkan dampak apapun atau tidak ada peningkatan keandalan seperti yang diharapkan.

Keterangan:

- t = waktu dilakukan perhitungan keandalan
- n = frekuensi perawatan pencegahan yang dilakukan
- T=tp = interval waktu penggantian pencegahan kerusakan atau MTTF

- Rm(t) = keandalan (*reliability*) dari sistem dengan perawatan pencegahan
- R(t) = keandalan sistem tanpa perawatan pencegahan
- R(T) = peluang dari keandalan hingga perawatan pencegahan pertama
- R(t-nT) = probabilitas keandalan untuk waktu t-nT perawatan *preventive* terakhir

2. Distribusi Weibull

a. Tanpa tindakan pencegahan:

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right) \dots\dots\dots (2.63)$$

b. Dengan tindakan pencegahan:

$$R(t - nT) = \exp\left(-\left(\frac{t - nT}{\theta}\right)^\beta\right) \dots\dots\dots (2.64)$$

$$R(T) = \exp\left(-\frac{T}{\theta}\right)^\beta \dots\dots\dots (2.65)$$

$$Rm(t) = R(T)^n \times R(t - nT) \dots\dots\dots (2.66)$$

Untuk $nT \leq t \leq (n+1)T$ dan $n = 0, 1, 2, \dots$

$$\text{Peningkatan keandalan} = \frac{Rm(t) - R(t)}{R(t)} \times 100\% \dots\dots\dots (2.67)$$

3. Distribusi Normal

a. Tanpa tindakan pencegahan:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (2.68)$$

b. Dengan tindakan pencegahan :

$$R(t - nT) = 1 - \Phi\left(\frac{(t - nT) - \mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (2.69)$$

$$R(T) = 1 - \Phi\left(\frac{T - \mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (2.70)$$

$$Rm(t) = R(T)^n \times R(t - nT)$$

Untuk $nT \leq t \leq (n+1)T$ dan $n = 0, 1, 2, \dots$

$$\text{Peningkatan keandalan} = \frac{Rm(t) - R(t)}{R(t)} \times 100\%$$

4. Distribusi Lognormal

a. Tanpa tindakan pencegahan:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \dots \dots \dots (2.71)$$

b. Dengan tindakan pencegahan:

$$R(t - nT) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t - nT}{t_{med}}\right) \dots \dots \dots (2.72)$$

$$R(T) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{T}{t_{med}}\right) \dots \dots \dots (2.73)$$

$$Rm(t) = R(T)^n \times R(t - nT)$$

Untuk $nT \leq t \leq (n+1)T$ dan $n = 0, 1, 2, \dots$

$$\text{Peningkatan keandalan} = \frac{Rm(t) - R(t)}{R(t)} \times 100\%$$

Tabel II.6. memuat perbandingan keseluruhan perhitungan *reliability* tanpa dan dengan adanya *preventive maintenance* terhadap distribusi eksponensial, distribusi Weibull, distribusi normal, dan distribusi lognormal. Tabel tersebut dapat dilihat di bawah ini.

Tabel II.6. Tabel Perbandingan Perhitungan *Reliability* Tanpa dan Dengan Adanya *Preventive Maintenance*

No.	Distribusi	$R(t)$	$Rm(t) = R(T)^n \times R(t - nT)$
1	Eksponensial	$R(t) = e^{-\lambda t}$	$Rm(t) = R(t)$

Lanjut...

Tabel II.6. Tabel Perbandingan Perhitungan *Reliability* Tanpa dan Dengan Adanya *Preventive Maintenance* (Lanjutan)

No.	Distribusi	$R(t)$	$Rm(t) = R(T)^n \times R(t - nT)$
2	Weibull	$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right)$	$R(T) = \exp\left(-\frac{T^\beta}{\theta}\right)$ $R(t - nT) = \exp\left(-\left(\frac{t - nT}{\theta}\right)^\beta\right)$
3	Normal	$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)$	$R(T) = 1 - \Phi\left(\frac{T - \mu}{\sigma}\right)$ $R(t - nT) = 1 - \Phi\left(\frac{(t - nT) - \mu}{\sigma}\right)$
4	Lognormal	$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)$	$R(T) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{T}{t_{med}}\right)$ $R(t - nT) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t - nT}{t_{med}}\right)$

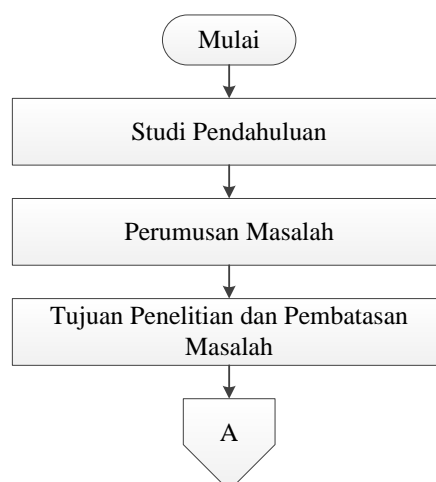
(Sumber: Ebeling, 1997)

BAB III

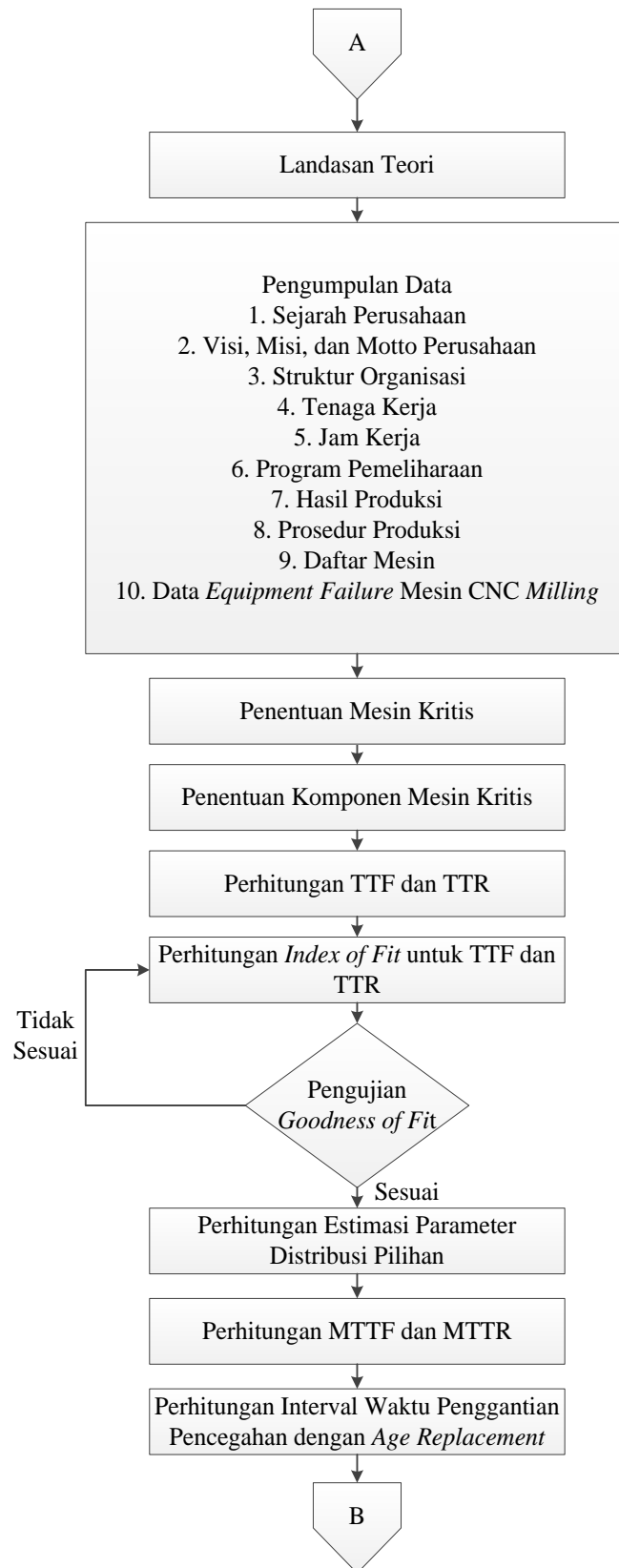
METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan cara berfikir dan berbuat yang dipersiapkan secara matang dalam rangka mencapai tujuan penelitian, yaitu menemukan, mengembangkan atau mengkaji kebenaran suatu pengetahuan secara ilmiah atau untuk pengujian hipotesis suatu penelitian. Dalam menyelesaikan suatu permasalahan dalam penelitian ini, diperlukan langkah-langkah yang terstruktur dan sistematis agar apa yang menjadi tujuan penelitian dapat tercapai. Langkah-langkah ini kemudian dirangkum dan diformulasikan kedalam bentuk yang sistematis dan terukur yang disebut juga metodologi penelitian.

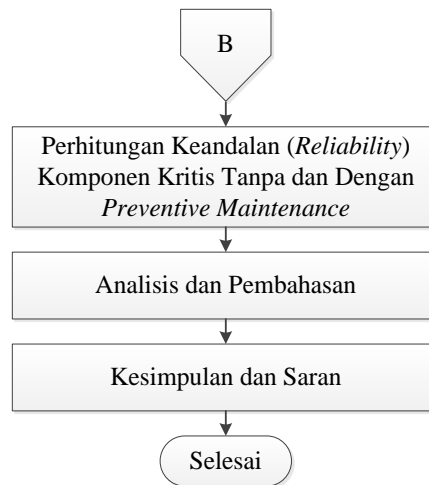
Dalam bab ini, akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian agar penelitian ini dapat lebih terarah dan terstruktur. Langkah-langkah ini bertujuan agar memudahkan dalam menganalisa permasalahan yang terjadi dan penyebab permasalahan tersebut, mengolahnya secara sistematis sesuai dengan batasan yang telah ditetapkan, sehingga mampu memberikan solusi yang tepat guna mengatasi permasalahan yang sedang dihadapi. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dengan diagram alir penelitian berikut:



Gambar III.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar III.1. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)



Gambar III.1. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

3.1. Studi Pendahuluan

Maksud dari studi pendahuluan adalah untuk melihat permasalahan dengan lebih jelas. Hal ini perlu dilakukan mengingat bahwa penelitian yang dilakukan adalah meneliti di PT Aristo Satria Mandiri Indonesia (PT ASMI). Terdapat dua langkah yang perlu dilakukan untuk studi pendahuluan, yaitu:

1. Studi Lapangan

Studi lapangan merupakan suatu cara untuk mengamati permasalahan yang terjadi di lingkungan PT ASMI. Permasalahan yang diamati untuk penelitian ini berada pada bagian pemeliharaan (*maintenance*) PT ASMI. Hasil pengamatan pada studi lapangan ini dapat digunakan untuk menemukan masalah yang terjadi.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari tinjauan literatur yang dapat digunakan dalam menemukan berbagai macam solusi permasalahan sehingga dapat dibangun kerangka berfikir yang tepat dalam memecahkan permasalahan dalam penelitian ini. Studi ini dapat diperoleh dari jurnal, penelitian dan *handbook* sebagai acuan dalam pembuatan penelitian.

a. *State of The Art*

Pada *state of the art*, diambil beberapa contoh penelitian terdahulu sebagai panduan atau contoh untuk penelitian yang dilakukan. Penelitian terdahulu tersebut nantinya akan menjadi acuan dan perbandingan dalam melakukan penelitian ini. Dalam *state of the art* ini terdapat 1 tugas akhir dan 1 jurnal, serta penelitian yang dilakukan, yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel III.1. *State Of The Art*

No.	Pengarang	Judul	Metode
1	Wike Agustin Prima Dania, Isti Purwaningsih, dan Fajar Andy Aristiono (2011). Jurnal	Aplikasi Optimal <i>Preventive Replacement Age Model</i> untuk Menentukan Jadwal Penggantian Komponen <i>Dumping Grate</i> Pada Mesin Ketel Uap (Studi Kasus di PG Rejo Agung Baru Madiun).	• <i>Age Replacement</i>
2	Muhammad Ramdhany (2012). Tugas Akhir	Usulan Penjadwalan <i>Preventive Maintenance</i> Berdasarkan Umur Pakai (<i>Age Replacement</i>) Untuk Minimasi <i>Downtime</i> Mesin Produksi Vigo Sosis Pada PT Madusari Nusaperdana.	• <i>Age Replacement</i>
3	Yunita Endah (2016). Tugas Akhir	Usulan Penjadwalan <i>Preventive Maintenance</i> dengan Model <i>Age Replacement</i> untuk Meningkatkan Keandalan Mesin CNC <i>Milling</i> pada PT Aristo Satria Mandiri	• <i>Age Replacement</i>

		Indonesia.	
--	--	------------	--

3.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan langkah menentukan masalah-masalah yang lebih spesifik. Langkah ini bertujuan agar penelitian yang dilakukan menjadi lebih terarah. Perumusan masalah ini telah disebutkan pada BAB I.

3.3. Tujuan Penelitian dan Pembatasan Masalah

Tujuan penelitian ini merupakan tujuan akhir yang akan dicapai pada penelitian yang dilakukan berdasarkan permasalahan yang ada. Selanjutnya, dari permasalahan yang mempunyai ruang lingkup yang luas perlu dilakukan pembatasan masalah agar penelitian mempunyai ruang lingkup yang lebih spesifik. Tujuan penelitian dan pembatasan masalah telah dijelaskan pada BAB I.

3.4. Landasan Teori

Landasan teori digunakan sebagai penunjang pada sebuah penelitian. Landasan teori yang digunakan harus dapat membantu penelitian dan permasalahan yang sedang dihadapi. Landasan teori dalam penelitian ini berkaitan dengan pemeliharaan, kerusakan, keandalan, dan *age replacement* serta hal-hal lain yang dapat membantu penyelesaian penelitian ini.

3.5. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendukung menyelesaikan permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan. Adapun metode yang digunakan dalam pengumpulan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian Lapangan (*Field Research*)

Penelitian lapangan ini dilakukan guna mencari data dan mengumpulkan data di PT ASMI, khususnya pada bagian pemeliharaan (*maintenance*).

2. Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)

Penelitian kepustakaan ini dilakukan dengan cara mengumpulkan dan mempelajari data-data kepustakaan baik yang diperoleh melalui buku-buku tentang pemeliharaan (*maintenance*), jurnal dan penelitian tentang metode *age replacement* maupun referensi lainnya yang berhubungan dengan permasalahan yang dihadapi.

3. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan bagian pemeliharaan (*maintenance*), dan bagian lain yang berhubungan dengan permasalahan yang dihadapi. Wawancara ini dilakukan dengan cara mengajukan beberapa pertanyaan mengenai permasalahan guna memperoleh informasi yang cukup terkait masalah yang sedang dihadapi, terutama tentang pemeliharaan.

Data yang dikumpulkan pada tahap pengumpulan data, yaitu:

1. Sejarah perusahaan
2. Visi, misi, dan motto perusahaan
3. Struktur organisasi
4. Tenaga kerja
5. Jam kerja
6. Program pemeliharaan
7. Hasil produksi
8. Prosedur produksi
9. Daftar mesin
10. Data *equipment failure* mesin CNC *milling*

3.6. Pengolahan Data

Pada langkah ini dijelaskan tahap-tahap dalam mengolah data terhadap data yang telah diambil dari langkah pengumpulan data, dengan metode-metode yang dipilih

guna memecahkan masalah secara baik dan terencana. Adapun langkah-langkah dalam pengolahan data sebagai berikut:

1. Penentuan Mesin Kritis

Penentuan mesin kritis dilakukan terhadap kelompok mesin CNC *milling* PT ASMI. Dari data frekuensi kerusakan mesin CNC *milling*, dipilihlah mesin CNC *milling* kritis yang memiliki frekuensi kerusakan terbesar.

2. Penentuan Komponen Mesin Kritis

Penentuan komponen kritis dilakukan pada mesin CNC *milling* kritis. Dari data *equipment failure* mesin yang telah dikumpulkan sebelumnya, dipilihlah komponen mesin kritis dengan frekuensi kerusakan terbesar menggunakan diagram pareto.

3. Perhitungan *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR) pada Komponen Kritis

Selang waktu antar kerusakan (*time to failure*) adalah selang waktu dari kerusakan komponen yang pertama hingga kerusakan selanjutnya terjadi. Selang waktu perbaikan (*time to repair*) adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki satu komponen. Data selang waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan komponen merupakan langkah awal untuk menentukan dan mengidentifikasi pola kerusakan yang terjadi. Perhitungan TTF dan TTR berdasar pada data *equipment failure* komponen mesin kritis yang telah dikumpulkan sebelumnya.

4. Perhitungan *Index of Fit*

Perhitungan *index of fit* bertujuan untuk mengidentifikasi kerusakan atau perbaikan suatu komponen. Hasil yang diharapkan adalah nilai *index of fit* terbesar dari TTF dan TTR terhadap distribusi kerusakan, yaitu distribusi eksponensial, distribusi Weibull, distribusi normal, dan distribusi lognormal.

5. Perhitungan *Goodness of Fit Test*

Goodness of fit test dilakukan dengan membandingkan antara hipotesis nol (H_0) yang menyatakan data kerusakan mengikuti distribusi pilihan dengan hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan data kerusakan tidak mengikuti distribusi pilihan.

6. Perhitungan Estimasi Parameter Distribusi Pilihan
Perhitungan ini menggunakan metode *maximum likelihood estimator* untuk mendapatkan estimasi parameter yang akurat.
7. Perhitungan *Mean Time To Failure (MTTF)* dan *Mean Time To Repair (MTTR)*
Mean Time To Failure (MTTF) merupakan nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan (*expected value*) dari suatu distribusi kerusakan. Sedangkan *Mean Time To Repair (MTTR)* merupakan rata-rata waktu perbaikan dari suatu komponen mengikuti distribusi kerusakan tertentu. Perhitungan MTTF dan MTTR dari masing-masing komponen menggunakan parameter distribusi kerusakan yang telah dihitung sebelumnya.
8. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan dengan *Age Replacement*
Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui waktu penggantian komponen mesin kritis dengan menggunakan model *age replacement* dengan kriteria minimasi nilai *equipment failure*.
9. Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Komponen Kritis Tanpa dan Dengan *Preventive Maintenance*
Perhitungan keandalan (*reliability*) dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan nilai keandalan komponen sebelum dan sesudah dilakukan *preventive maintenance*.

3.7. Analisis dan Pembahasan

Pada langkah ini dilakukan analisis dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan sebelumnya. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini meliputi:

1. Analisis penentuan mesin CNC *milling* kritis.
2. Analisis penentuan komponen kritis mesin CNC *milling*.
3. Analisis perhitungan *Time To Failure (TTF)* dan *Time To Repair (TTR)*.
4. Analisis identifikasi distribusi (*index of fit*).
5. Analisis kesesuaian distribusi (*goodness of fit*).

6. Analisis perhitungan *Mean Time To Failure (MTTF)* dan *Mean Time To Repair (MTTR)*.
7. Analisis perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan *age replacement*.
8. Analisis perhitungan keandalan (*reliability*) komponen kritis tanpa dan dengan adanya *preventive maintenance*.

3.8. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan berdasarkan pengolahan dan analisis masalah untuk menjawab tujuan penelitian. Serta memberikan saran-saran yang membangun sebagai perbaikan bagi perusahaan dimasa yang akan datang.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan Data

4.1.1. Sejarah Perusahaan

PT Aristo Satria Mandiri Indonesia (PT ASMI) bergerak dalam bidang manufaktur, yang menghasilkan produk *precision part* dengan sistem produksi *job order*. PT ASMI berlokasi di Jalan Pondok Timur Indah No. 40, Bekasi, Jawa Barat, Kode Pos 17310. PT ASMI memiliki luas tanah sebesar 2400 m² dengan luas bangunan sebesar 1200 m². Sampai saat ini PT ASMI mempunyai lima konsumen tetap, yaitu PT Denso Indonesia, beserta ketiga anak perusahaannya (PT Hamaden, PT TACI, dan PT FAJAR) dan PT NSK Bearing Manufacturing.

Pertama kali PT ASMI bernama CV Aristo Satria Mandiri yang didirikan oleh Ir. Dadi Siswaya pada tanggal 9 September 1999 dengan dua konsumen awal, yaitu PT Denso Indonesia dan PT Aisin Indonesia. Ir. Dadi Siswaya mempunyai beberapa pengalaman bekerja pada industri otomotif, yaitu Honda Federal (1988-1990), Tira Austenite (1990-1999), dan PT Aristo Satria Mandiri Indonesia (1999-sekarang). CV Aristo Satria Mandiri ini berlokasi di Sukaresmi, Cikarang, yang mana usaha ini diawali dengan tiga mesin bekas. Seiring dengan bertambahnya waktu, CV Aristo Satria Mandiri mengalami beberapa perkembangan, yaitu sebagai berikut:

1. Tahun 2004

Pada tahun ini CV Aristo Satria Mandiri menginvestasikan mesin CNC *milling* pertama sebagai mesin yang akan membantu proses produksi dalam pengerjaan *precision part*, *mould set*, *die casting*, dan *stamping die*.

2. Tahun 2006

Pada tahun ini, CV Aristo Satria Mandiri membuat sebuah sistem manajemen yang didukung langsung oleh Yayasan Dharma Bhakti Astra (YDBA).

Langkah ini ditempuh oleh CV Aristo Satria Mandiri untuk mendapatkan sebuah sistem manajemen yang lebih baik daripada sebelumnya.

3. Tahun 2007

Pada tahun ini, CV Aristo Satria Mandiri mendirikan anak perusahaan yang bernama CV Morofulus Berkah Engineering. Perusahaan ini berlokasi di Alam Sutera, Tangerang. Perusahaan ini mempunyai beberapa konsumen, yaitu PT Kayaba Indonesia, PT Astra Otoparts Winteq, PT Darma Polimetal, PT Asahi Diamond Industrial, dan PT Broco Electric.

4. Tahun 2008

Pada tahun ini, CV Aristo Satria Mandiri Indonesia berubah status badan hukum menjadi PT Aristo Satria Mandiri Indonesia (PT ASMI). Perubahan ini dilakukan seiring dengan meningkatnya pesanan yang diterima dari waktu ke waktu. Pada tahun ini juga PT ASMI menginvestasikan mesin *wire cut* dan mesin CNC *lathe*. Mesin *wirecut* adalah mesin yang digunakan untuk memotong material-material yang mampu atau bisa dialiri arus listrik. Mesin CNC *lathe* pada prinsipnya sama dengan CNC *milling* yaitu pergerakan meja kerja dan *spindle* dikendalikan oleh program.

5. Tahun 2011

Pada tahun ini, PT ASMI mendirikan anak perusahaan yang kedua, yaitu PT Cakarawala Teknik Mandiri Indonesia. PT Cakarawala Teknik Mandiri Indonesia berlokasi di Delta Commercial Park 1 Kawasan Industri Delta Silicon 6 Lippo Cikarang. Perusahaan ini mempunyai beberapa *costumer*, yaitu PT Aisin Indonesia, PT Menara Terus Makmur, dan PT Sarita Takagi (PT Step). Pada tahun ini juga PT ASMI memiliki kerja sama dengan Astra Mitra Ventura untuk investasi pembelian mesin-mesin produksi dalam rangka mendukung sistem produksi PT ASMI.

6. Tahun 2012

Pada tahun ini, PT ASMI mendirikan anak perusahaan yang ketiga, yaitu PT Satria Baja Hitam. Perusahaan ini berlokasi di Kampung Rawa Sapi, Jati Mulya, Tambun Selatan, Bekasi. Perusahaan ini mempunyai beberapa

konsumen, yaitu PT Trilogam Indo Teknik, PT Padma Soode Indonesia, dan PT Laksana Teknik Makmur.

