

**USULAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* DENGAN MODEL *AGE REPLACEMENT* UNTUK MENENTUKAN INTERVAL WAKTU
PENGgantian KOMPONEN MESIN *WIRECUT* PADA
PT ARISTO SATRIA MANDIRI INDONESIA**

TUGAS AKHIR

**Untuk Memenuhi Sebagian Syarat-Syarat Penyelesaian Program Studi D-IV
Teknik Industri Otomotif**

OLEH

**NAMA : NINDIA ANECKSI VINANTI
NIM : 1112097**



**POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I
2016**

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

TANDA PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL TUGAS AKHIR :
“USULAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* DENGAN MODEL *AGE REPLACEMENT* UNTUK MENENTUKAN INTERVAL WAKTU PENGGANTIAN KOMPONEN MESIN *WIRECUT* PADA PT ARISTO SATRIA MANDIRI INDONESIA”

DISUSUN OLEH :
NAMA : NINDIA ANECKSI VINANTI
NIM : 1112097
PROGRAM STUDI : D-IV TEKNIK INDUSTRI OTOMOTIF

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

Menyetujui,
Jakarta, Oktober 2016
Dosen Pembimbing

Irma Agustiningsih Imdam, S.ST, MT

NIP :197208012003122002

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL TUGAS AKHIR : USULAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* DENGAN MODEL
AGE REPLACEMENT UNTUK MENENTUKAN INTERVAL
WAKTU PENGGANTIAN KOMPONEN MESIN *WIRECUT*
PADA PT ARISTO SATRIA MANDIRI INDONESIA

DISUSUN OLEH :

NAMA : NINDIA ANECKSI VINANTI

NIM : 1112097

PROGRAM STUDI : D-IV TEKNIK INDUSTRI OTOMOTIF

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta pada Hari Kamis
Tanggal 3 November 2016.

Jakarta, November 2016

Dosen Penguji 1,

Dosen Penguji 2,

Dosen Penguji 3,

Dosen Penguji 4,

ABSTRAK

PT Aristo Satria Mandiri Indonesia (PT ASMI) adalah perusahaan manufaktur yang bergerak dibidang komponen otomatis. Perusahaan ini memproduksi produk berdasarkan pesanan konsumen. Masalah yang dihadapi perusahaan adalah belum efektifnya sistem perawatan pada mesin *wirecut*. Hal ini disebabkan sistem perawatan yang digunakan perusahaan adalah menggunakan sistem *corrective maintenance*, dimana tindakan baru diambil setelah terjadinya suatu kerusakan mesin terjadi, serta *routine maintenance* yang dilakukan pekerja seperti membersihkan mesin, memberikan pelumas, dan lain-lain. Sistem yang tepat untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan sistem *preventive maintenance* menggunakan model *age replacement*, dimana apabila terjadi kerusakan perusahaan dapat memperkirakan terjadinya kerusakan mesin berdasarkan data kerusakan di masa lalu. Langkah pertama perhitungan *preventive maintenance* adalah menentukan komponen kritis menggunakan diagram Pareto, dimana diketahui komponen yang terpilih adalah *servopack*, *bs. sens cable*, dan *bearing*. Kemudian menentukan waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan dari komponen kritis yang dilanjutkan dengan menentukan nilai *index of fit* terhadap distribusi kerusakan, dimana nilai *index of fit* yang terbesar yang dipilih. Setelah itu, menentukan nilai estimasi parameter berdasarkan distribusi kerusakan yang dipilih karena masing-masing distribusi kerusakan memiliki nilai parameter yang berbeda-beda. Selanjutnya adalah menentukan nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR), dimana nilai MTTF dan MTTR untuk komponen *servopack* adalah sebesar 271,77 dan 3,277, sedangkan nilai MTTF dan MTTR komponen *bearing* adalah sebesar 418,7 jam dan 2,839 jam. Komponen *bs. sens cable* tidak dihitung karena distribusi yang dipilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar adalah eksponensial, dimana eksponensial berada pada laju kerusakan konstan sehingga apabila dihitung tidak akan meningkatkan nilai keandalannya. Kemudian menentukan waktu penggantian pencegahan dengan menggunakan model *age replacement* pada komponen kritis dan didapatkan bahwa interval waktu optimal untuk melakukan pergantian pencegahan kerusakan adalah komponen *servopack* harus diganti setiap 209 jam sekali atau 32 hari. Komponen *bearing* harus diganti setiap 342 jam sekali atau 52 hari. Nilai keandalan setelah melakukan tindakan penggantian pencegahan untuk komponen *servopack* sebesar 81,28% dengan peningkatan sebesar 54,78% sedangkan komponen *bearing* sebesar 88,64% dengan peningkatan sebesar 63,50%.

Kata kunci: *Corrective Maintenance*, *Routine Maintenance*, *Preventive Maintenance*, *Age Replacement*

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nindia Aneeksi Vinanti
NIM : 1112097
Program Studi : Teknik Industri Otomotif

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

USULAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* DENGAN MODEL *AGE REPLACEMENT* UNTUK MENENTUKAN INTERVAL WAKTU PENGGANTIAN KOMPONEN MESIN *WIRECUT* 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

Nindia Aneeksi Vinanti

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Usulan *Preventive Maintenance* dengan model *Age Replacement* untuk menentukan interval waktu penggantian komponen mesin *wirecut* pada PT Aristo Satria Mandiri Indonesia”.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, membimbing, dan memberikan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini terutama kepada kedua orang tua, Ibunda Sri Suryani Ananti dan Bapak Mustapin, adik-adik tersayang Candra, Prima dan Hilda serta saudara-saudara yang telah mendokan, mendukung, dan membantu penulis dalam bentuk moril maupun materil.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik dari masa perkuliahan sampai penulisan menyelesaikan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

- Bapak Dr. Mustofa, S.T., MT selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
- Bapak Ridzky Kramanandita, S.Kom, MT selaku Pembantu Direktur 1 Politeknik STMI Jakarta.
- Bapak Muhamad Agus, S.T., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Otomotif, Politeknik STMI Jakarta.
- Ibu Irma Agustingsih Imdam, S.ST., MT selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah banyak sekali memberikan arahan, masukan, semangat dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
- Ibu Wilda Sukmawati, S.ST, MT Selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak sekali memberikan arahan, masukan, semangat selama proses perkuliahan berlangsung.
- Bapak Dadi Siswaya, selaku Direktur PT Satria Mandiri Indonesia (PT ASMI) yang telah mengizinkan saya untuk melakukan penelitian dalam Menyusun Tugas Akhir.

- Ibu Tracy Emerald dan Bapak Oki D selaku pembimbing yang telah memberi arahan dan masukan selama melakukan kegiatan Praktek Kerja Lapangan di PT ASMI.
- Seluruh staf dan karyawan PT ASMI yang telah membantu memberikan informasi untuk pengumpulan data dalam menyusun Tugas Akhir.
- Seluruh dosen Politeknik STMI Jakarta yang telah memberikan pengetahuan dan pengalaman yang bermanfaat bagi saya.
- Rina dan Fitriani yang udah bela-belain nemenin bimbingan, yang selalu memberikan semangat dan doa buat saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
- Anggi, Fifit, Dian, Frisca dan Vinza, buat doa dan semangat yang kalian berikan buat penulis selama penyusunan Tugas Akhir.
- SG (*strong girl*) dan *next trip* yang terdiri dari Ayu, Endah, Dana, Mia, Sapti, Fatikah, Fitri, Yuwe, Bocil, Angga, Tommy, Wahyudi, Septian, Gigih, yang saling memberikan doa serta semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
- Teman-teman mahasiswa Program Studi Teknik Manajemen Industri terutama IA03 atas kebersamaan dan motivasinya selama ini.
- Seluruh teman-teman di Politeknik STMI Jakarta, khususnya Angkatan 2012.
- Endi dan Muha buat semangat yang kalian berikan.
- Serta semua pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang memberikan kritik, saran, dan bantuan dalam pembuatan laporan ini.

Demikianlah semoga laporan ini dijadikan bahan kajian, walaupun dari pemikiran ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran guna perbaikan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata, penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jakarta, Oktober 2016

Penulis

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.....	xi
Daftar Lampiran	xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Pemeliharaan (<i>Maintenance</i>)	6
2.2 Tujuan Pemeliharaan	7
2.3 Jenis Pemeliharaan.....	8
2.4 <i>Downtime</i>	11
2.5 Konsep-Konsep Pemeliharaan	11
2.5.1 Konsep Keterawatan (<i>Maintainability</i>).....	11
2.5.2 Konsep Ketersediaan (<i>Availability</i>)	11

2.5.3	Konsep Keandalan (<i>Reliability</i>).....	12
2.6	Fungsi Kerusakan.....	13
2.6.1	Fungsi Kepadatan Peluang.....	13
2.6.2	Fungsi Distribusi Kumulatif.....	13
2.6.3	Fungsi Keandalan.....	14
2.6.4	Fungsi Laju Kerusakan (<i>Hazard Rate Function</i>).....	14
2.7	Distribusi Kerusakan.....	16
2.7.1	Distribusi Normal.....	18
2.7.2	Distribusi Lognormal	19
2.7.3	Distribusi Weibull	21
2.7.4	Distribusi Eksponensial.....	22
2.8	Identifikasi Distribusi Kerusakan	23
2.7.1.	Identifikasi Awal.....	23
2.7.2.	Uji Kesesuaian Distribusi (<i>Goodness Of Fit</i>)	27
2.7.3.	Metode <i>Maximum Likelihood Estimator</i> (MLE).....	29
2.9	<i>Mean Time To Failure</i> (MTTF).....	31
2.10	<i>Mean Time To Repair</i> (MTTR).....	31
2.11	Model Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Optimal Dengan Kriteria Minimasi <i>Downtime</i>	32
2.12	Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Tanpa dan Dengan Tindakan <i>Preventive Maintenance</i>	34
2.13	Diagram Pareto	36

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Jenis Dan Sumber Data.....	38
3.1.1	Jenis Data	38
3.1.2	Sumber Data.....	38
3.2	Metode Pengumpulan Data.....	39
3.3	Teknik Analisis	39
3.3.1	Studi Lapangan.....	39
3.3.2	Studi Pustaka.....	40

3.3.3	Identifikasi Masalah	40
3.3.4	Tujuan Penelitian	40
3.3.5	Pengumpulan Data	40
3.3.6	Pengolahan Data.....	40
3.3.7	Analisis dan Pembahasan.....	43
3.3.8	Kesimpulan dan Saran.....	44

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1	Pengumpulan Data	46
4.1.1	Sejarah Perusahaan.....	46
4.1.2	Visi, Misi, dan Motto Perusahaan	47
4.1.3	Daftar Komponen Tetap.....	47
4.1.4	Tenaga Kerja	47
4.1.5	Waktu Operasional Perusahaan.....	48
4.1.6	Struktur Organisasi Perusahaan	48
4.1.7	Uraian Pekerjaan	48
4.1.8	Daftar Mesin-Mesin Perusahaan	51
4.1.9	Hasil Produksi	51
4.1.10	Jumlah Produksi	52
4.1.11	Mesin <i>Wirecut</i>	52
4.1.12	Frekuensi Kerusakan Mesin <i>Wirecut</i>	53
4.1.13	Data Waktu Awal Kerusakan dan Waktu Antar Perbaikan ...	54
4.2	Pengolahan Data	56
4.2.1	Penentuan Komponen Kritis	56
4.2.2	Perhitungan Waktu Antar Kerusakan dan Data Waktu Antar Perbaikan Komponen Mesin Kritis.....	58
4.2.3	Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan	65
4.2.4	Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan	72
4.2.5	Uji Kesesuaian Distribusi Terpilih (<i>Goodness Of Fit</i>).....	78
4.2.6	Perhitungan Estimasi Parameter Distribusi Terpilih.....	84
4.2.7	Perhitungan <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF).....	96

4.2.8	Perhitungan <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR)	97
4.2.9	Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi <i>Downtime</i>	98
4.2.10	Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Komponen Kritis Tanpa dan Dengan Adanya Penggantian Pencegahan	101

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1	Analisis Penentuan Komponen Kritis Pada Mesin <i>Wirecut</i>	104
5.2	Analisis Perhitungan Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Antar Perbaikan.....	104
5.3	Analisis Identifikasi Distribusi (<i>Index Of Fit</i>)	105
5.3.1	<i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan	105
5.3.2	<i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan	113
5.4	Analisis Perhitungan Estimasi Parameter, MTTF, dan MTTR.....	121
5.5	Analisis Penentuan Waktu Penggantian Pencegahan Kerusakan	124
5.6	Analisis Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Tanpa dan Dengan Adanya Pencegahan Kerusakan.....	126

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1	Kesimpulan	127
6.2	Saran	127

Daftar Pustaka

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Parameter Bentuk (β) Distribusi Weibull.....	22
Tabel 4.1	Waktu Operasional Perusahaan	48
Tabel 4.2	Daftar Mesin PT ASMI.....	51
Tabel 4.3	Jumlah Produksi Periode 2015 PT ASMI.....	52
Tabel 4.4	Frekuensi Kerusakan Mesin <i>Wirecut</i>	53
Tabel 4.5	Waktu Awal Kerusakan dan Perbaikan Komponen <i>Servopack</i> ..	54
Tabel 4.6	Waktu Awal Kerusakan dan Perbaikan Komponen <i>Bs. Sens Cable</i>	55
Tabel 4.7	Waktu Awal Kerusakan dan Perbaikan Komponen <i>Bearing</i>	55
Tabel 4.8	Waktu Awal Kerusakan dan Perbaikan Komponen Mekanik <i>Seal</i>	55
Tabel 4.9	Waktu awal Kerusakan dan Perbaikan Komponen <i>Hardisk</i>	56
Tabel 4.10	Rekapitulasi Presentase Frekuensi Kerusakan Komponen Mesin <i>Wirecut</i>	56
Tabel 4.11	Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i>	59
Tabel 4.12	Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Bs. Sens Cable</i>	61
Tabel 4.13	Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Bearing</i>	62
Tabel 4.14	Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Servopack</i>	63
Tabel 4.15	Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Bs. Sens Cable</i>	64
Tabel 4.16	Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Bearing</i>	65
Tabel 4.17	Rekapitulasi Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i> Terhadap Distribusi Normal.....	66

Tabel 4.18	Rekapitulasi Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i> Terhadap Distribusi Lognormal	67
Tabel 4.19	Rekapitulasi Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i> Terhadap Distribusi Weibull	68
Tabel 4.20	Rekapitulasi Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i> Terhadap Distribusi Eksponensial.....	69
Tabel 4.21	Rekapitulasi Perhitungan Nilai <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i>	70
Tabel 4.22	Rekapitulasi Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Bs. Sens Cable</i>	71
Tabel 4.23	Rekapitulasi Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Bearing</i>	71
Tabel 4.24	Rekapitulasi Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Servopack</i> Terhadap Distribusi Normal.....	73
Tabel 4.25	Rekapitulasi Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Servopack</i> Terhadap Distribusi Lognormal	74
Tabel 4.26.	Rekapitulasi Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Servopack</i> Terhadap Distribusi Weibull	75
Tabel 4.27	Rekapitulasi Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Servopack</i> Terhadap Distribusi Eksponensial.....	76
Tabel 4.28	Rekapitulasi Perhitungan Nilai <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Servopack</i>	77
Tabel 4.29	Rekapitulasi Perhitungan Nilai <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Bs. Sens Cable</i>	78
Tabel 4.30	Rekapitulasi Perhitungan Nilai <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Bearing</i>	78
Tabel 4.31	Rekapitulasi Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i>	80
Tabel 4.32	Rekapitulasi Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Servopack</i>	83

Tabel 4.33	Rekapitulasi Perhitungan Iterasi Pertama Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i>	85
Tabel 4.34	Rekapitulasi Perhitungan Iterasi Kedua Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i>	86
Tabel 4.35	Rekapitulasi Perhitungan Iterasi Ketiga Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i>	87
Tabel 4.36	Rekapitulasi Perhitungan Iterasi Keempat Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i>	88
Tabel 4.37	Rekapitulasi Perhitungan Iterasi Kelima Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i>	89
Tabel 4.38	Rekapitulasi Perhitungan Nilai Parameter Waktu Antar Kerusakan Terhadap Komponen <i>Servopack</i>	90
Tabel 4.39	Nilai Estimasi Parameter Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i>	90
Tabel 4.40	Rekapitulasi Nilai Laju Kerusakan Komponen <i>Servopack</i>	91
Tabel 4.41	Rekapitulasi Perhitungan Nilai Parameter Waktu Antar Kerusakan Terhadap Komponen <i>Bearing</i>	92
Tabel 4.42	Nilai Estimasi Parameter Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Bearing</i>	92
Tabel 4.43	Rekapitulasi Nilai Laju Kerusakan Komponen <i>Bearing</i>	93
Tabel 4.44	Rekapitulasi Perhitungan Estimasi Parameter Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Servopack</i>	93
Tabel 4.45	Nilai Estimasi Parameter Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Servopack</i>	94
Tabel 4.46	Rekapitulasi Perhitungan Estimasi Parameter Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Bearing</i>	95
Tabel 4.47	Nilai Estimasi Parameter Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Bearing</i>	96
Tabel 4.48	<i>Trial and Error</i> Komponen <i>Servopack</i>	98
Tabel 4.49	<i>Trial and Error</i> Komponen <i>Bearing</i>	100

Tabel 5.1	Rekapitulasi Nilai <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i> Menggunakan <i>Software</i> Minitab 14	107
Tabel 5.2	Rekapitulasi Nilai <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Bs. Sens Cable</i> Menggunakan <i>Software</i> Minitab 14.	110
Tabel 5.3	Rekapitulasi Nilai <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Bearing</i> Menggunakan <i>Software</i> Minitab 14.....	112
Tabel 5.4	Rekapitulasi Nilai <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Servopack</i> Menggunakan <i>Software</i> Minitab 14	113
Tabel 5.5	Rekapitulasi Nilai <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Bs. Sens Cable</i> Menggunakan <i>Software</i> Minitab 14	118
Tabel 5.6	Rekapitulasi Nilai <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Bearing</i> Menggunakan <i>Software</i> Minitab 14.....	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan Antara Berbagai Bentuk Pemeliharaan	10
Gambar 2.2	Kurva <i>Bathub</i>	15
Gambar 2.3	Kurva Distribusi Normal.....	18
Gambar 2.4	Kurva Distribusi Lognormal	20
Gambar 2.5	Kurva Distribusi Weibull	21
Gambar 2.6	Kurva Distribusi Eksponensial.....	22
Gambar 2.7	Model Penggantian Umur (<i>Age Replacement</i>).....	34
Gambar 2.8	Contoh Gambar Pareto.....	37
Gambar 3.1	Diagram Alir Pemecahan Masalah.....	44
Gambar 4.1	Hasil Produksi PT ASMI	52
Gambar 4.2	Mesin <i>Wirecut</i>	53
Gambar 4.3	Produk Mesin <i>Wirecut</i>	53
Gambar 4.4	Komponen-Komponen Mesin Kritis Mesin <i>Wirecut</i>	54
Gambar 4.5	Diagram Pareto Penentuan Komponen Kritis Mesin <i>Wirecut</i>	57
Gambar 5.1	Pengujian <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Servopack</i> dengan Minitab 14.....	106
Gambar 5.2	Pengujian <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Bs. Sens Cable</i> dengan Minitab 14.....	108
Gambar 5.3	Pengujian <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Komponen <i>Bearing</i> dengan Minitab 14.....	111
Gambar 5.4	Pengujian <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Servopack</i> dengan Minitab 14.....	115
Gambar 5.5	Pengujian <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Bs. Sens Cable</i> dengan Minitab 14.....	116
Gambar 5.6	Pengujian <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Bearing</i> dengan Minitab 14.....	119
Gambar 5.7	Kurva Laju Kerusakan Komponen <i>Servopack</i>	122
Gambar 5.8	Kurva Laju Kerusakan Komponen <i>Bearng</i>	123

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Data Perusahaan
- Lampiran B Perhitungan Nilai *Index Of Fit* Waktu Antar Kerusakan
Komponen *Bs. Sens Cable*
- Lampiran C Perhitungan Nilai *Index Of Fit* Waktu Antar Kerusakan
Komponen *Bearing*
- Lampiran D Perhitungan Nilai *Index Of Fit* Waktu Antar Perbaikan
Komponen *Bs. Sens Cable*
- Lampiran E Perhitungan Nilai *Index Of Fit* Waktu Antar Perbaikan
Komponen *Bearing*
- Lampiran F Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi Data Waktu Antar
Kerusakan
- Lampiran G Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi Data Waktu Antar
Perbaikan
- Lampiran H Nilai Estimasi Parameter Data Waktu Antar Kerusakan
- Lampiran I Nilai Estimasi Parameter Data Waktu Antar Perbaikan
- Lampiran J Tabel Kolmogorov-Smirnov, Tabel Distribusi F, Tabel *Chi-Square*, dan Tabel Gamma

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perusahaan dalam menjalankan kegiatannya membutuhkan mesin sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi proses produksi. Perusahaan menginginkan agar mesin yang digunakan tetap dalam kondisi baik sehingga hasilnya optimal. Kegagalan suatu mesin dalam sistem produksi dapat menimbulkan efek negatif. Untuk menghindari kegagalan tersebut maka diperlukan kegiatan perawatan untuk mesin-mesin yang digunakan agar dapat menjaga keandalannya (*reliability*), sehingga dapat mendukung kelancaran proses produksi.

PT Aristo Satria Mandiri Indonesia adalah perusahaan manufaktur yang bergerak dibidang komponen otomotif. Perusahaan ini memproduksi produk berdasarkan pesanan konsumen. Pesanan yang diterima perusahaan berupa jumlah pesanan, jenis bahan baku, dan gambar teknik yang dikirimkan oleh konsumen. Produk-produk yang dihasilkan perusahaan beragam jenisnya, seperti *kick out sleeve*, *finger*, *turning arm*, *die plate*, dan lain-lain. Produk-produk tersebut akan masuk ke rantai produksi untuk diproses. Pada rantai produksi mesin-mesin tersebut dikelompokkan berdasarkan fungsinya, salah satunya adalah mesin *wirecut*.

Mesin *wirecut* yang dimiliki perusahaan terbagi menjadi dua bagian yaitu mesin *wirecut* manual dan mesin *wirecut* otomatis. Mesin *wirecut* manual merupakan mesin potong yang digunakan untuk memotong benda kerja yang tidak memiliki toleransi. Mesin *wirecut* otomatis merupakan mesin potong yang digunakan untuk memotong sebuah benda yang memiliki toleransi tertentu, dimana benda kerja tersebut memiliki tingkat kesulitan yang lebih tinggi dari pada benda lainnya.

Kurangnya pemeliharaan (*maintenance*) terhadap mesin-mesin yang digunakan menyebabkan mesin mengalami kerusakan. Mesin *wirecut* otomatis adalah mesin yang sering mengalami masalah kerusakan. Keadaan ini membuat proses produksi menjadi terhambat. Hal ini yang menyebabkan waktu penanganan kerusakan terhadap komponen mesin terjadi cukup lama dan mengakibatkan terhentinya proses produksi.

PT Aristo Satria Mandiri Indonesia selama ini hanya melakukan pemeliharaan mesin-mesin produksi ketika mesin tersebut mengalami masalah. Kurangnya pemeliharaan inilah yang dapat menimbulkan terjadinya kerusakan pada mesin serta terhentinya proses produksi. Salah satu strategi yang tepat untuk menjaga mesin agar dapat beroperasi dengan cara menentukan interval waktu yang merupakan kegiatan *preventive maintenance* dengan tujuan meminimasi kerusakan. *Preventive maintenance* tersebut dapat dilakukan dengan model *age replacement* untuk menentukan interval waktu penggantian komponen kritis yang diperlukan untuk menghindari kerusakan mesin yang tidak diinginkan.

1.2 Perumusan Masalah

Dari permasalahan yang dijelaskan diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang dihadapi adalah sebagai berikut:

1. Apa saja komponen-komponen kritis yang ada di dalam mesin *wirecut*?
2. Berapakah nilai *mean time to failure* dan *mean time to repair* pada mesin *wirecut*?
3. Berapakah waktu interval penggantian komponen mesin yang tepat pada mesin *wirecut*?
4. Berapakah nilai keandalan (*reliability*) setelah dilakukan tindakan pencegahan terhadap komponen kritis mesin *wirecut*?

1.3 Tujuan Penelitian

Dengan adanya perumusan masalah yang jelas dan terstruktur, maka dapat ditetapkan tujuan dibuatnya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan komponen-komponen kritis yang terdapat pada mesin *wirecut*.

2. Menentukan nilai dari *mean time to failure* dan *mean time to repair* pada mesin *wirecut*.
3. Menentukan waktu interval penggantian komponen mesin yang tepat pada mesin *wirecut*.
4. Menentukan nilai keandalan (*reliability*) setelah dilakukan tindakan penggantian pencegahan terhadap komponen kritis pada mesin *wirecut*.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak terlalu luas, maka pembatasan masalah yang dilakukan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di PT Aristo Satria Mandiri Indonesia.
2. Kegiatan penelitian dilakukan di bagian lantai produksi.
3. Mesin yang digunakan dalam penelitian adalah mesin *wirecut*.
4. Data kerusakan komponen mesin yang digunakan dalam penelitian yaitu periode 2015.
5. Penentuan mesin *wirecut* berdasarkan hasil wawancara dan diskusi dengan bagian *maintenance*.
6. Penentuan komponen kritis berdasarkan hasil wawancara dan diskusi dengan bagian *maintenance*.
7. Penelitian yang dilakukan tidak memperhitungkan kebutuhan biaya, tenaga kerja, dan material.
8. Alat bantu yang digunakan dalam menyusun laporan ini adalah Ms. Excel dan Minitab 14.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat bagi perusahaan adalah sebagai berikut:
Perusahaan dapat mengetahui interval waktu penggantian komponen mesin yang tepat berdasarkan model *age replacement*.

2. Manfaat bagi pihak penulis adalah sebagai berikut:

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

3. Bagi Orang Lain

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

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB I : Pendahuluan

Bab ini akan diuraikan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : Landasan Teori

Bab ini berisikan landasan–landasan mendasar dalam menguraikan teori–teori yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Landasan–landasan ini diperoleh dari buku-buku dan bahasan yang bersangkutan dengan pemeliharaan mesin (*maintenance*).

BAB III : Metodologi Penelitian

Pada bab ini berisi langkah-langkah sistematis yang ditempuh untuk memecahkan masalah agar penelitian yang dilakukan lebih terarah. Langkah-langkah tersebut terdiri dari studi pendahuluan, identifikasi masalah, perumusan masalah, tinjauan pustaka, tujuan penelitian, pengumpulan dan pengolahan data dengan menggunakan model *age replacement*, analisis, serta kesimpulan dan saran.

BAB IV: Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada bab ini berisi tentang pengumpulan dan pengolahan data. Pengumpulan data akan membahas mengenai data umum perusahaan

serta data waktu antar kerusakan dan perbaikan komponen mesin. Pengolahan data berisikan mengenai penentuan komponen kritis, hasil dari waktu kerusakan dan perbaikan, perhitungan *index of fit*, uji kecocokan distribusi, perhitungan *mean to failure* dan *mean to repair*. Selanjutnya menentukan interval waktu penggantian dan perhitungan tingkat keandalan (*reliability*) komponen kritis.

BAB V : Analisis dan Pembahasan

Bab ini berisikan tentang analisis dan pembahasan data yang diolah berdasarkan hasil perhitungan pada bab sebelumnya. Analisis dan pembahasan yang dilakukan adalah mengenai waktu penggantian komponen kritis pada mesin *wirecut*.

BAB VI : Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian berdasarkan pengumpulan dan pengolahan data, analisis dan pembahasan, serta saran-saran yang membangun sebagai perbaikan bagi perusahaan dimasa yang akan datang.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pemeliharaan (*maintenance*)

Perawatan (*maintenance*) pertama sekali dipopulerkan di Jepang pada tahun 1950 dengan menggunakan sistem *preventive maintenance*. Sebelum mengenal *preventive maintenance*, Perawatan peralatan di Jepang menggunakan cara lama/metode klasik yaitu dengan memakai sistem *breakdown maintenance*, dimana perawatan dilakukan setelah timbul kerusakan. Hal ini yang menyebabkan para insinyur perawatan tidak mempunyai waktu untuk memberikan ide-ide yang baik bagi pengembangan dasar dalam usaha meminimalkan kerusakan tersebut. Semakin bertambahnya produksi saat ini membuat sejarah *breakdown maintenance* telah ditinggalkan, sehingga industri di Jepang maupun di seluruh dunia telah melakukan perawatan peralatan dengan sistem *preventive maintenance*.

Perawatan merupakan suatu fungsi yang sama pentingnya dengan produksi pada suatu perusahaan atau pabrik. Hal ini karena mesin atau peralatan yang kita gunakan memerlukan pemeliharaan agar peralatan dapat digunakan terus sehingga proses produksi dapat berjalan dengan lancar. Pengertian pemeliharaan dari beberapa sumber, sebagai berikut:

1. Menurut Corder (1996), pemeliharaan merupakan suatu kondisi dari setiap tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau untuk memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima.
2. Menurut Dhillon (1985), pemeliharaan merupakan semua tindakan yang dilakukan untuk mempertahankan atau mengembalikan item atau peralatan kedalam kondisi tertentu.

Pada dasarnya program pemeliharaan suatu mesin/ peralatan terbagi menjadi empat tingkatan, yaitu:

1. Pemeriksaan

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

2. Reparasi dan Pergantian komponen (*Service and Replacement*)

Perbaikan atas mesin atau peralatan yang rusak harus segera dilakukan pergantian komponen yang didasarkan atas hasil pemeriksaan dan perbaikan. Kegiatan tersebut memberikan alternatif yang terbaik bagi pengoperasian suatu mesin atau peralatan, baik ditinjau dari segi teknis maupun ekonomis.

3. Perbaikan dan Pembongkaran Mesin (*Overhaul*)

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

4. Penggantian Mesin/ Peralatan (*Replacement*)

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

2.2 Tujuan pemeliharaan

Tujuan pemeliharaan menurut O’Cornor (2002) adalah sebagai berikut:

1. Mempertahankan kemampuan alat atau fasilitas produksi guna memenuhi kebutuhan yang sesuai dengan target serta rencana produksi.
2. Mengurangi pemakaian dan penyimpangan diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama jangka waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan.
3. Menjaga agar kualitas suatu produk berada pada tingkat yang diharapkan guna memenuhi apa yang dibutuhkan produk itu sendiri dan menjaga agar kegiatan produksi tidak mengalami gangguan.
4. Memperhatikan dan menghindari kegiatan-kegiatan operasi mesin serta peralatan yang dapat membahayakan kegiatan kerja.
5. Mencapai tingkat biaya serendah mungkin dengan melaksanakan kegiatan pemeliharaan secara efektif dan efisien untuk keseluruhannya.
6. Mengadakan suatu kerjasama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan, dalam rangka untuk mencapai suatu tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan atau *return of investment* yang sebaik mungkin dan total biaya yang serendah mungkin.

2.3 Jenis Pemeliharaan (*Maintenance*)

Menurut Corder (1996), jenis jenis pemeliharaan hanya dibagi menjadi dua, sebagai berikut:

1. Pemeliharaan Terencana (*Planned Maintenance*)

Pemeliharaan Terencana adalah pemeliharaan yang diorganisasi dan dilakukan dengan pemikiran ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya (Corder, 1996). Keuntungan dilakukan pemeliharaan terencana (Corder, 1996) antara lain:

- a. Pengurangan pemeliharaan darurat, ini tidak diragukan lagi merupakan alasan utama untuk merencanakan pekerjaan pemeliharaan.
- b. Pengurangan waktu menganggur, 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. Menaikkan ketersediaan 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 dua macam (Corder, 1996), yaitu sebagai berikut:

- a. Pemeliharaan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Pemeliharaan pencegahan 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. Ruang lingkup pekerjaan pencegahan yaitu termasuk inspeksi, perbaikan kecil, pelumasan dan penyetelan, sehingga peralatan atau mesin-mesin selama beroperasi terhindar dari kerusakan. Dalam prakteknya, pemeliharaan pencegahan dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

- 1) *Routine maintenance*, yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin, dimana kegiatan ini meliputi kegiatan pelumasan dan pemeriksaan oli, membersihkan mesin/peralatan, dan lain-lain.
- 2) *Periodic maintenance*, yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara periodik atau dalam jangka waktu tertentu seperti harian, mingguan, maupun bulanan.

Secara umum tujuan dari pemeliharaan pencegahan adalah sebagai berikut:

- 1) Meminimumkan *downtime* serta meningkatkan efektivitas mesin/ peralatan dan menjaga agar mesin dapat berfungsi tanpa ada gangguan.

2) Meningkatkan efisiensi dan umur ekonomis mesin/ peralatan.

b. Pemeliharaan Perbaikan (*Corrective Maintenance*)

Pemeliharaan perbaikan adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian termasuk penyetelan dan reparasi yang telah terhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima. 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 *breakdown* mesin. Pada umumnya usaha untuk mengatasi kerusakan ini dapat dilakukan dengan cara, sebagai berikut:

- 1) Mengganti dengan komponen baru atau yang lebih baik.
- 2) Merancang kembali komponen yang gagal.
- 3) Merubah proses.
- 4) Meningkatkan prosedur pemeliharaan pencegahan.

Tindakan pemeliharaan perbaikan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengembalikan mesin dalam kondisi standar, sehingga dapat meningkatkan kembali kapasitas produksi pada perusahaan tersebut.

Keuntungan adanya manajemen pemeliharaan yang terencana, yaitu sebagai berikut:

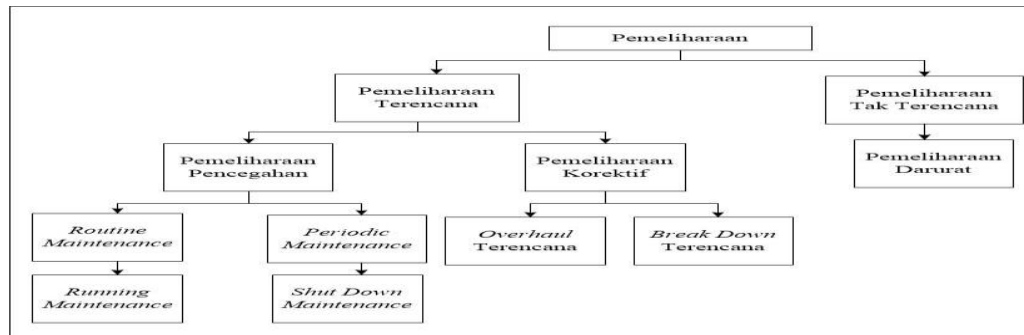
- a. Pengurangan pemeliharaan darurat karena dapat mengefisiensikan proses produksi dengan meniadakan kemacetan.
- b. Pengurangan waktu menganggur, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk membeli suku cadang dan tidak termasuk sebagai waktu perbaikan.
- c. Menaikan tingkat produktivitas penggunaan tenaga kerja untuk pemeliharaan dan produksi.
- d. Pengurangan pergantian suku cadang, karena pemeriksaan akan memberikan peringatan awal mengenai kerusakan komponen sehingga memberikan waktu untuk dapat mengendalikan persediaan suku cadang.

2. Pemeliharaan Tak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

Pada kegiatan ini hanya ada satu jenis pemeliharaan yang dapat dilakukan yaitu pemeliharaan darurat (*emergency maintenance*). Pemeliharaan darurat adalah pemeliharaan yang dilakukan ketika mesin mengalami kerusakan yang tidak terdeteksi sebelumnya. Pemeliharaan darurat dapat dilakukan untuk mencegah kerusakan serius yang akan terjadi jika tidak dilakukan penanganan segera.

Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan dalam suatu perusahaan berupa pemeliharaan terencana dan tidak terencana untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada hubungan antara berbagai bentuk pemeliharaan di bawah ini:

Gambar 2.1 Hubungan antara berbagai bentuk pemeliharaan



(Sumber: Corder, 1996)

2.4 Downtime

Menurut Nakajima (1988), *downtime* terdiri dari *equipment failure* dan *set-up and adjustment*. *Equipment failure* adalah kerugian yang berhubungan dengan kegagalan atau kerusakan, atau dengan kata lain dapat disebut juga sebagai *breakdown time*. *Set-up and adjustment* adalah kerugian kemacetan yang terjadi ketika adanya perubahan sistem kerja, dimana kerugian ini disebabkan adanya perubahan pada saat peralatan beroperasi.

Sedangkan menurut Ebeling (1997), *downtime* mesin merupakan lama waktu dimana suatu unit tidak dapat atau berhenti bekerja menjalankan fungsinya. *Downtime* mesin dapat terjadi ketika unit mengalami masalah seperti kerusakan yang dapat mengganggu performansi secara keseluruhan termasuk kualitas produk yang dihasilkan atau kecepatan produksinya sehingga membutuhkan sejumlah waktu tertentu untuk mengembalikan fungsi unit tersebut pada kondisi semula.

2.5 Konsep-konsep Pemeliharaan

2.5.1 Konsep Keterawatan (*Maintainability*)

Keterawatan (*maintainability*) merupakan probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem yang gagal akan diperbaiki dalam jangka waktu tertentu ketika perawatan dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan (Ebeling, 1997).

Sedangkan menurut Dhillon (1985), Keterawatan (*maintainability*) merupakan probabilitas suatu sistem atau komponen yang akan kembali pada keadaan yang memuaskan dan dalam kondisi operasi mampu mencapai waktu *downtime* minimum.

2.5.2 Konsep Ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan (*Availability*) adalah probabilitas suatu komponen atau sistem yang beroperasi sesuai dengan fungsi yang telah ditetapkan dalam waktu tertentu ketika digunakan pada kondisi operasi yang telah ditetapkan (Ebeling, 1997). Ketersediaan

merupakan pengukuran yang lebih sering digunakan untuk sistem atau komponen yang dapat diperbaiki, karena memperhitungkan baik kegagalan atau kerusakan maupun perbaikan (Ebeling, 1997).

2.5.3 Konsep Keandalan (*Reliability*)

Keandalan (*reliability*) adalah probabilitas sebuah komponen atau sistem akan dapat beroperasi sesuai fungsi yang diinginkan untuk suatu periode waktu tertentu ketika digunakan di bawah kondisi operasi yang telah ditetapkan (Ebeling, 1997).

Fungsi keandalan merupakan peluang suatu sistem atau komponen yang akan berfungsi sebagaimana mestinya selama jangka waktu t (Corder, 1996). Fungsi keandalan tersebut dapat digambarkan dengan hubungan matematis, sebagai berikut:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = 1 - F(t) \dots\dots\dots (1)$$

Nilai fungsi keandalan berkisar $0 \leq R(t) \leq 1$, dimana:

$t \rightarrow 0$; $R(t) \rightarrow 1$, berarti keandalan suatu sistem atau komponen pada awal periode

$t \rightarrow \infty$; $R(t) \rightarrow 0$, berarti suatu sistem atau komponen tidak dapat dipakai kembali

Keterangan:

$F(t)$: fungsi distribusi kumulatif

$f(t)$: fungsi kepadatan peluang

$R(t)$: fungsi keandalan

Konsep keandalan memiliki empat faktor yang mempengaruhi (Ebeling, 1997), yaitu sebagai berikut:

1. Peluang

Setiap item memiliki umur pakai yang berbeda, tetapi memiliki umur rata-rata yang pasti memungkinkan diidentifikasinya distribusi dari kerusakan item tersebut.

2. Kinerja

Dimana suatu peralatan memiliki kinerja yang baik saat dioperasikan.

3. Waktu

Peluang suatu periode waktu pada item berbeda sehingga pengidentifikasian waktu yang jelas menjadi penting. Beberapa pengertian waktu dalam perawatan:

- a. Waktu operasi adalah waktu yang digunakan oleh peralatan untuk melakukan kegiatan produktif.
- b. Waktu *delay* adalah waktu dimana peralatan dalam keadaan tidak bekerja (*standby*) tetapi tidak dalam keadaan rusak.
- c. Waktu *down* adalah waktu dimana peralatan tidak dapat dioperasikan karena karena dalam keadaan rusak.

4. Kondisi

Perlakuan yang diterima suatu peralatan akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap keadaan peralatan.

2.6 Fungsi Kerusakan

Fungsi kerusakan dapat dikelompokkan menjadi empat bagian (Ebeling, 1997), yaitu fungsi distribusi kumulatif, fungsi kepadatan peluang, fungsi keandalan, dan fungsi laju kerusakan.

2.6.1 Fungsi Kepadatan Peluang

Fungsi kepadatan peluang merupakan fungsi yang menggambarkan bentuk dari distribusi peluang (Ebeling, 1997). Bila x menyatakan variabel acak kontinyu sebagai waktu kerusakan dari sistem (peralatan) dari jumlah kerusakan pada suatu waktu, dan mempunyai fungsi distribusi f_x yang kontinyu di setiap titik sumbu nyata, f_x dikatakan fungsi kepadatan peluang dari variabel x . Bila x bernilai nyata ($x \geq 0$) pada interval waktu t , harus memenuhi persyaratan (Ebeling, 1997), sebagai berikut:

$$f(t) \geq 0 \text{ untuk } t \geq 0, \text{ sehingga } \int_0^{\infty} f(t) dt = 1 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana: $f(t)$ = fungsi kepadatan peluang

2.6.2 Fungsi Distribusi Kumulatif

Fungsi distribusi kumulatif adalah suatu fungsi yang menggambarkan peluang terjadinya kerusakan sebelum waktu tertentu yakni t . Probabilitas suatu sistem atau peralatan mengalami kegagalan dalam beroperasi sebelum waktu t , yang merupakan fungsi dari waktu yang secara matematis (Ebeling, 1997), dapat dinyatakan sebagai berikut:

Fungsi ini merupakan integrasi dari fungsi kepadatan peluang, sehingga:

$$F(t) = P(x < t)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$$

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

$t = 0$; $F(t) = 0$, berarti peluang untuk tidak terjadi kerusakan pada suatu komponen pada awal periode.

$t = \infty$; $F(t) = 1$, berarti suatu sistem atau komponen tidak dapat dipakai kembali.

Keterangan:

$F(t)$: fungsi distribusi kumulatif

$f(t)$: fungsi kepadatan peluang

2.6.3 Fungsi Keandalan

Fungsi keandalan merupakan peluang bahwa sebuah sistem akan berfungsi dengan baik sampai dengan periode t (Ebeling, 1997).

Fungsi keandalan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

$R(t)$: fungsi keandalan

$F(t)$: fungsi distribusi kumulatif

$f(t)$: fungsi kepadatan peluang

2.6.4 Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Rate Function*)

Laju kerusakan sesaat atau laju kerusakan dari suatu peralatan pada waktu t adalah dimana peralatan tersebut mengalami kerusakan pada interval waktu berikutnya, sedangkan sampai saat t alat tersebut masih dalam kondisi baik dan dilambangkan dengan $\lambda(t)$ yang didefinisikan sebagai limit dari laju kerusakan dengan panjang interval yang mendekati nol (Jardine, 2001).

Fungsi laju kerusakan adalah laju kerusakan sesaat, dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

$F(t)$: fungsi distribusi kumulatif

$f(t)$: fungsi kepadatan peluang

$R(t)$: fungsi keandalan

$\lambda(t)$: fungsi laju kerusakan

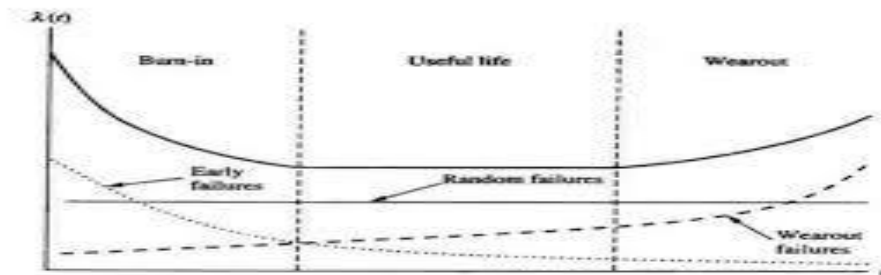
kondisi dari nilai $\lambda(t)$ (Ebeling, 1997), sebagai berikut:

1. Jika $\lambda(t)$ meningkat sesuai dengan nilai waktu maka laju kerusakan bersifat *Increasing Failure Rate* (IFR).
2. Jika $\lambda(t)$ konstan sesuai dengan nilai waktu maka laju kerusakan bersifat *Constant Failure Rate* (CFR).
3. Jika $\lambda(t)$ menurun sesuai dengan nilai waktu maka laju kerusakan bersifat *Decreasing Failure Rate* (DFR).

Pola dasar dari fungsi laju kerusakan sesaat yang umum bagi suatu produk dijelaskan melalui kurva yang dikenal dengan nama *bathub curve*. Sistem yang laju kerusakannya berbentuk *bathub curve*, mengalami laju kerusakan yang selalu berubah sesuai dengan bertambahnya waktu. Kurva ini memiliki tiga area dengan karakteristik tertentu (Ebeling, 1997).

Karakteristik dari kegagalan atau kerusakan pada produk, mesin, ataupun fasilitas sehubungan dengan waktu dapat digambarkan seperti pada gambar dibawah ini.

Gambar 2.2 Kurva *Bathub*



(Sumber: Ebeling, 1997)

Pada Gambar 2.2, kurva laju kerusakan dapat dibagi menjadi tiga fase, yaitu:

1. Fase kerusakan awal (*Early Failures* atau *Burn-in*)

Pada wilayah ini resiko 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 terpenuhi, material dibawah standar, ketidaksempurnaan perancangan, kesalahan dalam pemasangan dan *set-up*, kurangnya kemampuan pekerja, dan *quality control* yang tidak memenuhi syarat.

2. Fase kerusakan acak (*Random Failures* atau *Usefull Life*)

Wilayah ini ditandai dengan laju kerusakan yang konstan, dimana fase ini juga sering disebut *usefull life period*. Pada wilayah ini kerusakan sulit diprediksi dan cenderung terjadi secara acak. Penyebab dari kerusakan pada wilayah ini adalah kesalahan dalam operasional mesin oleh pekerja ataupun perubahan kondisi mesin secara tiba-tiba.

3. Fase keausan (*Wearout Failure* atau *wearout*)

Fase ini merupakan wilayah dimana umur ekonomis dari mesin telah habis dan melewati batas yang diizinkan. Pada fase ini resiko kerusakan akan meningkat. Penyebab kerusakan pada wilayah ini umumnya adalah kurangnya perawatan, karena telah dipakai terlalu lama sehingga terjadi karat, keausan, gesekan, atau perubahan pada fisik mesin tersebut.

Pada Gambar 2.2, wilayah pertama (*burn in*) dan kedua (*use life*) sebaiknya perawatan pencegahan yang dilakukan bukan berupa penggantian pencegahan karena tindakan ini tidak dapat mengurangi probabilitas kerusakan yang terjadi. Penggantian pencegahan hanya dapat dilakukan untuk mengurangi laju kerusakan pada wilayah ketiga (*wearout*). Sedangkan kebijaksanaan perawatan yang lebih umum seperti *overhaul*, pelumasan, dan pembersihan dapat diterapkan untuk ketiga daerah tersebut. Laju kerusakan pada masing-masing daerah tersebut dapat didekati dengan distribusi-distribusi tertentu yaitu:

1. Wilayah pertama (*burn in*): Distribusi Weibull ($\beta < 1$)
2. Wilayah kedua (*use life*) : Distribusi eksponensial dan Weibull ($\beta = 1$)
3. Wilayah ketiga (*wearout*) : Distribusi Weibull ($\beta > 1$), normal, lognormal

2.7 Distribusi Kerusakan

Pendekatan yang digunakan untuk mencari kecocokan antara distribusi keandalan dengan data kerusakan terbagi dalam dua cara, yaitu:

1. Menurunkan distribusi keandalan secara empiris langsung dari data kerusakan.

Dengan kata lain, menentukan model matematis untuk keandalan, laju kerusakan, dan waktu kerusakan secara langsung berdasarkan kerusakan. Cara ini disebut

metode bebas distribusi karena metode ini tidak membutuhkan penaksiran dari parameter untuk distribusi.

2. Mengidentifikasi sebuah distribusi keandalan secara teoritis. Menaksir parameter dan melakukan uji kesesuaian distribusi. Metode ini akan mencari distribusi teoritis yang memiliki tingkat kecocokan yang tertinggi dengan data kerusakan sebagai model distribusi reliabilitas yang digunakan untuk menghitung keandalan, laju kerusakan, dan waktu kerusakan.

Berdasarkan kenyataan bahwa hampir semua data kerusakan umumnya memiliki kecocokan yang tinggi terhadap suatu distribusi tertentu. Jadi cara kedua yang lebih disukai dari pada cara pertama. Selain itu juga cara kedua memiliki beberapa keunggulan (Ebeling, 1997), yaitu:

1. Model empiris tidak menyediakan informasi di luar *range* dari data sampel, sedangkan dalam model distribusi teoritis dari distribusi merupakan hal yang paling menarik untuk diamati. Dengan distribusi teoritis, ekstrapolasi melebihi *range* data sampel adalah mungkin untuk dilakukan.
2. Yang akan diprediksi adalah data kerusakan secara keseluruhan bukan hanya terbatas pada sampel saja, karena sampel merupakan sebagian kecil dari populasi yang diambil secara acak sehingga model kerusakan tidak cukup apabila hanya dibentuk berdasarkan data sampel saja.
3. Distribusi teoritis dapat digunakan untuk menggambarkan berbagai macam laju kerusakan.
4. Ukuran sampel yang kecil menyediakan sedikit informasi mengenai proses kegagalan. Namun jika sampel konsisten terhadap distribusi teoritis maka hasil prediksi yang lebih kuat dapat diperoleh.
5. Distribusi teoritis lebih mudah untuk digunakan dalam menganalisa kegagalan yang kompleks.