7. Tahun 2014

Pada tahun ini, PT ASMI mendapatkan sertifikasi ISO 9001:2008. ISO 9001:2008 merupakan sebuah standar internasional untuk sistem manajemen mutu/ kualitas.

4.1.2. Visi, Misi, dan Motto Perusahaan

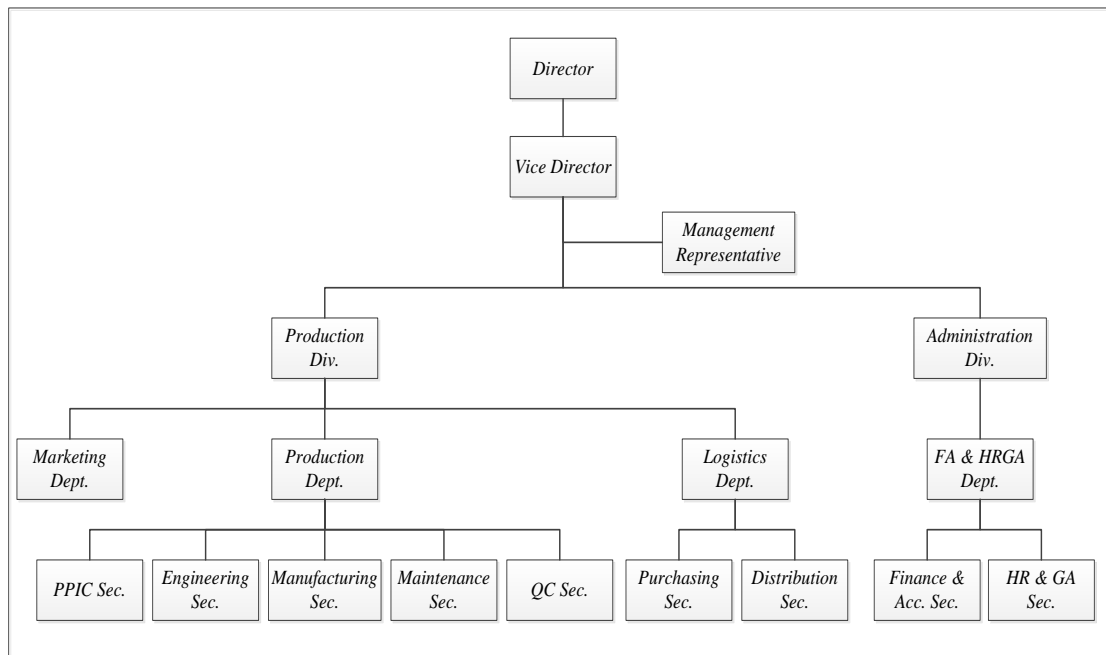
PT ASMI mempunyai visi, misi, dan motto sebagai berikut:

1. Visi : Menjadi Perusahaan *Precision Part* Terbaik di Indonesia.
2. Misi : Mengembangkan Industri *Precision Part* Untuk Mendukung Industri Otomotif.
3. Motto : Pelanggan Adalah Prioritas Utama.

4.1.3. Struktur Organisasi Perusahaan

Struktur organisasi yang diterapkan pada PT ASMI merupakan struktur organisasi fungsional yang berbentuk piramid. Struktur organisasi fungsional merupakan struktur organisasi yang paling umum digunakan oleh suatu organisasi, karena sederhana, jelas, dan mudah dimengerti. Pembagian kerja dalam bentuk struktur organisasi fungsional ini dilakukan dengan mengelompokkan fungsi-fungsi yang sama atau kegiatan-kegiatan sejenis untuk membentuk suatu satuan organisasi. Pada struktur organisasi ini dijaga kekuasaan dan kedudukan fungsi-fungsi utama, menciptakan efisiensi melalui spesialisasi, memusatkan keahlian organisasi, dan memungkinkan pengawasan manajemen puncak lebih ketat terhadap fungsi-fungsi.

Adapun struktur organisasi dari PT ASMI dapat dilihat pada Gambar IV.1. di halaman berikutnya.



Gambar IV.1. Struktur Organisasi PT Aristo Satria Mandiri Indonesia
(Sumber: PT ASMI)

4.1.4. Tenaga Kerja

PT ASMI sebagai perusahaan manufaktur yang berada pada posisi kecil dan menengah mempunyai 59 tenaga kerja. Jumlah 59 tenaga kerja tersebut termasuk operator dan tenaga kerja di kantor. Rincian tenaga kerja dapat dilihat pada Tabel IV.1.

Tabel IV.1. Rincian Jumlah Tenaga Kerja Pada PT Aristo Satria Mandiri Indonesia

No	Bagian	Jumlah (Orang)
1	Director	1
2	Vice Director	1
3	Management Representative	1
4	Supervisor Produksi	1
5	Operator bubut manual	4
6	Operator <i>milling</i> manual	10
7	Operator <i>cutting</i>	1
8	Operator <i>CNC milling</i>	7
9	Operator <i>surface grinding</i>	4
10	Operator <i>grinding external</i>	2
11	Operator <i>grinding internal</i>	1
12	Operator TAP	1

Lanjut...

Tabel IV.1. Rincian Jumlah Tenaga Kerja Pada PT Aristo Satria Mandiri Indonesia (Lanjutan)

No	Bagian	Jumlah (Orang)
13	Operator CNC bubut	1
14	Operator Wirecut	1
15	Leader bubut	1
16	Leader milling	1
17	Warehouse	1
18	Maintenance	1
19	Supervisor PPIC	1
20	Staff PPIC	1
21	Leader engineering	1
22	Programmer	1
23	Marketing	3
24	HRD & FA	5
25	Purchasing	2
26	Quality control	2
27	Driver	2
28	Office boy	1
	Jumlah	59

(Sumber: PT ASMI)

4.1.5. Jam Kerja

Jam kerja karyawan yang diberlakukan pada PT ASMI dibagi dalam 1 *shift*. Adapun pembagian jam kerja karyawan dapat dilihat pada tabel IV.2.

Tabel IV.2. Jam Kerja Karyawan PT Aristo Satria Mandiri Indonesia

Hari	Jam Kerja	Jam Istirahat
Senin-Kamis	08.00-16.00	12.00-13.00
Jumat	08.00-16.30	11.30-13.00
Sabtu	08.00-13.00	-

(Sumber: PT ASMI)

4.1.6. Program Pemeliharaan

PT ASMI mempunyai 2 kegiatan Pemeliharaan, yaitu pemeliharaan rutin (*routine maintenance*) dan perbaikan mesin (*corrective maintenance*). Kegiatan pemeliharaan rutin (*routine maintenance*) meliputi kegiatan yang dilakukan sebelum dilakukannya proses produksi, seperti pengecekan mesin, kebersihan

badan mesin, kebersihan meja, kebersihan area mesin, pengecekan level oli hidrolik, pengecekan *spindle*, eretan atas X,Y,Z, pengecekan tombol *on/ off* operasional, dan pengecekan tombol *emergency stop*. Seluruhan kegiatan tersebut dilakukan pada saat pemanasan mesin.

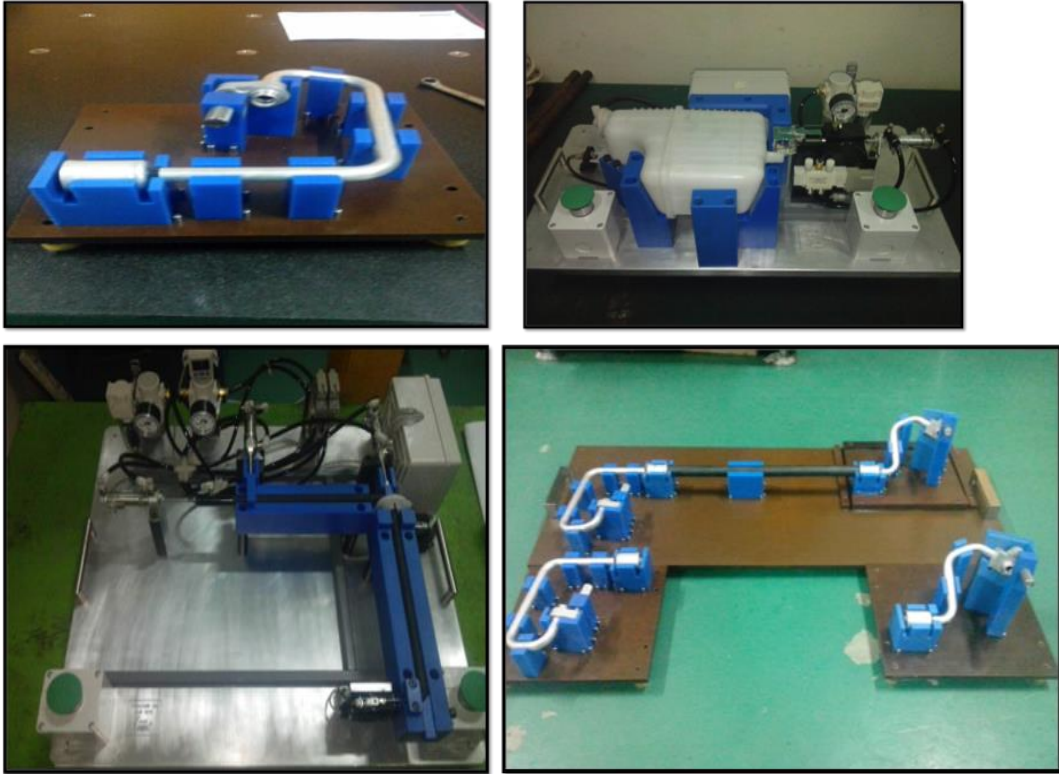
Kegiatan perbaikan mesin (*corrective maintenance*) merupakan kegiatan yang dilakukan pada saat mesin mengalami kerusakan dan perlu penanggulangan perbaikan dari pihak *maintenance*. Perbaikan mesin ini dapat dilakukan oleh pihak *maintenance* ataupun pihak luar jika pihak *maintenance* tidak dapat memperbaikinya. Kegiatan *maintenance* tersebut perlu prosedur untuk dijalankan agar segala pemeliharaan yang dilakukan tercatat dengan baik. Prosedur dari kedua kegiatan *maintenance* tersebut dapat dilihat pada lampiran B.

4.1.7. Hasil Produksi

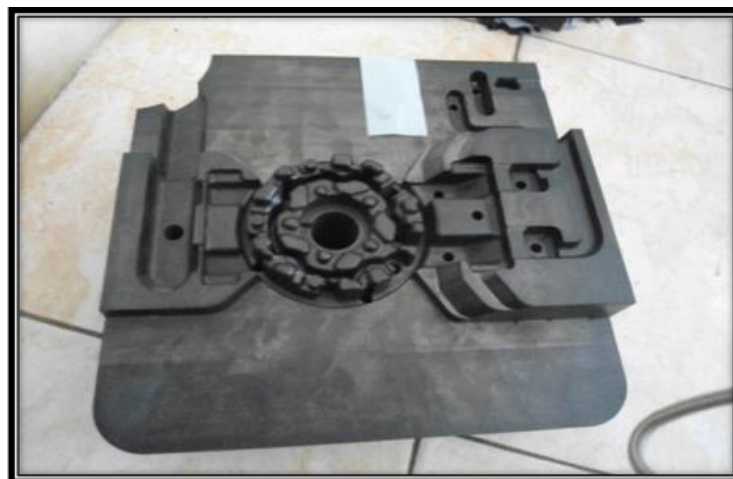
Produksi pada PT ASMI berjalan secara *job order*, yaitu produksi yang dilakukan jika ada permintaan (*order*) dari konsumen. Produk yang dibuat oleh PT ASMI merupakan produk-produk *presicion part*, *plastic moulding*, *jig*, dan *die casting*. Produk-produk tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar IV.2. Hasil Produksi PT ASMI: (a) *precision part product*; (b) *plastic mould*; (c) *jig and checking fixture*; dan (d) *die casting*
(Sumber: PT ASMI)



(c)




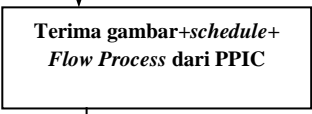
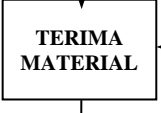
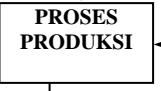
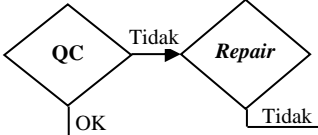
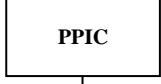
(d)

Gambar IV.2. Hasil Produksi PT ASMI: (a) *precision part product*; (b) *plastic mould*; (c) *jig and checking fixture*; dan (d) *die casting* (Lanjutan)
 (Sumber: PT ASMI)

4.1.8. Prosedur Produksi

PT ASMI memiliki prosedur yang harus dilakukan dalam melaksanakan produksinya, prosedur tersebut terdiri dari beberapa tahapan yang dijelaskan pada Tabel IV.3.

Tabel IV.3. Prosedur Produksi PT Aristo Satria Mandiri Indonesia

No	Diagram Alir	Keterangan	Dokumen Terkait	PIC
1		-	-	-
2		Departemen Produksi menerima gambar, <i>flow process</i> dan <i>master schedule</i> produksi dari Departemen PPIC sebagai pedoman untuk proses produksi.	<i>Drawing, Flow proses</i>	<i>Leader produksi, Leader PPIC</i>
3		Departemen produksi menerima material dari PPIC	Serah Terima	<i>Leader Produksi</i>
4		Proses dilakukan berdasarkan <i>flow process</i> dan instruksi kerja (IK) pembuatan produk yang dibuat oleh <i>Leader Produksi</i> yang ditujukan ke operator-operator produksi.	<i>Flow proses IK pengoperasian mesin</i>	<i>Semua Operator</i>
5		Lakukan evaluasi hasil, apabila hasilnya belum OK (NG) maka proses produksi kembali ke 4 apabila oke lanjut ke 6.	<i>Drawing part & Form Permohonan Repair</i>	<i>Staff Produksi</i>
6		<i>Leader Produksi</i> menyerahkan <i>part</i> OK ke PPIC	Form serah Terima <i>Part Finish good</i>	<i>Leader Produksi dan PPIC</i>

7	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> Quality Control </div>	Penyerahterimaan <i>part finish</i> ke Dept. QC dan kemudian dilakukan pengecekan <i>part</i> yang di terima dari PPIC sebelum pengiriman dilakukan.	Form serah Terima <i>Part Finish</i>	Staf PPIC+ Staf QC
---	--	--	--------------------------------------	-----------------------

(Sumber: PT ASMI)

4.1.9. Daftar Mesin

PT ASMI menggunakan mesin yang masih membutuhkan tenaga *operator* dalam pengoperasiannya. Mesin-mesin yang digunakan pada PT ASMI adalah sebagai berikut:

Tabel IV.4 Daftar Mesin pada PT Aristo Satria Mandiri Indonesia

No	Nama Mesin	Merek	Jumlah (Unit)
1	Mesin <i>CNC Milling</i>	YCM MAX	2
2	Mesin <i>CNC Milling</i>	DAHLIH	1
3	Mesin <i>CNC Milling</i>	QUASER	1
4	Mesin Gerinda <i>Cylinder</i>	POLNMRY	1
5	Mesin <i>Surface Grinding</i>	STANDARD	2
6	Mesin <i>Surface Grinding</i>	HMTW	2
7	Mesin <i>Surface Grinding</i>	OKAMOTO	1
8	Mesin Gerinda	SAXON	1
9	Mesin Gerinda	STANDARD	1
10	Mesin Gerinda Internal	ETMTW	2
11	Mesin <i>Wire cut</i>	SODICK	1
12	Mesin <i>CNC EDM</i>	SKM S60 - CNC	1
13	Mesin <i>CNC EDM</i>	JS EB 606 N	1
14	Mesin <i>CNC Bubut</i>	LEADWELL F1	1

15	Mesin <i>Milling</i>	STANDARD	4
16	Mesin <i>Milling</i>	NANTONG	1
17	Mesin <i>Milling</i>	NANTONG	2
18	Mesin <i>Surface Milling</i>	STANDARD	1

Lanjut...

Tabel IV.4 Daftar Mesin pada PT Aristo Satria Mandiri Indonesia (Lanjutan)

No	<i>Machine Name</i>	<i>Brand</i>	Unit
19	Mesin Bubut	BJ 1640 GD	3
20	Mesin Bubut	CY-L 1640 G	1
21	Mesin Bubut	LA 04017	1
22	Mesin Bubut	BAOJI	1
23	Mesin Bubut	530X1100	1
24	Mesin <i>Squaring</i>	NANTONG	4
25	Mesin Potong	STANDARD	1

(Sumber: PT ASMI)

4.1.10. Data *Equipment Failure* Mesin

Mesin CNC *milling* yang terdapat pada PT ASMI terdiri dari empat mesin yang mempunyai merek berbeda, yaitu YCM MV 86A, YCM MV 106A, DAHLIH, dan QUASER. Data kerusakan dari empat mesin CNC *milling* tersebut dapat dilihat pada Lampiran A. Berikut merupakan data frekuensi kerusakan dari keempat mesin CNC *milling* tersebut selama periode 2014-2015:

Tabel IV.5. Tabel Frekuensi Kerusakan Mesin CNC *Milling*

No.	Merek Mesin	Frekuensi Kerusakan (Ganti)
1	YCM MV 86A	6
2	YCM MV 106A	6
3	DAHLIH	8

4	QUASER	14
---	--------	----

(Sumber: PT ASMI)

4.2. Pengolahan Data

4.2.1. Penentuan Mesin Kritis

Tabel IV.5. memperlihatkan frekuensi kerusakan kelompok mesin CNC *milling*. Dari tabel tersebut terlihat bahwa mesin CNC *milling* yang memiliki frekuensi kerusakan terbanyak adalah mesin CNC *milling* Quaser, yaitu sebanyak 14 kali kerusakan. Oleh karena itu, penelitian ini fokus pada kerusakan mesin CNC



milling Quaser. Gambar dari mesin CNC *milling* Quaser pada PT ASMI dapat dilihat pada Gambar IV.3.

Gambar IV.3. CNC *Milling* Quaser
(Sumber: PT ASMI)

4.2.2. Penentuan Komponen Mesin Kritis

Pada subbab 4.2.1. didapatkan bahwa tipe mesin CNC *milling* yang memiliki frekuensi kerusakan terbesar adalah mesin CNC *milling* Quaser. Penentuan komponen kritis dilakukan dengan melihat komponen yang memiliki frekuensi kerusakan yang lebih besar dari komponen lainnya. Tabel IV.6. memperlihatkan beberapa komponen mesin CNC *milling* Quaser yang mengalami beberapa kali kerusakan selama periode Januari 2014- Desember 2015.

Tabel IV.6. Frekuensi Kerusakan Komponen Mesin CNC *Milling* Quaser

No.	Komponen Mesin	Frekuensi Kerusakan (Ganti)
1	<i>Bearing</i>	9
2	<i>Ballscrew</i>	2
3	Selang Angin	2
4	<i>Linear Guide</i>	1
Total		14

(Sumber: PT ASMI)

Terdapat pula *tools* (alat bantu) dari mesin CNC *milling* Quaser yang memiliki beberapa frekuensi kerusakan sebagai berikut:

Tabel IV.7. Frekuensi Kerusakan *Tools* Mesin CNC *Milling* Quaser

No.	<i>Tools</i> (Alat Bantu)	Frekuensi Kerusakan (Ganti)
1	<i>Collet Chuck</i>	6

(Sumber: PT ASMI)

Pada Tabel IV.6. dan Tabel IV.7. terlihat bahwa komponen yang akan menjadi prioritas dalam pengerjaan penelitian ini adalah komponen *bearing* dan *tools collet chuck*. Kedua komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar IV.4.



(a) (b)
Gambar IV.4. Komponen Mesin Kritis CNC *Milling* Quaser: (a) *Bearing* dan (b)
Tools Collet Chuck
(Sumber: Pengolahan Data)

Berikut merupakan penjelasan tentang komponen kritis dan *tools* tersebut:

1. *Bearing*

Komponen *bearing* adalah komponen yang berfungsi untuk mengurangi gesekan pada mesin atau komponen-komponen yang bergerak dan saling menekan antara satu dengan yang lainnya. *Bearing* digunakan untuk menahan/ menyangga komponen-komponen yang bergerak. *Bearing* pada mesin CNC *milling* terletak pada *ballscrew* yang merupakan suatu kesatuan bersama dengan *linear guide* untuk menggerakkan meja mesin CNC *milling*.

2. *Collet Chuck*

Collet Chuck diletakkan pada ujung *spindle* yang berputar dan digunakan untuk menjepit *tools* yang akan digunakan untuk memproses benda kerja.

**4.2.3. Perhitungan *Time To Failure (TTF)* dan *Time To Repair (TTR)*
Komponen Mesin Kritis**

Perhitungan ini merupakan perhitungan yang didasarkan pada komponen mesin kritis dan *tools* yang telah didapatkan sebelumnya. Berikut merupakan data kerusakan beserta hasil perhitungan TTF dan TTR untuk komponen *bearing* dan *tools collet chuck*.

1. Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Bearing*

Data kerusakan beserta hasil perhitungan TTF dan TTR untuk komponen *bearing* selama periode 2014-2015 dapat dilihat pada Tabel IV.8.

Tabel IV.8. Data Kerusakan dan Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Bearing*

No	Tanggal	Jam Mulai Kerusakan dan Perbaikan	Tanggal	Jam Selesai Kerusakan dan Perbaikan	<i>Time To Failure</i> (Menit)	<i>Time To Repair</i> (Menit)
1	05-02-2014	11.00	05-02-2014	13.00	-	120
2	17-03-2014	13.15	17-03-2014	15.20	13.995	125
3	21-07-2014	10.20	21-07-2014	12.00	40.440	100
4	09-10-2014	14.30	09-10-2014	16.45	24.630	135
5	20-12-2014	11.00	20-12-2014	13.40	24.180	160
6	26-02-2015	08.30	26-02-2015	11.00	21.050	150
7	12-06-2015	14.30	12-06-2015	16.50	34.410	140
8	05-08-2015	14.15	05-08-2015	15.50	15.435	95
9	02-11-2015	11.20	02-11-2015	13.55	29.310	155

(Sumber: Data Perusahaan yang Diolah)

Berikut merupakan penjabaran dari perhitungan pada tabel diatas:

a. Perhitungan *Time To Failure* (TTF)

Contoh selang waktu antara kerusakan No.1 dan No. 2, kerusakan pertama selesai diperbaiki pada tanggal 05-02-2014 pada jam 13.00 dan kembali terjadi kerusakan pada tanggal 17-03-2014 pada jam 13.15. Selang waktu mulai dari tanggal 05-02-2014 sampai dengan 17-03-2014 adalah 34 hari (28 hari kerja dan 6 hari sabtu). Dalam satu hari perusahaan bekerja selama 7 jam kerja atau 420 menit dan 5 jam kerja atau 300 menit pada hari sabtu. Jadi total waktu yang dibutuhkan adalah (28×420) menit + (6×300) menit = 13.560 menit ditambah 435 menit (komponen rusak lagi pada tanggal 17-03-2014 jam 13.15) menghasilkan nilai sebesar 13.995 menit. Jadi interval waktu kerusakan (TTF) adalah 13.995 menit. Untuk perhitungan selang waktu TTF selanjutnya dihitung menggunakan cara ini.

b. Perhitungan *Time To Repair* (TTR)

Contoh selang waktu perbaikan pertama, kerusakan terjadi pada tanggal 05-02-2014 mulai jam 11.00 dan selesai perbaikan jam 13.00 pada hari yang sama. Selang waktu dari waktu mulai perbaikan sampai pada waktu selesai perbaikan

adalah sebesar 2 jam atau 120 menit. Untuk perhitungan selang waktu TTR selanjutnya dihitung dengan menggunakan cara ini.