Data yang digunakan adalah data hasil pengukuran waktu kerusakan yang termasuk dalam data kontinyu. Maka distribusi yang umumnya digunakan untuk model distribusi keandalan (Ebeling, 1997) antara lain:

1. Distribusi normal (*Normal Distribution*)
2. Distribusi lognormal (*Lognormal Distribution*)
3. Distribusi Weibull (*Weibull Distribution*)
4. Distribusi eksponensial (*Exponential Distribution*)

Dalam perhitungan nilai fungsi distribusi kumulatif ($F(t_i)$) menggunakan metode pendekatan *median rank*. Metode ini memberikan hasil yang lebih baik untuk distribusi kerusakan yang mempunyai penyimpangan distribusi. Adapun nilai $F(t_i)$ tersebut dapat diestimasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

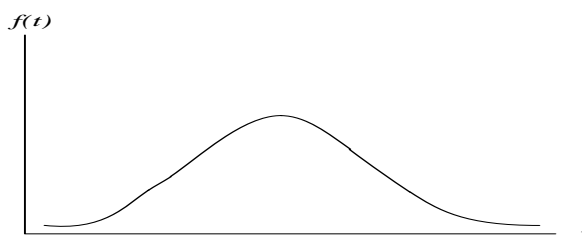
$F(t_i)$: fungsi distribusi kumulatif

i : data ke- i

n : jumlah data

2.7.1 Distribusi Normal

Distribusi ini memiliki bentuk kurva seperti lonceng (*bell shape*) dan simetris terhadap nilai rata-rata (μ). Distribusi ini memiliki dua parameter yaitu nilai rata-rata (μ) dan simpangan baku (σ). Bentuk kurva normal akan tergantung pada besar kecilnya nilai simpangan baku. Jika nilai simpangan baku semakin besar maka kurva akan melebar, sebaliknya jika nilai simpangan baku semakin kecil maka kurva akan menyempit. Distribusi normal dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kurva Distribusi Normal
(Sumber: Jardine, 2001)

Pada umumnya distribusi ini digunakan untuk model kelelahan dan fenomena *wearout* mesin. Fungsi-fungsi kerusakan dari distribusi ini akan dijabarkan sebagai berikut:

1. Fungsi kemungkinan kepadatan

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] \dots\dots\dots (7)$$

Untuk : $-\infty < t < \infty$

2. Fungsi distribusi kumulatif :

$$F(t) = \Phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right) \dots\dots\dots (8)$$

3. Fungsi keandalan:

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right) \dots\dots\dots (9)$$

4. Fungsi laju kerusakan:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \dots\dots\dots(10)$$

5. Nilai rata-rata distribusi kerusakan:

$$\text{MTTF} = \mu \dots\dots\dots(11)$$

6. $\mu = \ln t_{\text{med}}$; Varians = s^2 (12)

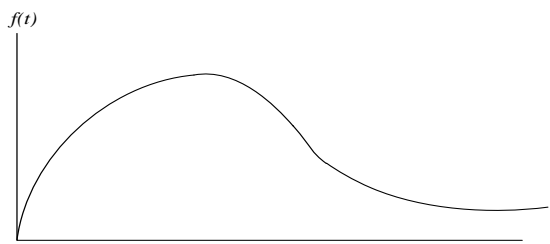
Dimana : μ = rata-rata

σ = standar deviasi

t = waktu

2.7.2 Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal termasuk dalam distribusi yang bentuk kurvanya tidak simetris, digunakan untuk menggambarkan fenomena umur atau ketahanan suatu komponen atau sistem. Distribusi ini dikenal adanya dua buah parameter yaitu s sebagai parameter bentuk dan t_{med} sebagai parameter lokasi yang merupakan nilai tengah dari waktu kerusakan. Distribusi lognormal dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kurva Distribusi Lognormal
(Sumber: Jardine, 2001)

Distribusi lognormal didefinisikan hanya untuk nilai t positif, oleh sebab itu lebih sesuai dari pada distribusi normal sebagai kerusakan. Fungsi-fungsi dari distribusi kerusakan adalah:

1. Fungsi kemungkinan kepadatan:

$$f(t) = - \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} \exp\left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{\text{med}}}\right)^2\right] \dots\dots\dots(13)$$

Untuk: $t \geq 0$

2. Fungsi distribusi kumulatif :

$$F(t) = \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{\text{med}}}\right) \dots\dots\dots(14)$$

3. Fungsi keandalan:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{\text{med}}}\right) \dots\dots\dots(15)$$

4. Fungsi laju kerusakan:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)}{1 - \Phi\left[\frac{1}{s} \ln\left(\frac{t}{t_{med}}\right)\right]} \dots\dots\dots(16)$$

5. Nilai rata-rata distribusi kerusakan:

$$MTTF = t_{med} \exp \frac{s^2}{2} \dots\dots\dots(17)$$

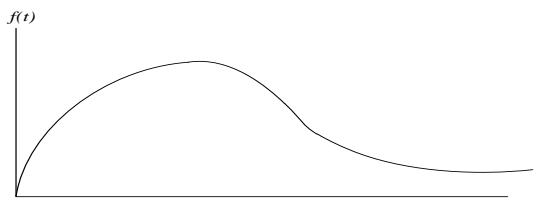
6. Varians

$$\sigma^2 = t_{med}^2 \exp(s^2) [\exp(s^2) - 1] \dots\dots\dots(18)$$

Dimana: t_{med} = parameter lokasi
 s = parameter bentuk
 t = waktu

2.7.3 Distribusi Weibull

Distribusi ini merupakan distribusi yang paling *fleksibel* yang berarti dapat diterapkan dan banyak digunakan untuk menginterpretasi data kelelahan (*fatigue*) dan gejala-gejala yang berkaitan dengan umur suatu komponen atau mesin. Distribusi Weibull dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kurva Distribusi Weibull
(Sumber: Jardine, 2001)

Distribusi ini memiliki dua parameter yaitu parameter bentuk atau angka kemiringan kurva (β) dan parameter skala atau parameter umur (θ).

1. Fungsi kepadatan probabilitas:

Merupakan probabilitas terjadinya kerusakan pada setiap satuan waktu.

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \dots\dots\dots(19)$$

2. Fungsi keandalan:

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

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \dots\dots\dots(20)$$

3. Fungsi laju kerusakan:

Merupakan gambaran laju kerusakan dalam selang waktu tertentu.

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \dots\dots\dots(21)$$

Untuk $\theta > 0, \beta > 0, t \geq 0$

4. Nilai rata-rata distribusi kerusakan:

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots(22)$$

5. Varians:

$$\sigma^2 = \theta^2 \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \right\} \dots\dots\dots(23)$$

Dimana : β = Parameter bentuk
 θ = parameter skala
 t = waktu
 $\Gamma(x)$ = tabel fungsi Gamma

Distribusi Weibull sering dipakai sebagai pendekatan untuk mengetahui karakteristik fungsi kerusakan karena perubahan nilai akan mengakibatkan distribusi Weibull ekuivalen dengan distribusi tertentu.

Hal ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

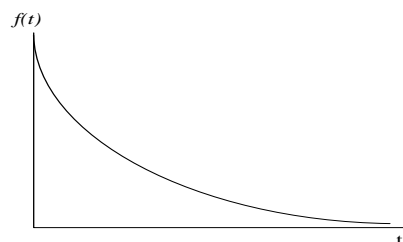
Tabel 2.1 Parameter Bentuk (β) Distribusi Weibull

Nilai	Sifat Distribusi
$0 < \beta < 1$	<i>Decreasing Failure Rate (DFR)</i>
$B = 1$	<i>Constant Failure Rate (CFR)</i>
$1 < \beta < 2$	<i>Increasing Failure Rate (IFR)</i>
$B = 2$	<i>Increasing Failure Rate (IFR)</i>
$B > 2$	<i>Increasing Failure Rate (IFR)</i>
$3 \leq \beta \leq 4$	<i>Increasing Failure Rate (IFR)</i>

(Sumber: Ebeling, 1997)

2.7.4 Distribusi Eksponensial

Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang konstan atau dengan kata lain laju kerusakan yang tetap terhadap waktu dan tidak tergantung dengan umur komponen. Oleh karena itu, distribusi ini sangat sesuai digunakan dalam menerangkan peralatan yang terdiri dari komponen dan menjelaskan kerusakan peralatan yang disebabkan oleh fenomena acak, seperti adanya beban kerja yang tiba-tiba (Ebeling, 1997). Distribusi Weibull dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kurva Distribusi Eksponensial

(Sumber: Jardine, 2001)

Parameter yang digunakan distribusi ini adalah λ , yaitu rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi. Fungsi-fungsi dari distribusi Eksponensial adalah:

1. Fungsi kepadatan probabilitas:

$$f(t) = \lambda \exp^{-\lambda t} \dots\dots\dots(24)$$

untuk : $t \geq 0, \lambda > 0$

2. Fungsi distribusi kumulatif:

$$F(t) = 1 - (\exp^{-\lambda t}) \dots\dots\dots(25)$$

3. Fungsi keandalan:

$$R(t) = \exp\left(-\frac{\lambda}{t}\right) \dots\dots\dots(26)$$

4. Fungsi laju kerusakan:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \dots\dots\dots(27)$$

5. Nilai rata-rata distribusi kerusakan:

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(28)$$

6. Varians : Standar Deviasi (σ) = $\frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(29)$

Dimana : t = waktu

λ = rata-rata kerusakan yang terjadi

2.8 Identifikasi Distribusi Kerusakan

Menurut Ebeling (1997), maksud dari pengidentifikasian distribusi ini adalah untuk menunjukkan melalui tes statistik dalam hal menerima atau menolak suatu hipotesa bahwa kerusakan atau perbaikan yang diteliti berasal dari suatu distribusi tertentu. Dalam mengidentifikasi distribusi dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu identifikasi awal, uji *goodness of Fit*, dan penaksiran parameter. Ketiga cara pengidentifikasian akan dijelaskan dibawah ini (Ebeling, 1997).

2.8.1 Identifikasi awal

Perhitungan parameter dengan menggunakan pendekatan *least square curve fitting*, dicari *index of fit* atau koefisien kolerasi (r) antara t_i (atau $\ln t_i$) sebagai x dengan y yang merupakan fungsi dari distribusi teoritis terhadap x (Ebeling, 1997). Koefisien korelasi (r) menunjukkan hubungan yang kuat antara dua peubah acak x dan y . Semakin besar nilai r menandakan bahwa hubungan linier antara x dan y semakin baik (Ebeling, 1997). Nilai r berada pada batas -1 sampai $+1$. Nilai r yang mendekati -1 atau $+1$ menunjukkan hubungan yang kuat antara kedua peubah acak. Nilai r yang mendekati nol menunjukkan hubungan yang lemah atau mungkin tidak ada hubungan antara kedua peubah acak tersebut.

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

1. Nilai tengah kerusakan:

$$F(t) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \dots\dots\dots(30)$$

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

2. Perhitungan *Index of Fit* atau nilai r:

$$r = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{\{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2\}\{n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2\}}} \dots\dots\dots(31)$$

Dimana: n = jumlah kerusakan yang terjadi

3. Gradien

$$b = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots\dots\dots(32)$$

Untuk: Distribusi Weibull, normal, dan lognormal

$$\lambda = b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \dots\dots\dots(33)$$

Perhitungan metode *least square curve fitting* untuk masing-masing distribusi, yaitu:

1. Distribusi Normal

Metode *least square curve fitting* memiliki rumus sebagai berikut:

a. $x_i = t_i \dots\dots\dots(34)$

b. $[y_i = z_i = [\varphi^{-1}F(t_i)]] \dots\dots\dots(35)$

1) intersep:

$$a = \frac{\sum y_i - b\sum x_i}{n} \dots\dots\dots(36)$$

2) Parameter:

$$\sigma = \frac{1}{b} \quad \text{dan} \quad \mu = -a\sigma \dots\dots\dots(37)$$

Dimana: $t_i = \text{time to failure/}$ perbaikan ke-i

i = urutan data kerusakan (1,2,3,4,.....,n)

n = jumlah data kerusakan

z_i = dari tabel distribusi normal

a = intersep

b = gradien

μ = rata-rata

σ = varians

ϕ = dari *standardized normal probabilities table*

2. Distribusi Lognormal

Metode *least square curve fitting* memiliki rumus sebagai berikut:

a. $x_i = \ln(t_i) \dots\dots\dots(38)$

b. $y_i = \varphi^{-1}[F(t_i)] \dots\dots\dots(39)$

1) Gradien:

$$\beta = b = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i \sum y_i)}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots\dots\dots(40)$$

2) Intersep:

$$a = \frac{\sum y_i - b\sum x_i}{n} \dots\dots\dots(41)$$

3) Parameter:

$$s = \frac{1}{b} \dots\dots\dots \text{dan}$$

$$t_{med} = \exp^{-sa} \dots\dots\dots(42)$$

Dimana: t_i = *time to failure*/perbaikan ke- i

i = urutan data kerusakan (1,2,3,4,.....,n)

n = jumlah data kerusakan

z_i = dari tabel distribusi normal

a = intersep

b = gradien

s = parameter bentuk

t_{med} = parameter lokasi

ϕ = didapat dari *standardized normal probabilities table*

3. Distribusi Weibull

Metode *least square curve fitting* memiliki rumus sebagai berikut:

a. $x_i = \ln(t_i) \dots\dots\dots(43)$

b. $y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right) \dots\dots\dots(44)$

1) Intersep

$$a = \frac{\sum y_i - b\sum x_i}{n} \dots\dots\dots(45)$$

2) Parameter

$$\beta = b \dots\dots\dots \text{dan}$$

$$\theta = E^{-\frac{a}{b}} \dots\dots\dots(46)$$

Dimana: t_i = *time to failure*/ perbaikan ke- i

i = urutan data kerusakan (1,2,3,4,.....,n)

n = jumlah data kerusakan

a = intersep

b = gradien

β = parameter bentuk

θ = parameter lokasi

4. Distribusi Eksponensial

Metode *least square curve fitting* memiliki rumus sebagai berikut:

a. $x_i = (t_i) \dots\dots\dots(47)$

b. $y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right) \dots\dots\dots(48)$

1) Gradien

$$\lambda = b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \dots\dots\dots(49)$$

Dimana: t_i = data ke-i

i = urutan data kerusakan (1,2,3,4,.....,n)

n = jumlah data kerusakan

b = gradien

2.8.2 Uji Kesesuaian Distribusi

Setelah mendapatkan distribusi dipilih, maka selanjutnya dilakukan uji kesesuaian terhadap distribusi tersebut. Uji kesesuaian distribusi ini dilakukan dengan membandingkan dua hipotesis yang berlawanan yaitu :

H_0 : data kerusakan atau perbaikan menghampiri suatu distribusi tertentu.

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

Pengujian distribusi pada penelitian ini menggunakan uji secara spesifik yang dikhususkan untuk satu jenis distribusi. Pengujian yang akan dilakukan adalah uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk distribusi normal dan lognormal, uji Mann untuk distribusi Weibull serta uji Bartlet untuk distribusi eksponensial. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai pengujian distribusi.

1. Uji *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk distribusi normal dan lognormal

Uji yang spesifik digunakan untuk distribusi normal dan lognormal adalah *Kolmogorov-Smirnov Test* (Ebeling, 1997), yaitu dikembangkan oleh Liliefors (1967). Test ini membandingkan fungsi distribusi kumulatif empiris dengan fungsi distribusi kumulatif normal. Hipotesis yang digunakan adalah:

H_0 : Data berdistribusi yang diharapkan

H_1 : Data tidak berdistribusi yang diharapkan

Test statistik:

$$D_n = \max \{D_1, D_2\}$$

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left[\Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right] \dots\dots\dots(50)$$

$$D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left[\frac{1}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right] \dots\dots\dots(51)$$

Untuk: $1 \leq i \leq n$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \dots\dots\dots(52)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1} \dots\dots\dots(53)$$

Keterangan:

t_i = data waktu kerusakan ke-i

\bar{t} = rata-rata waktu kerusakan

s = standar deviasi

n = banyaknya data kerusakan

nilai Φ didapat dari *standardized normal probabilities table*

Bila $D_n < D_{tabel}$, maka H_0 diterima. Sebaliknya apabila tidak maka H_1 diterima. Nilai D_{tabel} diperoleh dari tabel *critical for the Kolmogorov-smirnov test for normality*.

2. **Mann's Test** untuk Distribusi Weibull

Distribusi ini dikembangkan oleh Mann, Schafer, dan Singpurwalla pada tahun 1974. Hipotesa dalam melakukan pengujian ini (Ebeling, 1997), sebagai berikut:

H_0 : Data berdistribusi Weibull

H_1 : Data tidak berdistribusi Weibull

Uji statistik pada distribusi Weibull sebagai berikut:

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]} \dots\dots\dots(54)$$

Dimana:

a. $k_1 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor$; $k_2 = \left\lceil \frac{r-1}{2} \right\rceil$ (55)

b. $M_i = Z_{i+1} - Z_i$ (56)

c. $Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0,5}{n+0,25} \right) \right]$ (57)

Keterangan:

M_{hitung} = nilai uji statistik untuk *Mann's test*

t_i = data waktu kerusakan ke-i

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

$i = n$ = jumlah unit yang diamati

i = nomor data kerusakan (1,2,3,4,.....,n)

Bila $M_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 dapat diterima. Sebaliknya apabila $M_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_1 yang diterima. Nilai F_{tabel} diperoleh berdasarkan distribusi F dengan $v_1 = k_1$ dan $v_2 = k_2$.

3. **Bartlett's Test** untuk Distribusi Eksponensial

Hipotesa untuk uji ini adalah:

H_0 = Data berdistribusi eksponensial

H_1 = Data tidak berdistribusi eksponensial

Uji statistiknya adalah:

$$B = \frac{2r \left[\left(\ln \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right) - \left(\left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right) \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \dots\dots\dots(57)$$

Keterangan :

t_i = data waktu kerusakan ke-i

r = jumlah kerusakan

B = nilai uji statistik

Nilai B dalam H_0 merupakan distribusi *chi-square* dengan derajat kebebasan $(r-1)$. H_0 dapat diterima apabila nilai B jatuh dalam wilayah kritik:

$$X^2_{1-\frac{\alpha}{2}, r-1} < B < X^2_{\frac{\alpha}{2}, r-1} \dots\dots\dots(58)$$

2.8.3 Perhitungan Estimasi Parameter (*Maximum Likelihood Estimator*)

Meskipun pada *least square curve fitting* telah dihitung parameter-parameter dari distribusi, namun parameter-parameter yang diperoleh ini bukan merupakan estimasi parameter terbaik. Estimasi parameter dengan *maximum likelihood estimator* (MLE) memberikan hasil estimasi yang lebih akurat. Estimasi parameter untuk setiap distribusi menggunakan perhitungan sebagai berikut:

1. Distribusi Normal

Estimasi parameter distribusi normal menggunakan perhitungan:

$$a. \mu = \bar{x} \dots \dots \dots (59)$$

$$b. s^2 = \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}_i)^2 \dots \dots \dots (60)$$

$$c. \sigma^2 = \frac{(n-1)s^2}{n} \dots \dots \dots (61)$$

Dimana: t_i : data waktu kerusakan ke- i
 n : jumlah unit yang diamati

2. Distribusi Lognormal

Estimasi parameter distribusi lognormal menggunakan perhitungan:

$$a. \mu = \sum_{i=1}^n \frac{\ln(t_i)}{n} \dots \dots \dots (62)$$

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

$$b. s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} \dots \dots \dots (63)$$

Dimana: t_i : data waktu kerusakan ke- i
 n : jumlah unit yang diamati

3. Distribusi Weibull

Estimasi parameter distribusi Weibull menggunakan perhitungan:

$$g(\beta) = \frac{\sum_{i=1}^r t_i^\beta \ln t_i + (n-r)t_s^\beta \ln t_s}{\sum_{i=1}^r t_i^\beta + (n-r)t_s^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \ln t_i = 0 \dots \dots \dots (64)$$

Tujuan *maximum likelihood estimator* (MLE) adalah untuk mendapatkan nilai β dari persamaan diatas. Permasalahannya adalah persamaan diatas tidak dapat dipecahkan secara sistematis. Maka cara alternatifnya adalah dengan menggunakan metode Newton Rhapsion untuk memecahkan persamaan *non-linier* yaitu menggunakan persamaan:

$$B_{j-1} = \beta_j - \frac{g(\beta_j)}{g'(\beta_{j-1})} \text{ dimana } g(x) = \frac{dg(x)}{dx}$$

yang harus dipecahkan secara iterasi sampai mencapai β_j yang maksimum atau nilai $g(\beta)$ yang mendekati nol. Maka terlebih dahulu adalah mencari turunan pertama dari $g'(\beta)$ yaitu:

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

Untuk membantu mempermudah penyelesaian iterasi metode Newton Raphson maka disarankan nilai θ_j awal yang digunakan adalah nilai θ yang didapat melalui metode *least square curve fitting*. Kemudian nilai *maximum likelihood estimator* (MLE) untuk θ didapat dari persamaan:

$$\theta = \left\{ \frac{1}{r} \left[\sum_{i=1}^r t_i^\beta + (n-r)t_s^\beta \right] \right\}^{\frac{1}{\beta}} \dots\dots\dots(65)$$

Dimana: t_i = data waktu kerusakan ke-i
 n = jumlah unit yang diamati
 r = jumlah kerusakan yan terjadi ($r \leq n$)
 t_s = waktu kerusakan ke-i

4. Distribusi Eksponensial

Baik bentuk data lengkap maupun data sensor, parameter λ , diperoleh dari:

$$\lambda = \frac{r}{T} \dots\dots\dots(66)$$

Dimana: $r = n$ = jumlah kerusakan
 $T = \sum t_i$ = total waktu pengujian

2.9 Mean Time to Failure (MTTF)

Mean to Failure (MTTF) adalah nilai rata-rata atau nilai ekspektasi dari *probability density function* $f(t)$ yang diperoleh dari (Ebeling, 1997):

$$MTTF = \int_0^\infty R(t)dt \dots\dots\dots(67)$$

Perhitungan MTTF untuk tiap distribusi adalah sebagai berikut:

1. Distribusi Normal = μ
2. Distribusi Lognormal = $t_{med} e^{\frac{s^2}{2}}$
3. Distribusi Weibull = $\theta \tau \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$
4. Distribusi Eksponensial = $\frac{1}{\lambda}$
- 5.

2.10 Mean Time to Repair (MTTR)

Distribusi dari data waktu perbaikan adalah hal yang perlu diketahui terlebih dahulu sebelum dapat menentukan nilai tengah dari fungsi probabilitas waktu perbaikan. Distribusi yang sering digunakan untuk data waktu perbaikan (MTTR) adalah distribusi lognormal. Selain itu, distribusi eksponensial juga dapat digunakan. Penentuan atau pengujian distribusi dilakukan dengan cara yang sama seperti telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Perhitungan MTTR dapat diperoleh dari (Ebeling, 1997).

$$MTTR = \int_0^\infty (1 - h(t))dt \dots\dots\dots(68)$$

Keterangan:

$h(t)$ = *probability density function* untuk data waktu perbaikan

$H(t)$ = *cumulative distribution function* untuk data waktu perbaikan

Perhitungan MTTR untuk tiap distribusi adalah sebagai berikut:

1. Distribusi Normal $= \mu$
2. Distribusi Lognormal $= t_{\text{med}} e^{\frac{s^2}{2}}$
3. Distribusi Weibull $= \theta \tau \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$
4. Distribusi Eksponensial $= \frac{1}{r} = \frac{1}{\lambda}$

2.11 Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Optimal Berdasarkan Kriteria Minimasi *Downtime*

Syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk melaksanakan penggantian pencegahan adalah (Jardine, 2001):

1. Total ongkos penggantian sesudah terjadinya kerusakan harus lebih besar dari pada penggantian pencegahan yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan (kriteria ongkos dapat diganti disesuaikan dengan kriteria yang digunakan, misalnya waktu).
2. Laju kerusakan harus mengalami kenaikan. Apabila mempunyai laju kerusakan konstan, maka tidak perlu melakukan tindakan penggantian pencegahan. Sebab dalam kasus ini tindakan penggantian komponen sebelum terjadinya kerusakan tidak akan mempengaruhi probabilitas kerusakan komponen tersebut dikemudian hari. Konsekuensinya adalah terjadinya pemborosan uang untuk tindakan penggantian tersebut.