2. Perhitungan TTF dan TTR *Tools Collet Chuck*

Data kerusakan beserta hasil perhitungan TTF dan TTR untuk *tools collet chuck* selama periode 2014-2015 dapat dilihat pada Tabel IV.9.

Tabel IV.9. Data Kerusakan dan Perhitungan TTF dan TTR *Tools Collet Chuck*

No	Tanggal	Jam Mulai Kerusakan dan Perbaikan	Tanggal	Jam Selesai Kerusakan dan Perbaikan	<i>Time To Failure</i> (Menit)	<i>Time To Repair</i> (Menit)
1	19-03-2014	09.30	19-03-2014	10.50	-	80
2	08-09-2014	10.00	08-09-2014	11.15	53.050	75
3	12-12-2014	10.50	12-12-2014	11.30	32.555	40
4	02-05-2015	13.40	02-05-2015	15.05	45.370	85
5	19-09-2015	10.50	19-09-2015	12.00	43.425	70
6	21-12-2015	14.00	21-12-2015	15.00	31.260	60

(Sumber: Data Perusahaan yang Diolah)

4.2.4. Perhitungan *Index Of Fit (IOF)*

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui distribusi yang sesuai dengan data interval waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan komponen dengan berdasarkan pada nilai *index of fit* yang ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi terbesar. Setelah terpilih suatu distribusi yang sesuai, distribusi tersebut yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

Index of fit merupakan nilai dari koefisien korelasi pearson yang digunakan untuk mengetahui keterkaitan hubungan antara dua peubah, misal X dan Y, dimana hubungan ini bersifat linear. Nilai yang dihasilkan berkisar dari -1 sampai +1. Apabila nilai *index of fit* mendekati -1 atau +1 maka dapat dikatakan hubungan antara X dan Y kuat dan terdapat korelasi yang tinggi antara keduanya. Namun, bila mendekati nol (0), hubungan linear antara X dan Y sangat lemah atau

mungkin tidak ada sama sekali. Perhitungan *index of fit* ini menggunakan empat distribusi statistik, yaitu distribusi eksponensial, distribusi Weibull, distribusi normal, dan distribusi log normal.

1. Perhitungan *Index Of Fit* Komponen *Bearing*

a. Distribusi Eksponensial

Perhitungan TTF dan TTR dengan distribusi eksponensial dapat dilihat sebagai berikut:

1) *Time To Failure (TTF)*

Perhitungan TTF komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel IV.10.

Tabel IV.10. Distribusi Eksponensial TTF Komponen *Bearing*

i	ti	Xi=ti	F(ti)	Yi	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	13.995	13.995	0,0833	0,0870	1.217,7242	195.860.025	0,0075
2	15.435	15.435	0,2023	0,2261	3.490,2267	238.239.225	0,0511
3	21.050	21.050	0,3214	0,3877	8.162,4644	443.102.500	0,1503
4	24.180	24.180	0,4404	0,5806	14.040,5811	584.672.400	0,3371
5	24.630	24.630	0,5595	0,8198	20.194,1095	606.636.900	0,6722

Lanjut...

Tabel IV.10. Distribusi Eksponensial TTF Komponen *Bearing* (Lanjutan)

i	ti	Xi=ti	F(ti)	Yi	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
6	29.310	29.310	0,6785	1,1349	33.266,2618	859.076.100	1,2881
7	34.410	34.410	0,7976	1,5976	54.973,5348	1.184.048.100	2,5523
8	40.440	40.440	0,9166	2,4849	100.489,6249	1.635.393.600	6,1747
Total	203.450	203.450	4	7,3189	235.834,5277	5.747.028.850	11,2337

(Sumber: Pengolahan Data)

Contoh perhitungan *index of fit* (i=1) untuk TTF distribusi eksponensial dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = t_i = 13.995$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{8 + 0,4} = 0,08333$$

$$Y_i = \ln\left(\frac{1}{1 - F(t_i)}\right) = \ln\left(\frac{1}{1 - 0,08333}\right) = 0,0870$$

$$X_i \cdot Y_i = 13.995 \times 0,087011 = 1217,7242$$

$$X_i^2 = (13.995)^2 = 195.860.025$$

$$Y_i^2 = (0,087011)^2 = 0,0075$$

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

$$r = \frac{8 \times 235.834,5277 - (203.450)(7,3189)}{\sqrt{(8 \times 5.747.028.850 - (203.450)^2)(8 \times 11,2337 - (7,3189)^2)}}$$

Sehingga *Index Of Fit (IOF)* nya adalah:

$$r = \frac{397.633,971}{\sqrt{(4.584.328.300)(36,3028)}} = 0,9747$$

2) *Time To Repair (TTR)*

Perhitungan TTR komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel IV.11.

Tabel IV.11. Distribusi Eksponensial TTR Komponen *Bearing*

i	ti	Xi=ti	F(ti)	Yi	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	95	95	0,0744	0,0773	7,3517	9.025	0,0059
2	100	100	0,1808	0,1994	19,9489	10.000	0,0397
3	120	120	0,2872	0,3386	40,6322	14.400	0,1146
4	125	125	0,3936	0,5002	62,5304	15.625	0,2502
5	135	135	0,5	0,6931	93,5748	18.225	0,4804
6	140	140	0,6063	0,9323	130,5327	19.600	0,8693
7	150	150	0,7127	1,2474	187,1186	22.500	1,5561
8	155	155	0,8191	1,7100	265,0626	24.025	2,9243
9	160	160	0,9255	2,5973	415,5815	25.600	6,7464

Total	1.180	1.180	4,5	8,2961	1.222,3338	159.000	12,9873
--------------	--------------	--------------	------------	---------------	-------------------	----------------	----------------

(Sumber: Pengolahan Data)

Contoh perhitungan *index of fit* ($i=1$) untuk TTR distribusi eksponensial dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = t_i = 95$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{9 + 0,4} = 0,0744$$

$$Y_i = \ln\left(\frac{1}{1 - F(t_i)}\right) = \ln\left(\frac{1}{1 - 0,074468}\right) = 0,0773$$

$$X_i \cdot Y_i = 95 \times 0,0773 = 7,3517$$

$$X_i^2 = (95)^2 = 9.025$$

$$Y_i^2 = (0,077387)^2 = 0,0059$$

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

$$r = \frac{9 \times 1.222,3338 - (1.180)(8,2961)}{\sqrt{(9 \times 159.000 - (1.180)^2)(9 \times 12,9873 - (8,2961)^2)}}$$

Sehingga *Index Of Fit (IOF)* nya adalah:

$$r = \frac{1.211,5243}{\sqrt{(38.600)(48,0601)}} = 0,8895$$

b. Distribusi Weibull

Perhitungan TTF dan TTR dengan distribusi Weibull dapat dilihat sebagai berikut:

1) *Time To Failure (TTF)*

Perhitungan TTF komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel IV.12.

Tabel IV.12. Distribusi Weibull TTF Komponen *Bearing*

i	t_i	X_i=ln t_i	F(t_i)	Y_i	X_i.Y_i	X_i²	Y_i²
1	13.995	9,5464	0,0833	-2,4417	-23,3097	91,1348	5,9619
2	15.435	9,6443	0,2023	-1,4866	-14,3380	93,0143	2,2101
3	21.050	9,9546	0,3214	-0,9473	-9,4305	99,0951	0,8974
4	24.180	10,0932	0,4404	-0,5435	-5,4864	101,8743	0,2954
5	24.630	10,1117	0,5595	-0,1985	-2,0079	102,2468	0,0394
6	29.310	10,2856	0,6785	0,1266	1,3023	105,7952	0,0160
7	34.410	10,4461	0,7976	0,4685	4,8940	109,1210	0,2194
8	40.440	10,6075	0,9166	0,9102	9,6553	112,5206	0,8285
Total	203.450	80,689867	4	-4,1125	-38,7209	814,8025	10,4686

(Sumber: Pengolahan Data)

Contoh perhitungan *index of fit* (i=1) untuk TTF distribusi Weibull dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = \ln t_i = \ln(13.995) = 9,5464$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{8 + 0,4} = 0,0833$$

$$Y_i = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right) = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1 - 0,083333} \right) \right) = -2,4417$$

$$X_i \cdot Y_i = 9,546455 \times (-2,441716) = -23,3097$$

$$X_i^2 = (9,546455)^2 = 91,1348$$

$$Y_i^2 = (-2,441716)^2 = 5,9619$$

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

$$r = \frac{8(-38,7209) - (80,6898)(-4,1125)}{\sqrt{(8 \times 814,8025 - (80,6898)^2)(8 \times 10,4686 - (-4,1125)^2)}}$$

Sehingga *Index Of Fit (IOF)* nya adalah:

$$r = \frac{22,07209}{\sqrt{(7,5654)(66,8359)}} = 0,9815$$

2) *Time To Repair (TTR)*

Perhitungan TTR komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel IV.13.

Tabel IV.13. Distribusi Weibull TTR Komponen *Bearing*

i	ti	Xi=ln ti	F(ti)	Yi	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	95	4,5538	0,0744	-2,5589	-11,6531	20,7377	6,5481
2	100	4,6051	0,1808	-1,6119	-7,4235	21,2075	2,5985
3	120	4,7874	0,2872	-1,0829	-5,1845	22,9200	1,1727
4	125	4,8283	0,3936	-0,6926	-3,3443	23,3126	0,4797
5	135	4,9052	0,5	-0,3665	-1,7978	24,0617	0,1343
6	140	4,9416	0,6063	-0,0700	-0,3460	24,4198	0,0049
7	150	5,0106	0,7127	0,2211	1,1078	25,1064	0,0488
8	155	5,0434	0,8191	0,5365	2,7060	25,4361	0,2878
9	160	5,0751	0,9255	0,9545	4,8442	25,7573	0,9110
Total	1.180	43,7510	4,5	-4,6709	-21,0911	212,9596	12,1862

(Sumber: Pengolahan Data)

Contoh perhitungan *index of fit* (i=1) untuk TTR distribusi Weibull dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = \ln t_i = 4,5538$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{9 + 0,4} = 0,0744$$

$$Y_i = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right) = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1 - 0,0744} \right) \right) = -2,5589$$

$$X_i \cdot Y_i = 4,5538 \times (-2,5589) = -11,6531$$

$$X_i^2 = (4,5538)^2 = 20,7377$$

$$Y_i^2 = (-2,5589)^2 = 6,5481$$

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

$$r = \frac{9(-21,0911) - (43,7510)(-4,6709)}{\sqrt{(9 \times 212,9597 - (43,7510)^2)(9 \times 12,1862 - (-4,6709)^2)}}$$

Sehingga *Index Of Fit (IOF)* nya adalah:

$$r = \frac{14,5360}{\sqrt{(2,4862)(87,8593)}} = 0,9835$$

c. Distribusi Normal

Perhitungan TTF dan TTR dengan distribusi normal dapat dilihat sebagai berikut:

1) *Time To Failure (TTF)*

Perhitungan TTF komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel IV.14. di halaman selanjutnya.

Tabel IV.14. Distribusi Normal TTF Komponen *Bearing*

i	ti	Xi=ti	F(ti)	Yi = Φ^{-1} [F(ti)]	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	13.995	13.995	0,0833	-1,3829	-19.355,0028	195.860.025	1,9126
2	15.435	15.435	0,2023	-0,8331	-12.859,6218	238.239.225	0,6941
3	21.050	21.050	0,3214	-0,4637	-9.761,0481	443.102.500	0,2150
4	24.180	24.180	0,4404	-0,1497	-3.621,2454	584.672.400	0,0224
5	24.630	24.630	0,5595	0,1497	3.688,6383	606.636.900	0,0224
6	29.310	29.310	0,6785	0,4637	13.591,2741	859.076.100	0,2150
7	34.410	34.410	0,7976	0,8331	28.668,5836	1.184.048.100	0,6941
8	40.440	40.440	0,9166	1,3829	55.928,2825	1.635.393.600	1,9126
Total	203.450	203.450	4	0,0000	56.279,8604	5.747.028.850	5,6885

(Sumber: Pengolahan Data)

Contoh perhitungan *index of fit* ($i=1$) untuk TTF distribusi normal dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = t_i = 13.995$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{8 + 0,4} = 0,0833$$

Perhitungan Y_i didapat dari fungsi Microsoft Excel yaitu $NORMSINV(0,0833)$

$$Y_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \Phi^{-1}(0,0833) = -1,3829$$

$$X_i \cdot Y_i = 13.995 \times (-1,3829) = -19.355,0028$$

$$X_i^2 = (13.995)^2 = 195.860.025$$

$$Y_i^2 = (-1,3829)^2 = 1,9126$$

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

$$r = \frac{8 (56.279,8604) - (203.450)(0)}{\sqrt{(8 \times 5.747.028.850 - (203.450)^2)(8 \times 5,6885 - (0)^2)}}$$

Sehingga *Index Of Fit (IOF)* nya adalah:

$$r = \frac{450.238,8833}{\sqrt{(4.584.328.300)(45,5081)}} = 0,9857$$

2) *Time To Repair (TTR)*

Perhitungan TTR komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel IV.15.

Tabel IV.15. Distribusi Normal TTR Komponen *Bearing*

i	ti	Xi=ti	F(ti)	Yi = Φ^{-1} [F(ti)]	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	95	95	0,0744	-1,4432	-137,1134	9.025	2,0831

2	100	100	0,1808	-0,9121	-91,2126	10.000	0,8319
3	120	120	0,2872	-0,5614	-67,3780	14.400	0,3152
4	125	125	0,3936	-0,2699	-33,7380	15.625	0,0728
5	135	135	0,5	0	0	18.225	0
6	140	140	0,6063	0,2699	37,7865	19.600	0,0728
7	150	150	0,7127	0,5614	84,2225	22.500	0,3152
8	155	155	0,8191	0,9121	141,3796	24.025	0,8319
9	160	160	0,9255	1,4432	230,9278	25.600	2,0831
Total	1.180	1.180	4,5	0	164,8744	159.000	6,6063

(Sumber: Pengolahan Data)

Contoh perhitungan *index of fit* ($i=1$) untuk TTR distribusi normal dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = t_i = 95$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{9 + 0,4} = 0,0744$$

Perhitungan Y_i didapat dari fungsi Microsoft Excel yaitu NORMSINV(0,0744)

$$Y_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \Phi^{-1}(0,0744) = -1,4432$$

$$X_i \cdot Y_i = 95 \times (-1,4432) = -137,1134$$

$$X_i^2 = (95)^2 = 9.025$$

$$Y_i^2 = (-1,443299)^2 = 2,0831$$

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

$$r = \frac{9 (164,8744) - (1.180)(0)}{\sqrt{(9 \times 159.000 - (1.180)^2)(9 \times 6,6063 - (0)^2)}}$$

Sehingga *Index Of Fit (IOF)* nya adalah:

$$r = \frac{1.483,8702}{\sqrt{(38.600)(59,4575)}} = 0,9794$$

d. Distribusi Lognormal

Perhitungan TTF dan TTR distribusi lognormal dapat dilihat sebagai berikut:

1) *Time To Failure (TTF)*

Perhitungan TTF komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel IV.16.

Tabel IV.16. Distribusi Lognormal TTF Komponen *Bearing*

i	ti	Xi= ln ti	F(ti)	Yi = Φ^{-1} [F(ti)]	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	13.995	9,5464	0,0833	-1,3829	-13,2026	91,1348	1,9126
2	15.435	9,6443	0,2023	-0,8331	-8,0351	93,0143	0,6941
3	21.050	9,9546	0,3214	-0,4637	-4,6160	99,0951	0,2150
4	24.180	10,0932	0,4404	-0,1497	-1,5115	101,8743	0,0224
5	24.630	10,1117	0,5595	0,1497	1,5143	102,2468	0,0224
6	29.310	10,2856	0,6785	0,4637	4,7695	105,7952	0,2150
7	34.410	10,4461	0,7976	0,8331	8,7031	109,1210	0,6941
8	40.440	10,6075	0,9166	1,3829	14,6702	112,5206	1,9126
Total	203.450	80,6898	4	0	2,2917	814,8025	5,6885

(Sumber: Pengolahan Data)

Contoh perhitungan *index of fit* (i=1) untuk TTF distribusi lognormal dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = \ln t_i = \ln 13.995 = 9,5464$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{8 + 0,4} = 0,0833$$

Perhitungan Y_i didapat dari fungsi Microsoft Excel yaitu NORMSINV(0.0833)

$$Y_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \Phi^{-1}(0,0833) = -1,3829$$

$$X_i \cdot Y_i = 9,5464 \times (-1,3829) = -13,2026$$

$$X_i^2 = (9,5464)^2 = 91,1348$$

$$Y_i^2 = (-1,3829)^2 = 1,9126$$

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

$$r = \frac{8(2,2917) - (80,6898)(0)}{\sqrt{(8 \times 814,8025 - (80,6898)^2)(8 \times 5,6885 - (0)^2)}}$$

Sehingga *Index Of Fit (IOF)* nya adalah:

$$r = \frac{18,3338}{\sqrt{(7,5654)(45,5081)}} = 0,9880$$

2) *Time To Repair (TTR)*

Perhitungan TTR komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel IV.17.

Tabel IV.17. Distribusi Lognormal TTR Komponen *Bearing*

i	ti	Xi= ln ti	F(ti)	Yi = Φ^{-1} [F(ti)]	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	95	4,5538	0,0744	-1,4432	-6,5726	20,7377	2,0831
2	100	4,6051	0,1808	-0,9121	-4,2004	21,2075	0,8319
3	120	4,7874	0,2872	-0,5614	-2,6880	22,9200	0,3152
4	125	4,8283	0,3936	-0,2699	-1,3031	23,3126	0,0728
5	135	4,9052	0,5	0	0	24,0617	0
6	140	4,9416	0,6063	0,2699	1,3337	24,4198	0,0728

Lanjut...

Tabel IV.17. Distribusi Lognormal TTR Komponen *Bearing* (Lanjutan)

i	ti	Xi= ln ti	F(ti)	Yi = Φ^{-1} [F(ti)]	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
7	150	5,0106	0,7127	0,5614	2,8133	25,1064	0,3152
8	155	5,0434	0,8191	0,9121	4,6002	25,4361	0,8319
9	160	5,0751	0,9255	1,4432	7,3249	25,7573	2,0831
Total	1.180	43,7510	4,5	0	1,3080	212,9596	6,6063

(Sumber: Pengolahan Data)

Contoh perhitungan *index of fit* (i=1) untuk TTR distribusi lognormal dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = \ln t_i = \ln 95 = 4,5538$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{9 + 0,4} = 0,0744$$

Perhitungan Y_i didapat dari fungsi Microsoft Excel yaitu NORMSINV(0.0744)

$$Y_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \Phi^{-1}(0,0744) = -1,4432$$

$$X_i \cdot Y_i = 4,5538 \times (-1,4432) = -6,5726$$

$$X_i^2 = (4,5538)^2 = 20,7377$$

$$Y_i^2 = (-1,4432)^2 = 2,0831$$

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

$$r = \frac{9(1,3080) - (43,7510)(0)}{\sqrt{(9 \times 212,9596 - (43,7510)^2)(9 \times 6,6063 - (0)^2)}}$$

Sehingga *Index Of Fit (IOF)* nya adalah:

$$r = \frac{11,7720}{\sqrt{(2,4862)(59,4575)}} = 0,9682$$

Perhitungan *index of fit* untuk komponen *bearing* telah dilakukan untuk keempat distribusi, yaitu distribusi eksponensial, distribusi Weibull, distribusi normal, dan distribusi lognormal. Dari keempat distribusi tersebut, terpilihlah distribusi dengan nilai *index of fit* terbesar atau mendekati 1. Perhitungan *index of fit* untuk *tools collet chuck* dilakukan dengan cara yang sama seperti perhitungan *index of fit* komponen *bearing* dan dapat dilihat pada lampiran D. Berikut merupakan rekapitulasi dari perhitungan *index of fit* untuk TTF dan TTR terhadap empat distribusi kerusakan:

Tabel IV.18. Rekapitulasi Perhitungan *Index Of Fit*

Distribusi	Komponen <i>Bearing</i>	<i>Tools Collet Chuck</i>
------------	-------------------------	---------------------------

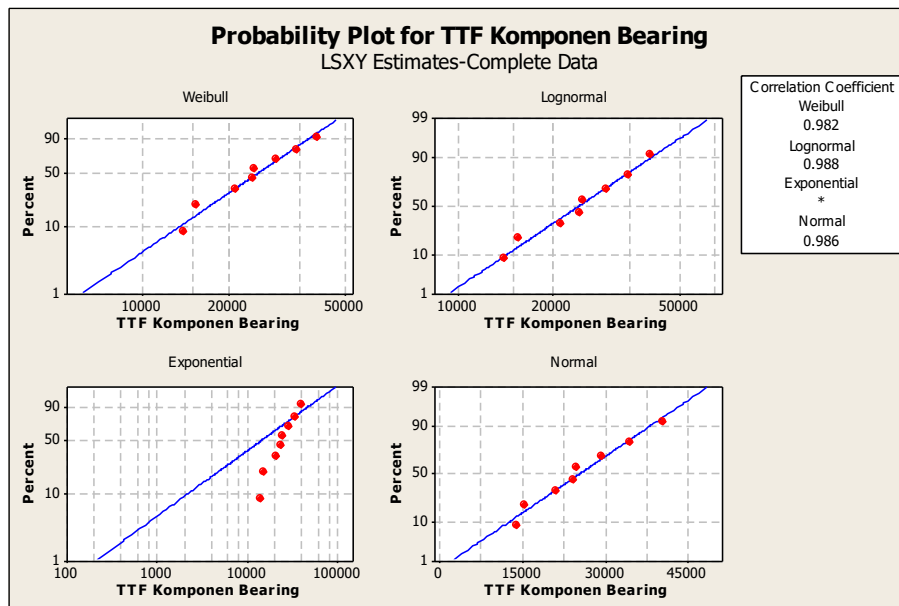
	<i>Index of Fit TTF</i>	<i>Index of Fit TTR</i>	<i>Index of Fit TTF</i>	<i>Index of Fit TTR</i>
Eksponensial	0,9747	0,8895	0,9501	0,8412
Weibull	0,9815	0,9835	0,9527	0,9647
Normal	0,9857	0,9794	0,9668	0,9564
Lognormal	0,9880	0,9682	0,9626	0,9216

(Sumber: Pengolahan Data)

2. Perhitungan *Index Of Fit* Komponen *Bearing* dengan *Software* MINITAB 14
 Perhitungan *index of fit* untuk komponen *bearing* terhadap empat distribusi kerusakan juga dilakukan dengan menggunakan *software* MINITAB 14 untuk mendukung perhitungan manual. Berikut merupakan hasil perhitungan dengan *software* MINITAB 14:

a. *Time To Failure (TTF)*

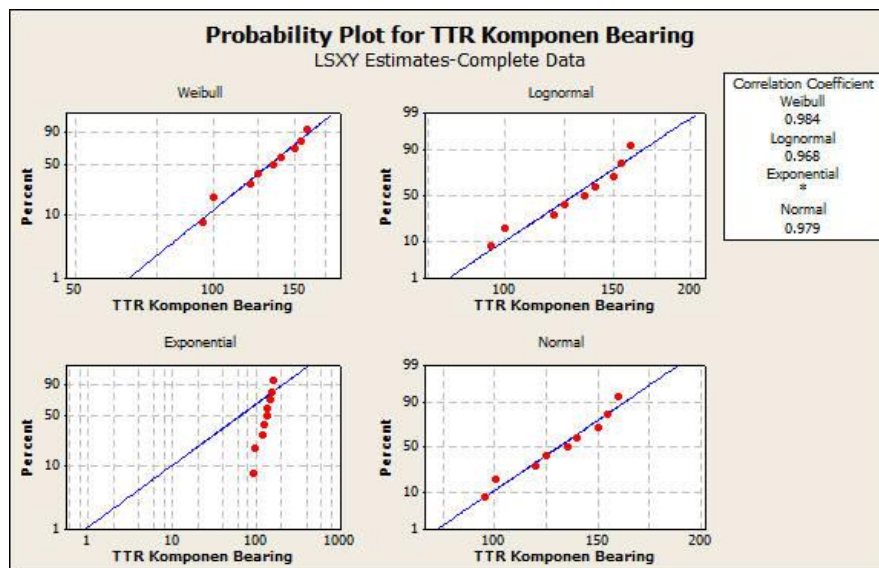
Gambar IV.5. merupakan hasil perhitungan dari TTF komponen *bearing* dengan *software* MINITAB 14 dapat dilihat pada halaman selanjutnya (Data TTF komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel IV.8.).



Gambar IV.5. Perhitungan Data TTF Komponen *Bearing* dengan *Software* MINITAB 14
(Sumber: Pengolahan Data)

b. *Time To Repair (TTR)*

Hasil perhitungan dari TTR komponen *bearing* dengan *software* MINITAB 14 dapat dilihat pada Gambar IV.6. di bawah ini. (Data TTR komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel IV.9.)



Gambar IV.6. Perhitungan Data TTR Komponen *Bearing* dengan *Software* MINITAB 14
(Sumber: Pengolahan Data)

4.2.5. Uji Kesesuaian Distribusi Terpilih (*Goodness Of Fit*)

Perhitungan *index of fit* sebelumnya menghasilkan distribusi-distribusi terpilih terhadap TTF dan TTR komponen kritis. Subbab ini akan dilakukan pengujian 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. Uji *goodness of fit* terdiri dari tiga macam sesuai dengan distribusi yang mengikutinya, yaitu *Bartlett's Test* untuk distribusi eksponensial, *Mann's Test* untuk distribusi Weibull, dan *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk distribusi normal dan lognormal.

1. Uji *Goodness Of Fit* Komponen *Bearing*

a. TTF (*Kolmogorov-Smirnov Test*)

Kolmogorov-Smirnov Test dilakukan untuk menguji apakah data waktu antar kerusakan (TTF) komponen *bearing* berdistribusi lognormal. Perhitungan untuk *Kolmogorov-Smirnov Test* dapat dilihat pada Tabel IV.19.

Tabel IV.19. Perhitungan *Kolmogorov-Smirnov Test* TTF Komponen *Bearing*

i	$\frac{(i-1)}{n}$	$\frac{i}{n}$	t_i	$(t_i - \bar{t})^2$	$z_i = (t_i - \bar{t})/s$	$F(z_i)$	$D_{1i} = F(z_i) - \frac{(i-1)}{n}$	$D_{2i} = \frac{i}{n} - F(z_i)$
1	0	0,125	13.995	130.644.900	-1,2627	0,1033	0,1033	0,0216
2	0,125	0,25	15.435	99.800.100	-1,1036	0,1348	0,0098	0,1151
3	0,25	0,375	21.050	19.140.625	-0,4833	0,3144	0,0644	0,0605
4	0,375	0,5	24.180	1.550.025	-0,1375	0,4453	0,0703	0,0546
5	0,5	0,625	24.630	632.025	-0,0878	0,4650	-0,0349	0,1599
6	0,625	0,75	29.310	15.093.225	0,4291	0,6661	0,0411	0,0838
7	0,75	0,875	34.410	80.730.225	0,9926	0,8395	0,0895	0,0354
8	0,875	1	40.440	225.450.225	1,6587	0,9514	0,0764	0,0485
Total			203.450	573.041.350				

(Sumber: Pengolahan Data)

1. H_0 : Data waktu kerusakan berdistribusi lognormal
2. H_1 : Data waktu kerusakan tidak berdistribusi lognormal
3. Taraf nyata (α) = 0,05
4. Nilai D_{tabel} diperoleh dari *critical value for kolmogorov-smirnov test*
5. Wilayah kritis terima H_0 jika $D_{hitung} < D_{tabel}$

6. Perhitungan :

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{203.450}{8} = 25.431,25$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{573.041.350}{8 - 1}} = 9.047,8202$$

Untuk $i=1$:

$$\frac{i - 1}{n} = \frac{1 - 1}{8} = 0$$

$$\frac{i}{n} = \frac{1}{8} = 0,125$$

$$(t_i - \bar{t})^2 = (13.995 - 25.431,25)^2 = 130.644.900$$

$$z_i = \frac{t_i - \bar{t}}{s} = \frac{13.995 - 25.431,25}{9.047,8202} = -1,2627$$

Nilai $F(z_i)$ diperoleh dari fungsi Microsoft Excel yaitu NORMSDIST(-1,2627)

$$F(z_i) = 0,1033$$

$$D_{1i} = F(z_i) - \frac{i - 1}{n} = 0,1033 - 0 = 0,1033$$

$$D_{2i} = \frac{i}{n} - F(z_i) = 0,125 - 0,1033 = 0,0216$$

Perhitungan untuk $i=2,3$,dst dapat mengikuti perhitungan diatas.

$$D_{1(\max)} = 0,1033$$

$$D_{2(\max)} = 0,1599$$

7. Hasil perhitungan : $D_{\text{hitung}} = 0,1599$

8. Nilai $D_{\text{tabel}}(8;0,05) = 0,287$
9. Karena $D_{\text{hitung}}(0,1599) < D_{\text{tabel}}(0,287)$, maka hipotesis nol (H_0) diterima dan data waktu kerusakan berdistribusi lognormal.

b. TTR (*Mann's Test*)

Mann's Test dilakukan untuk menguji apakah data waktu antar perbaikan (TTR) komponen *bearing* berdistribusi Weibull. Perhitungan untuk *Mann's Test* dapat dilihat pada Tabel IV.20.

Tabel IV.20. Perhitungan *Mann's Test* TTR Komponen *Bearing*

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	95	4,5538	0,9459	-2,8901	1,1581	0,0512	0,0442	
2	100	4,6051	0,8378	-1,7319	0,5770	0,1823	0,3159	
3	120	4,7874	0,7297	-1,1549	0,4113	0,0408	0,0992	
4	125	4,8283	0,6216	-0,7435	0,3378	0,0769	0,2278	
5	135	4,9052	0,5135	-0,4057	0,3035	0,0363	0,1198	
6	140	4,9416	0,4054	-0,1021	0,2952	0,0689	0,2336	
7	150	5,0106	0,2972	0,1931	0,3167	0,0327	0,1035	
8	155	5,0434	0,1891	0,5098	0,4113	0,0317	0,0771	
9	160	5,0751	0,0810	0,9212				
Total								1,2214

(Sumber: Pengolahan Data)

1. H_0 : Data waktu kerusakan berdistribusi Weibull
2. H_1 : Data waktu kerusakan tidak berdistribusi Weibull
3. Taraf nyata (α) = 0,05
4. Nilai F_{tabel} diperoleh dari tabel F.
5. Wilayah kritis: terima H_0 jika nilai $M < F_{\text{tabel}}$
6. Perhitungan :

Untuk $i=1$:

$$\ln t_i = \ln(95) = 4,5538$$

$$1 - \left(\frac{i - 0,5}{n + 0,25} \right) = 1 - \left(\frac{1 - 0,5}{9 + 0,25} \right) = 0,9459$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i - 0,5}{n + 0,25} \right) \right] = \ln[-\ln(0,9459)] = -2,8901$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i = (-1,7319) - (-2,8901) = 1,1581$$

$$\ln t_{i+1} - \ln t_i = 4,6051 - 4,5538 = 0,0512$$

$$\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i} = \frac{0,0512}{1,1581} = 0,0442$$

$$k_1 = \frac{r}{2} = \frac{9}{2} = 4,5$$

$$k_2 = \frac{r - 1}{2} = \frac{9 - 1}{2} = 4$$

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1}^{r-1} \frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i}}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i}} = \frac{4,5 \times 0,4143}{4 \times 0,8070} = 0,5775$$

$$\text{Degree of freedom pembilang (V}_1) = 2k_2 = 2 \times 4 = 8$$

$$\text{Degree of freedom penyebut (V}_2) = 2k_1 = 2 \times 4,5 = 9$$

7. Hasil perhitungan nilai $M = 0,5775$
8. Nilai $F_{\text{tabel}(0,05;8;9)} = 3,23$
9. Karena $M (0,5775) < F_{\text{tabel}} (3,23)$, maka hipotesis nol (H_0) diterima dan data waktu perbaikan berdistribusi Weibull.

2. Uji Goodness Of Fit Tools Collet Chuck

a. TTF (Kolmogorov-Smirnov Test)

Kolmogorov-Smirnov Test dilakukan untuk menguji apakah data waktu antar kerusakan (TTF) *tools collet chuck* berdistribusi normal. Perhitungan untuk *Kolmogorov-Smirnov Test* dapat dilihat pada Tabel IV.21. di halaman selanjutnya.

Tabel IV.21. Perhitungan *Kolmogorov-Smirnov Test* TTF Tools Collet Chuck

i	$\frac{(i-1)}{n}$	$\frac{i}{n}$	t_i	$(t_i - \bar{t})^2$	$z_i = \frac{(t_i - \bar{t})}{s}$	$F(z_i)$	$D_{1i} = F(z_i) - \frac{(i-1)}{n}$	$D_{2i} = \frac{i}{n} - F(z_i)$
1	0	0,2	31.260	97.456.384	-1,0766	0,1408	0,1408	0,0591
2	0,2	0,4	32.555	73.564.929	-0,9354	0,1747	-0,0252	0,2252
3	0,4	0,6	43.425	5.257.849	0,2500	0,5987	0,1987	0,0012
4	0,6	0,8	45.370	17.960.644	0,4622	0,6780	0,0780	0,1219
5	0,8	1	53.050	142.038.724	1,2998	0,9031	0,1031	0,0968
Total			205.660	336.278.530				

(Sumber: Pengolahan Data)

1. H_0 : Data waktu kerusakan berdistribusi normal
2. H_1 : Data waktu kerusakan tidak berdistribusi normal
3. Taraf nyata (α) = 0,05
4. Nilai D_{tabel} diperoleh dari *critical value for kolmogorov-smirnov test*
5. Wilayah kritis : terima H_0 jika $D_{hitung} < D_{tabel}$
6. Perhitungan :

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{205.660}{5} = 41.132$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{336.278.530}{5 - 1}} = 9.168,9493$$

Untuk $i=1$:

$$\frac{i - 1}{n} = \frac{1 - 1}{5} = 0$$

$$\frac{i}{n} = \frac{1}{5} = 0,2$$

$$(t_i - \bar{t})^2 = (31.260 - 41.132)^2 = 97.456.384$$

$$z_i = \frac{t_i - \bar{t}}{s} = \frac{31.260 - 41.132}{9.168,9493} = -1,0766$$

Nilai $F(z_i)$ diperoleh dari fungsi Microsoft Excel yaitu NORMSDIST(-1,0766)

$$F(z_i) = 0,1408$$

$$D_{1i} = F(z_i) - \frac{i-1}{n} = 0,1408 - 0 = 0,1408$$

$$D_{2i} = \frac{i}{n} - F(z_i) = 0,2 - 0,1408 = 0,0591$$

Perhitungan untuk $i=2,3$, dst dapat mengikuti perhitungan diatas.

$$D_{1(\max)} = 0,1987$$

$$D_{2(\max)} = 0,2252$$

7. Hasil perhitungan : $D_{\text{hitung}} = 0,2252$
8. Nilai $D_{\text{tabel}}(5;0,05) = 0,343$
9. Karena $D_{\text{hitung}}(0,2252) < D_{\text{tabel}}(0,343)$, maka hipotesis nol (H_0) diterima dan data waktu kerusakan berdistribusi normal.

b. TTR (*Mann's Test*)

Mann's Test dilakukan untuk menguji apakah data waktu antar perbaikan (TTR) *tools collet chuck* berdistribusi Weibull. Berikut merupakan perhitungan untuk *Mann's Test* :

Tabel IV.22. Perhitungan *Mann's Test* TTR *Tools Collet Chuck*

i	t_i	$\ln t_i$	$1 - ((i-0.5)/(n+0.25))$	Z_i	M_i	$\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i}$	$\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i}$	
1	40	3,6888	0,92	-2,4843	1,1912	0,4054	0,3403	
2	60	4,0943	0,76	-1,2930	0,6213	0,1541	0,2481	
3	70	4,2484	0,6	-0,6717	0,4744	0,0689	0,1454	
4	75	4,3174	0,44	-0,1972	0,4386	0,0645	0,1471	
5	80	4,3820	0,28	0,2413	0,5101	0,0606	0,1188	
6	85	4,4426	0,12	0,7515				
Total								0,9998

(Sumber: Pengolahan Data)

1. H_0 : Data waktu kerusakan berdistribusi Weibull
2. H_1 : Data waktu kerusakan tidak berdistribusi Weibull
3. Taraf nyata (α) = 0,05
4. Nilai F_{tabel} diperoleh dari tabel F.
5. Wilayah kritis terima H_0 jika nilai $M < F_{\text{tabel}}$
6. Perhitungan :

Untuk $i=1$:

$$\ln t_i = \ln(40) = 3,6888$$

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

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i - 0,5}{n + 0,25} \right) \right] = \ln[-\ln(0,92)] = -2,484328$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i = (-1,293034) - (-2,484328) = 1,1912$$

$$\ln t_{i+1} - \ln t_i = 4,0943 - 3,6888 = 0,4054$$

$$\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i} = \frac{0,4054}{1,1912} = 0,3403$$

$$k_1 = \frac{r}{2} = \frac{6}{2} = 3$$

$$k_2 = \frac{r - 1}{2} = \frac{6 - 1}{2} = 2,5$$

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1}^{r-1} \frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i}}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i}} = \frac{3 \times 0,2659}{2,5 \times 0,7338} = 0,4349$$

$$\text{Degree of freedom pembilang (V}_1) = 2k_2 = 2 \times 2,5 = 5$$

$$\text{Degree of freedom penyebut (V}_2) = 2k_1 = 2 \times 3 = 6$$

7. Hasil perhitungan nilai $M = 0,4349$
8. Nilai $F_{\text{tabel}(0,05;5;6)} = 4,39$

9. Karena $M (0,4349) < F_{\text{tabel}} (4,39)$, maka hipotesis nol (H_0) diterima dan data waktu perbaikan berdistribusi Weibull.

Setelah dilakukan perhitungan uji *goodness of fit* untuk data waktu antar kerusakan (TTF) dan data waktu antar perbaikan (TTR), maka semua hasil dari uji tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel IV.23. Rekapitulasi Uji *Goodness Of Fit* TTF

No.	Komponen/ Tools	Distribusi	D_{hitung}	D_{tabel}	Kesimpulan
1	Bearing	Lognormal	0,1599	0,287	Terima H_0
2	Collet Chuck	Nomal	0,2252	0.343	Terima H_0

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel IV.24. Rekapitulasi Uji *Goodness Of Fit* TTR

No.	Komponen/ Tools	Distribusi	M	F_{tabel}	Kesimpulan
1	Bearing	Weibull	0,5775	3,23	Terima H_0
2	Collet Chuck	Weibull	0,4349	4,39	Terima H_0

(Sumber: Pengolahan Data)

4.2.6. Perhitungan Estimasi Parameter Distribusi Pilihan

Estimasi parameter dari distribusi yang telah terpilih pada uji *goodness of fit* dilakukan dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator (MLE)*. Perhitungan estimasi parameter diperlukan untuk mencari nilai *Mean Time To Failure (MTTF)* dan *Mean Time To Repair (MTTR)*. Estimasi parameter menggunakan metode *MLE* memiliki perhitungan yang berbeda untuk masing-masing distribusi.

1. Perhitungan Estimasi Parameter Komponen *Bearing*

a. TTF (Distribusi Lognormal)

Parameter yang digunakan dalam distribusi lognormal ada 2, yaitu \hat{t}_{med} dan parameter lokasi (\hat{s}). Perhitungan estimasi parameter untuk TTF komponen *bearing* dapat dilihat pada halaman selanjutnya.

Tabel IV.25. Perhitungan MLE TTF Komponen *Bearing*

i	t_i	ln t_i	ln t_i/n	(ln t_i-μ)²
1	13.995	9,5464	1,1933	0,2910
2	15.435	9,6443	1,2055	0,1949
3	21.050	9,9546	1,2443	0,0172
4	24.180	10,0932	1,2616	0,0000
5	24.630	10,1117	1,2639	0,0006
6	29.310	10,2856	1,2857	0,0399
7	34.410	10,4461	1,3057	0,1297
8	40.440	10,6075	1,3259	0,2721
Total		80,6898	10,0862	0,9456

(Sumber: Pengolahan Data)

Perhitungan parameter:

$$\hat{\mu} = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n} = 10,0862$$

$$\hat{t}_{med} = e^{\hat{\mu}} = e^{10,086233} = 24.010,1845$$

$$\hat{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \hat{\mu})^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,945679}{8}} = 0,3438$$

b. TTR (Distribusi Weibull)

Parameter yang digunakan dalam distribusi Weibull ada dua macam, yaitu parameter bentuk ($\hat{\beta}$) dan parameter skala ($\hat{\theta}$). Perhitungan estimasi parameter untuk TTR komponen *bearing* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel IV.26. Perhitungan MLE TTR Komponen *Bearing*

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_i²	Y_i²
1	95	4,5539	0,0745	-2,5589	-11,6531	20,7378	6,5482
2	100	4,6052	0,1809	-1,6120	-7,4235	21,2076	2,5985
3	120	4,7875	0,2872	-1,0829	-5,1845	22,9201	1,1727
4	125	4,8283	0,3936	-0,6927	-3,3444	23,3126	0,4798

Lanjut...

Tabel IV.26. Perhitungan MLE TTR Komponen *Bearing* (Lanjutan)

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_i²	Y_i²
5	135	4,9053	0,5000	-0,3665	-1,7978	24,0617	0,1343
6	140	4,9416	0,6064	-0,0700	-0,3460	24,4198	0,0049
7	150	5,0106	0,7128	0,2211	1,1079	25,1065	0,0489
8	155	5,0434	0,8191	0,5365	2,7060	25,4361	0,2879
9	160	5,0752	0,9255	0,9545	4,8443	25,7574	0,9111
Total	1180	43,7510	4,5	-4,6709	-21,0912	212,9596	12,1863

(Sumber: Pengolahan Data)

Perhitungan parameter:

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

$$= \frac{(9 \times (-21,0912)) - (43,7510)(-4,6709)}{(9 \times 212,9596) - (43,7510)^2} = 5,846590$$

Nilai $\hat{b} = 5,846590$ merupakan estimasi awal untuk menentukan estimasi parameter $\hat{\beta}$. Langkah selanjutnya adalah melakukan pendekatan iterasi metode Newton-Raphson yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel IV.27. Iterasi Metode Newton-Raphson Komponen *Bearing*

Iterasi	$\hat{\beta}$	$g(\hat{\beta})$	$g'(\hat{\beta})$
1	5,846590	-0,050264433	0,04104174
2	7,071305	-0,007726493	0,02940566
3	7,334060	-0,000245747	0,02756496
4	7,342975	-0,000000265	0,02750557
5	7,342985	0,000000000	0,02750551

(Sumber: Pengolahan Data)

Estimasi parameter $\hat{\beta}$ yang terpilih adalah pada saat iterasi ke-5, yaitu pada saat $g(\hat{\beta})$ menghasilkan nilai 0, dengan nilai $\hat{\beta}$ adalah 7,3429. Contoh perhitungan pada saat iterasi keempat dan kelima dapat dilihat pada halaman selanjutnya.

Tabel IV.28. Iterasi Keempat Metode Newton-Raphson Komponen *Bearing*

Iterasi keempat ($\hat{\beta} = 7,342975$)			
i	$ti^{\hat{\beta}}$	$ti^{\hat{\beta}} \ln ti$	$ti^{\hat{\beta}} (\ln ti)^2$
1	332.947.074.050.133	1.516.199.986.642.920	6.904.588.082.218.220
2	485.232.872.127.153	2.234.579.955.981.340	10.290.620.991.491.800
3	1.850.870.924.826.430	8.861.029.269.561.910	42.422.104.460.577.700
4	2.497.802.107.226.740	12.060.172.227.385.500	58.230.295.239.717.200
5	4.395.293.007.860.160	21.560.119.935.303.200	105.758.312.538.751.000
6	5.740.698.559.718.310	28.368.479.538.116.100	140.186.881.950.479.000
7	9.527.609.446.510.700	47.739.376.161.051.400	239.204.603.110.701.000
8	12.121.354.040.235.700	61.133.141.417.595.600	308.320.420.901.678.000
9	15.303.760.695.762.200	77.669.245.557.736.800	394.184.921.303.592.000
Total			
	52.255.568.728.317.600	2,61142E+17	1.305.502.748.579.210.000

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel IV.29. Iterasi Kelima Metode Newton-Raphson Komponen *Bearing*

Iterasi kelima ($\hat{\beta} = 7,342985$)			
i	$ti^{\hat{\beta}}$	$ti^{\hat{\beta}} \ln ti$	$ti^{\hat{\beta}} (\ln ti)^2$
1	332.961.674.594.858	1.516.266.475.726.140	6.904.890.865.317.870
2	485.254.390.457.806	2.234.679.051.556.110	10.291.077.343.478.400
3	1.850.956.253.939.220	8.861.437.781.984.810	42.424.060.210.429.100
4	2.497.918.243.170.690	12.060.732.968.159.100	58.233.002.672.097.200
5	4.395.500.625.609.000	21.561.138.357.410.200	105.763.308.179.026.000
6	5.740.971.740.058.110	28.369.829.497.672.300	140.193.552.967.890.000
7	9.528.069.163.194.350	47.741.679.633.691.800	239.216.144.972.012.000
8	12.121.942.735.181.700	61.136.110.456.472.400	308.335.395.026.922.000
9	15.304.508.628.851.400	77.673.041.448.166.700	394.204.186.107.307.000
Total			
	52.258.083.455.057.200	2,61155E+17	1.305.565.618.344.480.000

(Sumber: Pengolahan Data)

Berikut adalah contoh perhitungannya (Iterasi keempat):

Untuk $i = 1$

$$ti^{\hat{\beta}} = (95)^{7,342975} = 332.947.074.050.133$$

$$ti^{\hat{\beta}} \ln ti = 332.947.074.050.133 \times 4,5539 = 1.516.199.986.642.920$$

$$t_i^{\hat{\beta}} (\ln t_i)^2 = 332.947.074.050.133 \times (4,5539)^2 = 6.904.588.082.218.220$$

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

$$= \frac{2,61142E + 17}{52.255.568.728.317.600} - \frac{1}{7,342975} - \frac{1}{9}(43,7510) = -0,000000265$$

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

$$= \frac{(52.255.568.728.317.600 \times 1.305.502.748.579.210.000) - (2,61142E + 17)^2}{(52.255.568.728.317.600)^2}$$

$$+ \frac{1}{(7,342975)^2}$$

$$= 0,02750557$$

Dikarenakan nilai $g(\hat{\beta})$ belum sama dengan 0, maka dilanjutkan ke dalam iterasi kelima, perhitungannya adalah sebagai berikut:

Nilai $\hat{\beta}$ pada iterasi kelima ditentukan dari iterasi keempat:

$$\hat{\beta}_{j+1} = \hat{\beta}_j - \frac{g(\hat{\beta})}{g'(\hat{\beta})}$$

$$\hat{\beta}_{4+1} = 7,342975 - \frac{-0,000000265}{0,02750557}$$

$$\hat{\beta}_5 = 7,342985$$

Kemudian kembali dihitung perhitungan $g(\hat{\beta})$ dan $g'(\hat{\beta})$ untuk iterasi kelima menggunakan rumus yang sama dengan perhitungan pada iterasi keempat. Pada iterasi kelima, didapatkan nilai $g(\hat{\beta})$ sebesar 0,000. Iterasi berhenti pada

iterasi kelima, dan didapatkan estimasi parameter $\hat{\beta}$ sebesar 7,342985. Setelah didapatkan estimasi $\hat{\beta}$, dapat ditentukan estimasi $\hat{\theta}$ sebagai berikut:

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

$$= \left[\frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 52.258.083.455.057.200 \right]^{1/7,342985} = 140,2164$$

2. Perhitungan Estimasi Parameter *Tools Collet Chuck*

a. TTF (Distribusi Normal)

Parameter yang digunakan dalam distribusi normal ada dua, yaitu $\hat{\mu}$ dan $\hat{\sigma}$. Perhitungan estimasi parameter untuk TTF *tools collet chuck* dapat dilihat pada Tabel IV.30.