Model penentuan penggantian pencegahan berdasarkan kriteria minimasi *downtime* digunakan untuk menentukan waktu terbaik dilakukannya penggantian sehingga total *downtime* per unit waktu dapat terminimasi. Model penentuan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan minimasi *downtime* terbagi atas dua jenis model, yaitu model *Block Replacement* dan model *Age Replacement*. Dalam penggunaan model ini, perlu diketahui konstruksi modelnya, yaitu:

1. *Downtime* yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian kerusakan (t_r)
2. *Downtime* yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian pencegahan (t_p)

Adapun penjelasan dari kedua model tersebut adalah

1. Model *Block Replacement*

Pada model ini, penggantian dilakukan dengan interval (t_p) yang tetap. Penerapan model ini adalah dengan melakukan penggantian kerusakan yang terjadi pada kerusakan dengan mengabaikan adanya penggantian yang terjadi pada selang waktu tersebut. Apabila sistem mengalami kerusakan sebelum waktu t_p , maka dilakukan penggantian kerusakan dan penggantian selanjutnya tetap dilakukan pada saat t_p

dengan mengabaikan penggantian perbaikan yang dilakukan sebelumnya. Total *downtime* per unit waktu untuk penggantian pencegahan pada saat t_p dinotasikan dengan $D(t_p)$ (Jardine, 2001), yaitu:

$$D(t_p) = \frac{H(t_p)(T_f) + (T_p)}{t_p + T_p} \dots\dots\dots(69)$$

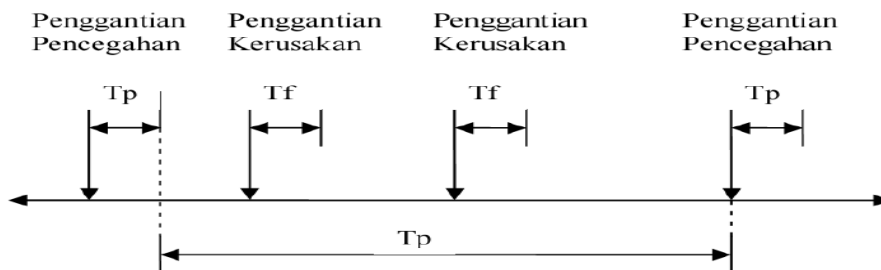
Keterangan:

t_p = interval waktu penggantian pencegahan

$H(t_p)$ = ekspektasi jumlah kerusakan pada interval $(0, t_p)$

2. Model *Age Replacement*

Pada model ini pelaksanaan penggantian pencegahan dilakukan tergantung pada umur pakai dari komponen. Penggantian pencegahan dilakukan dengan menetapkan kembali interval waktu penggantian pencegahan sesuai dengan interval yang telah ditentukan jika terjadi kerusakan yang menurut dilakukannya tindakan penggantian. Terdapat dua macam siklus penggantian pada model ini, siklus pertama ditentukan oleh komponen yang telah mencapai umur penggantian (t_p) sesuai dengan yang telah direncanakan atau siklus pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian pencegahan. Siklus kedua ditentukan oleh komponen yang telah mengalami kerusakan sebelum mencapai waktu penggantian (t_r) yang telah ditetapkan sebelumnya atau siklus kerusakan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian kerusakan. Model *age replacement* dapat dilihat pada gambar Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Model Penggantian Umur (*Age Replacement*)

(Sumber: Jardine, 2001)

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

$$D(t_p) = \frac{T_p \times R(t_p) + T_f \times [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p) \cdot R(t_p) + (M(t_p) + t_f) \cdot [1 - R(t_p)]} \dots\dots\dots(70)$$

$$A = 1 - D(t_p)_{\min} \dots\dots\dots(71)$$

Keterangan:

T_p = interval waktu penggantian pencegahan

T_f = *downtime* yang terjadi karena penggantian kerusakan

T_p = *downtime* yang terjadi karena penggantian pencegahan

$F(t)$ = fungsi distribusi interval antar kerusakan yang terjadi

- R(t) = keandalan (*reliability*) pada saat tp
- M(tp) = waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian pencegahan dilakukan pada tp
- D(tp) = *downtime* persatuan waktu
- D(tp)min = *downtime* terkecil persatuan waktu
- A(tp) = nilai tingkat ketersediaan

Dimana:

$$M(t_p) = \frac{MTTF}{F(t_p)} \quad ; \quad F(t_p) = 1 - R(t_p) \dots\dots\dots(72)$$

Keterangan:

- T_f = Waktu untuk melakukan perbaikan karena kerusakan.
- T_p = Waktu untuk melakukan penggantian pencegahan.
- t_p = Panjang interval waktu penggantian.
- R(t_p) = Fungsi keandalan (probabilitas untuk siklus pencegahan).
- M(t_p) = Nilai harapan panjang siklus kerusakan.

2.12 Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Tanpa dan Dengan Tindakan Penggantian Pencegahan

Peningkatan keandalan dapat ditempuh dengan cara perawatan pencegahan. Perawatan pencegahan dapat mengurangi pengaruh *wear out* dan menunjukkan hasil yang signifikan terhadap umur mesin. Model keandalan berikut ini mengasumsikan sistem kembali ke kondisi baru setelah mengalami perawatan pencegahan. Keandalan pada saat t (Ebeling, 1997) dinyatakan sebagai berikut:

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

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

$$R_m(t) = R(T)^n \times R(t - nT) \dots\dots\dots(76)$$

$$\text{peningkatan keandalan} = \frac{R_m(t) - R(t)}{R(t)} \times 100 \dots\dots\dots(73)$$

Berikut ini terdapat model keandalan untuk masing-masing distribusi sebagai berikut:

1. Distribusi Normal

- a. Tanpa tindakan pencegahan:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots(74)$$

- b. Dengan tindakan pencegahan

$$R(t - nT) = 1 - \Phi\left(\frac{(t-nT)-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots(75)$$

$$R(T) = 1 - \Phi\left(\frac{T-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots(76)$$

2. Distribusi Lognormal

- a. Tanpa tindakan pencegahan

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots(77)$$

b. Dengan tindakan pencegahan

$$R(t - nT) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{(t-nT)}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots(78)$$

$$R(T) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{T}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots(79)$$

3. Distribusi Eksponensial

a. Tanpa tindakan pencegahan

$$R(t) = \exp\left(-\frac{\lambda}{t}\right) \dots\dots\dots(80)$$

b. Dengan tindakan pencegahan

$$R(t - nT) = \exp\left(-\frac{\lambda}{(t-nT)}\right) \dots\dots\dots(81)$$

$$R(T) = \exp\left(-\frac{\lambda}{T}\right) \dots\dots\dots(82)$$

4. Distribusi Weibull

a. Tanpa tindakan pencegahan

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\beta\right] \dots\dots\dots(83)$$

b. Dengan tindakan pencegahan

$$R(t - nT) = \exp\left[-\left(\frac{(t-nT)}{\beta}\right)^\beta\right] \dots\dots\dots(84)$$

$$R(T) = \exp\left[-\left(\frac{T}{\beta}\right)^\beta\right] \dots\dots\dots(85)$$

Keterangan :

t = waktu dilakukan perhitungan keandalan

n = frekuensi perawatan pencegahan yang dilakukan

T = tp = interval waktu pergantian pencegahan kerusakan atau MTTF

Reliability Maintenance (t) (Rm(t)) = keandalan 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

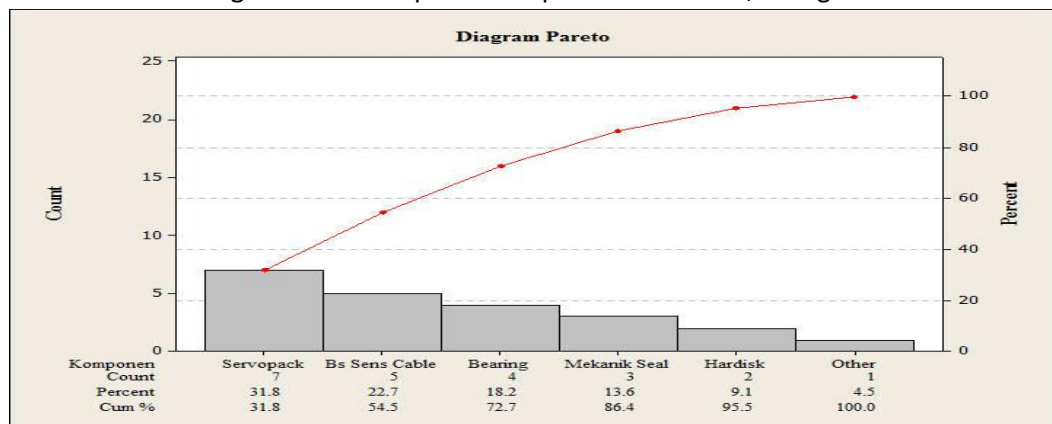
2.13 Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah suatu cara untuk membobot aneka jenis peristiwa atau masalah yang beredar dalam suatu proses produksi, yang didasarkan atau bertitik tolak pada kenyataan bahwa segala permasalahan dapat digolongkan pada suatu yang vital, yang jumlahnya sedikit, dan suatu yang trivial atau tidak sulit yang jumlahnya banyak (Ishikawa, 1992).

Diagram Pareto digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi tipe kerusakan. Tahapan-tahapan dalam menganalisis diagram Pareto (Pyzdek, 2002) yaitu:

1. Tentukan klasifikasi untuk grafik.
2. Tentukan kejadian total (misalnya biaya, jumlah kerusakan) untuk setiap kategori.
3. Hitung persentase dari setiap kategori dengan membagi kategori dengan keseluruhan dan kalikan dengan 100.
4. Urutkan peringkat dari kejadian total terbesar sampai terkecil.
5. Hitung persentase kumulatif dengan menambah persentase untuk setiap kategori pada beberapa kategori yang terdahulu.
6. Buat bagan dengan sumbu vertikal kiri berskala dari 0 sampai sedikitnya 100%, dengan 100% pada sisi kanan sama tingginya dengan total keseluruhan pada sisi kiri.
7. Beri label sumbu horizontal dengan nama kategori. Kategori paling kiri harus terbesar, kedua terbesar berikutnya, dan seterusnya.
8. Gambar dalam batang yang mewakili jumlah setiap kategori. Tinggi batang ditentukan oleh sumbu vertikal kiri.
9. Gambar satu garis yang menunjukkan kolom persentase kumulatif dari tabel analisis Pareto. Garis persentase kumulatif ditentukan dengan sumbu vertikal kanan.

Contoh diagram Pareto dapat dilihat pada Gambar 2.8, sebagai berikut:



Gambar 2.8 Contoh Diagram Pareto
(Sumber: Minitab)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian menjelaskan mengenai langkah-langkah dalam penelitian. Langkah-langkah ini dimulai dari studi pendahuluan, perumusan masalah, menetapkan

tujuan penelitian, pengumpulan dan pengolahan data, analisis masalah, serta kesimpulan dan saran. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

3.1 Jenis dan Sumber Data

3.1.1 Jenis Data

Penelitian ini dilakukan di rantai produksi PT Aristo Satria Mandiri Indonesia. Pada tahap penelitian diperoleh data yang akan digunakan. Jenis data tersebut meliputi data primer dan data sekunder, berikut penjelasannya:

1. Data primer

Data primer merupakan data yang diperoleh melalui pengamatan secara langsung dari sumber datanya. Penelitian yang dilakukan tidak menggunakan data primer.

2. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh tidak secara langsung dari sumber datanya. Data sekunder dapat diperoleh dengan mudah dan cepat karena sudah tersedia, misalnya di perpustakaan, perusahaan-perusahaan, organisasi-organisasi perdagangan, dll. Data sekunder yang didapat dalam penelitian ini adalah data umum perusahaan, data komponen kerusakan, data waktu kerusakan serta waktu perbaikan pada mesin *wirecut*

3.1.2 Sumber Data

Sumber data yang digunakan dibedakan menjadi dua jenis, yaitu

1. Data primer

Data primer merupakan data yang diperoleh atau dikumpulkan secara langsung dari sumber datanya. Penelitian yang dilakukan tidak menggunakan data primer.

2. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang tidak diperoleh secara langsung dari sumber datanya. Data sekunder ini diperoleh dari bagian produksi, *Maintenance*, *Human Research Development (HRD)*, dan *Production Planning and Inventory Control (PPIC)*.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data merupakan teknik atau cara yang dilakukan untuk mengumpulkan data. Dalam melakukan penelitian ini, metode pengumpulan data yang digunakan adalah:

1. Penelitian lapangan (*field research*)

Penelitian lapangan merupakan penelitian yang dilakukan secara langsung terhadap kegiatan produksi pada PT Aristo Satria Mandiri Indonesia.

2. Penelitian kepustakaan (*library research*)

Penelitian kepustakaan merupakan metode pengumpulan landasan teori dengan cara memperoleh data yang berasal dari literatur-literatur, buku-buku dan catatan-catatan kuliah yang berhubungan dengan materi yang akan dibahas.

3. Wawancara

Wawancara merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui tatap muka dan tanya jawab langsung antara pengumpulan data maupun penelitian terhadap nara sumber atau sumber data.

3.3 Teknik Analisis

3.3.1 Studi Lapangan

Studi pendahuluan merupakan langkah awal yang dilakukan dengan tujuan mendapatkan informasi mengenai kondisi aktual perusahaan, proses produksi yang berlangsung dan dapat mengetahui masalah-masalah yang dihadapi oleh perusahaan. Maksud dari studi pendahuluan adalah melakukan pengamatan di lapangan dan wawancara langsung kepada kepala bagian maupun tenaga kerja PT Aristo Satria Mandiri Indonesia.

3.3.2 Studi Pustaka

Setelah melakukan studi pendahuluan, langkah selanjutnya adalah menentukan studi pustaka. Studi pustaka berguna untuk mendapatkan landasan teori mengenai metode yang akan diteliti. Landasan teori ini diperoleh dari buku-buku, catatan-catatan kuliah, jurnal serta *handbook* yang berkaitan dengan penelitian yang akan diteliti.

3.3.3 Perumusan Masalah

Perumusan masalah didapat setelah melalui studi pendahuluan dan studi pustaka, untuk tahap ini telah diuraikan pada BAB I.

3.3.4 Tujuan Penelitian

Setelah melakukan identifikasi masalah, maka langkah selanjutnya adalah dengan menentukan tujuan penelitian. Tahapan pada tujuan penelitian telah diuraikan pada BAB I.

3.3.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperlukan untuk memperoleh informasi-informasi yang berkaitan dengan obyek yang akan diteliti. Data yang dijelaskan sebelumnya didapat melalui wawancara langsung terhadap tenaga kerja PT Aristo Satria Mandiri Indonesia. Selain itu data juga didapat melalui pengamatan secara langsung ke lantai produksi.

3.3.6 Pengolahan Data

Pada tahap ini dijelaskan mengenai tahap-tahap dalam mengolah data yang telah diambil dari tahap pengumpulan data. Adapun langkah-langkah pada tahap ini sebagai berikut:

1. Penentuan komponen kritis

Penentuan komponen kritis pada mesin *wirecut* dengan melakukan pengolahan data waktu kerusakan mesin yang terbesar. Diagram Pareto digunakan untuk memudahkan dalam menentukan komponen kritis.

2. Perhitungan waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan

- a. Nilai waktu antar kerusakan didapat dari setiap komponen kritis yang dihitung selang waktu mulai dari kerusakan sejak mesin selesai diperbaiki sampai dengan mesin tersebut rusak kembali. Untuk itu data yang diperlukan adalah data waktu awal kerusakan mesin dan waktu selesai dilakukan perbaikan dari masing-masing komponen dengan menggunakan satuan jam.

- b. Nilai waktu antar perbaikan didapat melalui selang waktu yang dilakukan selama waktu mulai perbaikan sampai dengan waktu selesai perbaikan atau pergantian terhadap komponen yang mengalami kerusakan hingga dapat beroperasi kembali.

3. Perhitungan *index of fit* dengan menggunakan metode *least square curve fitting*

Perhitungan nilai *index of fit* yang pertama adalah mengkalikan jumlah data kerusakan dengan jumlah dari hasil perkalian antara peubah x_i dan y_i kemudian dikurangi dengan jumlah data peubah x_i yang dikalikan dengan jumlah data peubah y_i . Kedua, akar dari hasil perkalian antara jumlah data kerusakan dikali jumlah data peubah x_i kuadrat dan dikurangi jumlah data peubah x_i yang dikuadratkan, dimana hasilnya dikalikan dengan jumlah data kerusakan yang dikali dengan jumlah data peubah y_i kuadrat dikurangi jumlah data peubah y_i dikuadratkan. Hasil dari perhitungan pertama dibagi dengan hasil dari perhitungan kedua.

4. Uji kesesuaian distribusi

Nilai *index of fit* (r) yang didapat berada pada batas -1 sampai $+1$, dimana nilai *index of fit* terbesar yang akan diuji kesesuaiannya. Uji kesesuaian distribusi didapatkan dari hasil perbandingan antara hipotesis nol (H_0) dan hipotesis satu (H_1). Hipotesis nol (H_0) merupakan data kerusakan atau perbaikan yang menghampiri suatu distribusi terpilih. Hipotesis satu (H_1) merupakan data kerusakan atau perbaikan yang tidak

menghampiri suatu distribusi terpilih. Adapun pengujian yang dilakukan berdasarkan distribusi kerusakan antara lain:

- a. *Mann's Test*, distribusi Weibull
 - b. *Kolmogorov-Smirnov's Test*, distribusi normal dan lognormal
 - c. *Bartlett's Test*, distribusi eksponensial
5. Menentukan estimasi parameter dengan metode *maximum likelihood estimator*
Parameter yang didapat melalui perhitungan menggunakan metode *least square curve fitting* dari distribusi yang diperoleh bukan merupakan estimasi parameter terbaik. Estimasi parameter dengan *maximum likelihood estimator* memberikan hasil estimasi yang lebih akurat.
6. Perhitungan *Mean To Failure* (MTTF) dan *Mean To Repair* (MTTR)
- a. Rata-rata waktu antar kerusakan dapat dihitung setelah nilai estimasi parameter diketahui. Rata-rata waktu antar kerusakan merupakan waktu rata-rata terjadinya kerusakan satu dengan kerusakan selanjutnya dan dihitung berdasarkan selang waktu antar kerusakan.
 - b. Rata-rata waktu antar perbaikan dapat dihitung setelah nilai estimasi parameter diketahui. Rata-rata waktu untuk melakukan perbaikan dan dihitung berdasarkan data waktu perbaikan yang terjadi.
7. Penentuan interval waktu penggantian pencegahan komponen kritis berdasarkan kriteria minimasi *downtime*.
Penggantian pencegahan menggunakan model *age replacement* dilakukan dengan menetapkan kembali interval waktu penggantian pencegahan sesuai dengan interval yang telah ditentukan jika dilakukan pergantian kerusakan. Perhitungan ini bertujuan untuk mencari panjang interval waktu penggantian komponen yang optimal dengan menghasilkan nilai *downtime* minimum dan nilai *availability* maksimum.
8. Perhitungan tingkat keandalan tanpa dan dengan penggantian pencegahan kerusakan
Perhitungan yang dilakukan adalah dengan menghitung peningkatan keandalan mesin antara dengan atau tanpa penggantian pencegahan kerusakan komponen kritis. Peningkatan keandalan didapat dari hasil nilai keandalan sistem

perawatan pencegahan dikurangi dengan nilai hasil keandalan sistem tanpa perawatan pencegahan. Hasil dari pengurangan tersebut dibagi dengan nilai hasil keandalan sistem tanpa perawatan pencegahan, dimana hasil yang didapat dikali seratus persen.

3.3.7 Analisis dan Pembahasan

Analisis dan Pembahasan ini berisi mengenai masalah yang akan diolah melalui perhitungan pada bab sebelumnya, dimana masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Analisis mengenai komponen kritis pada mesin *wirecut*
Analisis ini berguna untuk menetapkan komponen kritis yang akan diteliti.
2. Analisis perhitungan waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan
Analisis ini berguna untuk menetapkan hasil dari waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan.
3. Analisis mengenai identifikasi distribusi terpilih
Analisis yang dilakukan terhadap data waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan yang telah dipilih sebelumnya apakah mengikuti distribusi normal, lognormal, Weibull, atau eksponensial.
4. Analisis mengenai penentuan parameter distribusi terpilih
Analisis yang dilakukan terhadap distribusi terpilih untuk menentukan parameter sesuai dengan distribusi.
5. Analisis mengenai nilai estimasi parameter, MTTF, dan MTTR
Analisis yang dilakukan pada nilai estimasi parameter, data waktu kerusakan dan waktu perbaikan untuk menetapkan nilai dari *mean time to failure* dan *mean time to repair* terhadap distribusi kerusakan.
6. Analisis mengenai penentuan interval waktu penggantian pencegahan komponen kritis berdasarkan kriteria minimasi *downtime*.
Analisis terhadap data *mean time to failure* untuk menetapkan interval waktu penggantian komponen kritis dengan model *age replacement* untuk meminimasi *downtime*.
7. Analisis mengenai penetapan keandalan tanpa dan dengan penggantian pencegahan kerusakan

Analisis yang dilakukan terhadap keandalan (*reliability*) tanpa dan dengan penggantian pencegahan kerusakan apakah nilai keandalan (*reliability*) terdapat peningkatan yang ingin dicapai.

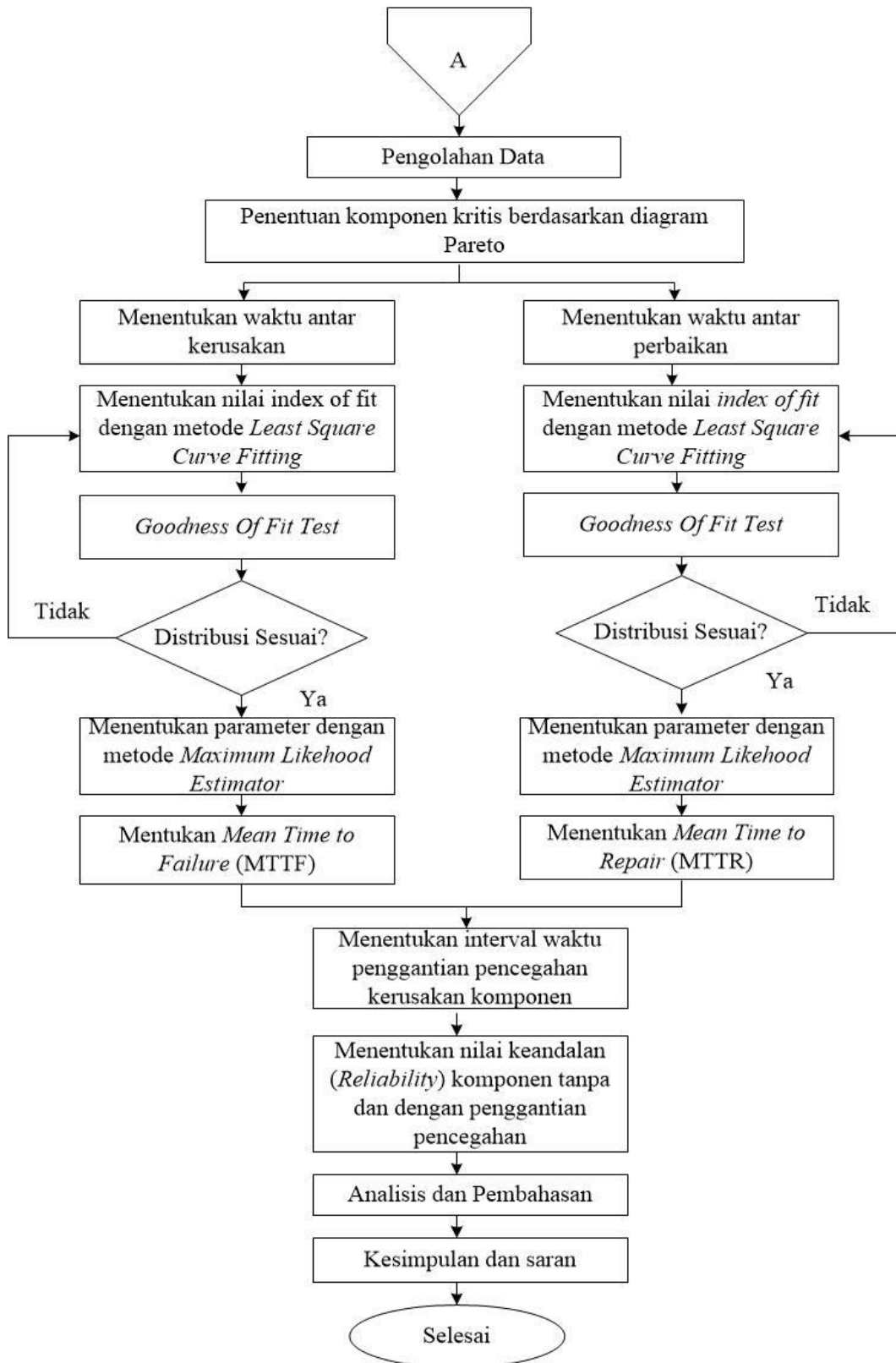
3.3.8 Kesimpulan dan Saran

Tahapan selanjutnya adalah membuat kesimpulan berdasarkan tujuan yang telah ditentukan. Kemudian memberikan saran-saran sebagai masukan terhadap penelitian selanjutnya.

Langkah-langkah tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pemecahan Masalah



Gambar 3.1 Diagram Alir Pemecahan Masalah (Lanjutan)

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Sejarah Berdirinya PT Aristo Satria Mandiri Indonesia

Sejarah berdirinya PT Aristo Satria Mandiri Indonesia adalah sebagai berikut:

1. Tahun 1988-1990, awal berdirinya perusahaan bernama Honda Federal namun nama perusahaan tersebut tidak dapat bertahan lama.
2. Tahun 1990-1999, perusahaan berganti nama menjadi Tira Austenite akan tetapi hanya dapat bertahan selama sembilan tahun, kemudian berganti nama menjadi Aristo Satria Mandiri.
3. Tahun 2004, perusahaan resmi memiliki badan hukum, dimana perusahaan berubah nama menjadi CV Aristo Satria Mandiri. Perusahaan mulai berinvestasi dengan sebuah mesin yaitu mesin CNC *Milling* yang digunakan untuk pembuatan *Part Precision, Mold Set, Die Casting, dan Stamping Die*, dikarenakan jumlah permintaan yang semakin meningkat.
4. Tahun 2006, CV Aristo Satria Mandiri dapat bekerjasama dengan Yayasan Dharma Bhakti Astra (YDBA). Program-program yang diikuti oleh perusahaan adalah sebagai berikut *Astra Green Company, K3L, Quality Control Circle (QCC), Total Productive Managemant (TPM), HR Officer Development Program (HRODP), Lean Production System (QCC)*, perpajakan untuk UKM, dan manajemen keuangan.
5. Tahun 2008, CV Aristo Satria Mandiri berubah status badan hukum menurut undang-undang Republik Indonesia No. 40 tahun 2007 tentang perseroan terbatas menjadi PT Aristo Satria Mandiri Indonesia (ASMI). Pada tahun yang sama PT ASMI melakukan investasi mesin kembali yaitu dengan membeli sebuah mesin *wirecut* dan CNC *Lathe Machine*.
6. Tahun 2014, perusahaan telah mencapai keberhasilan yang diinginkan, dimana perusahaan mendapatkan sertifikat dari Yayasan Dharma Bhakti Astra. Keberhasilan yang dicapai yaitu bahwa sistem manajemen kualitas sudah sesuai dengan standar ISO 9001:2008 yang memiliki ruang lingkup *part precision* manufaktur untuk mesin *mould, dies stamping, die casting, mould maker, dan mould rabber*.

Dalam meningkatkan dan mengembangkan kemampuan yang dimiliki tenaga kerja dalam memasuki pasar Eropa, PT ASMI memberikan pelatihan melalui CBI Netherland, pelatihan tersebut meliputi; Training mengenai standar produk dan tata cara memasuki pasar Eropa, Pelatihan praktik berkala di Belanda maupun di Indonesia, dan audit pelaksanaan bisnis oleh CBI.

4.1.2 Visi, Misi, dan Motto Perusahaan

Perusahaan dalam menjalankan usahanya ingin menjadi perusahaan yang terbaik, dimana setiap perusahaan memiliki visi, misi dan motto dalam mencapai suatu hasil yang diinginkan. Visi, misi dan motto inilah yang menjadi landasan PT ASMI dalam menjalankan segala kegiatan usahanya. Visi, misi dan motto PT ASMI adalah 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 pertama

4.1.3 Daftar Konsumen Tetap

PT Asmi memiliki konsumen tetap dalam menjalankan usahanya, dimana konsumen tetap tersebut adalah sebagai berikut:

1. PT DENSO Indonesia

2. PT TD *Automotive Compressor* Indonesia (TACI)

3. PT HAMADEN Indonesia Manufaktur

4. PT NSK Bearings Indonesia

4.1.4 Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan orang-orang yang terlibat didalam proses produksi, yang menggunakan tenaga dan pikiran untuk melakukan proses produksi. Oleh karena itu, tenaga kerja dapat dikatakan sebagai salah satu faktor produksi. PT ASMI memiliki jumlah tenaga kerja secara keseluruhan sebanyak 59 orang dalam menjalankan perusahaan.

4.1.5 Waktu Operasioanal Perusahaan

PT Aristo Satria Mandiri Indonesia beroperasi enam hari dalam seminggu, yaitu mulai hari senin sampai dengan sabtu. Pada hari minggu, dan hari libur nasional merupakan hari libur yang diberikan perusahaan. Rincian waktu kerja dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Waktu Operasional Perusahaan

Hari Kerja	Jam Kerja	Istirahat
Senin – Kamis	08.00-16.00	12.00-13.00

Jum'at	08.00-16.30	11.30-13.00
Sabtu	08.00-13.00	-

(Sumber: PT ASMI)

4.1.6 Struktur Organisasi

PT Aristo Satria Mandiri Indonesia memiliki struktur organisasi berbentuk fungsional dimana pembagian tugas berdasarkan fungsi dari masing-masing bagian yang ada diperusahaan. Perusahaan dipimpin oleh seorang direktur utama dibantu oleh wakil direktur dan wakil manajemen. Direktur utama membawahi dua kepala bagian, yaitu kepala bagian produksi dan administrasi, dimana masing-masing kepala bagian juga membawahi beberapa bagian lainnya. Struktur organisasi perusahaan dapat dilihat lampiran A.

4.1.7 Uraian Pekerjaan

Uraian pekerjaan PT ASMI adalah sebagai berikut:

1. *Director*

Wewenang dan tanggung jawab *Director* sebagai berikut:

- a. Membuat rencana kerja perusahaan.
- b. Membuat kebijakan-kebijakan strategis yang berkaitan dengan keberlangsungan dan pengembangan bisnis perusahaan.
- c. Menandatangani kontrak bisnis dengan pihak ketiga.
- d. Menandatangani penawaran harga ke konsumen.
- e. Mengesahkan rencana kerja para *manager*.

2. *Vice Director*

Wewenang dan tanggung jawab *Vice Director* sebagai berikut:

- a. Melakukan pengembangan, pelaksanaan dan pengendalian untuk meningkatkan kinerja perusahaan.
- b. Membantu *Director* dalam menjalankan tugasnya.
- c. Berwenang dalam menetapkan kebijaksanaan yang hendak diberikan pada langganan, menetapkan harga jual dan sistem penjualan, serta alat promosi.

3. *Management Representative*

Wewenang dan tanggung jawab *Management Representative* sebagai berikut:

- a. Berkoordinasi dengan Badan Sertifikasi.
- b. Mewakili manajemen selama sertifikasi dan *audit surveillance*.
- c. Mempersiapkan tinjauan manajemen jadwal pertemuan dan melakukan rapat *management review*.

- d. Mengukur dan mengawasi kinerja proses.
- e. *Review* kebijakan mutu secara berkala.

5. *Production Division*

Wewenang dan tanggung jawab *Production Division* sebagai berikut:

- a. Mengusulkan *budge* divisi.
- b. Menyusun dan mengusulkan pengaturan kerja.
- c. Menyusun dan mengusulkan *man power planning*.
- d. Memberikan penilaian atas kinerja *subordinat*.
- e. Menyusun dan mengusulkan pengembangan sarana dan prasarana.

6. *Administration Division*

Wewenang dan tanggung jawab *Administration Division* sebagai berikut:

- a. Melaksanakan aktivitas penyiapan ruang kerja dan peralatan kantor untuk seluruh pegawai.
- b. Melaksanakan aktivitas renovasi gedung kantor/ kerja, untuk memastikan semua gedung kantor selalu siap operasional.
- c. Melaksanakan kegiatan surat-menyurat, dokumentasi dan pengarsipan.
- d. Membuat rencana dan mengevaluasi kerja harian dan bulanan untuk memastikan tercapainya kualitas target kerja.

7. *Marketing Departement*

Wewenang dan tanggung jawab *Marketing Departement* sebagai berikut:

- a. Menentukan status kelengkapan persyaratan pesanan untuk ditindaklanjuti ke konsumen.
- b. Memverifikasi hasil peninjauan pesanan dan mengkoordinasikan ke bagian-bagian terkait untuk memenuhi kesepakatan yang dibuat.
- c. Mengusulkan pengadaan dan pembelian barang yang dibutuhkan untuk keperluan operasional.

8. *Production Departement*

Wewenang dan tanggung jawab *Production Departement* sebagai berikut:

- a. Menyusun dan mengusulkan pengaturan kerja.
- b. Mengusulkan *budget* departemen.
- c. Meyusun dan mengusulkan proposal kegiatan yang terkait unit bisnis departemen.
- d. Menyusun dan mengusulkan *man power planning*.

9. Logistic Departement

Wewenang dan tanggung jawab *Logistic Departement* sebagai berikut:

- a. Melaksanakan tata administrasi penerimaan dan pengeluaran dari dan menuju gudang.
- b. Memberikan pengarahannya kepada kepala bagian gudang.
- c. Mencocokkan tingkat *stock* yang tertera dalam kartu meja dengan yang ada pada kartu gudang.

10. Financial and Accounting & Human Resource General Affair

Wewenang dan tanggung jawab *Financial and Accounting & Human Resource General Affair* sebagai berikut:

- a. Menerjemahkan sasaran divisi ke departemen masing-masing dengan merencanakan program-program.
- b. Menindaklanjuti rencana kerja dan membuat penyesuaian-penyesuaian yang relevan.
- c. Membuat kebutuhan pelatihan untuk masing-masing karyawan pada bagiannya.

4.1.8 Daftar Mesin-Mesin Perusahaan

PT ASMI memiliki berbagai mesin-mesin yang digunakan dalam memproduksi suatu produk. Perusahaan memiliki 25 jenis mesin, yang berbeda, dimana jenis-jenis mesin yang digunakan oleh PT ASMI dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel.4.2 Daftar Mesin PT ASMI

No.	Nama Mesin	Merek	Unit
1	CNC Milling Machine	YCM MAX	2
2	CNC Milling Machine	DAHLIH	1
3	CNC Milling Machine	QUASER	1
4	Cylinder Grinding Machine	POLNMRY	1
5	Surface Grinding Machine	STANDARD	2
6	Surface Grinding Machine	HMTW	2
7	Surface Grinding Machine	OKAMOTO	1
8	Grinding Machine	SAXON	1
9	Grinding Machine	STANDARD	1
10	Grinding Internal Machine	ETMTW	2
11	Wirecut Machine	SODICK	1
12	CNC EDM Machine	SKM S60 -CNC	1
13	Z â€œ NC EDM Machine	JS EB 606 N	1
14	CNC LATHE Machine	LEADWELL F1	1
15	Milling Machine	STANDARD	4
16	Milling Machine	NANTONG	1
17	Milling Machine	NANTONG	2
18	Surface Milling Machine	STANDARD	1

19	Lathe Machine	BJ 1640 GD	3
20	Lathe Machine	CY-L 1640 G	1
21	Lathe Machine	LA 04017	1
22	Lathe Machine	BAOJI	1
23	Lathe Machine	530X1100	1
24	Squaring Machine	NANTONG	4
25	Cutting Machine	STANDARD	1

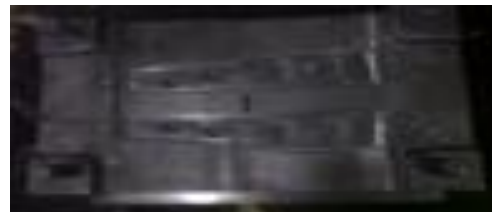
(Sumber: PT ASMI)

4.1.9 Hasil Produksi

PT ASMI memproduksi produk berdasarkan pesanan konsumen, dimana pesanan tersebut dapat beraneka ragam jenis produknya diantaranya seperti *precision part*, *plastic mould*, *JIG & Checking fixture*, *die casting*, *stamping die*, dan lain-lain. Hasil produk tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1.



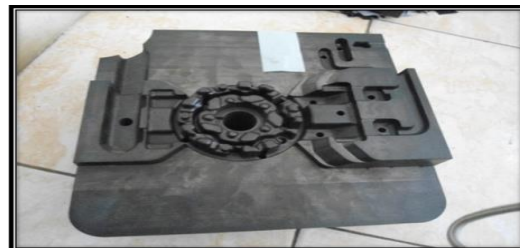
(a) *Precision Part*



(b) *Plastic Mould*



(c) *JIG & Checking Fixture*



(d) *Stamping Die*

Gambar 4.1 Hasil Produksi PT ASMI

(Sumber: PT ASMI)

4.1.10 Jumlah Produksi

Jumlah produksi PT ASMI selama satu tahun dalam periode 2015 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel.4.3 Jumlah Produksi Periode 2015 PT ASMI

Bulan	Jumlah Produksi (Unit)
Januari	3691
Februari	4279
Maret	5988
April	5073
Mei	5143
Juni	6047
Juli	5128

Agustus	4640
September	3820
Oktober	5410
November	4812
Desember	2439

(Sumber: PT ASMI)

4.1.11 Mesin Wirecut

Mesin *wirecut* merupakan mesin yang digunakan untuk memotong material-material yang mampu atau bisa dialiri arus listrik. Material yang dialiri arus listrik ialah yang terbuat dari bahan besi, baja, tembaga, alumunium, dan kuningan. Jika kawat bersentuhan dengan material yang bisa menghantarkan arus listrik mengakibatkan semacam terjadinya pembakaran, dimana pembakaran ini yang membuat material-material tersebut terpotong. Mesin *wirecut* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Mesin Wirecut

(Sumber: PT ASMI)

Salah satu produk yang dihasilkan dari mesin *wirecut* yang diproduksi oleh PT ASMI adalah *nothing die* dan *stripper insert*. Produk tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3.



(a) *Nothing Die*



(b) *Stripper Insert*

Gambar 4.3 Produk Mesin Wirecut

(Sumber: PT ASMI)

4.1.12 Frekuensi Kerusakan Mesin Wirecut

Mesin *wirecut* yang digunakan terus-menerus membuat komponen-komponen tertentu mengalami kerusakan, dimana komponen-komponen yang sering mengalami kerusakan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Frekuensi Kerusakan Mesin *Wirecut*

No	Komponen	Frekuensi Kerusakan
1	<i>Hardisk</i>	2
2	<i>Mekanik Seal</i>	3
3	<i>Bearing</i>	4

Lanjut...

Tabel 4.4 Komponen Kritis Mesin *Wirecut* (Lanjutan)

No	Komponen	Frekuensi Kerusakan
4	<i>Bs Sens Cable</i>	5
5	<i>Servopack</i>	7
6	<i>LAN Cable</i>	1
Total		22

(Sumber: PT ASMI)

Pada Tabel 4.4 komponen-komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Komponen-Komponen Kritis Mesin *Wirecut*

(Sumber: PT ASMI)

4.1.13 Data Waktu Awal Kerusakan dan Waktu Perbaikan

Waktu perbaikan untuk setiap komponen yang mengalami kerusakan maupun perbaikan dapat dilihat pada lampiran A. waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan untuk setiap komponen adalah sebagai berikut:

1. Komponen *Servopack*

Waktu awal kerusakan dan perbaikan komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Waktu Awal Kerusakan dan Perbaikan Komponen *Servopack*

No.	Tanggal	Awal Kerusakan (Jam)	Perbaikan (Jam)	
			Mulai	Selesai
1	25 Februari 2015	09:00	11:30	14:30
2	20 April 2015	11:30	12:00	15:00
3	27 Mei 2015	10:00	11:30	15:00
4	5 Agustus 2015	09:00	10:00	13:30
5	30 Sep 2015	11:40	13:30	16:30
6	11 Nov 2015	09:30	11:00	14:25
7	10 Desember 2015	08:30	09:30	13:00

(Sumber: PT ASMI)

2. Komponen *Bs. Sens Cable*

Waktu awal kerusakan dan perbaikan komponen *bs. sens cable* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Waktu Awal Kerusakan dan Perbaikan Komponen *Bs. Sens Cable*

No.	Tanggal	Awal Kerusakan (Jam)	Perbaikan (Jam)	
			Mulai	Selesai
1	10 Maret 2015	09:30	11:00	15:00
2	31 Juli 2015	09:00	10:00	14:00
3	1 September 2015	09:50	11:30	14:30
4	21 Oktober 2015	09:00	10:00	13:30
5	30 November 2015	11:00	12:00	15:30

(Sumber: PT ASMI)

3. Komponen *Bearing*

Waktu awal kerusakan dan perbaikan komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Waktu Awal Kerusakan dan Perbaikan Komponen *Bearing*

No.	Tanggal	Awal Kerusakan (Jam)	Perbaikan (Jam)	
			Mulai	Selesai
1	17 Februari 2105	9:30	10:00	12:45
2	7 Mei 2015	10:30	13:05	15:30
3	13 Agustus 2015	9:50	11:30	14:30
4	12 Oktober 2015	9:00	10:50	14:00

(Sumber: PT ASMI)

4. Komponen Mekanik *Seal*

Waktu awal kerusakan dan perbaikan komponen mekanik *seal* dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Waktu Awal Kerusakan dan Perbaikan Komponen Mekanik *Seal*

No.	Tanggal	Awal Kerusakan (Jam)	Perbaikan (Jam)	
			Mulai	Selesai
1	26 Januari 2015	11:00	13:30	15:30
2	9 Juni 2015	09:15	10:15	13:20
3	28 Desember 2015	10:00	11:10	14:00

(Sumber: PT ASMI)

5. Komponen *Hardisk*

Waktu awal kerusakan dan perbaikan komponen *hardisk* dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Waktu Awal Kerusakan dan Perbaikan Komponen *Hardisk*

No.	Tanggal	Awal Kerusakan (Jam)	Perbaikan (Jam)	
			Mulai	Selesai
1	22 Januari 2015	10:00	13:00	16:00
2	1 Desember 2015	09:30	12:00	15:00

(Sumber: PT ASMI)

6. Komponen LAN *Cable*

Waktu awal kerusakan terhadap komponen LAN *cable* yang terjadi selama tahun 2015 hanya sekali pergantian yaitu pada tanggal 8 Agustus 2015. Perbaikan tersebut dilakukan mulai dari pukul 10:30 sampai dengan pukul 12:30.

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis dimulai dengan melihat Frekuensi kerusakan pada Tabel 4.4. perhitungan persentase kerusakan dapat dilihat pada langkah-langkah berikut ini.

- Hal pertama yang dilakukan adalah mengurutkan kerusakan berdasarkan frekuensinya mulai dari yang terbesar sampai terkecil.
- $\sum_{i=1}^i FK_i = 7+5+4+3+2+1 = 22$.
- Persentase $FK_i(\%) = (i/\sum_{i=1}^i FK_i) \times 100\% = (7/22) \times 100\% = 31,82\%$.
- Persentase $FK_i + \text{Kumulatif } FK_{i-1} (\%) = 31,82 + 0 = 31,82\%$

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi persentase kerusakan komponen mesin *wirecut* dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Rekapitulasi Presentase Frekuensi Kerusakan Komponen Mesin *Wirecut*

i	Komponen	Frekuensi Kerusakan (FK_i)	Persentase FK_i (%)	Kumulatif FK_{i-1} (%)
1	<i>Servopack</i>	7	31,82	31,82

Lanjut...

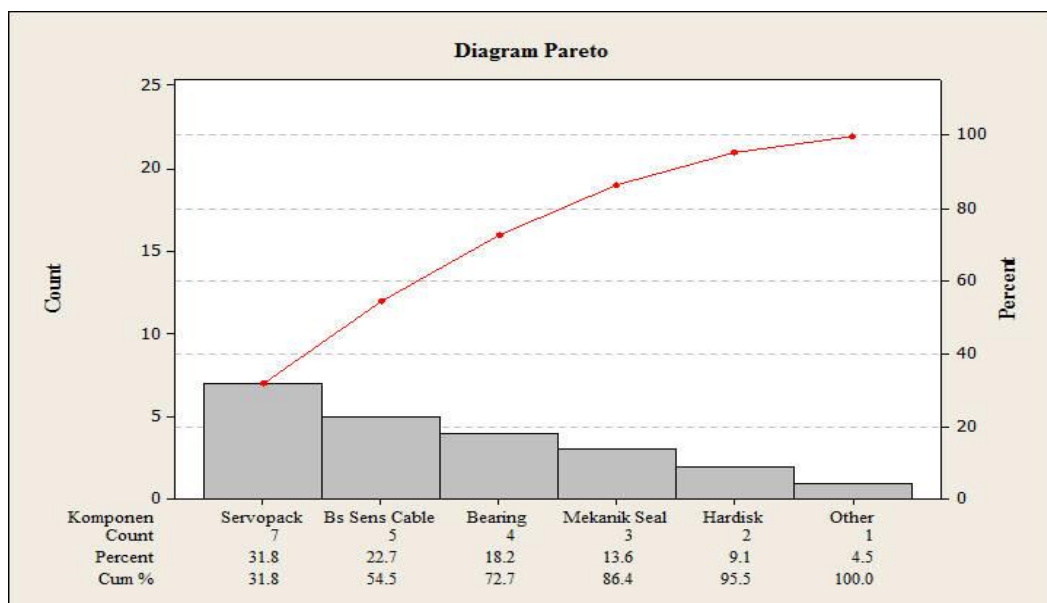
Tabel 4.10 Rekapitulasi Presentase Frekuensi Kerusakan Komponen Mesin *Wirecut* (Lanjutan)

i	Komponen	Frekuensi Kerusakan (FK_i)	Persentase FK_i (%)	Kumulatif FK_{i-1} (%)
2	<i>Bs Sens Cable</i>	5	22,73	54,55
3	<i>Bearing</i>	4	18,18	72,73

4	Mekanik Seal	3	13,64	86,36
5	Hardisk	2	9,09	95,45
6	LAN Cable	1	4,55	100
Total		22	100	

(Sumber: Pengolahan Data)

Pada Tabel 4.10 diketahui bahwa diagram Pareto penentuan komponen kritis pada mesin *wirecut* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.5 Diagram Pareto Penentuan Komponen Kritis Mesin *Wirecut*

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.10 dan Gambar 4.10, terpilih tiga komponen mesin *wirecut* yang dikategorikan sebagai komponen kritis dengan frekuensi kerusakan terbanyak, dimana komponen kritis tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Servopack*
2. *Bs. Sens Cable*
3. *Bearing*

4.2.2 Perhitungan Waktu Antar Kerusakan/ *Time to Failure* (TTF) dan Waktu Antar Perbaikan/ *Time to Repair* (TTR)

Data antar kerusakan diperoleh dari perusahaan dalam satuan jam selama periode tahun 2015, dimana satu hari kerja adalah 7 jam. Data waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan pada mesin *wirecut*, sebagai berikut:

1. Perhitungan waktu antar kerusakan/ *Time To Failure* (TTF)

Perhitungan waktu antar kerusakan untuk masing-masing komponen adalah sebagai berikut:

a. Komponen *Servopack* pada mesin *wirecut*

Data awal kerusakan dan perbaikan komponen *servopack* pada mesin *wirecut* yang terjadi selama periode 2015 dapat dilihat pada Tabel 4.5, dimana data tersebutlah yang digunakan dalam perhitungan waktu antar kerusakan.

Perhitungan tersebut dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Perusahaan hanya beroperasi selama 1 shift, dengan waktu operasional perusahaan pada hari Senin-Jumat selama 7 jam dan pada hari Sabtu selama 5 jam.
- 2) Hal pertama yang dilakukan adalah menghitung selang waktu antara waktu selesai perbaikan dengan waktu operasi perusahaan selesai pada tanggal 25 Februari 2015 pukul 14:30 sampai 16:00 yaitu selama 1,5 jam.
- 3) Kemudian kerusakan terjadi kembali pada tanggal 20 April 2015 pada pukul 11.30. Selang waktu antara tanggal 25 Februari sampai dengan tanggal 20 April 2015 adalah 44 hari, yaitu $(37 \text{ hari} \times 7 \text{ jam}) + (7 \text{ hari} \times 5 \text{ jam}) = 294 \text{ jam}$.
- 4) Setelah itu selang waktu antara waktu mulai beroperasi mesin dengan waktu awal mulai kerusakan pada tanggal 20 April 2015, yaitu pada pukul 08:00 sampai dengan pukul 11:30 selama 3,5 jam.
- 5) Jumlahkan waktu yang didapat dari perhitungan diatas, yaitu $1,5 \text{ jam} + 294 \text{ jam} + 3,5 \text{ jam} = 299,00 \text{ jam}$.