Tabel IV.30. Perhitungan MLE TTF *Tools Collet Chuck*

i	t_i	(t_i-$\hat{\mu}$)²
1	31.260	97.456.384
2	32.555	73.564.929
3	43.425	5.257.849
4	45.370	17.960.644
5	53.050	142.038.724
Total	205.660	336.278.530

(Sumber: Pengolahan Data)

Perhitungan parameter:

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{205.660}{5} = 41.132$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \hat{\mu})^2}{n - 1} = \frac{336.278.530}{4} = 84.069.632,500$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{(n - 1)\hat{s}^2}{n} = \frac{(5 - 1) \times 84.069.632,500}{5} = 67.255.706$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{67.255.706} = 8.200,9576$$

b. TTR (Distribusi Weibull)

Parameter yang digunakan dalam distribusi Weibull ada dua macam, yaitu parameter bentuk ($\hat{\beta}$) dan parameter skala ($\hat{\theta}$). Perhitungan estimasi parameter untuk TTR *tools collet chuck* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel IV.31. Perhitungan MLE TTR *Tools Collet Chuck*

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	40	3,6889	0,1094	-2,1556	-7,9518	1,6078	4,6467
2	60	4,0943	0,2656	-1,1753	-4,8120	16,7637	1,3813
3	70	4,2485	0,4219	-0,6015	-2,5557	18,0497	0,3619
4	75	4,3175	0,5781	-0,1473	-0,6359	18,6407	0,0217
5	80	4,3820	0,7344	0,2819	1,2354	19,2022	0,0795
6	85	4,4427	0,8906	0,7943	3,5290	19,7372	0,6310
Total	410	25,1738	3	-3,0034	-11,1910	106,0012	7,1219

(Sumber: Pengolahan Data)

Perhitungan parameter:

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

$$= \frac{(6 \times (-11,1910)) - (25,1738)(-3,0034)}{(6 \times 106,0012) - (25,1738)^2} = 3,7072$$

Nilai $\hat{b} = 3,707248$ merupakan estimasi awal untuk menentukan estimasi parameter $\hat{\beta}$. Langkah selanjutnya adalah melakukan pendekatan iterasi metode Newton-Raphson yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel IV.32. Iterasi Metode Newton-Raphson *Tools Collet Chuck*

Iterasi	$\hat{\beta}$	$g(\hat{\beta})$	$g'(\hat{\beta})$
1	3,707248	-0,1345694	0,090784634
2	5,189540	-0,0359067	0,04894543
3	5,923146	-0,0040992	0,038434179
4	6,029801	-0,0000661	0,037204679
5	6,031579	0,0000000	0,037184719

(Sumber: Pengolahan Data)

Estimasi parameter $\hat{\beta}$ yang terpilih adalah pada saat iterasi kelima, yaitu pada saat $g(\hat{\beta})$ menghasilkan nilai 0, dengan nilai $\hat{\beta}$ adalah 6,031579. Berikut merupakan contoh pada saat iterasi keempat dan kelima:

Tabel IV.33. Iterasi Keempat Metode Newton-Raphson *Tools Collet Chuck*

Iterasi keempat ($\hat{\beta} = 6,029801$)			
i	$ti^{\hat{\beta}}$	$ti^{\hat{\beta}} \ln ti$	$ti^{\hat{\beta}} (\ln ti)^2$
1	4.571.968.247,3288	16.865.439.732	62.214.574.114
2	52.710.663.734,5407	2,15816E+11	8,83624E+11
3	133.528.606.010,4920	5,67296E+11	2,41015E+12
4	202.416.818.463,0320	8,73932E+11	3,77319E+12
5	298.713.069.603,4600	1,30897E+12	5,73594E+12
6	430.538.992.466,0590	1,91273E+12	8,49761E+12
	Total		
	1.122.480.118.524,91	4.895.612.137.147,07	21.362.731.002.779,7

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel IV.34. Iterasi Kelima Metode Newton-Raphson *Tools Collet Chuck*

Iterasi kelima ($\hat{\beta} = 6,031579$)			
i	$ti^{\hat{\beta}}$	$ti^{\hat{\beta}} \ln ti$	$ti^{\hat{\beta}} (\ln ti)^2$
1	4.602.043.331,7534	16.976.383.093	62.623.830.799
2	53.095.653.098,7114	2,17392E+11	8,90077E+11
3	13.454.0732.704,2400	5,71596E+11	2,42842E+12
4	203.976.119.022,7730	8,80664E+11	3,80226E+12
5	301.048.711.562,5660	1,3192E+12	5,78078E+12
6	433.952.140.879,9260	1,9279E+12	8,56498E+12
	Total		
	1.131.215.400.599,97	4.933.729.910.055,96	21.529.144.331.435,4

(Sumber: Pengolahan Data)

Berikut adalah contoh perhitungannya (Iterasi keempat):

Untuk $i = 1$

$$ti^{\hat{\beta}} = (40)^{6,029801} = 4.571.968.247,3288$$

$$ti^{\hat{\beta}} \ln ti = 4.571.968.247,3288 \times 3,6889 = 16.865.439.732$$

$$t_i^{\hat{\beta}} (\ln t_i)^2 = 4.571.968.247,3288 \times (3,6889)^2 = 62.214.574.114$$

$$\begin{aligned} g(\hat{\beta}) &= \frac{\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} \ln t_i}{\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}}} - \frac{1}{\hat{\beta}} - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \ln t_i = 0 \\ &= \frac{16.865.439.732}{4.571.968.247,3288} - \frac{1}{6,029801} - \frac{1}{6} (25,1738) = -0,0000661 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g'(\hat{\beta}) &= \frac{\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} \sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} (\ln t_i)^2 - (\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} \ln t_i)^2}{(\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}})^2} + \frac{1}{\hat{\beta}^2} \\ &= \frac{(4.571.968.247,3288 \times 62.214.574.114) - (16.865.439.732)^2}{(4.571.968.247,3288)^2} + \\ &\quad \frac{1}{(6,029801)^2} \\ &= 0,037204679 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai $g(\hat{\beta})$ belum sama dengan 0, maka dilanjutkan ke dalam iterasi kelima, perhitungannya adalah sebagai berikut:

Nilai $\hat{\beta}$ pada iterasi keenam ditentukan dari iterasi kelima:

$$\hat{\beta}_{j+1} = \hat{\beta}_j - \frac{g(\hat{\beta})}{g'(\hat{\beta})}$$

$$\hat{\beta}_{4+1} = 6,029801 - \frac{-0,0000661}{0,037204679}$$

$$\hat{\beta}_5 = 6,031579$$

Kemudian kembali dihitung perhitungan $g(\hat{\beta})$ dan $g'(\hat{\beta})$ untuk iterasi kelima menggunakan rumus yang sama dengan perhitungan pada iterasi keempat. Pada iterasi kelima, didapatkan nilai $g(\hat{\beta})$ sebesar 0,000. Iterasi berhenti pada iterasi kelima, dan didapatkan estimasi parameter $\hat{\beta}$ sebesar 6,031579. Setelah didapatkan estimasi $\hat{\beta}$, dapat ditentukan estimasi $\hat{\theta}$ sebagai berikut:

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

$$= \left[\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 1.131.215.400.599,97 \right]^{1/6,031579} = 74,0275$$

4.2.7. Perhitungan MTTF dan MTTR

Estimasi parameter telah dihasilkan dari perhitungan pada subbab 4.2.6. Setelah itu dilakukan perhitungan MTTF dan MTTR komponen *bearing* dan *tools collet chuck* sesuai dengan parameter distribusinya. Rekapitulasi dari perhitungan MTTF dan MTTR setiap komponen dapat dilihat pada Tabel IV.35.

Tabel IV.35. Rekapitulasi Perhitungan MTTR dan MTTF

NO.	KOMPONEN/ TOOLS	DISTRIBUSI	PARAMETER
1	Komponen Bearing		
	MTTR	Weibull	131,4983
	Parameter	$\hat{\beta}$	7,342985
		$\hat{\theta}$	140,2164
	MTTF	Lognormal	25.472,0820
	Parameter	\hat{t}_{med}	24.010,1845
\hat{s}		0,3438	
2	Tools Collet Chuck		
	MTTR	Weibull	68,6931
	Parameter	$\hat{\beta}$	6,0315
		$\hat{\theta}$	74,0275
	MTTF	Normal	41.132
	Parameter	$\hat{\mu}$	41.132
$\hat{\sigma}$		8.200,9576	

(Sumber: Pengolahan Data)

Contoh perhitungan MTTF dan MTTR komponen *bearing* adalah sebagai berikut:

1. MTTR (Distribusi Weibull)

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

$$\begin{aligned}
&= 140,2164 \Gamma\left(1 + \frac{1}{7,342985}\right) \\
&= 140,2164 \Gamma(1,136) \\
&= 140,2164 (0,937824) \\
&= 131,4983 \text{ menit}
\end{aligned}$$

Nilai $\Gamma(1,136)$ berasal dari tabel nilai fungsi gamma, yaitu 0,937824.

2. MTTF (Distribusi Lognormal)

$$\begin{aligned}
\text{MTTF} &= t_{med} \left(e^{s^2/2} \right) \\
&= 24.010,1845 \left(e^{(0,3438)^2/2} \right) \\
&= 25.472,0820 \text{ menit}
\end{aligned}$$

1. Laju Kerusakan Komponen *Bearing*

Komponen *bearing* memiliki data kerusakan berdistribusi lognormal. Dari distribusi tersebut, laju kerusakan komponen *bearing* ditentukan dengan perhitungan berikut:

Tabel IV.36. Perhitungan Laju Kerusakan Komponen *Bearing*

t	f(t)	R(t)	Laju kerusakan ($\lambda(t)$)
13.995	0,0016	0,9417	0,0017
15.435	0,0023	0,9006	0,0026
21.050	0,0043	0,6490	0,0067
24.180	0,0043	0,4918	0,0088
24.630	0,0043	0,4704	0,0091
29.310	0,0033	0,2809	0,0119
34.410	0,0021	0,1476	0,0143
40.440	0,0010	0,0647	0,0165

(Sumber: Pengolahan Data)

Berikut merupakan contoh perhitungannya (untuk $t = 13.995$ menit):

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

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14 \times 0,3438 \times 13.995}} \exp \left[-\frac{1}{2(0,3438)^2} \left(\ln \frac{13.995}{24.010,1845} \right)^2 \right]$$

$$f(t) = 0,0016$$

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

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{13.995} \ln \frac{13.995}{24.010,1845} \right)$$

$$R(t) = 1 - \Phi(-1,5699)$$

Perhitungan $\Phi(-1,5699)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(1,5699)

$$R(t) = 1 - 0,0583 = 0,9417$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{0,0016}{0,9417} = 0,0017$$

2. Laju Kerusakan *Tools Collet Chuck*

Tools collet chuck memiliki data kerusakan berdistribusi normal. Dari distribusi tersebut, laju kerusakan *tools collet chuck* ditentukan dengan perhitungan berikut:

Tabel IV.37. Perhitungan Laju Kerusakan *Tools Collet Chuck*

t	f(t)	R(t)	Laju kerusakan ($\lambda(t)$)
31.260	0,0021	0,8856	0,0024
32.555	0,0025	0,8521	0,0029
43.425	0,0042	0,3898	0,0108
45.370	0,0038	0,3026	0,0127
53.050	0,0015	0,0730	0,0209

(Sumber: Pengolahan Data)

Berikut merupakan contoh perhitungannya (untuk $t = 31.260$ menit):

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

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14 \times 8.200,9576}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(31.260 - 41.132)^2}{(8.200,9576)^2}\right]$$

$$f(t) = 0,0021$$

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

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{31.260 - 41.132}{8.200,9576}\right)$$

$$R(t) = 1 - \Phi(-1,2037)$$

Perhitungan $\Phi(-1,2037)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(-1,2037)

$$R(t) = 1 - 0,1143 = 0,8856$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{0,0021}{0,8856} = 0,0024$$

4.2.8. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan dengan *Age Replacement*

Perhitungan ini bertujuan untuk mencari interval waktu penggantian komponen yang optimal dengan menghasilkan nilai *equipment failure* minimum. Perhitungan ini dilakukan pada setiap komponen kritis, yang perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan *Age Replacement* Komponen *Bearing*

Berikut merupakan data-data yang didapat dari perhitungan sebelumnya:

- a. Dari Tabel IV.35. data waktu kerusakan berdistribusi lognormal dengan nilai:

$$MTTF = 25.472,0820 \text{ menit}$$

$$\hat{t}_{med} = 24.010,1845$$

$$\hat{s} = 0,3438$$

b. Dari Tabel IV.35. data waktu perbaikan berdistribusi Weibull dengan nilai:

MTTR = 131,4983 menit, sehingga $T_f = 131,4983$ menit

Diasumsikan $T_f = T_p = 131,4983$ menit

Selanjutnya adalah mencari nilai interval waktu tindakan penggantian pencegahan dengan cara *trial and error* dari selang waktu kerusakan minimum sampai maksimum. Proses ini dapat dilihat pada Tabel IV.38.

Tabel IV.38. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen *Bearing*

tp (menit)	1/s ln (tp/ tmed)	Φ	R(tp)	Tp . R(tp)	1- R(tp)	Tf(1- R(tp))	(tp+Tp). R(tp)	M(tp)	M(tp)+Tf	D(tp)
13.000	-1,784	0,037	0,963	126,610	0,037	4,888	12.643,35	685.211,03	685.342,53	0,00344956
13.150	-1,751	0,040	0,960	126,243	0,040	5,255	12.750,71	637.366,38	637.497,88	0,003439839
13.600	-1,653	0,049	0,951	125,036	0,049	6,462	13.056,71	518.337,02	518.468,52	0,003412416
13.750	-1,621	0,052	0,948	124,598	0,052	6,900	13.153,08	485.425,36	485.556,86	0,003403864
14.200	-1,528	0,063	0,937	123,175	0,063	8,324	13.424,34	402.414,98	402.546,47	0,003380007
14.350	-1,497	0,067	0,933	122,664	0,067	8,835	13.508,58	379.141,85	379.273,35	0,00337266
14.800	-1,407	0,080	0,920	121,022	0,080	10,476	13.741,90	319.719,13	319.850,63	0,003352457
14.950	-1,378	0,084	0,916	120,438	0,084	11,060	13.813,03	302.852,34	302.983,84	0,003346338
15.400	-1,292	0,098	0,902	118,581	0,098	12,917	14.005,85	259.312,74	259.444,24	0,003329842
15.550	-1,264	0,103	0,897	117,927	0,103	13,571	14.063,13	246.817,52	246.949,01	0,003324964
16.000	-1,181	0,119	0,881	115,864	0,119	15,634	14.213,58	214.244,29	214.375,78	0,003312192
16.150	-1,153	0,124	0,876	115,143	0,124	16,355	14.256,52	204.803,70	204.935,20	0,003308554
16.600	-1,073	0,142	0,858	112,887	0,142	18,611	14.363,47	179.975,18	180.106,68	0,003299487
16.750	-1,047	0,147	0,853	112,105	0,147	19,393	14.391,81	172.715,31	172.846,81	0,003297078
17.200	-0,970	0,166	0,834	109,673	0,166	21,825	14.454,90	153.469,40	153.600,90	0,00329167
17.350	-0,945	0,172	0,828	108,835	0,172	22,663	14.468,65	147.796,94	147.928,44	0,003290469
17.800	-0,870	0,192	0,808	106,248	0,192	25,251	14.488,23	132.650,70	132.782,20	0,003288645
17.850	-0,862	0,194	0,806	105,953	0,194	25,545	14.488,41	131.123,65	131.255,15	0,003288605
17.900	-0,854	0,197	0,803	105,658	0,197	25,840	14.488,20	129.625,11	129.756,60	0,003288598
17.950	-0,846	0,199	0,801	105,362	0,199	26,137	14.487,60	128.154,41	128.285,91	0,003288623
18.400	-0,774	0,219	0,781	102,640	0,219	28,858	14.464,69	116.070,31	116.201,81	0,003290285
18.550	-0,750	0,226	0,774	101,714	0,226	29,784	14.450,15	112.459,70	112.591,20	0,003291406
19.000	-0,681	0,248	0,752	98,883	0,248	32,615	14.386,36	102.698,50	102.830,00	0,003296436
19.150	-0,658	0,255	0,745	97,924	0,255	33,574	14.358,52	99.764,79	99.896,29	0,003298659

Lanjut...

Tabel IV.38. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen *Bearing* (Lanjutan)

tp (menit)	1/s ln (tp/ tmed)	Φ	R(tp)	Tp . R(tp)	1- R(tp)	Tf(1- R(tp))	(tp+Tp). R(tp)	M(tp)	M(tp)+Tf	D(tp)
19.600	-0,590	0,278	0,722	95,007	0,278	36,491	14.255,99	91.790,94	91.922,44	0,003306922
19.750	-0,568	0,285	0,715	94,024	0,285	37,475	14.215,65	89.381,63	89.513,13	0,003310199
21.000	-0,390	0,348	0,652	85,683	0,348	45,815	13.769,05	73.109,27	73.240,77	0,003347125
22.000	-0,254	0,400	0,600	78,948	0,400	52,550	13.287,12	63.739,41	63.870,91	0,003388105
25.000	0,117	0,547	0,453	59,599	0,547	71,899	11.390,42	46.586,70	46.718,20	0,003560321
26.000	0,232	0,592	0,408	53,709	0,592	77,790	10.673,02	43.058,81	43.190,31	0,003630254
29.000	0,549	0,709	0,291	38,324	0,709	93,174	8.490,10	35.949,11	36.080,60	0,003861311
30.000	0,648	0,741	0,259	34,000	0,741	97,498	7.790,86	34.354,97	34.486,47	0,003941744
39.000	1,411	0,921	0,079	10,407	0,921	121,092	3.096,87	27.661,19	27.792,69	0,004583412

(Sumber: Pengolahan Data)

Dari Tabel IV.38. didapatkan hasil sebagai berikut:

- 1) *Equipment failure* minimum : $D(tp) = 0,003288598$
- 2) Interval waktu penggantian : $Tp = 17.900$
- 3) *Availability* : $A(tp) = 1 - D(tp) = 1 - 0,003288598 = 0,996711402$

Berikut adalah perhitungannya:

$$\frac{1}{s} \ln \left(\frac{tp}{t_{med}} \right) = \frac{1}{0,3438} \ln \left(\frac{17.900}{24.010,1845} \right) = -0,854$$

Nilai Φ didapat dari fungsi Microsoft Excel, yaitu $NORMSDIST(-0.854)$

$$\Phi(-0,854) = 0,197$$

$$R(tp) = 1 - 0,197 = 0,803$$

$$Tp \times R(tp) = 17.900 \times 0,803 = 14.488,20$$

$$1 - R(tp) = 1 - 0,803 = 0,197$$

$$Tf \times (1 - R(tp)) = 17.900 \times 0,197 = 3.526,30$$

$$(tp + Tf) \times R(tp) = (17.900 + 3.526,30) \times 0,803 = 14.488,20$$

$$M(Tp) = \frac{MTTF}{1 - R(tp)} = \frac{25.472,0820}{0,197} = 129.625,11$$

$$M(tp) + Tf = 129.625,11 + 131,4983 = 129.756,60$$

$$D(tp) = \frac{[Tp \cdot R(tp)] + [Tf \cdot (1 - R(tp))]}{[(tp + Tp) \cdot R(tp)] + [M(tp) + Tf] \cdot [1 - R(tp)]}$$

$$= \frac{105,658 + 25,840}{14.488,20 + [129.756,60][0,197]} = 0,003288598$$

Sehingga, interval waktu penggantian komponen *bearing* dengan perhitungan model *age replacement* adalah 17.900 menit atau 298,33 jam atau 45 hari kerja.

Perhitungan interval waktu penggantian *tools collet chuck* juga menggunakan cara yang sama dengan komponen *bearing*, yaitu *trial and error* dengan menggunakan rumus kerusakan yang mengikutinya. Perhitungannya dapat dilihat pada lampiran D. Hasil perhitungan tersebut direkapitulasi dalam Tabel IV.39.

Tabel IV.39. Rekapitulasi Perhitungan Interval Waktu Penggantian

No.	Komponen/ Tools	Distribusi	tp (menit)	Equipment Failure	Availability
1	<i>Bearing</i>	Lognormal	17.900 menit atau 45 hari kerja	0,003288598	0,996711402
2	<i>Collet Chuck</i>	Normal	32.250 menit atau 81 hari kerja	0,000996199	0,999003801

(Sumber: Pengolahan Data)

4.2.9. Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Tanpa dan Dengan Adanya *Preventive Maintenance*

Perhitungan tingkat keandalan terhadap komponen kritis dilakukan sebelum dan sesudah adanya *preventive maintenance* (secara teoritis) sehingga dapat dibandingkan tingkat keandalannya. Karena tujuan dari dilaksanakannya tindakan *preventive maintenance* dengan jadwal penggantian adalah untuk meningkatkan keandalan dari suatu mesin.

1. Perhitungan Peningkatan Keandalan Komponen *Bearing*

Perhitungan peningkatan keandalan komponen *bearing* adalah sebagai berikut:

- a. Dari Tabel IV.35. data waktu kerusakan berdistribusi lognormal dengan nilai:

$$MTTF = 25.472,082099 \text{ menit}$$

$$\hat{t}_{med} = 24.010,1845$$

$$\hat{s} = 0,343817$$

- b. Dari Tabel IV.35. data waktu perbaikan berdistribusi Weibull dengan nilai:

$$MTTR = 131,498307 \text{ menit, sehingga } T_f = 131,498307 \text{ menit}$$

- c. Dari Tabel IV.39. didapatkan nilai t_p (waktu penggantian) berikut:

$$t_p = T = 17.900 \text{ menit}$$

Pada Tabel IV.40. berikut diperlihatkan simulasi dari perhitungan tingkat keandalan tanpa dan dengan adanya kegiatan *preventive maintenance* dengan kelipatan waktu t sebanyak 24 jam atau 1.440 menit:

Tabel IV.40. Simulasi Perhitungan Tingkat Keandalan Komponen *Bearing* Tanpa dan Dengan Adanya *Preventive Maintenance*

t (menit)	R(t)	n	R(T) ^a	R(t-nT)	Rm(t)
1.440	1	0	1	1	1
2.880	1	0	1	1	1
4.320	1	0	1	1	0,9999
5.760	0,9999	0	1	0,9999	0,9999
7.200	0,9997	0	1	0,9997	0,9997
8.640	0,9985	0	1	0,9985	0,9985
10.080	0,9942	0	1	0,9942	0,9942
11.520	0,9836	0	1	0,9836	0,9836
12.960	0,9635	0	1	0,9635	0,9635
14.400	0,9314	0	1	0,9314	0,9314
15.840	0,8868	0	1	0,8868	0,8868
17.280	0,8306	0	1	0,8306	0,8306
18.720	0,7654	1	0,8034	1,0000	0,8034
20.160	0,6943	1	0,8034	1,0000	0,8034
21.600	0,6208	1	0,8034	1,0000	0,8034
23.040	0,5477	1	0,8034	0,9999	0,8034
24.480	0,4775	1	0,8034	0,9999	0,8034

Lanjut...