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan waktu antar kerusakan komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel.4.11 Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack*

No.	Tanggal	Awal Kerusakan (Jam)	Selesai Perbaikan (jam)	Waktu antar kerusakan (Jam)
1	25 Februari 2015	09:00	14:30	-
2	20 April 2015	11:30	15:00	299,00
3	27 Mei 2015	10:00	15:00	198,00
4	5 Agustus 2015	09:00	13:30	329,00
5	30 September 2015	11:40	16:30	305,17
6	11 November 2015	09:30	14:25	244,50
7	10 Desember 2015	08:30	13:00	169,08

(Sumber: Pengolahan Data)

Penjelasan :

- 1) Selang waktu kerusakan antara tanggal 20 April sampai dengan tanggal 27 Mei 2015 adalah 29 hari, yaitu 25 hari untuk waktu operasional pada hari Senin–Jum’at dan 4 hari untuk waktu operasional pada hari Sabtu.
- 2) Selang waktu kerusakan antara tanggal 27 Mei sampai dengan tanggal 5 Agustus 2015 adalah 49 hari, yaitu 41 hari untuk waktu operasional pada hari Senin–Jum’at dan 8 hari untuk waktu operasional pada hari Sabtu.
- 3) Selang waktu kerusakan antara tanggal 5 Agustus sampai dengan tanggal 30 September 2015 adalah 45 hari, yaitu 37 hari untuk waktu operasional pada hari Senin–Jum’at dan 8 hari untuk waktu operasional pada hari Sabtu.
- 4) Selang waktu kerusakan antara tanggal 30 September sampai dengan tanggal 11 November 2015 adalah 37 hari, yaitu 29 hari untuk waktu operasional pada hari Senin–Jum’at dan 8 hari untuk waktu operasional pada hari Sabtu.
- 5) Selang waktu kerusakan antara tanggal 11 November sampai dengan tanggal 10 Desember 2015 adalah 25 hari, yaitu 21 hari untuk waktu operasional pada hari Senin–Jum’at dan 4 hari untuk waktu operasional pada hari Sabtu.

b. Komponen *Bs. Sens Cable* pada mesin *wirecut*

Data awal kerusakan dan perbaikan komponen *bs. sens cable* pada mesin *wirecut* yang terjadi selama periode 2015 dapat dilihat pada Tabel 4.6, dimana data tersebutlah yang digunakan dalam perhitungan waktu antar kerusakan. Perhitungan tersebut dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Perusahaan hanya beroperasi selama 1 shift, dengan waktu operasional perusahaan pada hari Senin-Jumat selama 7 jam dan pada hari Sabtu selama 5 jam.
- 2) Hal pertama yang dilakukan adalah menghitung selang waktu antara waktu selesai perbaikan dengan waktu operasi perusahaan selesai pada tanggal 10 Maret 2015 pukul 15:00 sampai 16:00 yaitu selama 1 jam.
- 3) Kemudian kerusakan terjadi kembali pada tanggal 31 Juli 2015 pada pukul 09:00. Selang waktu antara tanggal 10 Maret 2015 sampai dengan tanggal 31 Juli 2015 adalah 109 hari, yaitu $(92 \text{ hari} \times 7 \text{ jam}) + (17 \text{ hari} \times 5 \text{ jam}) = 729 \text{ jam}$.
- 4) Setelah itu selang waktu antara waktu mulai beroperasi mesin dengan waktu awal mulai kerusakan pada tanggal 31 Juli 2015, yaitu pada pukul 08:00 sampai dengan pukul 09:00 selama 1 jam.

- 5) Jumlahkan waktu yang didapat dari perhitungan diatas, yaitu 1 jam + 729 jam + 1 jam = 731,00 jam

Penjelasan :

- 1) Selang waktu kerusakan antara tanggal 31 Juli sampai dengan tanggal 1 September 2015 adalah 26 hari, yaitu 21 hari untuk waktu operasional pada hari Senin–Jum’at dan 5 hari untuk waktu operasional pada hari Sabtu.
- 2) Selang waktu kerusakan antara tanggal 1 September sampai dengan tanggal 21 Oktober 2015 adalah 41 hari, yaitu 34 hari untuk waktu operasional pada hari Senin–Jum’at dan 7 hari untuk waktu operasional pada hari Sabtu.
- 3) Selang waktu kerusakan antara tanggal 21 Oktober sampai dengan tanggal 30 November 2015 adalah 34 hari, yaitu 28 hari untuk waktu operasional pada hari Senin–Jum’at dan 6 hari untuk waktu operasional pada hari Sabtu.

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan waktu antar kerusakan komponen *bs. sens cable* dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel.4.12 Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Kerusakan Komponen *Bs. Sens Cable*

No.	Tanggal	Awal Kerusakan (Jam)	Selesai Perbaikan (Jam)	Waktu Antar Kerusakan (Jam)
1	10 Maret 2015	09:30	15:00	-
2	31 Juli 2015	09:00	14:00	731,00
3	1 September 2015	09:50	14:30	175,83
4	21 Oktober 2015	09:00	13:30	275,50
5	30 November 2015	11:00	15:30	231,50

(Sumber: Pengolahan Data)

c. Komponen *Bearing* pada mesin *wirecut*

Data awal kerusakan dan perbaikan komponen *bearing* pada mesin *wirecut* yang terjadi selama periode 2015 dapat dilihat pada Tabel 4.7, dimana data tersebutlah yang digunakan dalam perhitungan waktu antar kerusakan.

Perhitungan tersebut dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Perusahaan hanya beroperasi selama 1 shift, dengan waktu operasional perusahaan pada hari Senin-Jumat selama 7 jam dan pada hari Sabtu selama 5 jam.
- 2) Hal pertama yang dilakukan adalah menghitung selang waktu antara waktu selesai perbaikan dengan waktu operasi perusahaan selesai pada tanggal 17 Februari 2015 pukul 12:45 sampai 16:00 yaitu selama 3,25 jam.

- 3) Kemudian kerusakan terjadi kembali pada tanggal 7 Mei 2015 pada pukul 10:30. Selang waktu antara tanggal 17 Februari 2015 sampai dengan tanggal 7 Mei 2015 adalah 64 hari, yaitu $(54 \text{ hari} \times 7 \text{ jam}) + (10 \text{ hari} \times 5 \text{ jam}) = 428 \text{ jam}$.
- 4) Setelah itu selang waktu antara waktu mulai beroperasi mesin dengan waktu awal mulai kerusakan pada tanggal 31 Juli 2015, yaitu pada pukul 08:00 sampai dengan pukul 10:30 selama 2,5 jam.
- 5) Jumlahkan waktu yang didapat dari perhitungan diatas, yaitu $3,25 \text{ jam} + 428 + 2,5 \text{ jam} = 433,75 \text{ jam}$

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan waktu antar kerusakan komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel.4.13 Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Kerusakan Komponen *Bearing*

No.	Tanggal	Awal Kerusakan (Jam)	Selesai Perbaikan (Jam)	Waktu Antar Kerusakan (Jam)
1	17 Februari 2105	9:30	12:45	-
2	7 Mei 2015	10:30	15:30	433,75
3	13 Agustus 2015	09:50	14:30	477,33
4	12 Oktober 2015	09:00	14:00	327,50

(Sumber: Pengolahan Data)

Penjelasan :

- 1) Selang waktu kerusakan antara tanggal 7 Mei sampai dengan tanggal 13 Agustus 2015 adalah 71 hari, yaitu 60 hari untuk waktu operasional pada hari Senin–Jum’at dan 11 hari untuk waktu operasional pada hari Sabtu.
- 2) Selang waktu kerusakan antara tanggal 13 Agustus sampai dengan tanggal 12 Oktober 2015 adalah 49 hari, yaitu 40 hari untuk waktu operasional pada hari Senin–Jum’at dan 9 hari untuk waktu operasional pada hari Sabtu.

2. Perhitungan waktu antar Perbaikan/ *Time To Repair* (TTR)

Perhitungan waktu antar perbaikan untuk masing-masing komponen adalah sebagai berikut:

a. Komponen *Servopack* pada mesin *wirecut*

Data mulai dan selesai perbaikan komponen *servopack* pada mesin *wirecut* yang terjadi selama periode 2015 dapat dilihat pada Tabel 4.5, dimana data

tersebutlah yang digunakan dalam perhitungan waktu antar perbaikan.

Perhitungan tersebut dapat dilihat dengan langkah sebagai berikut.

- 1) Menghitung selang waktu antara waktu mulai perbaikan sampai dengan selesai perbaikan, misal pada tanggal 25 Februari 2015 pukul 11:30 sampai dengan 14:30 yaitu selama 3 jam.

Pada langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan waktu antar perbaikan komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Perbaikan Komponen *Servopack*

No.	Tanggal	Perbaikan (Jam)		Waktu Antar Perbaikan (jam)
		Mulai	Selesai	
1	25 Februari 2015	11:30	14:30	3,00
2	20 April 2015	12:00	15:00	3,00
3	27 Mei 2015	11:30	15:00	3,50
4	5 Agustus 2015	10:00	13:30	3,50
5	30 Sep 2015	13:30	16:30	3,00
6	11 Nov 2015	11:00	14:25	3,42
7	10 Desember 2015	09:30	13:00	3,50

(Sumber: Pengolahan Data)

- b. Komponen *Bs. Sens Cable* pada mesin *wirecut*

Data mulai dan selesai perbaikan komponen *servopack* pada mesin *wirecut* yang terjadi selama periode 2015 dapat dilihat pada Tabel 4.6, dimana data tersebutlah yang digunakan dalam perhitungan waktu antar perbaikan.

Perhitungan tersebut dapat dilihat dengan langkah sebagai berikut.

- 1) Menghitung selang waktu antara waktu mulai perbaikan sampai dengan selesai perbaikan, misal pada tanggal 10 Maret 2015 pukul 11:00 sampai dengan 15:00 yaitu selama 4 jam.

Pada langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan waktu antar Perbaikan komponen *bs. sens cable* dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Perbaikan Komponen *Bs. Sens Cable*

No.	Tanggal	Perbaikan (Jam)		Waktu Antar Perbaikan (jam)
		Mulai	Selesai	
1	10 Maret 2015	11:00	15:00	4,00
2	31 Juli 2015	10:00	14:00	4,00
3	1 September 2015	11:30	14:30	3,00

4	21 Oktober 2015	10:00	13:30	3,50
5	30 November 2015	12:00	15:30	3,50

(Sumber: Pengolahan Data)

c. Komponen *Bearing* pada mesin *wirecut*

Data mulai dan selesai perbaikan komponen *bearing* pada mesin *wirecut* yang terjadi selama periode 2015 dapat dilihat pada Tabel 4.7, dimana data tersebutlah yang digunakan dalam perhitungan waktu antar perbaikan. Perhitungan tersebut dapat dilihat dengan langkah sebagai berikut.

- 1) Menghitung selang waktu antara waktu mulai perbaikan sampai dengan selesai perbaikan, misal pada tanggal 17 Februari 2015 pukul 10:00 sampai dengan 12:45 yaitu selama 2,75 jam.

Pada langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan waktu antar perbaikan komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Rekapitulasi Perhitungan Waktu Antar Perbaikan Komponen *Bearing*

No.	Tanggal	Perbaikan (Jam)		Waktu Antar Perbaikan (jam)
		Mulai	Selesai	
1	17 Februari 2105	10:00	12:45	2,75
2	7 Mei 2015	13:05	15:30	2,42
3	13 Agustus 2015	11:30	14:30	3,00
4	12 Oktober 2015	10:50	14:00	3,17

(Sumber: PT ASMI)

4.2.3 Perhitungan *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan

Perhitungan *index of fit* dilakukan terhadap empat distribusi kerusakan, yaitu distribusi normal, lognormal, Weibull, dan eksponensial. Perhitungan *index of fit* berdasarkan data waktu antar kerusakan pada perhitungan sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan *index of fit* waktu antar kerusakan komponen *servopack*

Perhitungan *index of fit* waktu antar kerusakan terhadap komponen *servopack* dilakukan terhadap distribusi kerusakan, dimana pengujiannya sebagai berikut:

- a. Perhitungan *index of fit* waktu antar kerusakan komponen *servopack* terhadap distribusi normal

Pengujian *index of fit* berdasarkan perhitungan data waktu antar kerusakan pada Tabel 4.11, dimana data tersebut diurutkan terlebih dahulu mulai dari waktu

terkecil sampai terbesar sebelum dilakukan perhitungan. Contoh perhitungannya tersebut dapat dilihat pada langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) $t_i = x_i = 169,08$
- 2) $F(t_i) = (1-0,3)/(6+0,4) = 0,109375$
- 3) $y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$, nilai y_i diperoleh dari Ms. Excel dengan fungsi $NORMSINV[F(t_i)]$.
 $(y_i = z_i [\Phi^{-1}(0,109375)] = -1,230$
- 4) $x_i \cdot y_i = 169,08 \times -1,230 = -207,945$
- 5) $x_i^2 = (169,08)^2 = 28588$
- 6) $y_i^2 = (-1,230)^2 = 1,51255$

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan *index of fit* komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Rekapitulasi Perhitungan *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack* Terhadap Distribusi Normal

i	t_i (Jam)	$x_i = t_i$	$F(t_i) = (i-0,3)/(n+0,4)$	$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	169,08	169,08	0,109375	-1,230	-207,945	28588	1,51255
2	198,00	198,00	0,265625	-0,626	-123,968	39204	0,39200
3	244,50	244,50	0,421875	-0,197	-48,191	59780,3	0,03885
4	299,00	299,00	0,578125	0,197	58,933	89401	0,03885
5	305,17	305,17	0,734375	0,626	191,067	93128,7	0,39200
6	329,00	329,00	0,890625	1,230	404,624	108241	1,51255
Total		1544,75	3,00000	0	274,520	418343	3,8868

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan rekapitulasi perhitungan *index of fit* pada Tabel 4.17, maka nilai *index of fit* komponen *servopack* terhadap distribusi normal adalah sebagai berikut:

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

$$r = \frac{6(274,520) - (1544,75)(0)}{\sqrt{\{6(418343) - (1544,75^2)\} \{6(3,8868) - (0)\}}}$$

$$r = \frac{1647,12}{1699,18}$$

$$r = 0,969$$

- b. Perhitungan *index of fit* waktu antar kerusakan komponen *servopack* terhadap distribusi lognormal

Pengujian *index of fit* berdasarkan perhitungan data waktu antar kerusakan pada Tabel 4.11, dimana data tersebut diurutkan terlebih dahulu mulai dari waktu terkecil sampai terbesar sebelum dilakukan perhitungan. Contoh perhitungannya tersebut dapat dilihat pada langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) $t_i = 169,08$
- 2) $x_i = \ln(t_i) = \ln(169,08) = 5,13037$
- 3) $F(t_i) = (1-0,3) / (6+0,4) = 0,1094$
- 4) $y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$, nilai y_i diperoleh dari Ms. Excel dengan fungsi $\text{NORMSINV}[F(t_i)]$.
 $y_i = z_i [\Phi^{-1}(0,1094)] = -1,2299$
- 5) $x_i \cdot y_i = 5,13037 \times -1,2299 = -6,3096$
- 6) $x_i^2 = (5,13037)^2 = 26,3207$
- 7) $y_i^2 = (-1,2299)^2 = 1,5126$

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan *index of fit* komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Rekapitulasi Perhitungan *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack* Terhadap Distribusi Lognormal

i	t_i (Jam)	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i) = (i-0,3)/(n+0,4)$	$y_i = z_i = [\Phi^{-1}(F(t_i))]$	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	169,08	5,13037	0,1094	-1,2299	-6,3096	26,3207	1,5126
2	198,00	5,28827	0,2656	-0,6261	-3,3110	27,9658	0,3920
3	244,50	5,49922	0,4219	-0,1971	-1,0839	30,2414	0,0388
4	299,00	5,70044	0,5781	0,1971	1,1236	32,4951	0,0388
5	305,17	5,72087	0,7344	0,6261	3,5818	32,7283	0,3920
6	329,00	5,79606	0,8906	1,2299	7,1283	33,5943	1,5126
Total		33,1352		0	1,1292	183,3455	3,8868

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan rekapitulasi perhitungan *index of fit* pada Tabel 4.18, maka nilai *index of fit* komponen *servopack* terhadap distribusi lognormal adalah sebagai berikut:

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

$$r = \frac{(6 \times 1,1292) - (33,1352 \times 0)}{\sqrt{\{(6 \times 183,3455) - (33,1352^2)\} \{(6 \times 3,8868) - (0)^2\}}}$$

$$r = \frac{6,7752}{7,0504}$$

$$r = 0,961$$

c. Perhitungan *index of fit* waktu antar kerusakan komponen *servopack* terhadap distribusi Weibull

Pengujian *index of fit* berdasarkan perhitungan data waktu antar kerusakan pada Tabel 4.11, dimana data tersebut diurutkan terlebih dahulu mulai dari waktu terkecil sampai terbesar sebelum dilakukan perhitungan. Contoh perhitungannya tersebut dapat dilihat pada langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) $t_i = 5,1304$
- 2) $x_i = \ln(t_i) = \ln(169,08) = 5,1304$
- 3) $F(t_i) = (1-0,3)/(6+0,4) = 0,1094$
- 4) $y_i = \ln \ln(1/(1-F(t_i))) = \ln \ln(1/(1-0,1094)) = -2,1556$
- 5) $x_i \cdot y_i = 5,1304 \times -1,230 = -11,0591$
- 6) $x_i^2 = (5,1304)^2 = 26,3207$
- 7) $y_i^2 = (-2,1556)^2 = 4,6467$

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan *index of fit* komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Rekapitulasi Perhitungan *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack* Terhadap Distribusi Weibull

i	t_i (Jam)	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i) = (i-0,3)/(n+0,4)$	$Y_i = \ln \ln(1/(1-F(t_i)))$	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	169,08	5,1304	0,1094	-2,1556	-11,0591	26,3207	4,6467
2	198,00	5,2883	0,2656	-1,1753	-6,2151	27,9658	1,3813
3	244,50	5,4992	0,4219	-0,6015	-3,3080	30,2414	0,3619
4	299,00	5,7004	0,5781	-0,1473	-0,8396	32,4951	0,0217
5	305,17	5,7209	0,7344	0,2819	1,6128	32,7283	0,0795
6	329,00	5,7961	0,8906	0,7943	4,6040	33,5943	0,6310
Total		33,1352		-3,0035	-15,2050	183,3455	7,1219

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan rekapitulasi perhitungan *index of fit* pada Tabel 4.19, maka nilai *index of fit* komponen *servopack* terhadap distribusi Weibull adalah sebagai berikut:

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

$$r = \frac{(6 \times (-15,2050)) - (33,1352 \times (-3,0035))}{\sqrt{\{(6 \times 183,3455) - (33,1352^2)\} \{(6 \times 7,1219) - (-3,0035)^2\}}}$$

$$r = \frac{8,29156}{8,47667}$$

$$r = 0,978$$

- d. Perhitungan *index of fit* waktu antar kerusakan komponen *servopack* terhadap distribusi eksponensial

Pengujian *index of fit* berdasarkan perhitungan data waktu antar kerusakan pada Tabel 4.11, dimana data tersebut diurutkan terlebih dahulu mulai dari waktu terkecil sampai terbesar sebelum dilakukan perhitungan. Contoh perhitungannya tersebut dapat dilihat pada langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) $t_i = x_i = 169,08$
- 2) $F(t_i) = (i-0,3) / (n+0,4) = 0,1094$
- 3) $y_i = \ln(1/(1-F(t_i))) = \ln(1/(1-0,1094)) = 0,1158$
- 4) $x_i \cdot y_i = 169,08 \times 0,1158 = 19,5848$
- 5) $x_i^2 = (169,08)^2 = 28588,0464$
- 6) $y_i^2 = (0,1158)^2 = 0,0134$

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan *index of fit* komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Rekapitulasi Perhitungan *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack* Terhadap Distribusi Eksponensial

i	t_i (Jam)	$x_i = t_i$	$F(t_i) = (i-0,3) / (n+0,4)$	$y_i = \ln(1 / (1-F(t_i)))$	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	169,08	169,08	0,1094	0,1158	195848	28588,0464	0,0134
2	198,00	198,00	0,2656	0,3087	61,1296	39204,0000	0,0953
3	244,50	244,50	0,4219	0,5480	133,9775	59780,2500	0,3003
4	299,00	299,00	0,5781	0,8630	258,0508	89401,0000	0,7448

Lanjut...

Tabel 4.20 Rekapitulasi Perhitungan *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack* Terhadap Distribusi Eksponensial (Lanjutan)

i	t_i (Jam)	$x_i = t_i$	$F(t_i) = (i-0,3) / (n+0,4)$	$y_i = \ln(1 / (1-F(t_i)))$	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
5	305,17	305,17	0,7344	1,3257	404,5546	93128,7289	1,7574
6	329,00	329,00	0,8906	2,2130	728,0681	108241,0000	4,8972
Total		1544,75		5,3742	1605,3655	418343,0253	7,8085

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan rekapitulasi perhitungan *index of fit* pada Tabel 4.20, maka nilai *index of fit* komponen *servopack* terhadap distribusi eksponensial adalah sebagai berikut:

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

$$r = \frac{(6x(1605,3655)) - (1544,75x5,3742)}{\sqrt{\{(6x(418343,0253)) - (1544,75^2)\}\{(6x7,8085 - (5,3742)^2)\}}}$$

$$r = \frac{1330,39755}{1491,52924}$$

$$r = 0,892$$

Hasil rekapitulasi nilai *index of fit* (r) waktu antar kerusakan terhadap komponen *servopack* dengan pengujian *least square curve fitting* untuk distribusi normal, lognormal, Weibull, dan eksponensial dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Rekapitulasi Nilai *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack*

<i>Index of Fit</i> Data Waktu Antar Kerusakan		
Komponen	Distribusi	<i>Index of Fit</i> (r)
<i>Servopack</i>	Normal	0,969
	Lognormal	0,961
	Weibull	0,978
	Eksponensial	0,892

(Sumber: Pengolahan data)

Berdasarkan Tabel 4.21, terpilihlah nilai *index of fit* waktu antar kerusakan terhadap komponen *servopack* terbesar yaitu 0,978, dimana nilai *index of fit* tersebut mengikuti distribusi Weibull.

2. Perhitungan *index of fit* waktu antar kerusakan komponen *bs. sens cable*

Perhitungan nilai *index of fit* waktu antar kerusakan terhadap komponen *bs. sens cable* memiliki cara perhitungan yang sama dengan perhitungan yang dilakukan terhadap komponen *servopack* pada distribusi kerusakan. Data waktu antar kerusakan yang digunakan komponen *bs. sens cable* berdasarkan pada Tabel 4.12, dimana perhitungan nilai *index of fit* komponen *bs. sens cable* dapat dilihat pada lampiran B. Hasil rekapitulasi nilai *index of fit* (r) komponen *bs. sens cable* dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Rekapitulasi Nilai *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Bs Sens Cable*

<i>Index of Fit</i> Data Waktu Antar Kerusakan		
Komponen	Distribusi	<i>Index of Fit</i> (r)
<i>Bs. Sence Cable</i>	Normal	0,873
	Lognormal	0,933
	Weibull	0,893
	Eksponensial	0,955

(Sumber: Pengolahan data)

Berdasarkan Tabel 4.22, terpilih nilai *index of fit* waktu antar kerusakan terhadap komponen *bs. sens cable* terbesar yaitu 0,955, dimana nilai *index of fit* tersebut mengikuti distribusi eksponensial.

3. Perhitungan *index of fit* waktu antar kerusakan komponen *bearing*

Perhitungan nilai *index of fit* waktu antar kerusakan terhadap komponen *bearing* memiliki cara perhitungan yang sama dengan perhitungan yang dilakukan terhadap

komponen *servopack* pada distribusi kerusakan. Data waktu antar kerusakan yang digunakan komponen *bearing* berdasarkan pada Tabel 4.13, dimana perhitungan nilai *index of fit* komponen *bearing* dapat dilihat pada lampiran C. Hasil rekapitulasi nilai *index of fit* (r) komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Rekapitulasi Nilai *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Bearing*

<i>Index of Fit</i> Data Waktu Antar Kerusakan		
Komponen	Distribusi	<i>Index of Fit</i> (r)
<i>Bearing</i>	Normal	0,972
	Lognormal	0,964
	Weibull	0,981

Lanjut...

Tabel 4.23 Rekapitulasi Nilai *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Bearing* (Lanjutan)

<i>Index of Fit</i> Data Waktu Antar Kerusakan		
Komponen	Komponen	Komponen
	Eksponensial	0,955

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.23, terpilihlah nilai *index of fit* waktu antar kerusakan terhadap komponen *bearing* terbesar yaitu 0,981, dimana nilai *index of fit* tersebut mengikuti distribusi Weibull.