Tabel IV.40. Simulasi Perhitungan Tingkat Keandalan Komponen *Bearing* Tanpa dan Dengan Adanya *Preventive Maintenance* (Lanjutan)

t (menit)	R(t)	n	R(T) ⁿ	R(t-nT)	Rm(t)
25.472,0820	0,4317	1	0,8034	0,9996	0,8031
25.920	0,4119	1	0,8034	0,9992	0,8029
27.360	0,3520	1	0,8034	0,9966	0,8007
28.800	0,2983	1	0,8034	0,9891	0,7948
30.240	0,2511	1	0,8034	0,9735	0,7822
31.680	0,2100	1	0,8034	0,9468	0,7607
33.120	0,1747	1	0,8034	0,9075	0,7292
34.560	0,1447	1	0,8034	0,8561	0,6878
36.000	0,1193	2	0,6456	1,0000	0,4168
37.440	0,0981	2	0,6456	1,0000	0,4168
38.880	0,0804	2	0,6456	1,0000	0,4168
40.320	0,0658	2	0,6456	0,9999	0,4168
41.760	0,0537	2	0,6456	0,9999	0,4167
43.200	0,0437	2	0,6456	0,9996	0,4166
44.640	0,0356	2	0,6456	0,9981	0,4160
46.080	0,0289	2	0,6456	0,9931	0,4139
47.520	0,0235	2	0,6456	0,9815	0,4090
48.960	0,0191	2	0,6456	0,9598	0,4000

(Sumber: Pengolahan Data)

Dari Tabel IV.40. didapatkan hasil sebagai berikut:

MTTF dengan nilai 25.472,0820 menit.

$$R(t) = R(25.472,0820) = 0,4317$$

$$Rm(t) = Rm(25.472,0820) = 0,8031$$

Berikut merupakan perhitungannya:

1) Tanpa tindakan pencegahan

$$\begin{aligned}
 R(t) &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \\
 &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,3438} \ln \frac{25.472,0820}{24.010,1845}\right) \\
 &= 1 - \Phi(0.1719)
 \end{aligned}$$

Perhitungan $\Phi(0,1719)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(0,1719).

$$R(t) = 1 - 0.5682 = 0,431755 \times 100\% = 43,1755\%$$

2) Dengan tindakan pencegahan

$$\begin{aligned} R(T) &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{T}{t_{med}}\right) \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,3438} \ln \frac{17.900}{24.010,1845}\right) \\ &= 1 - \Phi(-0,8541) \end{aligned}$$

Perhitungan $\Phi(-0,8541)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(-0,8541).

$$R(T)^n = (1 - 0,1965)^1 = 0,8034$$

$$\begin{aligned} R(t - nT) &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t - nT}{t_{med}}\right) \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,3438} \ln \frac{25.472,0820 - (1 \times 17.900)}{24.010,1845}\right) \\ &= 1 - \Phi(-3,3564) \end{aligned}$$

Perhitungan $\Phi(-3,3564)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(-3,3564).

$$R(t - nT) = 1 - 0.000395 = 0,9996$$

Sehingga nilai keandalan dengan adanya pencegahan adalah:

$$\begin{aligned} R_m(t) &= R(T)^n \times R(t - nT) \\ &= 0,8034 \times 0,9996 = 0,803177 \times 100\% = 80,3177\% \end{aligned}$$

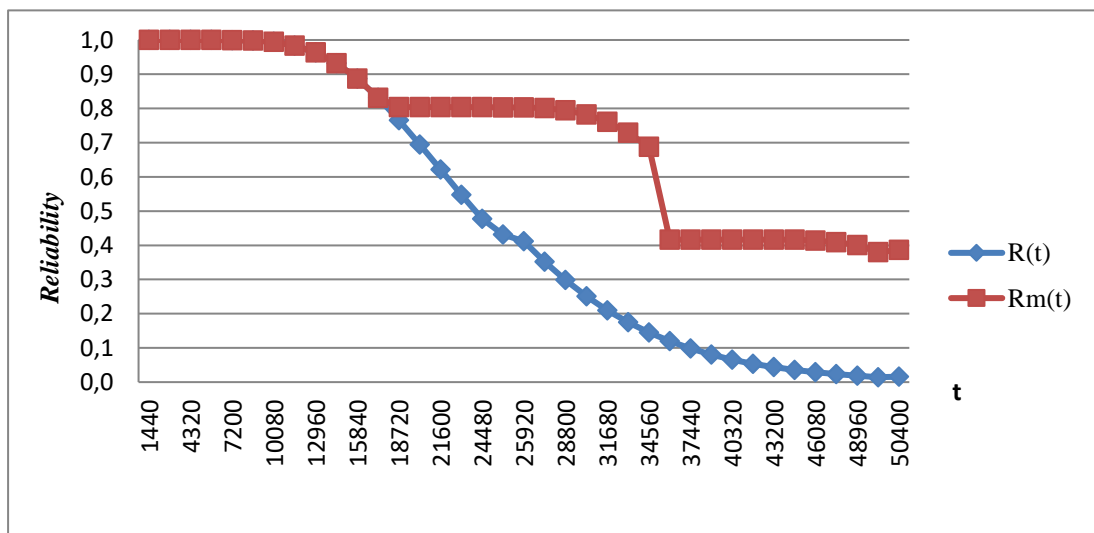
$$\text{Peningkatan keandalan} = \frac{R_m(t) - R(t)}{R(t)} \times 100\%$$

$$= \frac{(0,803177 - 0,431755)}{0,431755} \times 100\%$$

$$= 86,0261\%$$

Perhitungan tingkat keandalan *tolls collet chuck* dilakukan dengan langkah yang sama seperti komponen *bearing*, hanya saja dengan distribusi yang berbeda. *Tools collet chuck* dihitung dengan distribusi normal. Perhitungan keandalan *tools collet chuck* dapat dilihat pada lampiran D.

Grafik tingkat keandalan tanpa dan dengan adanya kegiatan *preventive maintenance* komponen *bearing* berdasarkan Tabel IV.40. dapat dilihat pada Gambar IV.7.



Gambar IV.7. Grafik Tingkat Keandalan Komponen *Bearing* Tanpa dan Dengan Adanya *Preventive Maintenance*
(Sumber: Pengolahan Data)

Rekapitulasi tingkat keandalan dari komponen kritis dan *tools* dapat dilihat pada Tabel IV.41. di halaman berikutnya.

Tabel IV.41. Rekapitulasi Perhitungan Keandalan Tanpa dan Dengan Adanya *Preventive Maintenance*

No.	Komponen/ Tools	Nilai Keandalan		
		Tanpa <i>Preventive Maintenance</i> (%)	Dengan <i>Preventive Maintenance</i> (%)	Peningkatan Keandalan (%)
1	<i>Bearing</i>	43,1755	80,3177	86,0261
2	<i>Collet Chuck</i>	50	86,0569	72,1138

(Sumber: Pengolahan Data)

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis Penentuan Mesin Kritis

PT Aristo Satria Mandiri Indonesia (PT ASMI) memiliki empat jenis mesin CNC *milling* dengan merek yang berbeda. Berdasarkan pengumpulan data yang dilakukan di PT ASMI untuk periode Januari 2014-Desember 2015 dan terlihat pada Tabel IV.5., mesin CNC *milling* yang memiliki frekuensi kerusakan terbanyak adalah mesin CNC *milling* dengan *brand* Quaser yang memiliki total frekuensi kerusakan komponen dengan tindakan penggantian sebanyak 14 kali. Oleh karena itu, mesin CNC *milling* Quaser yang terpilih menjadi mesin kritis pada penelitian ini.

5.2. Analisis Penentuan Komponen Mesin Kritis

Mesin CNC *milling* Quaser memiliki komponen-komponen yang sering mengalami kerusakan dan perlu dilakukan tindakan penggantian. Komponen mesin tersebut dapat dilihat pada Tabel IV.6. beserta dengan frekuensi kerusakannya. Dari tabel tersebut, terpilihlah komponen *bearing* sebagai komponen kritis yang memiliki frekuensi penggantian lebih sering dari komponen lainnya, yaitu sebanyak 9 kali. Terdapat pula *tools collet chuck* yang juga mempunyai 6 kali kerusakan. Komponen *bearing* dan *tools collet chuck* tersebut yang akan diolah pada pengolahan data untuk menghasilkan interval waktu penggantian yang optimal sebelum terjadinya kerusakan.

5.3. Analisis Perhitungan *Time To Failure (TTF)* dan *Time To Repair (TTR)*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan TTF atau waktu antar kerusakan dan TTR atau waktu antar perbaikan. Perhitungan TTF ditentukan mulai dari selesainya kerusakan pertama sampai kerusakan berikutnya terjadi yang disebabkan oleh komponen yang sama. Maka dari itu diperlukan data seperti tanggal dan waktu mulai kerusakan dan perbaikan. Selanjutnya dilakukan perhitungan TTR yang

ditentukan dari lamanya waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kerusakan karena komponen tersebut.

Perhitungan TTF dan TTR untuk komponen kritis dan *tools* dapat dilihat pada Tabel IV.8. dan Tabel IV.9. Penjelasan nya adalah sebagai berikut:

- Tabel IV.8. memperlihatkan data kerusakan yang terjadi pada komponen *bearing* beserta TTF dan TTR nya. TTF tertinggi untuk komponen ini adalah sebesar 40.440 menit dan TTF terendah adalah sebesar 13.995 menit, sementara TTR tercepat adalah 95 menit dan TTR terlama adalah 160 menit.
- Tabel IV.9. memperlihatkan data kerusakan yang terjadi pada *tools collet chuck* beserta TTF dan TTR nya. TTF tertinggi sebesar 53.050 menit dan TTF terendah sebesar 31.260 menit. Sementara TTR tercepat sebesar 40 menit dan TTR terlama sebesar 85 menit.

Nilai waktu antar kerusakan komponen berbeda-beda walaupun dioperasikan pada mesin yang sama. Nilai waktu antar perbaikan juga bervariasi karena setiap komponen yang sama tidak memiliki waktu yang sama untuk diperbaiki dikarenakan adanya beberapa hal, yaitu adanya analisa sebab kerusakan, pengambilan komponen dan peralatan untuk perbaikan, pemanggilan teknisi *maintenance* atau pihak luar, seberapa parah kerusakan yang terjadi, dan keterampilan yang dimiliki oleh teknisi untuk memperbaiki kerusakan tersebut.

5.4. Analisis Identifikasi Distribusi (*Index Of Fit*)

Pengidentifikasi distribusi dilakukan terhadap empat distribusi kerusakan, yaitu distribusi eksponensial, distribusi Weibull, distribusi normal, dan distribusi lognormal. Setelah diketahui nilai TTF dan TTR, selanjutnya dilakukan pengidentifikasi distribusi yang dilakukan dengan melihat nilai *index of fit* terbesar atau mendekati nilai 1 dari suatu distribusi. Hasil perhitungan *index of fit* untuk data TTF dan TTR secara manual dapat dilihat pada Tabel IV.18. Perhitungan ini juga dilakukan dengan menggunakan *software* MINITAB 14 yang menghasilkan nilai *index of fit* yang hampir sama dengan perhitungan manual.

Komponen *bearing* memiliki data TTF yang berdistribusi lognormal dengan nilai *index of fit* sebesar 0,9880 (perhitungan manual) dan sebesar 0,988 (perhitungan *software*). Terpilihnya distribusi lognormal pada TTF komponen *bearing* menyatakan bahwa komponen ini telah mencapai umur pakai dan perlu dilakukan tindakan *preventive maintenance*. Sedangkan untuk data TTR komponen *bearing* berdistribusi Weibull dengan nilai *index of fit* sebesar 0,9835 (perhitungan manual) dan sebesar 0,984 (perhitungan *software*). Nilai tersebut sedikit berbeda dikarenakan adanya pengaruh pembulatan perhitungan.

Selanjutnya adalah *tools collet chuck*. *Collet chuck* memiliki data TTF yang berdistribusi normal dengan nilai *index of fit* sebesar 0,9668 (perhitungan manual) dan sebesar 0,967 (perhitungan *software*). Nilai tersebut hampir sama, perbedaannya karena adanya pembulatan. Terpilihnya distribusi lognormal pada TTF *collet chuck* menyatakan bahwa *tools* ini telah mencapai umur pakai dan perlu dilakukan tindakan *preventive maintenance*. Sedangkan untuk data TTR *collet chuck* berdistribusi Weibull dengan nilai *index of fit* sebesar 0,9647 (perhitungan manual) dan sebesar 0,965 (perhitungan *software*), nilai tersebut juga hampir sama.

5.5. Analisis Kesesuaian Distribusi (*Goodness Of Fit*)

Perhitungan selanjutnya setelah perhitungan *index of fit* adalah pengujian kesesuaian distribusi (*Goodness Of Fit*) yang dilakukan terhadap distribusi yang telah terpilih. Pengujian ini dilakukan untuk lebih memastikan bahwa distribusi yang telah terpilih sebelumnya memang benar untuk dipilih atau tidak. Tingkat kepercayaan yang digunakan sebesar 95% yang berarti bahwa 95% dari pengujian adalah benar. Pengujian ini dilakukan dengan tiga uji, yaitu *Bartlett's Test* untuk distribusi eksponensial, *Mann's Test* untuk distribusi Weibull, dan *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk distribusi normal dan lognormal.

Hasil dari pengujian ini dapat menerima H_0 (hipotesis nol) atau juga dapat menerima H_1 (hipotesis alternatif). Setelah dilakukan perhitungan *goodness of fit* dan diterima hipotesis nol, maka distribusi pilihan tersebut dinyatakan telah

mewakili penyebaran data TTF dan TTR terhadap semua komponen. Sedangkan, apabila hipotesis alternatif yang terpilih, distribusi pilihan tersebut dinyatakan tidak akurat dalam mewakili penyebaran data TTF dan TTR, dan harus dilakukan uji *goodness of fit* kembali dengan nilai *index of fit* terbesar kedua dan seterusnya perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil uji *goodness of fit* yang menerima H_0 (hipotesis nol).

Komponen pada penelitian ini menghasilkan nilai uji *goodness of fit* yang menerima H_0 (hipotesis nol) pada pengujian pertama. Komponen *bearing* dengan data TTF berdistribusi lognormal dan data TTR berdistribusi Weibull. *Tools collet chuck* dengan data TTF berdistribusi normal dan data TTR berdistribusi Weibull. Hasil dari perhitungan *goodness of fit* ini dapat dilihat pada Tabel IV.23. untuk data TTF dan Tabel IV.24. untuk data TTR.

Berdasarkan Tabel IV.23. data TTF komponen *bearing* berdistribusi lognormal dengan nilai D_{hitung} sebesar 0,1599 dan nilai D_{tabel} sebesar 0,287. Data TTF komponen *bearing* dikatakan berdistribusi lognormal atau terima H_0 (hipotesis nol) dalam uji *kolmogorov-smirnov* apabila $D_{hitung} < D_{tabel}$, karena syarat tersebut terpenuhi, sehingga data TTF komponen *bearing* berdistribusi lognormal (terima H_0). Hal yang sama juga terjadi pada data TTR komponen *bearing* yang berdistribusi Weibull (dari Tabel IV.24.) dengan nilai M sebesar 0,5775 dan nilai F_{tabel} sebesar 3,23. Data TTR komponen *bearing* dikatakan berdistribusi Weibull atau terima H_0 (hipotesis nol) dalam uji *Mann's* apabila nilai $M < F_{tabel}$, karena syarat tersebut terpenuhi, maka data TTR komponen *bearing* berdistribusi Weibull (terima H_0).

Selanjutnya adalah *tools collet chuck*. Berdasarkan Tabel IV.23. data TTF *collet chuck* berdistribusi normal dengan nilai D_{hitung} sebesar 0,2252 dan nilai D_{tabel} sebesar 0,343. Data TTF *collet chuck* dikatakan berdistribusi normal atau terima H_0 (hipotesis nol) dalam uji *kolmogorov-smirnov* apabila $D_{hitung} < D_{tabel}$, karena syarat tersebut terpenuhi, maka data TTF *collet chuck* berdistribusi normal atau terima H_0 . Berdasarkan Tabel IV.24. data TTR *collet chuck* berdistribusi Weibull

dengan nilai M sebesar 0,4349 dan nilai F_{tabel} sebesar 4,39. Data TTR *collet chuck* dikatakan berdistribusi Weibull atau terima H_0 (hipotesis nol) dalam uji *Mann's* apabila nilai $M < F_{\text{tabel}}$, karena syarat tersebut terpenuhi, maka data TTR *collet chuck* berdistribusi Weibull atau terima H_0 .

5.6. Analisis Perhitungan Mean Time To Failure (MTTF) dan Mean Time To Repair (MTTR)

Perhitungan ini dilakukan berdasarkan perhitungan sebelumnya, yaitu *goodness of fit*, karena pada *goodness of fit* telah benar-benar terpilih distribusi yang mengikuti data TTF dan TTR tiap komponen mesin kritis. Nilai MTTF adalah nilai rata-rata atau ekspektasi dari waktu kerusakan-kerusakan yang terjadi pada setiap komponen kritis. Nilai MTTF terletak diantara waktu kerusakan yang satu dengan waktu kerusakan yang lainnya. Sedangkan nilai MTTR adalah nilai rata-rata atau ekspektasi dari setiap waktu perbaikan yang dilakukan pada setiap komponen-komponen kritis, dan nilai ini terletak diantara waktu perbaikan terkecil hingga terbesar.

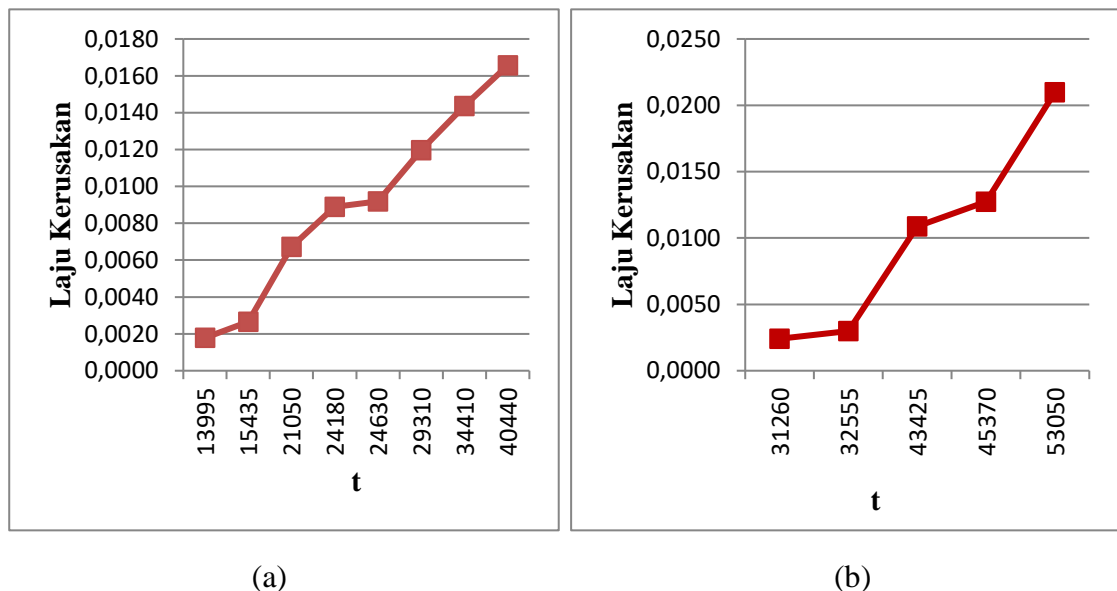
Penentuan nilai MTTF dan MTTR dilakukan dengan perhitungan beberapa parameter terlebih dahulu sesuai dengan distribusi yang mengikutinya. Parameter untuk satu distribusi berbeda dengan distribusi yang lainnya. Perhitungan parameter tersebut dilakukan dengan metode *Maximum Likelihood Estimator (MLE)*. Nilai MTTF dan MTTR dapat ditentukan setelah parameter-parameter yang diperlukan untuk tiap distribusi telah ditentukan. Hasil dari perhitungan nilai MTTF dan MTTR untuk *bearing* dan *collet chuck* beserta parameternya dapat dilihat pada Tabel IV.35.

Berdasarkan Tabel IV.35. komponen *bearing* memiliki MTTF berdistribusi lognormal dengan dua parameter yaitu parameter \hat{t}_{med} dengan nilai sebesar 24.010,1845 dan parameter \hat{s} dengan nilai sebesar 0,3438. Dari kedua parameter tersebut, dapat ditentukan nilai MTTF menggunakan rumus MTTF dari distribusi lognormal yang menghasilkan nilai sebesar 25.472,0820 menit. Kemudian untuk MTTR komponen *bearing* berdistribusi Weibull dengan dua parameter, yaitu

parameter $\hat{\beta}$ dengan nilai sebesar 7,342985, dan parameter $\hat{\theta}$ dengan nilai sebesar 140,2164. Dari kedua parameter tersebut, dapat ditentukan nilai MTTR menggunakan rumus MTTR distribusi Weibull yang menghasilkan nilai sebesar 131,4983 menit.

Tabel IV.35. juga memperlihatkan nilai MTTF dan MTTR *tools collet chuck*. Nilai MTTF *collet chuck* berdistribusi normal dengan parameter $\hat{\mu}$ sebesar 41.132. Dari parameter tersebut dapat ditentukan nilai MTTF menggunakan rumus MTTF distribusi normal, yang menghasilkan nilai sebesar 41.132 menit. Nilai MTTR *collet chuck* berdistribusi Weibull dengan dua parameter, yaitu parameter $\hat{\beta}$ dengan nilai sebesar 6,0315, dan parameter $\hat{\theta}$ dengan nilai sebesar 74,0275. Dari kedua parameter tersebut dapat ditentukan nilai MTTR menggunakan rumus MTTR distribusi Weibull yang menghasilkan nilai sebesar 68,6931 menit.

Distribusi lognormal dan distribusi normal yang terpilih untuk komponen *bearing* dan *tools collet chuck* menunjukkan laju kerusakan yang dapat dilihat pada Gambar V.1. berikut:



Gambar V.1. Grafik Laju Kerusakan: (a) Komponen *Bearing* dan (b) *Tools Collet Chuck*

(Sumber: Pengolahan Data)

Dari Gambar V.1. di halaman sebelumnya, sumbu x pada grafik menunjukkan waktu antar kerusakan dan sumbu y menunjukkan laju kerusakan yang terjadi untuk (a) komponen *bearing* dan (b) *tools collet chuck*. Komponen *bearing* memiliki waktu kerusakan berdistribusi lognormal dan *tools collet chuck* memiliki waktu kerusakan berdistribusi normal. Gambar V.1. tersebut, baik untuk (a) maupun (b), menjelaskan bahwa komponen *bearing* dan *tools collet chuck* memiliki waktu kerusakan dengan laju kerusakan yang meningkat karena memburuknya kondisi peralatan. Laju tersebut berada pada fase *wearout failures* yang ada pada *the bathtub curve* dan menunjukkan akhir dari umur pemakaian komponen/ peralatan. Hal tersebut yang menyebabkan perlu dilakukannya *preventive maintenance* untuk mencegah terjadinya kerusakan yang lebih fatal.

5.7. Analisis Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan dengan *Age Replacement*

Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan interval waktu penggantian yang optimal dengan menghasilkan nilai *equipment failure* minimum. Penggantian komponen dilakukan terhadap komponen-komponen kritis untuk menghindari waktu yang lebih lama karena perbaikan mesin yang mengalami kerusakan. Nilai *equipment failure* minimum akan menghasilkan nilai *availability* yang tinggi. Interval waktu penggantian komponen dengan model *age replacement*, nilai *equipment failure*, dan nilai *availability* dapat dilihat pada Tabel IV.39.

Berdasarkan Tabel IV.39. komponen *bearing* dengan distribusi lognormal memiliki interval waktu penggantian komponen selama 17.900 menit sekali atau 45 hari kerja sekali dengan nilai *equipment failure* minimum sebesar 0,003288598, dan nilai *availability* 0,996711402. *Tools collet chuck* dengan distribusi normal memiliki interval waktu penggantian pencegahan selama 32.250 menit sekali atau 81 hari kerja sekali, dengan nilai *equipment failure* minimum sebesar 0,000996199 dan nilai *availability* sebesar 0,999003801.

Interval waktu penggantian berdasarkan penjabaran sebelumnya dengan model *age replacement* akan menghasilkan penjadwalan penggantian untuk komponen *bearing* dan *tools collet chuck* yang dapat terlihat pada Tabel V.1. dan Tabel V.2.

Tabel V.1. Penjadwalan Penggantian Komponen *Bearing*

Penggantian ke-	Tanggal Penggantian	Waktu Penggantian
1	23 Desember 2016	14.00
2	15 Februari 2017	11.00
3	8 April 2017	09.00
4	30 Mei 2017	15.00
5	21 Juli 2017	12.00

(Sumber: Analisis dan Pembahasan)

Tabel V.2. Penjadwalan Penggantian *Tools Collet Chuck*

Penggantian ke-	Tanggal Penggantian	Waktu Penggantian
1	4 Februari 2017	12.00
2	10 Mei 2017	09.00
3	12 Agustus 2017	14.00
4	15 November 2017	10.00
5	16 Februari 2018	15.00

(Sumber: Analisis dan Pembahasan)

Penjadwalan penggantian tersebut (secara teoritis) apabila diterapkan akan berdampak baik bagi perusahaan, yaitu:

1. Proses produksi dapat berjalan lebih lancar karena minimnya *equipment failure* yang terjadi.
2. Lebih tertata dengan baik pemeliharaan mesin yang dilakukan dengan adanya waktu penggantian komponen yang terjadwal.
3. Jumlah produksi perusahaan dapat meningkat seiring dengan jadwal pemeliharaan yang baik.

5.8. Analisis Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Komponen Kritis Tanpa dan Dengan Adanya *Preventive Maintenance*

Perhitungan tingkat keandalan terhadap komponen kritis ini dilakukan sebelum (*corrective maintenance*) dan sesudah adanya *preventive maintenance* (secara

teoritis) agar dapat dibandingkan tingkat keandalannya. Karena tujuan dari dilakukannya tindakan *preventive maintenance* adalah untuk meningkatkan keandalan dari suatu mesin. Fungsi keandalan adalah suatu peluang atau kemungkinan sebuah komponen atau sistem akan melakukan fungsi yang dibutuhkan selama periode waktu yang diharapkan. Rekapitulasi perhitungan tingkat keandalan tanpa dan dengan adanya *preventive maintenance* dapat dilihat pada Tabel IV.41.

Berdasarkan Tabel IV.41. komponen *bearing* pada saat tindakan *corrective maintenance* memiliki keandalan sebesar 43,1755% dan dengan dilakukannya tindakan *preventive maintenance* memiliki keandalan sebesar 80,3177%. Nilai keandalan komponen *bearing* berdasarkan persentase tersebut meningkat sebesar 86,0261%. Hal tersebut dikarenakan sebelum adanya kerusakan pada komponen *bearing* pada saat *Mean Time To Failure (MTTF)*, yaitu 25.472,0820 menit, pada komponen *bearing* dilakukan penggantian komponen pada saat 17.900 menit atau 45 hari kerja berdasarkan model *age replacement*, sehingga pada saat MTTF tersebut yang seharusnya komponen telah rusak dan hanya memiliki keandalan 43,1755% tidak mengalami kerusakan dan keandalan dapat dipertahankan pada nilai 80,3177%.

Selanjutnya adalah *tools collet chuck*, tingkat keandalannya juga dapat dilihat pada Tabel IV.41. Pada saat tindakan *corrective maintenance*, *collet chuck* memiliki keandalan sebesar 50% dan dengan dilakukannya tindakan *preventive maintenance* memiliki keandalan sebesar 86,0569%. Nilai keandalan *collet chuck* berdasarkan persentase tersebut meningkat sebesar 72,1138%. Hal tersebut dikarenakan sebelum adanya kerusakan pada *collet chuck* pada saat *Mean Time To Failure (MTTF)*, yaitu 41.132 menit, pada komponen *collet chuck* dilakukan penggantian pada saat 32.250 menit atau 81 hari kerja berdasarkan model *age replacement*, sehingga pada saat MTTF tersebut yang seharusnya *tools* telah rusak dan hanya memiliki keandalan sebesar 50% tidak mengalami kerusakan dan keandalan dapat dipertahankan pada nilai 86,0569%.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari hasil pengumpulan data, pengolahan data, dan hasil analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Mesin kritis pada PT Aristo Satria Mandiri Indonesia adalah mesin CNC *milling* Quaser yang memiliki frekuensi kerusakan terbesar dibandingkan mesin CNC *milling* lainnya selama periode Januari 2014-Desember 2015.
2. Komponen kritis pada mesin CNC *milling* Quaser adalah komponen *bearing* dan *tools collet chuck*.
3. Penjadwalan penggantian komponen *bearing* menggunakan interval waktu penggantian sebesar 17.900 menit sekali atau 45 hari kerja sekali dengan peningkatan keandalan sebesar 86,0261% (dari 43,1755% menjadi 80,3177%). Sedangkan penjadwalan penggantian untuk *tools collet chuck* menggunakan interval waktu penggantian sebesar 32.250 menit sekali atau 81 hari kerja sekali dengan peningkatan keandalan sebesar 72,1138% (dari 50% menjadi 86,0569%).

6.2. Saran

Berdasarkan dari hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Diharapkan penjadwalan *preventive maintenance* untuk mesin CNC *milling* Quaser ini dapat diterapkan secara kontinyu pada perusahaan untuk meminimalkan kerusakan pada mesin.
2. Diharapkan perusahaan dapat menerapkan sistem pemeliharaan mesin CNC *milling* Quaser yang diusulkan terhadap komponen *bearing* dan *tools collet chuck*.

3. Diharapkan perusahaan dapat menerapkan program *preventive maintenance* dengan dilakukannya penggantian secara terjadwal dengan model *age replacement* agar proses produksi menjadi lebih lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, Nachnul, & Mustajib, M. Imron. 2013. *Sistem Perawatan Terpadu (Integrated Maintenance System)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Assauri, Sofjan. 2004. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Corder, A.S. 1996. *Teknik Manajemen Pemeliharaan*, Hadi, Kusnul. Jakarta: Erlangga.
- Dhillon, B.S. 1997. *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. New York: Taylor and Francis Group.
- Ebeling, Charles E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Illinois: Waveland Press, Inc.
- Jardine, Andrew K.S., & Tsang, Albert H.C. 2006. *Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications*. New York: Taylor and Francis Group.
- Mann, Lawrence Jr. 1978. *Maintenance Management*. Canada: D.C. Heath and Company.
- Nakajima, Seiichi. 1988. *Introduction to Total Productive Maintenance*. Cambridge: Productivity Press, Inc.
- Pranoto, Hadi. 2015. *Reliability Centred Maintenance*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
- Stephens, Matthew P. 2004. *Productivity and Reliability-Based Maintenance Management*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Supranto, J. 2008. *Statistik: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga.

Dania, Wike Agustin Prima; et al. 2011. *Aplikasi Optimal Preventive Replacement Age Model untuk Menentukan Jadwal Penggantian Komponen Dumping Grate Pada Mesin Ketel Uap (Studi Kasus di PG Rejo Agung Baru Madiun)*. Malang: Universitas Brawijaya. Vol. 12 No. 1 (April 211) 49-57.

Ramdhany, Muhammad. 2012. *Usulan Penjadwalan Preventive Maintenance Berdasarkan Umur Pakai (Age Replacement) Untuk Minimasi Downtime Mesin Produksi Vigo Sosis pada PT Madusari Nusaperdana*. Jakarta: Sekolah Tinggi Manajemen Industri.



PT ARISTO SATRIA MANDIRI INDONESIA

Departemen *Maintenance*

HISTORY MESIN

NAMA MESIN : QUASER
SERIAL NO. : 117G110211
JENIS MESIN : CNC *MILLING*
TAHUN PEMBUATAN : 2011

NO	TANGGAL	KOMPONEN MESIN	JENIS PERAWATAN		KETERANGAN
			GANTI	REPAIR	
1	20-01-2014	<i>Linear guide</i>	√		OK
2	04-02-2014	<i>Spindle</i>		√	OK
3	05-02-2014	<i>Bearing</i>	√		OK
4	17-03-2014	<i>Bearing</i>	√		OK
5	19-03-2014	<i>Collet Chuck</i>	√		OK
6	05-05-2014	<i>Spindle</i>		√	OK
7	06-05-2014	Selang angin	√		OK
8	21-07-2014	<i>Bearing</i>	√		OK
9	04-08-2014	<i>Ballscrew</i>	√		OK
10	08-09-2014	<i>Collet Chuck</i>	√		OK
11	09-10-2014	<i>Bearing</i>	√		OK
12	04-11-2014	Selang angin	√		OK
13	18-11-2014	<i>Spindle</i>		√	OK
14	12-12-2014	<i>Collet Chuck</i>	√		OK
15	20-12-2014	<i>Bearing</i>	√		OK
16	07-01-2015	<i>Spindle</i>		√	OK
17	26-02-2015	<i>Bearing</i>	√		OK
18	12-06-2015	<i>Bearing</i>	√		OK
19	18-06-2015	<i>Spindle</i>		√	OK
20	25-06-2015	<i>Ballscrew</i>	√		OK
21	02-05-2015	<i>Collet Chuck</i>	√		OK
22	05-08-2015	<i>Bearing</i>	√		OK
23	19-09-2015	<i>Collet Chuck</i>	√		OK
24	21-09-2015	<i>Spindle</i>		√	OK
25	06-11-2015	<i>Spindle</i>	√		OK
26	02-11-2015	<i>Bearing</i>	√		OK

27	21-12-2015	Collet Chuck	√		OK
----	------------	--------------	---	--	----

Data Kerusakan Mesin CNC Milling Periode Januari 2014-Desember 2014

No	Tanggal	Mesin	Komponen	Jam Kerusakan	Time Loose (menit)	Keterangan
1	20-01-2014	Quaser	<i>Linear guide</i>	09.45-13.05	200	Ganti
2	04-02-2014	Quaser	<i>Spindle</i>	11.20-10.00	400	Repair
3	05-02-2014	Quaser	<i>Bearing</i>	11.00-13.00	120	Ganti
4	24-02-2014	Dahlih	<i>ATC</i>	10.00-15.00	300	Repair
5	12-03-2014	YCM MV 86A	<i>Bearing</i>	13.00-15.15	135	Ganti
6	17-03-2014	Quaser	<i>Bearing</i>	13.15-15.20	125	Ganti
7	19-03-2014	Quaser	<i>Collet Chuck</i>	09.30-10.50	80	Ganti
8	05-05-2014	Quaser	<i>Spindle</i>	14.00-16.00	120	Repair
9	06-05-2014	Quaser	Selang angin	13.10-15.10	120	Ganti
10	07-05-2014	Dahlih	<i>Spindle</i>	13.10-15.10	120	Repair
11	13-06-2014	Dahlih	<i>Bearing</i>	14.00-16.00	120	Ganti
12	13-06-2014	YCM MV 106A	<i>Bearing</i>	09.20-11.50	150	Ganti
13	30-06-2014	YCM MV 86A	<i>Bearing</i>	10.00-12.10	130	Ganti
14	21-07-2014	Quaser	<i>Bearing</i>	10.20-12.00	100	Ganti
15	22-07-2014	Dahlih	<i>Linear guide</i>	15.00-16.30	90	Ganti
16	04-08-2014	Quaser	<i>Ball screw</i>	13.30-16.00	150	Ganti
17	20-08-2014	YCM MV 86A	<i>Bearing</i>	10.00-12.20	140	Ganti
18	25-08-2014	YCM MV 86A	<i>Spindle</i>	10.15-15.15	300	Repair
19	08-09-2014	Quaser	<i>Collet Chuck</i>	10.00-11.15	75	Ganti
20	15-09-2014	YCM MV 106A	<i>Piston</i>	14.00-16.20	140	Repair
21	15-09-2014	YCM MV 106A	<i>Collet chuck</i>	16.20-17.00	40	Ganti
22	20-09-2014	Dahlih	<i>Bearing</i>	08.30-11.00	150	Ganti
23	09-10-2014	Quaser	<i>Bearing</i>	14.30-16.45	135	Ganti
24	17-10-2014	YCM MV 106A	<i>Collet Chuck</i>	11.00-12.00	60	Ganti
25	17-10-2014	YCM MV 106A	<i>MPG with cable</i>	13.00-17.00	240	Ganti
26	04-11-2014	Quaser	Selang angin	13.30-16.30	180	Ganti
27	18-11-2014	Quaser	<i>Spindle</i>	11.30-09.40	370	Repair
28	12-12-2014	Quaser	<i>Collet Chuck</i>	10.50-11.30	40	Ganti
29	20-12-2014	Quaser	<i>Bearing</i>	11.00-13.40	160	Ganti
30	27-12-2014	YCM MV 86A	<i>Bearing</i>	09.00-11.30	150	Ganti

Data Kerusakan Mesin CNC *Milling* Periode Januari 2015-Desember 2015

No	Tanggal	Mesin	Komponen	Jam Kerusakan	<i>Time Loose</i> (menit)	Keterangan
1	07-01-2015	Quaser	<i>Spindle</i>	09.15-11.40	145	Repair
2	26-01-2015	YCM MV 106A	<i>Bearing</i>	11.00-13.20	140	Ganti
3	02-02-2015	Dahlih	<i>Bearing</i>	11.00-13.20	140	Ganti
4	26-02-2015	Quaser	<i>Bearing</i>	08.30-11.00	150	Ganti
5	20-03-2015	YCM MV 86A	<i>Spindle</i>	14.00-16.00	120	Repair
6	30-03-2015	YCM MV 86A	<i>Bearing</i>	14.00-16.00	120	Ganti
7	04-05-2015	Dahlih	<i>Bearing</i>	09.00-11.30	120	Ganti
8	12-06-2015	Quaser	<i>Bearing</i>	14.30-16.50	140	Ganti
9	18-06-2015	Quaser	<i>Spindle</i>	13.00-15.10	130	Repair
10	25-06-2015	Quaser	<i>Ballscrew</i>	08.30-11.30	180	Ganti
11	20-06-2015	YCM MV 86A	<i>Collet Chuck</i>	09.00-10.00	60	Ganti
12	02-05-2015	Quaser	<i>Collet Chuck</i>	13.40-15.05	85	Ganti
13	05-08-2015	Quaser	<i>Bearing</i>	14.15-15.50	95	Ganti
14	18-09-2015	YCM MV 106A	Selang angin	13.00-14.50	110	Ganti
15	19-09-2015	Quaser	<i>Collet Chuck</i>	10.50-12.00	70	Ganti
16	21-09-2015	Quaser	<i>Spindle</i>	15.30-14.00	330	Repair
17	04-10-2015	Dahlih	<i>Tool Arbon</i>	13.00-15.00	120	Ganti
18	22-10-2015	Dahlih	<i>Bearing</i>	09.30-11.00	150	Ganti
19	02-11-2015	Quaser	<i>Bearing</i>	11.20-13.55	155	Ganti
20	06-11-2015	Quaser	<i>Spindle</i>	13.20-15.25	125	Ganti
21	25-11-2015	Dahlih	<i>Disc Spring</i>	08.30-11.00	150	Ganti
22	21-12-2015	Quaser	<i>Collet Chuck</i>	14.00-15.00	60	Ganti

1. Perhitungan *Index Of Fit (IOF) Tools Collet Chuck*

a. Distribusi Eksponensial

- *Time To Failure (TTF)*

Tabel D.1. Distribusi Eksponensial TTF *Tools Collet Chuck*

i	t _i	X _i =t _i	F(t _i)	Y _i = ln (1/(1-F(t _i)))	X _i .Y _i	X _i ²	Y _i ²
1	31.260	31.260	0,129630	0,138836	4.340,0273	977.187.600	0,019276
2	32.555	32.555	0,314815	0,378066	12.307,9430	1.059.828.025	0,142934
3	43.425	43.425	0,500000	0,693147	30.099,9163	1.885.730.625	0,480453
4	45.370	45.370	0,685185	1,155771	52.437,3168	2.058.436.900	1,335806
5	53.050	53.050	0,870370	2,043074	108.385,0703	2.814.302.500	4,174151
Total	205.660	205.660	2,5	4,408894	207.570,2736	8.795.485.650	6,152619

Contoh perhitungan *index of fit* (i=1) untuk TTF distribusi eksponensial dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = t_i = 31.260$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{5 + 0,4} = 0,129630$$

$$Y_i = \ln\left(\frac{1}{1 - F(t_i)}\right) = \ln\left(\frac{1}{1 - 0,129630}\right) = 0,138836$$

$$X_i \cdot Y_i = 31.260 \times 0,138836 = 4.340,0273$$

$$X_i^2 = (31.260)^2 = 977.187.600$$

$$Y_i^2 = (0,138836)^2 = 0,019276$$

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

$$r = \frac{5 \times 207.570,2736 - (205.660)(4,408894)}{\sqrt{(5 \times 8.795.485.650 - (205.660)^2)(5 \times 6,152619 - (4,408894)^2)}}$$

$$r = 0.950198$$

- **Time To Repair (TTR)**

Tabel D.2. Distribusi Eksponensial TTR *Tools Collet Chuck*

i	t _i	X _i =t _i	F(t _i)	Y _i = ln (1/(1-F(t _i)))	X _i .Y _i	X _i ²	Y _i ²
1	40	40	0,109375	0,115832	4,633273	1.600	0,013417
2	60	60	0,265625	0,308735	18,524129	3.600	0,095318
3	70	70	0,421875	0,547965	38,357562	4.900	0,300266
4	75	75	0,578125	0,863046	64,728466	5.625	0,744849
5	80	80	0,734375	1,325670	106,053579	6.400	1,757400
6	85	85	0,890625	2,212973	188,102699	7.225	4,897249
Total	410	410	3	5,374221	420,39971	29.350	7,8084986

Contoh perhitungan *index of fit* (i=1) untuk TTR distribusi eksponensial dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = t_i = 40$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{6 + 0,4} = 0,109375$$

$$Y_i = \ln\left(\frac{1}{1 - F(t_i)}\right) = \ln\left(\frac{1}{1 - 0,109375}\right) = 0,115832$$

$$X_i \cdot Y_i = 40 \times 0,115832 = 4,633273$$

$$X_i^2 = (40)^2 = 1.600$$

$$Y_i^2 = (0,115832)^2 = 0,013417$$

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

$$r = \frac{6 \times 420,39971 - (410)(5,374221)}{\sqrt{(6 \times 29.350 - (410)^2)(6 \times 7,8084986 - (5,374221)^2)}}$$

$$r = 0.841284$$

b. Distribusi Weibull

- *Time To Failure (TTF)*

Tabel D.3. Distribusi Weibull TTF *Tools Collet Chuck*

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_i²	Y_i²
1	31.260	10,3501	0,12963	-1,974459	-20,4358	107,1244	3,8984
2	32.555	10,3906	0,31481	-0,972686	-10,1068	107,9663	0,9461
3	43.425	10,6787	0,5	-0,366513	-3,9139	114,0365	0,1343
4	45.370	10,7226	0,68518	0,144767	1,5522	114,9742	0,0209
5	53.050	10,8789	0,87037	0,714455	7,7725	118,3524	0,5104
Total	205.660	53,0212	2,5	-2,45443	-25,1317	562,4541	5,5103

Contoh perhitungan *index of fit* (i=1) untuk TTF distribusi Weibull dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = \ln t_i = \ln(31.260) = 10,3501$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{5 + 0,4} = 0,12963$$

$$Y_i = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right) = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1 - 0,12963} \right) \right) = -1,974459$$

$$X_i \cdot Y_i = 10,3501 \times (-1,974459) = -20,4358$$

$$X_i^2 = (10,3501)^2 = 107,1244$$

$$Y_i^2 = (-1,974459)^2 = 3,8984$$

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

$$r = \frac{5(-25,1317) - (53,0212)(-2,45443)}{\sqrt{(5 \times 562,4541 - (53,0212)^2)(5 \times 5,5103 - (-2,45443)^2)}}$$

$$r = 0.952722$$

- **Time To Repair (TTR)**

Tabel D.4. Distribusi Weibull TTR *Tools Collet Chuck*

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	40	3,6888	0,109375	-2,155616	-7,951808	13,607832	4,646680
2	60	4,0943	0,265625	-1,175270	-4,811962	16,763657	1,381261
3	70	4,2484	0,421875	-0,601544	-2,555655	18,049712	0,361855
4	75	4,3174	0,578125	-0,147287	-0,635910	18,640704	0,021693
5	80	4,3820	0,734375	0,281918	1,235371	19,202157	0,079478
6	85	4,4426	0,890625	0,794337	3,528962	19,737150	0,630971
Total	410	25,17388	3	-3,00346	-11,191002	106,00121	7,121937

Contoh perhitungan *index of fit* (i=1) untuk TTR distribusi Weibull dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = \ln t_i = 3,688879$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{6 + 0,4} = 0,109375$$

$$Y_i = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right) = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1 - 0,109375} \right) \right) = -2,155616$$

$$X_i \cdot Y_i = 3,688879 \times (-2,155616) = -7,951808$$

$$X_i^2 = (3,688879)^2 = 13,607832$$

$$Y_i^2 = (-2,155616)^2 = 4,646680$$

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

$$r = \frac{6 (-11,191002) - (25,17388)(-3,00346)}{\sqrt{(6 \times 106,00121 - (25,17388)^2)(6 \times 7,121937 - (-3,00346)^2)}}$$

$$r = 0,964713$$

c. Distribusi Normal

- **Time To Failure (TTF)**

Tabel D.5. Distribusi Normal TTF *Tools Collet Chuck*

i	ti	Xi=ti	F(ti)	Yi = Φ^{-1} [F(ti)]	Xi.Yi	Xi²	Yi²
1	31.260	31.260	0,129630	-1,128144	-35.265,77035	977.187.600	1,272708
2	32.555	32.555	0,314815	-0,482248	-15.699,59063	1.059.828.025	0,232563
3	43.425	43.425	0,500000	0,000000	0,000000	1.885.730.625	0,000000
4	45.370	45.370	0,685185	0,482248	21.879,60151	2.058.436.900	0,232563
5	53.050	53.050	0,870370	1,128144	59.848,02038	2.814.302.500	1,272708
Total	205.660	205.660	2,5	0	30.762,2609	8.795.485.650	3,010542

Contoh perhitungan *index of fit* (i=1) untuk TTF distribusi normal dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = t_i = 31.260$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{5 + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{5 + 0,4} = 0,129630$$