4.2.4 Perhitungan *Index of Fit* Waktu Antar Perbaikan

Perhitungan *index of fit* dilakukan terhadap empat distribusi kerusakan, yaitu distribusi normal, lognormal, Weibull, dan eksponensial. Perhitungan *index of fit* berdasarkan data waktu antar perbaikan pada perhitungan sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan *index of fit* waktu antar perbaikan komponen *servopack*

Perhitungan *index of fit* waktu antar perbaikan terhadap komponen *servopack* dilakukan terhadap distribusi kerusakan, dimana pengujiannya sebagai berikut:

- a. Perhitungan *index of fit* waktu antar perbaikan komponen *servopack* terhadap distribusi normal

Perhitungan *index of fit* berdasarkan perhitungan data waktu antar perbaikan pada Tabel 4.14, dimana data tersebut diurutkan terlebih dahulu mulai dari waktu terkecil sampai terbesar sebelum dilakukan perhitungan. Contoh perhitungannya tersebut dapat dilihat pada langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) $t_i = x_i = 3,00$

- 2) $F(t_i) = (1-0,3) / (7+0,4) = 0,0946$

- 3) $y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$, nilai y_i diperoleh dari Ms. Excel dengan fungsi $\text{NORMSINV}[F(t_i)]$.

$$y_i = z_i [\Phi^{-1}(0,0946)] = -1,3130$$

$$4) x_i \cdot y_i = 3,00 \times -1,3130 = -3,9389$$

$$5) x_i^2 = (3,00)^2 = 9,0000$$

$$6) y_i^2 = (-1,3130)^2 = 1,7239$$

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan *index of fit* komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Rekapitulasi Perhitungan *Index of Fit* Waktu Antar Perbaikan Komponen *Servopack* Terhadap Distribusi Normal

i	t _i (Jam)	x _i = t _i	F(t _i) = (i-0,3)/(n+0,4)	y _i =z _i = [Φ ⁻¹ F(t _i)]	x _i ·y _i	x _i ²	y _i ²
1	3.00	3,00	0,0946	-1,3130	-3,9389	9,0000	1,7239
2	3.00	3,00	0,2297	-0,7397	-2,2192	9,0000	0,5472
3	3.00	3,00	0,3649	-0,3455	-1,0365	9,0000	0,1194
4	3.42	3,42	0,5000	0,0000	0,0000	11,6759	0,0000
5	3.50	3,50	0,6351	0,3455	1,2092	12,2500	0,1194
6	3.50	3,50	0,7703	0,7397	2,5891	12,2500	0,5472
7	3.50	3,50	0,9054	1,3130	4,5954	12,2500	1,7239
Total		22,92	3,5000	0,0000	1,1991	75,4259	4,7810

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.24, maka nilai *index of fit* komponen *servopack* terhadap distribusi normal adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{7(1,1991) - (22,92)(0)}{\sqrt{\{7(75,4259) - (22,92)^2\} \{7(4,7810) - (0)^2\}}}$$

$$= \frac{8,3937}{9,6669}$$

$$= 0,868$$

- b. Perhitungan *index of fit* waktu antar perbaikan komponen *servopack* terhadap distribusi lognormal

Pengujian *index of fit* berdasarkan perhitungan data waktu antar perbaikan pada Tabel 4.14, dimana data tersebut diurutkan terlebih dahulu mulai dari waktu terkecil sampai terbesar sebelum dilakukan perhitungan. Contoh perhitungannya tersebut dapat dilihat pada langkah-langkah sebagai berikut:

1) t_i = 3,00

2) x_i = ln(t_i) = ln(3,00) = 1,0986

3) F(t_i) = (1-0,3)/ (7+0,4) = 0,0946

4) $y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$, nilai y_i diperoleh dari Ms. Excel dengan fungsi $\text{NORMSINV}[F(t_i)]$.

$$y_i = z_i [\Phi^{-1}(0,0946)] = -1,3130$$

5) $x_i \cdot y_i = 1,0986 \times -1,3130 = -1,4425$

6) $x_i^2 = (1,0986)^2 = 1,2069$

7) $y_i^2 = (-1,3130)^2 = 1,7239$

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan *index of fit* terhadap komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Rekapitulasi Perhitungan *Index of Fit* Waktu Antar Perbaikan Komponen *Servopack* Terhadap Distribusi lognormal

i	t_i (Jam)	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i) = (i-0,3)/(n+0,4)$	$y_i = z_i = [\Phi^{-1}(F(t_i))]$	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	3,00	1,0986	0,0946	-1,3130	-1,4425	1,2069	1,7239
2	3,00	1,0986	0,2297	-0,7397	-0,8127	1,2069	0,5472
3	3,00	1,0986	0,3649	-0,3455	-0,3796	1,2069	0,1194
4	3,42	1,2288	0,5000	0,0000	0,0000	1,5099	0,0000
5	3,50	1,2528	0,6351	0,3455	0,4328	1,5694	0,1194
6	3,50	1,2528	0,7703	0,7397	0,9267	1,5694	0,5472
7	3,50	1,2528	0,9054	1,3130	1,6449	1,5694	1,7239
Total		8,2829		0,0000	0,3697	9,8390	4,7810

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.25, maka nilai *index of fit* komponen *servopack* terhadap distribusi lognormal adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{(7 \times 0,3697) - (8,2829 \times 0)}{\sqrt{\{(7 \times 9,8390) - (8,2829)^2\} \{(7 \times 4,7810) - (0)^2\}}}$$

$$= \frac{2,5879}{2,9868}$$

$$= 0,866$$

c. Perhitungan *index of fit* waktu antar perbaikan komponen *servopack* terhadap distribusi Weibull

Pengujian *index of fit* berdasarkan perhitungan data waktu antar perbaikan pada Tabel 4.14, dimana data tersebut diurutkan terlebih dahulu mulai dari waktu terkecil sampai terbesar sebelum dilakukan perhitungan. Contoh perhitungannya tersebut dapat dilihat pada langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) $t_i = 3,00$
- 2) $x_i = \ln(t_i) = \ln(3,00) = 1,0986$
- 3) $F(t_i) = (1-0,3) / (7+0,4) = 0,0946$
- 4) $y_i = \ln \ln(1/(1-F(t_i))) = \ln \ln(1/(1 - 0,946)) = -2,3089$
- 5) $x_i \cdot y_i = 1,0986 \times -2,3089 = -2,5366$
- 6) $x_i^2 = (1,0986)^2 = 1,2069$
- 7) $y_i^2 = (-2,3089)^2 = 5,3309$

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan *index of fit* terhadap komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Rekapitulasi Perhitungan *Index of Fit* Waktu Antar Perbaikan Komponen *Servopack* Terhadap Distribusi Weibull

i	t_i (Jam)	$x_i = \ln t_i$	$F(t_i) = (i-0,3)/(n+0,4)$	$y_i = \ln \ln(1/(1-F(t_i)))$	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	3,00	1,0986	0,0946	-2,3089	-2,5366	1,2069	5,3309
2	3,00	1,0986	0,2297	-1,3432	-1,4756	1,2069	1,8041
3	3,00	1,0986	0,3649	-0,7898	-0,8677	1,2069	0,6238
4	3,42	1,2296	0,5000	-0,3665	-0,4507	1,5120	0,1343
5	3,50	1,2528	0,6351	0,0082	0,0103	1,5694	0,0001
6	3,50	1,2528	0,7703	0,3858	0,4834	1,5694	0,1489
7	3,50	1,2528	0,9054	0,8579	1,0747	1,5694	0,7360
Total		8,2838		-3,5565	-3,7623	9,8411	8,7781

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.26, maka nilai *index of fit* komponen *servopack* terhadap distribusi Weibull adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit } (r) &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(7 \times (-3,7623)) - ((8,2838) \times (-3,5565))}{\sqrt{\{(7 \times 9,8411) - (8,2838^2)\} \{(7 \times 8,7781) - (-3,5565)^2\}}} \\
 &= \frac{3,12523}{3,60523} \\
 &= 0,866
 \end{aligned}$$

- d. Perhitungan *index of fit* waktu antar perbaikan komponen *servopack* terhadap distribusi eksponensial

Pengujian *index of fit* berdasarkan perhitungan data waktu antar perbaikan pada Tabel 4.14, dimana data tersebut diurutkan terlebih dahulu mulai dari waktu terkecil sampai terbesar sebelum dilakukan perhitungan. Contoh perhitungannya tersebut dapat dilihat pada langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) $t_i = x_i = 169,08$
- 2) $F(t_i) = (1-0,3) / (6+0,4) = 0,1094$
- 3) $y_i = \ln(1/(1-F(t_i))) = \ln(1/(1-0,1094)) = 0,1158$
- 4) $x_i \cdot y_i = 169,08 \times 0,1158 = 19,5848$
- 5) $x_i^2 = (169,08)^2 = 28588,0464$
- 6) $y_i^2 = (-1,230)^2 = 0,0134$

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan *index of fit* terhadap komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Rekapitulasi Perhitungan *Index of Fit* Waktu Antar Perbaikan Komponen *Servopack* Terhadap Distribusi Eksponensial

i	t_i (Jam)	$x_i = t_i$	$F(t_i) = (i-0,3)/(n+0,4)$	$y_i = \ln(1/(1-F(t_i)))$	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	3,00	3,00	0,0946	0,0994	0,2981	9,0000	0,0099
2	3,00	3,00	0,2297	0,2610	0,7830	9,0000	0,0681
3	3,00	3,00	0,3649	0,4539	1,3618	9,0000	0,2060
4	3,42	3,42	0,5000	0,6931	2,3706	11,6964	0,4805
5	3,50	3,50	0,6351	1,0082	3,5288	12,2500	1,0165
6	3,50	3,50	0,7703	1,4709	5,1480	12,2500	2,1634
7	3,50	3,50	0,9054	2,3582	8,2535	12,2500	5,5609
Total		22,92		6,3447	21,7438	75,4464	9,5053

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.27, maka nilai *index of fit* komponen *servopack* terhadap distribusi eksponensial adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit } (r) &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(7 \times (21,7438)) - (22,92 \times 6,3447)}{\sqrt{\{(7 \times (75,4464)) - (22,92^2)\} \{(7 \times 9,5053) - (6,3447^2)\}}} \\
 &= \frac{6,786076}{8,575967} \\
 &= 0,791
 \end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi nilai *index of fit* (r) waktu antar perbaikan terhadap komponen *servopack* dengan pengujian *least square curve fitting* untuk distribusi normal, lognormal, Weibull, dan eksponensial dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Rekapitulasi Nilai *Index of Fit* Waktu Antar Perbaikan Komponen *Servopack*

Index of Fit Data Waktu Antar Perbaikan		
Komponen	Distribusi	Index of Fit (r)
<i>Servopack</i>	Normal	0,868

Index of Fit Data Waktu Antar Perbaikan		
	Lognormal	0,866
	Weibull	0,866
	Eksponensial	0,791

(Sumber: Pengolahan data)

Berdasarkan Tabel 4.28, terpilihlah nilai *index of fit* waktu antar perbaikan terhadap komponen *servopack* terbesar yaitu 0,868, dimana nilai *index of fit* tersebut mengikuti distribusi normal.

2. Perhitungan *index of fit* waktu antar perbaikan komponen *bs. sens cable*

Perhitungan nilai *index of fit* waktu antar perbaikan terhadap komponen *bs. sens cable* memiliki cara perhitungan yang sama dengan perhitungan yang dilakukan terhadap komponen *servopack* pada distribusi kerusakan. Data waktu antar perbaikan yang digunakan komponen *bs. sens cable* berdasarkan pada Tabel 4.15, dimana perhitungan nilai *index of fit* terhadap komponen *bs. sens cable* dapat dilihat pada lampiran D. Hasil rekapitulasi nilai *index of fit* (*r*) terhadap komponen *bs. sens cable* dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Rekapitulasi Nilai *Index of Fit* Waktu Antar Perbaikan Komponen *Bs. Sens Cable*

Index of Fit Data Waktu Antar Perbaikan		
Komponen	Distribusi	Index of Fit (<i>r</i>)
<i>Bs. Sens Cable</i>	Normal	0,943
	Lognormal	0,940
	Weibull	0,959
	Eksponensial	0,598

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.29, terpilihlah nilai *index of fit* waktu antar perbaikan terhadap komponen *bs. sens cable* terbesar yaitu 0,959, dimana nilai *index of fit* tersebut mengikuti distribusi Weibull.

3. Perhitungan *index of fit* waktu antar perbaikan komponen *bearing*

Perhitungan nilai *index of fit* waktu antar perbaikan terhadap komponen *bearing* memiliki cara perhitungan yang sama dengan perhitungan yang dilakukan terhadap komponen *servopack* pada distribusi kerusakan. Data waktu antar perbaikan yang digunakan komponen *bearing* berdasarkan pada Tabel 4.16, dimana perhitungan nilai *index of fit* komponen *bearing* dapat dilihat pada lampiran E. Hasil rekapitulasi nilai *index of fit* (*r*) terhadap komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Rekapitulasi Nilai *Index of Fit* Waktu Antar Perbaikan Komponen *Bearing*

Index of Fit Data Waktu Antar Perbaikan		
Komponen	Distribusi	Index of Fit (<i>r</i>)
<i>Bearing</i>	Normal	0,989
	Lognormal	0,984
	Weibull	0,997
	Eksponensial	0,925

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.30, terpilihlah nilai *index of fit* waktu antar perbaikan terhadap komponen *bearing* terbesar yaitu 0,997, dimana nilai *index of fit* tersebut mengikuti distribusi Weibull.

4.2.5 Uji Kesesuaian Distribusi (*Goodness Of Fit*)

Uji kesesuaian distribusi dilakukan setelah selesai melakukan perhitungan terhadap nilai *index of fit* berdasarkan data waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan uji secara spesifik terhadap satu jenis distribusi, yaitu uji Kolmogorov-Smirnov untuk distribusi normal dan lognormal, uji Mann untuk distribusi Weibull serta uji Bartlett untuk distribusi eksponensial. Pengujian ini juga menggunakan hipotesis H_0 dan H_1 , dimana hipotesis ini digunakan untuk mengetahui apakah distribusi sesuai dengan apa yang diharapkan. Uji kesesuaian distribusi terhadap data waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan adalah sebagai berikut:

1. Uji kesesuaian distribusi waktu antar kerusakan terhadap komponen-komponen kritis pada mesin *wirecut*

Uji kesesuaian distribusi dilakukan terhadap waktu antar kerusakan komponen kritis mesin *wirecut* dengan nilai *index of fit* terbesar, dimana uji kesesuaian distribusi dengan nilai *index of fit* terbesar adalah sebagai berikut:

- a. Uji kesesuaian distribusi data waktu antar kerusakan komponen *servopack*

Pada rekapitulasi nilai *index of fit* berdasarkan Tabel 4.21, didapatkan nilai *index of fit* terbesar berdistribusi Weibull maka uji kesesuaian yang digunakan adalah uji Mann dengan hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:

H_0 : Data berdistribusi Weibull

H_1 : Data tidak berdistribusi Weibull

Bila pada hasil perhitungan yang didapat nilai $M_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 yang diterima. Akan tetapi, apabila pada hasil perhitungan nilai $M_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_1 yang diterima. Nilai M merupakan nilai uji statistik untuk *Mann's test* sedangkan nilai F_{tabel} diperoleh berdasarkan tabel distribusi F pada lampiran J. Contoh perhitungannya tersebut dapat dilihat pada langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) $t_i = t_1 = 169,08$
- 2) $\ln(t_{i+1}) = \ln(198,00) = 5,28827$
- 3) $\ln(t_i) = \ln(169,08) = 5,13037$
- 4) $\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i) = 5,28827 - 5,13037 = 0,1579$
- 5) $Z_{i+1} = \ln[-\ln(1 - ((i+1)-5)/(n+0,25))]$
 $= \ln[-\ln(1 - (198,00-5)/(6+0,25))] = -1,293$
- 6) $Z_i = \ln[-\ln(1 - ((i-5)/(n+0,25)))]$
 $= \ln[-\ln(1 - ((169,08-5)/(6+0,25)))] = -2,4843$
- 7) $M_i = Z_{i+1} - Z_i = -1,293 - (-2,4843) = 1,19129$

$$8) (\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i))/M_i = 0,1579 / 1,19129 = 0,13254086$$

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan uji kesesuaian distribusi komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Rekapitulasi Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack*

i	t _i	Ln(t _{i+1})	Ln(t _i)	Ln(t _{i+1}) - Ln(t _i)	Z _{i+1}	Z _i	M _i	(ln(t _{i+1}) - ln(t _i))/M _i
1	169,08	5,28827	5,13037	0,1579	-1,293	-2,4843	1,19129	0,13254086
2	198,00	5,49922	5,28827	0,21095	-0,6717	-1,293	0,62131	0,33952335
3	244,50	5,70044	5,49922	0,20123	-0,1973	-0,6717	0,47447	0,42411066
4	299,00	5,72087	5,70044	0,02043	0,24135	-0,1973	0,43861	0,04656904
5	305,17	5,79606	5,72087	0,07519	0,75154	0,24135	0,51019	0,14737372
6	329,00		5,79606					

(Sumber: Pengolahan Data)

Pada Tabel 4.31, didapatkan perhitungan nilai M adalah sebagai berikut:

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

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

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

$$= \frac{3 \times (0,04656904 + 0,14737372)}{2,5 \times (0,13254086 + 0,33952335 + 0,42411066)}$$

$$= \frac{3 \times (0,19394276)}{2,5 \times (0,89617487)}$$

$$= \frac{0,5818288}{2,240437175}$$

$$= 0,2596$$

Perhitungan nilai F_{tabel} pada tabel dengan α = 0,05 adalah sebagai berikut:

$$v_1 = 2k_2 = 2 \times 2,5 = 5$$

$$v_2 = 2k_1 = 2 \times 3 = 6$$

$$F_{tabel(\alpha, v_1, v_2)} = F_{tabel(0,05; 5; 6)} = 3,11$$

Pada perhitungan diatas, diketahui bahwa nilai M_{hitung} adalah sebesar 0,2596 sedangkan nilai F_{tabel} pada tabel sebesar 3,11, sehingga didapatkanlah nilai M_{hitung} < F_{tabel} yaitu 0,2596 < 3,11. Hasil hipotesisnya adalah Ho diterima sehingga data waktu antar kerusakan terhadap komponen *servopack* berdistribusi Weibull.

- b. Uji kesesuaian distribusi data waktu antar kerusakan komponen *bearing*

Pada rekapitulasi nilai *index of fit* berdasarkan Tabel 4.23, didapatkan nilai *index of fit* terbesar berdistribusi Weibull, maka uji kesesuaian yang digunakan adalah uji Mann dengan hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:

H_0 : Data berdistribusi Weibull

H_1 : Data tidak berdistribusi Weibull

Bila pada hasil perhitungan yang didapat nilai $M_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 yang diterima. Akan tetapi, apabila pada hasil perhitungan nilai $M_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_1 yang diterima. Nilai M merupakan nilai uji statistik untuk *Mann's test* sedangkan nilai F_{tabel} diperoleh berdasarkan tabel distribusi F pada lampiran J. Hasil perhitungan uji kesesuaian distribusi komponen *bearing* memiliki cara perhitungan yang sama dengan yang dilakukan terhadap uji kesesuaian distribusi komponen *servopack*. Hasil yang didapat pada perhitungan uji kesesuaian terhadap komponen *bearing* dapat dilihat pada lampiran F. Perhitungan yang didapat pada lampiran F, diketahui bahwa nilai M_{hitung} adalah sebesar 0,7763 sedangkan nilai F_{tabel} pada tabel sebesar 5,46, sehingga didapatkanlah nilai $M_{hitung} < F_{tabel}$ yaitu $0,7763 < 5,46$. Hasil hipotesisnya adalah H_0 diterima sehingga data waktu antar kerusakan terhadap komponen *bearing* berdistribusi Weibull.

2. Uji kesesuaian distribusi waktu antar perbaikan terhadap komponen-komponen kritis pada mesin *wirecut*

Uji kesesuaian distribusi dilakukan terhadap waktu antar perbaikan komponen kritis mesin *wirecut* dengan nilai *index of fit* terbesar, dimana uji kesesuaian distribusi dengan nilai *index of fit* terbesar adalah sebagai berikut:

- a. Uji kesesuaian distribusi data waktu antar perbaikan komponen *servopack*

Pada rekapitulasi *index of fit* berdasarkan Tabel 4.28 didapatkan nilai *index of fit* terbesar berdistribusi normal, maka uji kesesuaian yang digunakan adalah uji Kolmogorov-Smirnov dengan hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:

H_0 : Data berdistribusi normal

H_1 : Data tidak berdistribusi normal

Bila pada hasil perhitungan yang didapat nilai $D_n < D_{tabel}$ maka H_0 yang diterima. Akan tetapi, apabila pada hasil perhitungan nilai $D_n > D_{tabel}$ maka H_1 yang diterima. Nilai D_n merupakan nilai uji statistik untuk uji Kolmogorov-Smirnov sedangkan nilai D_{tabel} diperoleh berdasarkan tabel Kolmogorov-smirnov pada lampiran J. Contoh perhitungannya tersebut dapat dilihat pada langkah-langkah sebagai berikut:

1) $\bar{t} = 22.92 / 7 = 3,279$

2) $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,3989}{6}} = 0,2578$

3) $t_i = 3,00$

- 4) $\ln(t_i) = \ln(3,00) = 1,0986$
- 5) $(t_i - \bar{t}) = 3,00 - 3,279 = -0,2739$
- 6) $(t_i - \bar{t})^2 = (-0,2739)^2 = 0,0750$
- 7) $z_i = (t_i - \bar{t})/s = -0,2739/0,2578 = -1,0621$
- 8) $\phi(z_i)$ nilai y_i diperoleh dari Ms. Excel dengan fungsi $\text{NORMSDIST}[F(t_i)]$.
 $\phi(-1,0621) = 0,1441$
- 9) $D_1(i) = \phi(z_i) - ((i-1)/n) = 0,1441 - ((1-1)/7) = 0,1441$
- 10) $D_2(i) = (i/n) - \phi(z_i) = (1/7) - 0,1441 = -0,0012$

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan uji kesesuaian distribusi komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Rekapitulasi Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi Waktu Antar Perbaikan Komponen *Servopack*

i	t_i	$\ln(t_i)$	$(t_i - \bar{t})$	$(t_i - \bar{t})^2$	$z_i = (t_i - \bar{t})/s$	$\phi(z_i)$	$D_1(i)$	$D_2(i)$
1	3,00	1,0986	-0,2739	0,0750	-1,0621	0,1441	0,1441	-0,0012
2	3,00	1,0986	-0,2739	0,0750	-1,0621	0,1441	0,0012	0,1416
3	3,00	1,0986	-0,2739	0,0750	-1,0621	0,1441	-0,1416	0,2845
4	3,42	1,2288	0,1431	0,0205	0,5552	0,7106	0,2820	-0,1392
5	3,50	1,2528	0,2261	0,0511	0,8770	0,8098	0,2383	-0,0955
6	3,50	1,2528	0,2261	0,0511	0,8770	0,8098	0,0955	0,0474
7	3,50	1,2528	0,2261	0,0511	0,8770	0,8098	-0,0474	0,902
Total	22,92			0,3989	0,0000			

(Sumber: Pengolahan Data)

Pada Tabel 4.33, didapatkan perhitungan nilai D_n adalah sebagai berikut:

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left[\Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right] = 0,2820$$

$$D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left[\frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right] = 0,2845$$

$$D_n = \max \{D_1, D_2\} = 0,2845$$

Perhitungan nilai D_{tabel} dengan $\alpha = 0,05$ adalah sebagai berikut:

$$D_{\text{tabel}(n, \alpha)} = D_{\text{tabel}(7; 0,05)} = 0,483$$

Pada perhitungan diatas, diketahui bahwa nilai D_n adalah sebesar 0,2845 sedangkan nilai D_{tabel} pada tabel sebesar 0,483, sehingga didapatkanlah nilai $D_n < D_{\text{tabel}}$ yaitu $0,2845 < 0,483$. Hasil hipotesisnya adalah H_0 diterima sehingga data waktu antar kerusakan terhadap komponen *servopack* berdistribusi normal.

- b. Uji kesesuaian distribusi data waktu antar perbaikan komponen *bearing*

Pada rekapitulasi *index of fit* berdasarkan Tabel 4.28 didapatkan nilai *index of fit* terbesar berdistribusi Weibull, maka uji kesesuaian yang digunakan adalah

menggunakan uji Mann dengan hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:

H_0 : Data berdistribusi Weibull

H_1 : Data tidak berdistribusi Weibull

Bila pada hasil perhitungan yang didapat nilai $M_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 yang diterima. Akan tetapi, apabila pada hasil perhitungan nilai $M_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_1 yang diterima. Nilai M merupakan nilai uji statistik untuk *Mann's test* sedangkan nilai F_{tabel} diperoleh berdasarkan tabel distribusi F pada lampiran J. Hasil perhitungan uji kesesuaian distribusi komponen *bearing* memiliki cara perhitungan yang sama dengan yang dilakukan terhadap uji kesesuaian distribusi komponen *servopack* pada waktu antar kerusakan. Hasil yang didapat pada perhitungan uji kesesuaian terhadap komponen *bearing* dapat dilihat pada lampiran G. Perhitungan yang didapat pada lampiran G, diketahui bahwa nilai M_{hitung} adalah sebesar 0,4857 sedangkan nilai F_{tabel} pada tabel sebesar 4,14, sehingga didapatkanlah nilai $M_{hitung} < F_{tabel}$ yaitu $0,4857 < 4,14$. Hasil hipotesisnya adalah H_0 diterima sehingga data waktu antar perbaikan terhadap komponen *bearing* berdistribusi Weibull.