Perhitungan Y_i didapat dari fungsi Microsoft Excel yaitu NORMSINV(0,129630)

$$Y_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \Phi^{-1}(0,129630) = -1,128144$$

$$X_i \cdot Y_i = 31.260 \times (-1,128144) = -35.265,77035$$

$$X_i^2 = (31.260)^2 = 977.187.600$$

$$Y_i^2 = (-1,128144)^2 = 1,272708$$

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

$$r = \frac{5 (30.762,2609) - (205.660)(0)}{\sqrt{(5 \times 8.795.485.650 - (205.660)^2)(5 \times 3,010542 - (0)^2)}}$$

$$r = 0.966821$$

- **Time To Repair (TTR)**

Tabel D.6. Distribusi Normal TTR *Tools Collet Chuck*

i	t _i	X _i =t _i	F(t _i)	Y _i = Φ ⁻¹ [F(t _i)]	X _i .Y _i	X _i ²	Y _i ²
1	40	40	0,109375	-1,229859	-49,194350	1.600	1,512553
2	60	60	0,265625	-0,626099	-37,565941	3.600	0,392000
3	70	70	0,421875	-0,197099	-13,796936	4.900	0,038848
4	75	75	0,578125	0,197099	14,782431	5.625	0,038848
5	80	80	0,734375	0,626099	50,087921	6.400	0,392000
6	85	85	0,890625	1,229859	104,537995	7.225	1,512553
Total	410	410	3	0	68,85112	29.350	3,88680

Contoh perhitungan *index of fit* (i=1) untuk TTR distribusi normal dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = t_i = 40$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{6 + 0,4} = 0,109375$$

Perhitungan Y_i didapat dari fungsi Microsoft Excel yaitu NORMSINV(0,109375)

$$Y_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \Phi^{-1}(0,109375) = -1,229859$$

$$X_i \cdot Y_i = 40 \times (-1,229859) = -49,194350$$

$$X_i^2 = (40)^2 = 1.600$$

$$Y_i^2 = (-1,229859)^2 = 1,512553$$

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

$$r = \frac{6 (68,85112) - (410)(0)}{\sqrt{(6 \times 29.350 - (410)^2)(6 \times 3,88680 - (0)^2)}}$$

$$r = 0.956413$$

d. Distribusi Lognormal

- *Time To Failure (TTF)*

Tabel D.7. Distribusi Lognormal TTF *Tools Collet Chuck*

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	31.260	10,350095	0,129630	-1,128144	-11,676393	107,124458	1,272708
2	32.555	10,390686	0,314815	-0,482248	-5,010890	107,966361	0,232563
3	43.425	10,678791	0,500000	0,000000	0,000000	114,036568	0,000000
4	45.370	10,722606	0,685185	0,482248	5,170958	114,974287	0,232563
5	53.050	10,878990	0,870370	1,128144	12,273064	118,352427	1,272708
Total	205.660	53,021167	2,5	0	0,7567380	562,454101	3,010542

Contoh perhitungan *index of fit* (i=1) untuk TTF distribusi lognormal dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = \ln t_i = \ln 31.260 = 10,350095$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{5 + 0,4} = 0,129630$$

Perhitungan Y_i didapat dari fungsi Microsoft Excel yaitu NORMSINV(0,129630)

$$Y_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \Phi^{-1}(0,129630) = -1,128144$$

$$X_i \cdot Y_i = 10,350095 \times (-1,128144) = -11,676393$$

$$X_i^2 = (10,350095)^2 = 107,124458$$

$$Y_i^2 = (-1,128144)^2 = 1,272708$$

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

$$r = \frac{5 (0,7567380) - (53,021167)(0)}{\sqrt{(5 \times 562,454101 - (53,021167)^2)(5 \times 3,010542 - (0)^2)}}$$

$$r = 0.962677$$

- **Time To Repair (TTR)**

Tabel D.8. Distribusi Lognormal TTR *Tools Collet Chuck*

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	40	3,688879	0,109375	-1,229859	-4,536801	13,607832	1,512553
2	60	4,094345	0,265625	-0,626099	-2,563465	16,763657	0,392000
3	70	4,248495	0,421875	-0,197099	-0,837375	18,049712	0,038848
4	75	4,317488	0,578125	0,197099	0,850973	18,640704	0,038848
5	80	4,382027	0,734375	0,626099	2,743583	19,202157	0,392000
6	85	4,442651	0,890625	1,229859	5,463834	19,737150	1,512553
Total	410	25,173885	3	0	1,120748	106,001212	3,886801

Contoh perhitungan *index of fit* (i=1) untuk TTR distribusi lognormal dapat dilihat sebagai berikut:

$$X_i = \ln t_i = \ln 40 = 3,688879$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{6 + 0,4} = 0,109375$$

Perhitungan Y_i didapat dari fungsi Microsoft Excel yaitu NORMSINV(0,109375)

$$Y_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \Phi^{-1}(0,109375) = -1,229859$$

$$X_i \cdot Y_i = 3,688879 \times (-1,229859) = -4,536801$$

$$X_i^2 = (3,688879)^2 = 13,607832$$

$$Y_i^2 = (-1,229859)^2 = 1,512553$$

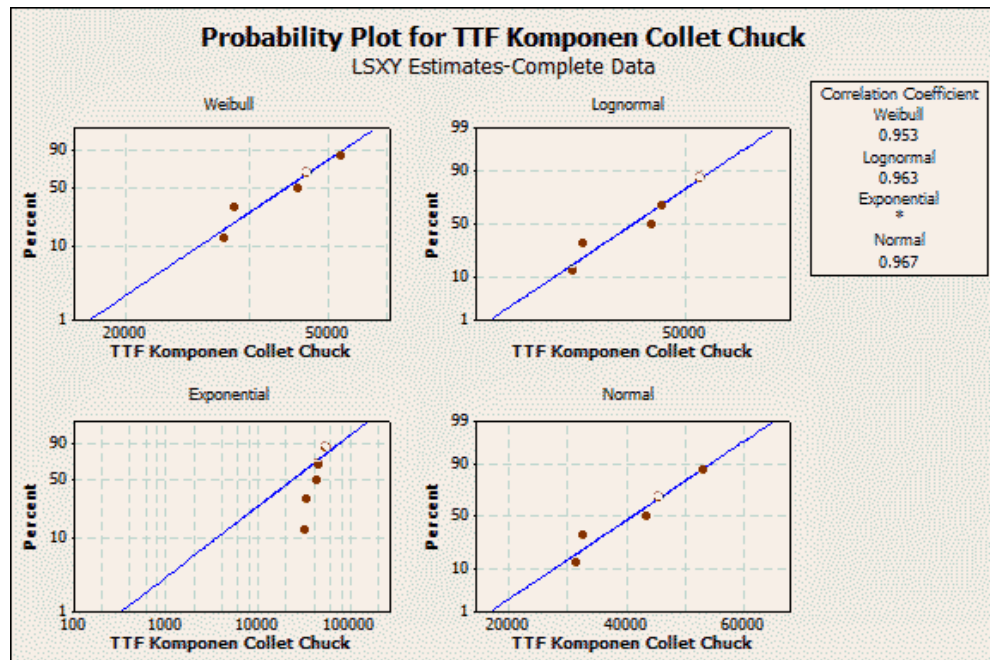
$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2)}}$$

$$r = \frac{6 (1,120748) - (25,173885)(0)}{\sqrt{(6 \times 106,001212 - (25,173885)^2)(6 \times 3,886801 - (0)^2)}}$$

$$r = 0.921629$$

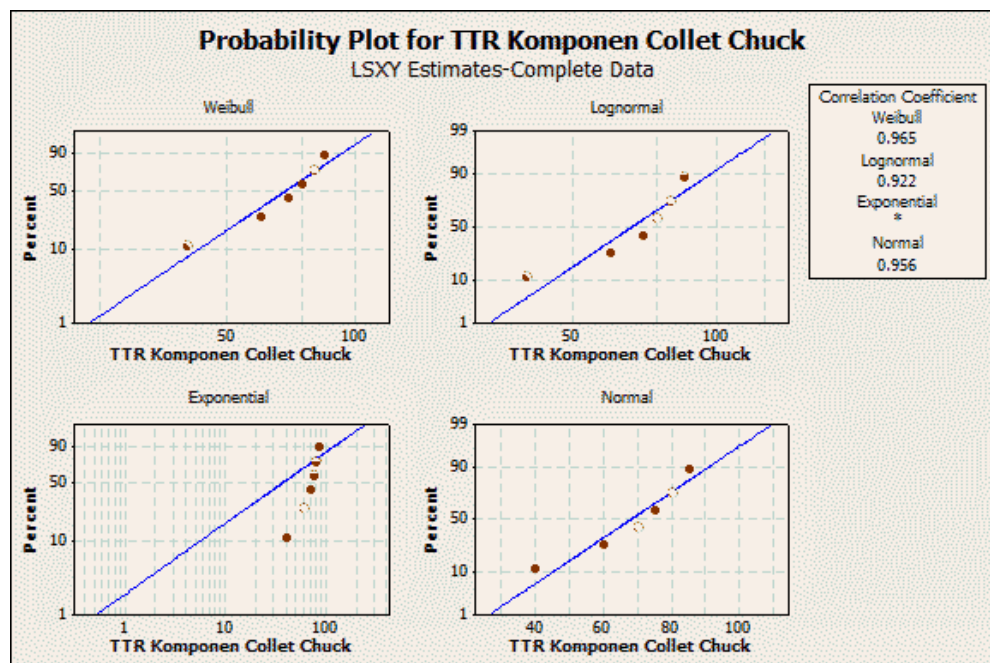
❖ **Perhitungan *Index Of Fit (IOF)* dengan *Software* MINITAB 14**

- ***Time To Failure (TTF)***



Gambar D.1. Time To Failure (TTF) Tools Collet Chuck dengan MINITAB 14

- **Time To Repair (TTR)**



Gambar D.2. Time To Repair (TTR) Tools Collet Chuck dengan MINITAB 14

2. Perhitungan MTTF dan MTTR Tools Collet Chuck

Contoh perhitungan MTTF dan MTTR *tools collet chuck* adalah sebagai berikut:

a. MTTR (Distribusi Weibull)

$$\begin{aligned}
 MTTR &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\
 &= 74,027579 \Gamma \left(1 + \frac{1}{6,031579} \right) \\
 &= 74,027579 \Gamma(1,166) \\
 &= 74,027579 (0,92794) \\
 &= 68,693152
 \end{aligned}$$

Nilai $\Gamma(1,166)$ berasal dari tabel nilai fungsi gamma, yaitu 0,92794.

b. MTTF (Distribusi Normal)

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \hat{\mu} \\
 &= 41.132
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Age Replacement Tools Collet Chuck

Data waktu kerusakan (TTF) berdistribusi normal dengan nilai:

$$\begin{aligned}
 MTTF &= 41.132 \text{ menit} \\
 \hat{\mu} &= 41.132 \\
 \hat{\sigma} &= 8.200,9576
 \end{aligned}$$

Data waktu perbaikan (TTR) berdistribusi Weibull dengan nilai:

$$\begin{aligned}
 MTTR &= 68,693152 \text{ menit, sehingga } T_f = 68,693152 \text{ menit} \\
 \text{Diasumsikan } T_f &= T_p = 68,693152 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Perhitungan *age replacement* untuk *tools collet chuck* dapat dilihat pada tabel di halaman selanjutnya.

Tabel D.9. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan *Tools Collet Chuck*

tp (menit)	$\frac{tp - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}}$	Φ	R(tp)	$T_p \cdot R(tp)$	1-R(tp)	Tf(1-R(tp))	$(tp+T_p) \cdot R(tp)$	M(Tp)	M(tp)+Tf	D(tp)
30.000	-1,357	0,087	0,913	62,694	0,087	5,999	27.442,894	471.012,958	471.081,651	0,001001637

30.250	-1,327	0,092	0,908	62,355	0,092	6,338	27.521,252	445.788,983	445.857,676	0,001000489
30.750	-1,266	0,103	0,897	61,634	0,103	7,059	27.651,593	400.250,892	400.319,586	0,000998583
31.000	-1,235	0,108	0,892	61,252	0,108	7,441	27.703,063	379.696,382	379.765,075	0,000997831
31.250	-1,205	0,114	0,886	60,855	0,114	7,838	27.745,065	360.474,135	360.542,828	0,000997216
31.750	-1,144	0,126	0,874	60,017	0,126	8,677	27.799,700	325.645,381	325.714,074	0,000996414
32.000	-1,114	0,133	0,867	59,575	0,133	9,118	27.811,870	309.867,146	309.935,839	0,000996232
32.250	-1,083	0,139	0,861	59,118	0,139	9,575	27.813,649	295.076,435	295.145,128	0,000996199
32.500	-1,053	0,146	0,854	58,645	0,146	10,048	27.804,827	281.203,398	281.272,091	0,00099632
32.750	-1,022	0,153	0,847	58,158	0,153	10,536	27.785,207	268.183,631	268.252,324	0,000996597
33.000	-0,992	0,161	0,839	57,654	0,161	11,039	27.754,607	255.957,721	256.026,414	0,000997032
33.750	-0,900	0,184	0,816	56,052	0,184	12,641	27.595,269	223.515,296	223.583,989	0,00099932
34.000	-0,870	0,192	0,808	55,487	0,192	13,206	27.519,170	213.956,581	214.025,274	0,001000419
34.250	-0,839	0,201	0,799	54,907	0,201	13,786	27.431,382	204.956101	205.024,794	0,001001691
34.500	-0,809	0,209	0,791	54,312	0,209	14,381	27.331,811	196.476,794	196.545,487	0,001003139
35.000	-0,748	0,227	0,773	53,078	0,227	15,615	27.097,044	180.946,929	181.015,622	0,001006572
35.750	-0,656	0,256	0,744	51,120	0,256	17,574	26.655,309	160.780,607	160.849,300	0,0010131
36.000	-0,626	0,266	0,734	50,439	0,266	18,254	26.484,180	154.789,024	154.857,717	0,001015654
36.250	-0,595	0,276	0,724	49,746	0,276	18,947	26.301,173	149.124,780	149.193,473	0,001018399
37.000	-0,504	0,307	0,693	47,592	0,307	21,102	25.681,723	133.899,487	133.968,180	0,001027805

Dari tabel diatas didapatkan hasil sebagai berikut:

4. *Downtime* minimum : $D(tp) = 0,000996199$
5. Interval waktu penggantian : $Tp = 32.250$
6. *Availability* : $A(tp) = 1 - D(tp) = 1 - 0,000996199 = 0,999003801$

Berikut adalah perhitungannya:

$$\frac{tp - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} = \frac{32.250 - 41.132}{8.200,9576} = -1,083$$

Nilai Φ didapat dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(-1,083)

$$\Phi(-1,083) = 0,139$$

$$R(tp) = 1 - 0,139 = 0,861$$

$$Tp \times R(tp) = 68,693152 \times 0,861 = 59,118$$

$$1 - R(tp) = 1 - 0,861 = 0,139$$

$$Tf \times (1 - R(tp)) = 68,693152 \times 0,139 = 9,575$$

$$(tp + Tp) \times R(tp) = (32.250 + 68,693152) \times 0,861 = 27.813,649$$

$$M(Tp) = \frac{MTTF}{1 - R(tp)} = \frac{41.132}{0,139} = 295.076,435$$

$$M(tp) + Tf = 295.076,435 + 68,693152 = 295.145,128$$

$$D(tp) = \frac{[Tp \cdot R(tp)] + [Tf \cdot (1 - R(tp))]}{[(tp + Tp) \cdot R(tp)] + [M(tp) + Tf] \cdot [1 - R(tp)]}$$

$$= \frac{59,118 + 9,575}{27.813,649 + [295.145,128][0,139]} = 0,000996199$$

Sehingga, interval waktu penggantian *tools collet chuck* dengan perhitungan metode *age replacement* adalah 32.250 menit atau 537,5 jam atau 81 hari.

4. Perhitungan Peningkatan Keandalan *Tools Collet Chuck*

Data waktu kerusakan (TTF) berdistribusi normal dengan nilai:

$$MTTF = 41.132 \text{ menit}$$

$$\hat{\mu} = 41.132$$

$$\hat{\sigma} = 8.200,9576$$

Data waktu perbaikan (TTR) berdistribusi Weibull dengan nilai:

$$MTTR = 68,693152 \text{ menit, sehingga } Tf = 68,693152 \text{ menit}$$

$$Tp = 32.250 \text{ menit}$$

Tabel D.10. Simulasi Perhitungan Tingkat Keandalan *Tools Collet Chuck* Tanpa dan Dengan Adanya Kegiatan *Preventive Maintenance*

t (menit)	R(t)	n	R(T) ⁿ	R(t-nT)	Rm(t)
1.440	0,999999	0	1	0,999999	0,999999
2.880	0,999998	0	1	0,999998	0,999998

4.320	0,99996	0	1	0,999996	0,999996
5.760	0,999992	0	1	0,999992	0,999992
7.200	0,999982	0	1	0,999982	0,999982
8.640	0,999963	0	1	0,999963	0,999963
10.080	0,99924	0	1	0,999924	0,999924
11.520	0,999847	0	1	0,999847	0,999847
12.960	0,999704	0	1	0,999704	0,999704
14.400	0,999442	0	1	0,999442	0,999442
15.840	0,998979	0	1	0,998979	0,998979
17.280	0,998184	0	1	0,998184	0,998184
18.720	0,996861	0	1	0,996861	0,996861
20.160	0,994725	0	1	0,994725	0,994725
21.600	0,991383	0	1	0,991383	0,991383
23.040	0,986311	0	1	0,986311	0,986311
24.480	0,978847	0	1	0,978847	0,978847
25.920	0,968195	0	1	0,968195	0,968195
27.360	0,953455	0	1	0,953455	0,953455
28.800	0,933674	0	1	0,933674	0,933674
30.240	0,907934	0	1	0,907934	0,907934
31.680	0,875452	0	1	0,875452	0,875452
33.120	0,835705	1	0,860606	1,000000	0,860605
34.560	0,788541	1	0,860606	0,999999	0,860605
36.000	0,734271	1	0,860606	0,999997	0,860603
37.440	0,673714	1	0,860606	0,999994	0,860601
38.880	0,608189	1	0,860606	0,999987	0,860594
40.320	0,539436	1	0,860606	0,999972	0,860582
41.132	0,500000	1	0,860606	0,999958	0,860569
41.760	0,469480	1	0,860606	0,999942	0,860556
43.200	0,400457	1	0,860606	0,999884	0,860505
44.640	0,334415	1	0,860606	0,999771	0,860409
46.080	0,273140	1	0,860606	0,999564	0,860231
47.520	0,218009	1	0,860606	0,999193	0,859912
48.960	0,169910	1	0,860606	0,998549	0,859357
50.400	0,129215	1	0,860606	0,997463	0,858423
51.840	0,095827	1	0,860606	0,995690	0,856896

Tabel D.10. Simulasi Perhitungan Tingkat Keandalan *Tools Collet Chuck* Tanpa dan Dengan Adanya Kegiatan *Preventive Maintenance* (Lanjutan)

t (menit)	R(t)	n	R(T) ^a	R(t-nT)	Rm(t)
53.280	0,069265	1	0,860606	0,992881	0,854479
54.720	0,048772	1	0,860606	0,988565	0,850764

56.160	0,033441	1	0,860606	0,982136	0,845231
57.600	0,022319	1	0,860606	0,972848	0,837239
59.040	0,014494	1	0,860606	0,959839	0,826043
60.480	0,009156	1	0,860606	0,942167	0,810834
61.920	0,005625	1	0,860606	0,918890	0,790802
63.360	0,003360	1	0,860606	0,889156	0,765213
64.800	0,001951	2	0,740642	1,000000	0,740642
66.240	0,001101	2	0,740642	0,999999	0,740641
67.680	0,000604	2	0,740642	0,999998	0,740641
69.120	0,000322	2	0,740642	0,999996	0,740639
70.560	0,000166	2	0,740642	0,999991	0,740635
72.000	0,000084	2	0,740642	0,999979	0,740627
73.440	0,000041	2	0,740642	0,999957	0,740610
74.880	0,000019	2	0,740642	0,999912	0,740576
76.320	0,000009	2	0,740642	0,999824	0,740512
77.760	0,000004	2	0,740642	0,999661	0,740391
79.200	0,000002	2	0,740642	0,999366	0,740172
80.640	0,000001	2	0,740642	0,998846	0,739787

Dari tabel diatas didapatkan hasil sebagai berikut:

MTTF dengan baris warna merah yaitu dengan nilai 41.132 menit.

$$R(t) = R(41.132) = 0,5$$

$$R_m(t) = R_m(41.132) = 0,860569$$

Berikut merupakan perhitungannya:

- **Tanpa tindakan pencegahan**

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

$$= 1 - \Phi\left(\frac{41.132 - 41.132}{8.200,9576}\right)$$

Nilai Φ didapat dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(0)

$$R(t) = 1 - 0,5 = 0,5$$

- **Dengan tindakan pencegahan**

$$\begin{aligned}
R(T) &= 1 - \Phi\left(\frac{T - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}}\right) \\
&= 1 - \Phi\left(\frac{32.250 - 41.132}{8.200,9576}\right) \\
&= 1 - \Phi(-1,083044)
\end{aligned}$$

Perhitungan $\Phi(-1,083044)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(-1,083044).

$$R(T)^n = (1 - 0,139394)^1 = 0,860606$$

$$\begin{aligned}
R(t - nT) &= 1 - \Phi\left(\frac{(t - nT) - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}}\right) \\
&= 1 - \Phi\left(\frac{(41.132 - (1 \times 32.250)) - 41.132}{8.200,9576}\right) \\
&= 1 - \Phi(-3,932468)
\end{aligned}$$

Perhitungan $\Phi(-3,932468)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(-3,932468).

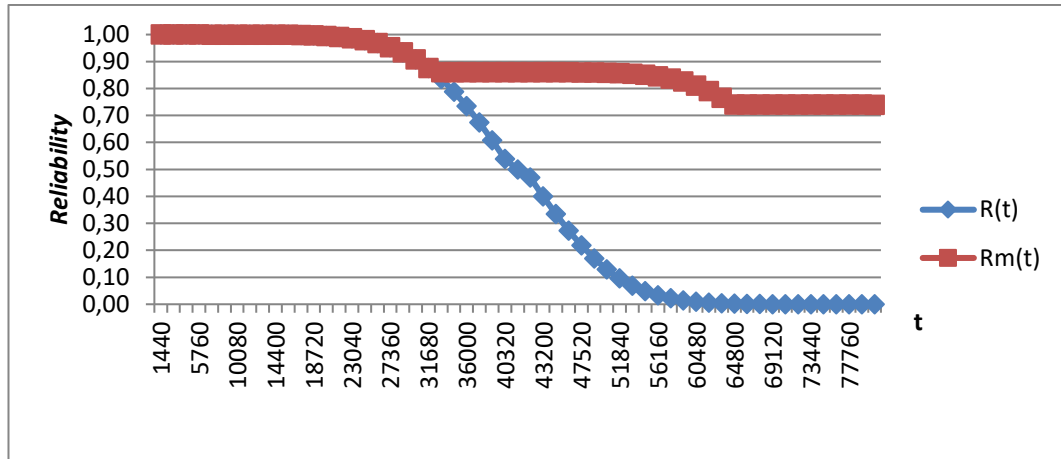
$$R(t - nT) = 1 - 0,000042 = 0,999958$$

Sehingga nilai keandalan dengan adanya pencegahan adalah :

$$\begin{aligned}
R_m(t) &= R(T)^n \times R(t - nT) \\
&= 0,860606 \times 0,999958 = 0,860569
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Peningkatan keandalan} &= \frac{R_m(t) - R(t)}{R(t)} \times 100\% \\
&= \frac{(0,860569 - 0,5)}{0,5} \times 100\% \\
&= 72,1138\%
\end{aligned}$$

Berikut merupakan grafik tingkat keandalan tanpa dan dengan adanya kegiatan *preventive maintenance tools collet chuck*:



Gambar D.3. Grafik Tingkat Keandalan *Tools Collet Chuck* Tanpa dan Dengan Adanya *Preventive Maintenance*