4.2.6 Perhitungan Nilai Estimasi Parameter Distribusi Terpilih

Pada tahap ini perhitungan yang dilakukan menggunakan metode estimasi kemungkinan terbesar (*Maximum Likelihood Estimator*). Perhitungan estimasi parameter terhadap data waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan komponen kritis pada distribusi terpilih yang sudah diuji pada pengujian kesesuaian distribusi adalah sebagai berikut.

1. Estimasi parameter waktu antar kerusakan terhadap komponen-komponen kritis pada mesin *wirecut*

Estimasi parameter waktu antar kerusakan pada mesin *wirecut* dilakukan terhadap distribusi terpilih untuk masing-masing komponen adalah sebagai berikut:

- a. Estimasi parameter komponen *servopack*

Pengujian kesesuaian distribusi yang telah dilakukan, diperoleh data waktu antar kerusakan komponen *servopack* mengikuti sebaran Weibull, dimana parameternya adalah β dan θ . Nilai parameter dengan metode estimasi kemungkinan terbesar pada distribusi Weibull didapatkan dengan cara melakukan iterasi. Berdasarkan teori untuk mendapatkan nilai β pada hasil iterasi nilai $g(\beta)$ harus sama dengan nol. Apabila pada hasil iterasi pertama nilai $g(\beta)$ belum sama dengan nol maka dilakukan iterasi selanjutnya untuk mendapatkan hasil nilai $g(\beta)$ sama dengan nol. Contoh perhitungan iterasi nilai estimasi parameter waktu antar kerusakan terhadap komponen *servopack* dapat dilihat pada langkah-langkah sebagai berikut:

1) Hal yang pertama adalah mencari nilai β dengan menghitung nilai \bar{x} terlebih dahulu, dimana perhitungan tersebut berdasarkan pada Tabel 4.19. Perhitungan nilai β tersebut sebagai berikut:

$$\begin{aligned} a) \quad \beta = b &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - ((\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i))}{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \\ &= \frac{(6 \times (-15,2050)) - ((33,1352)(-3,0035))}{(6(183,3455)) - (33,1352)^2} = 3,889 \end{aligned}$$

2) Setelah nilai β diketahui, selanjutnya adalah memulai perhitungan iterasi, dimana contoh perhitungannya dapat dilihat pada langkah-langkah sebagai berikut:

a) t_i (Jam) = 169,08

b) $\ln(t_i) = 5,130371976$

c) $t_i^\beta = t_1^{3,889} = 469330586,2$

d) $t_i^\beta \ln(t_i) = 469330586,2 \times 5,130371976 = 2407840487$

e) $t_i^\beta \ln(t_i)^2 = (2407840487)^2 = 12353117356$

Pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, hasil iterasi pertama uji kesesuaian distribusi waktu antar kerusakan terhadap komponen *servopack* dengan nilai $\beta = 3.889$ dapat dilihat Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Rekapitulasi Perhitungan Iterasi Pertama Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack*

i	t_i (Jam)	$\ln(t_i)$	t_i^β	$t_i^\beta \ln(t_i)$	$t_i^\beta \ln(t_i)^2$
1	169,08	5,130371976	469330586,2	2407840487	12353117356
2	198,00	5,288267031	867674633	4588495155	24265187649
3	244,50	5,499215309	1971999430	1,0844E+10	59635962468
4	299,00	5,700443573	4315465680	2,46E+10	1,40231E+11
5	305,17	5,720868998	4672520491	2,6731E+10	1,52924E+11
6	329,00	5,796057751	6260904269	3,6289E+10	2,10331E+11
Total		33,41541025	33,13522464	18557895090	5,9974E+11

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.33, maka perhitungan nilai $g(\beta)$ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} g(\beta) &= \frac{\sum_{i=1}^r t_i^\beta \ln t_i + (n-r)t_s^\beta \ln t_s}{\sum_{i=1}^r t_i^\beta + (n-r)t_s^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \ln t_i = 0 \\ &= \frac{18557895090}{33.13522464} - \frac{1}{3,889} - \frac{1}{6}(33,41541025) = -0,096709935 \end{aligned}$$

Pada perhitungan diatas didapatkan nilai $g(\beta)$ tidak menghasilkan nilai 0 melainkan sebesar $-0,096709935$, sehingga harus dilakukannya iterasi kedua. Sebelum melakukan iterasi kedua terlebih dahulu menghitung nilai β , dimana

perhitungan nilai β berdasarkan pada Tabel 4.33. Langkah-langkah perhitungan nilai β adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{(33,13522464 \times 5,9974E + 11) - (18557895090)^2}{(33,13522464)^2} + \frac{1}{3,889^2}$$

$$= 0,08936257$$

$$2) \beta_{i+1} = \beta - \frac{g(\beta)}{g'(\beta)} = 3,889 - \frac{(-0,096709935)}{0,08936257} = 4,9741$$

Pada perhitungan diatas, didapatkan nilai $\beta = 4,9741$ sehingga hasil rekapitulasi perhitungan iterasi kedua dapat dilihat pada Tabel 4.34.

Tabel 4.34 Rekapitulasi Perhitungan Iterasi Kedua Waktu Antar Kerusakan
Komponen *Servopack*

i	t _i (Jam)	ln(t _i)	t _i ^β	t _i ^β ln(t _i)	t _i ^β ln(t _i) ²
1	169,08	5,13037	1.20994E+11	6,21E+11	3,18465E+12
2	198,00	5,28827	2.65371E+11	1,4E+12	7,4213E+12
3	244,50	5,49922	7.57791E+11	4,17E+12	2,29166E+13
4	299,00	5,70044	2.06181E+12	1,18E+13	6,69985E+13
5	305,17	5,72087	2.28229E+12	1,31E+13	7,46957E+13
6	329,00	5,79606	3.31739E+12	1,92E+13	1,11445E+14
Total		33,4154	33.1352	8,80564E+12	5,02E+13

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.34, maka perhitungan nilai $g(\beta)$ adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{8,80564E + 12}{33,1352} - \frac{1}{4,9741} - \frac{1}{6}(33,4154) = -0,01939177$$

Pada perhitungan diatas didapatkan nilai $g(\beta)$ tidak menghasilkan nilai 0 melainkan sebesar -0.01939177, sehingga harus dilakukannya iterasi ketiga. Sebelum melakukan iterasi ketiga terlebih dahulu menghitung nilai β , dimana perhitungan nilai β berdasarkan pada Tabel 4.34. Langkah-langkah perhitungan nilai β adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{(5,02E + 13 \times 33,1352) - (8,80564E + 12)^2}{(33,13522464)^2} + \frac{1}{4,9741^2}$$

$$= 0,057025808$$

$$2) \beta_{i+1} = \beta - \frac{g(\beta)}{g'(\beta)} = 4,9741 - \frac{(-0,01939177)}{0,057025808} = 5,3141$$

Pada perhitungan diatas, didapatkan nilai $\beta = 5,3141$ sehingga hasil rekapitulasi perhitungan iterasi ketiga dapat dilihat pada Tabel 4.35.

Tabel 4.35 Rekapitulasi Perhitungan Iterasi Ketiga Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack*

i	t _i (Jam)	ln(t _i)	t _i ^β	t _i ^β ln(t _i)	t _i ^β ln(t _i) ²
1	169,08	5,13037	6,9252E+11	3,55E+12	1,82276E+13
2	198,00	5,28827	1,60266E+12	8,48E+12	4,48195E+13
3	244,50	5,49922	4,91688E+12	2,7E+13	1,48693E+14
4	299,00	5,70044	1,43254E+13	8,17E+13	4,65504E+14
5	305,17	5,72087	1,59678E+13	9,13E+13	5,22601E+14
6	329,00	5,79606	2,38109E+13	1,38E+14	7,99909E+14
Total		33,4154	33,1352	6,13161E+13	3,5E+14

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.35, maka perhitungan nilai $g(\beta)$ adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{6,13161E + 13}{33,1352} - \frac{1}{5,3141} - \frac{1}{6}(33,4154) = -0,001169641$$

Pada perhitungan diatas didapatkan nilai $g(\beta)$ tidak menghasilkan nilai 0 melainkan sebesar -0,001169641, sehingga harus dilakukannya iterasi keempat. Sebelum melakukan iterasi keempat terlebih dahulu menghitung nilai β , dimana perhitungan nilai β berdasarkan pada Tabel 4.35. Langkah-langkah perhitungan nilai β adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{(3,5E + 14 \times 33,1352) - (6,13161E + 13)^2}{(33,1352)^2} + \frac{1}{5,3141^2}$$

$$= 0,050344393$$

$$2) \beta_{i+1} = \beta - \frac{g(\beta)}{g'(\beta)} = 5,3141 - \frac{(-0,001169641)}{0,050344393} = 5,3373$$

Pada perhitungan diatas, didapatkan nilai $\beta = 5,3373$ sehingga hasil rekapitulasi perhitungan iterasi keempat dapat dilihat pada Tabel 4.36.

Tabel 4.36 Rekapitulasi Perhitungan Iterasi Keempat Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack*

i	t _i (Jam)	ln(t _i)	t _i ^β	t _i ^β ln(t _i)	t _i ^β ln(t _i) ²
1	169,08	5,13037	7,80185E+11	4E+12	2,0535E+13
2	198,00	5,28827	1,81217E+12	9,58E+12	5,06786E+13
3	244,50	5,49922	5,58696E+12	3,07E+13	1,68957E+14
4	299,00	5,70044	1,6354E+13	9,32E+13	5,31423E+14
5	305,17	5,72087	1,82377E+13	1,04E+14	5,96888E+14

6	329,00	5,79606	2,72431E+13	1,58E+14	9,15212E+14
Total	33,1352	7,0014E+13	4E+14	2,28369E+15	

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.36, maka perhitungan nilai $g(\beta)$ adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{4E+14}{7,0014E+13} - \frac{1}{5,3373} - \frac{1}{6}(33,1352) = -(4,8307E-06)$$

Pada perhitungan diatas didapatkan nilai $g(\beta)$ tidak menghasilkan nilai 0 melainkan sebesar $-(4,8307E-06)$, sehingga harus dilakukannya iterasi kelima. Sebelum melakukan iterasi kelima terlebih dahulu menghitung nilai β , dimana perhitungan nilai β berdasarkan pada Tabel 4.36. Langkah-langkah perhitungan nilai (β) adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{(2,28369E+15 \times 7,0014E+13) - (4E+14)^2}{(7,0014E+13)^2} + \frac{1}{5,3373^2}$$

$$= 0.049929356$$

$$2) \beta_{i+1} = \beta - \frac{g(\beta)}{g'(\beta)} = 5.3373 - \frac{-(4,8307E-06)}{0,049929356} = 5,3374$$

Pada perhitungan diatas, didapatkan nilai $\beta = 5,3374$ sehingga hasil rekapitulasi perhitungan iterasi keempat dapat dilihat pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Rekapitulasi Perhitungan Iterasi Kelima Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack*

i	t_i (Jam)	$\ln(t_i)$	t_i^β	$t_i^\beta \ln(t_i)$	$t_i^\beta \ln(t_i)^2$
1	169,08	5,13037	7.80572E+11	4E+12	2,05452E+13
2	198,00	5,28827	1.81309E+12	9,59E+12	5,07046E+13
3	244,50	5,49922	5.58994E+12	3,07E+13	1,69047E+14
4	299,00	5,70044	1.6363E+13	9,33E+13	5,31716E+14
5	305,17	5,72087	1.82478E+13	1,04E+14	5,97219E+14
6	329,00	5,79606	2.72584E+13	1,58E+14	9,15726E+14
Total	33,1352	7.00527E+13	4E+14	2,28496E+15	

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.37, maka perhitungan nilai $g(\beta)$ adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{4E+14}{7,00527E+13} - \frac{1}{5,337} - \frac{1}{6}(33,1352) = 0,000000000$$

Pada perhitungan diatas, didapatkan nilai $g(\beta)$ menghasilkan nilai nol dengan iterasi yang dilakukan sebanyak lima kali. Hasil rekapitulasi perhitungan nilai

parameter β waktu antar kerusakan terhadap komponen *servopack* menggunakan metode estimasi kemungkinan terbesar dapat dilihat pada Tabel 4.38.

Tabel 4.38 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Parameter Waktu Antar Kerusakan Terhadap Komponen *Servopack*

iterasi	(β)	$g(\beta)$	$g'(\beta)$	β_{i+1}
1	3,889	-0,096709935	0,08936257	4.,9741048
2	4,9741	-0,01939177	0,057025808	5,3141573
3	5,3141	-0,001169641	0,050344393	5,3373901
4	5,3373	-4,8307E-06	0,049929356	5,3374868
5	5,3374	0,000000000	0,049927638	5,3374868

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.38, diketahui bahwa nilai parameter β waktu antar kerusakan komponen *servopack* terhadap distribusi Weibull adalah 5,3374. Setelah nilai β diketahui, maka selanjutnya mencari nilai parameter θ , dimana perhitungannya berdasarkan pada Tabel 4.37. Perhitungan nilai parameter θ adalah sebagai berikut:

$$\theta = \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^r t_i^\beta \right) \right]^{\frac{1}{\beta}} = \left[\frac{1}{6} (7,00527E + 13) \right]^{\frac{1}{5,3374}} = 280,677$$

Hasil nilai estimasi parameter waktu antar kerusakan komponen *servopack* terhadap distribusi Weibull dapat dilihat pada Tabel 4.39.

Tabel 4.39 Nilai Estimasi Parameter Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack*

Komponen	Distribusi	Estimasi Parameter (Jam)
<i>Servopack</i>	Weibull	$\beta = 5,337$ $\theta = 280,677$

(Sumber: Pengolahan Data)

Setelah nilai parameter distribusi Weibull diketahui, maka selanjutnya adalah menentukan laju kerusakan dari komponen *servopack* untuk mengetahui letak daerah/ fase pada kurva *bathub*. Contoh perhitungan laju kerusakan komponen *servopack* dapat dilihat pada langkah berikut ini.

$$1) \lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} = \frac{5,337}{280,677} \left(\frac{169,08}{280,677} \right)^{5,337-1} = 0,00211$$

Pada langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan laju kerusakan komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.40.

Tabel 4.40 Rekapitulasi Nilai Laju Kerusakan Komponen *Servopack*

No.	Waktu (t)	Laju Kerusakan (λ)		
		$\beta < 1$	$\beta = 1$	$\beta > 1$
1	169,08	0,002295	0,003563	0,00211

2	198,00	0,002121	0,003563	0,00419
3	244,50	0,001909	0,003563	0,01045
4	299,00	0,001726	0,003563	0,02502
5	305,17	0,001708	0,003563	0,02733
6	329,00	0,001645	0,003563	0,03787

(Sumber: Pengolahan Data)

b. Estimasi parameter komponen *bearing*

Pengujian kesesuaian distribusi yang telah dilakukan, diperoleh data waktu antar kerusakan komponen *bearing* mengikuti sebaran Weibull, dimana parameternya adalah β dan θ . Nilai parameter dengan metode estimasi kemungkinan terbesar pada distribusi Weibull didapatkan dengan cara melakukan iterasi. Berdasarkan teori untuk mendapatkan nilai β pada hasil iterasi nilai $g(\beta)$ harus sama dengan nol. Apabila pada hasil iterasi pertama nilai $g(\beta)$ belum sama dengan nol maka dilakukan iterasi selanjutnya untuk mendapatkan hasil nilai $g(\beta)$ sama dengan nol. Langkah-langkah perhitungan iterasi waktu antar kerusakan terhadap komponen *bearing* adalah sebagai berikut:

- 1) Hal yang pertama adalah mencari nilai β dengan menghitung nilai \bar{x} terlebih dahulu, dimana perhitungan tersebut berdasarkan pada tabel yang ada pada lampiran C. Perhitungan nilai β tersebut adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{(3 \times (-7,9008)) - ((18,0322 \times (-1,3762))}{(3(108,4630)) - (18,0322)^2} = 4.868$$

- 2) Setelah nilai β diketahui maka selanjutnya adalah memulai perhitungan iterasi. Perhitungan hasil iterasi komponen *bearing* memiliki cara perhitungan yang sama dengan yang dilakukan terhadap komponen *servopack*, dimana hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada lampiran H.

Hasil rekapitulasi perhitungan nilai parameter β waktu antar kerusakan terhadap komponen *bearing* menggunakan metode estimasi kemungkinan terbesar dapat dilihat pada Tabel 4.41.

Tabel 4.41 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Parameter Waktu Antar Kerusakan Terhadap Komponen *Bearing*

iterasi	(β)	$g(\beta)$	$g'(\beta)$	β_{i+1}
1	4,868	-0,116713903	0,054127199	6,99673506
2	6,9967	-0,033429947	0,027509166	8,211964454
3	8,2119	-0,004726291	0,020262551	8,445216959
4	8,4452	-0,000126347	0,019193181	8,451799888
5	8,4518	-0,000000095	0,019164197	8,451804868

6	8,4518	0,000000000	0,019164175	8,451804868
---	--------	-------------	-------------	-------------

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.40, diketahui bahwa nilai parameter β waktu antar kerusakan komponen *bearing* terhadap distribusi Weibull adalah 8,452. Setelah nilai β diketahui, maka selanjutnya mencari nilai parameter θ , dimana perhitungan nilai θ berdasarkan hasil iterasi keenam pada lampiran H terhadap komponen *bearing*. Perhitungan nilai parameter θ adalah sebagai berikut:

$$\theta = \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^r t_i^\beta \right) \right]^{\frac{1}{\beta}} = \left[\frac{1}{3} (6,50221E + 22) \right]^{\frac{1}{8,452}} = 439,281$$

Hasil nilai estimasi parameter waktu antar kerusakan komponen *bearing* terhadap distribusi Weibull dapat dilihat pada Tabel 4.42.

Tabel 4.42 Nilai Estimasi Parameter Waktu Antar Kerusakan Komponen *Bearing*

Komponen	Distribusi	Estimasi Parameter (Jam)
<i>Bearing</i>	Weibull	$\beta = 8,452$ $\theta = 439,281$

(Sumber: Pengolahan Data)

Setelah nilai parameter distribusi Weibull diketahui, maka selanjutnya adalah menentukan laju kerusakan dari komponen *servopack* untuk mengetahui letak wilayah/ fase pada kurva *bathub*. Contoh perhitungan laju kerusakan komponen *servopack* dapat dilihat pada langkah berikut ini.

$$1) \lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} = \frac{8,452}{439,281} \left(\frac{327,5}{439,281} \right)^{8,452-1} = 0,002157$$

Pada langkah yang telah dijelaskan diatas, untuk rekapitulasi hasil perhitungan laju kerusakan komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel 4.43.

Tabel 4.43 Rekapitulasi Nilai Laju Kerusakan Komponen *Bearing*

No.	Waktu (t)	Laju Kerusakan (λ)		
		$\beta < 1$	$\beta = 1$	$\beta > 1$
1	327,50	0,001318	0,002276	0,002157
2	433,75	0,001145	0,002276	0,017507
3	477,33	0,001092	0,002276	0,035731

(Sumber: Pengolahan Data)

2. Estimasi parameter waktu antar perbaikan terhadap komponen-komponen kritis pada mesin *wirecut*

Estimasi parameter waktu antar perbaikan mesin *wirecut* dilakukan terhadap distribusi terpilih untuk masing-masing komponen adalah sebagai berikut:

a. Estimasi parameter komponen *servopack*

Pengujian kesesuaian distribusi yang telah dilakukan, diperoleh data waktu antar perbaikan komponen *servopack* mengikuti sebaran normal, dimana parameternya adalah μ dan σ . Contoh perhitungan nilai estimasi parameter

waktu antar perbaikan terhadap komponen *servopack* dapat dilihat pada langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) t_i (Jam) = 3,00
- 2) $t_i^2 = (3,00)^2 = 9,00$

pada langkah-langkah yang telah dijelaskan diatas, rekapitulasi hasil perhitungan estimasi parameter waktu antar perbaikan komponen *servopack* dapat dilihat pada Tabel 4.44.

Tabel 4.44 Rekapitulasi Perhitungan Estimasi Parameter Waktu Antar Perbaikan Terhadap Komponen *Servopack*

i	t_i (Jam)	t_i^2
1	3,00	9,00

Lanjut...

Tabel 4.44 Rekapitulasi Perhitungan Estimasi Parameter Waktu Antar Perbaikan Terhadap Komponen *Servopack* (Lanjutan)

i	t_i (Jam)	t_i^2
2	3,00	9,00
3	3,00	9,00
4	3,42	11,68
5	3,50	12,25
6	3,50	12,25
7	3,50	12,25
Total	22,92	75,43

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan rekapitulasi perhitungan pada Tabel 4.44, nilai parameter komponen *servopack* terhadap distribusi normal adalah sebagai berikut:

$$\mu = \bar{x} = \frac{\sum t_i}{n} = \frac{22,92}{7} = 3,274$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^2 - n\bar{x}^2}{n-1} = \frac{75,43 - 7(3,274^2)}{7-1} = 0,066$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(n-1)s^2}{n}} = \sqrt{\frac{(7-1)(0,066)}{7}} = 0,061$$

= 0.061

Hasil nilai estimasi parameter waktu antar perbaikan komponen *servopack* terhadap distribusi normal dapat dilihat pada Tabel 4.45.

Tabel 4.45 Nilai Estimasi Parameter Waktu Antar Perbaikan Komponen *Servopack*

Komponen	Distribusi	Estimasi Parameter (Jam)
<i>Servopack</i>	Normal	$\mu = 3,274$ $\sigma = 0,061$

(Sumber: Pengolahan Data)

b. Estimasi parameter komponen *bearing*

Pengujian kesesuaian distribusi yang telah dilakukan, diperoleh data waktu antar perbaikan komponen *bearing* mengikuti sebaran Weibull, dimana parameternya adalah β dan θ . Nilai parameter dengan metode estimasi kemungkinan terbesar pada distribusi Weibull didapatkan dengan cara melakukan iterasi. Berdasarkan teori untuk mendapatkan nilai β pada hasil iterasi nilai $g(\beta)$ harus sama dengan nol. Apabila pada hasil iterasi pertama nilai $g(\beta)$ belum sama dengan nol maka dilakukan iterasi selanjutnya untuk mendapatkan hasil nilai $g(\beta)$ sama dengan nol. Langkah-langkah perhitungan iterasi waktu antar perbaikan terhadap komponen *bearing* adalah sebagai berikut:

1) Hal yang pertama adalah mencari nilai β dengan menghitung nilai \bar{x} terlebih dahulu, dimana perhitungan tersebut berdasarkan pada tabel yang ada pada lampiran E. Perhitungan nilai β tersebut adalah sebagai berikut:

$$a) \beta = b = \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - ((\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i))}{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \frac{(4 \times (-1,6248)) - ((4,1465) \times (-1,9110))}{(4(108,4630)) - (4,1465)^2} = 8,4964$$

2) Setelah nilai β diketahui maka selanjutnya adalah memulai perhitungan iterasi. Perhitungan hasil iterasi komponen *bearing* memiliki cara perhitungan yang sama dengan yang dilakukan terhadap komponen *servopack* pada waktu antar kerusakan, dimana hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada lampiran I.

Hasil rekapitulasi perhitungan nilai parameter β waktu antar perbaikan terhadap komponen *bearing* menggunakan metode estimasi kemungkinan terbesar dapat dilihat pada Tabel 4.46.

Tabel 4.46 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Parameter Waktu Antar Kerusakan Terhadap Komponen *Bearing*

iterasi	β	$g(\beta)$	$g'(\beta)$	b_{i+1}
1	8,4964	-0,051989638	0,01876	11,2670
2	11,267	-0,011419216	0,01143	12,2662
3	12,266	-0,000839225	0,00981	12,3517
4	12,351	-0,000005267	0,00969	12,3523
5	12,352	0,000000000	0,00969	12,3523

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.45, diketahui bahwa nilai parameter β waktu antar perbaikan komponen *bearing* terhadap distribusi Weibull adalah 12.352. Setelah nilai β diketahui, maka selanjutnya mencari nilai parameter θ , dimana

perhitungan nilai θ berdasarkan hasil iterasi kelima pada Lampiran I.

Perhitungan nilai parameter θ adalah sebagai berikut:

$$\theta = \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^r t_i^\beta \right) \right]^{\frac{1}{\beta}} = \left[\frac{1}{4} (2650060) \right]^{\frac{1}{12,352}} = 2,959$$

Hasil nilai estimasi parameter waktu antar perbaikan komponen *bearing* terhadap distribusi Weibull dapat dilihat pada Tabel 4.47.

Tabel 4.47 Nilai Estimasi Parameter Waktu Antar Perbaikan Komponen *Bearing*

Komponen	Distribusi	Estimasi Parameter (Jam)
<i>Bearing</i>	Weibull	$\beta = 12,352$ $\theta = 2,959$

(Sumber: Pengolahan Data)

4.2.7 Perhitungan Mean Time To Failure (MTTF)

Tahap selanjutnya adalah menghitung nilai MTTF untuk setiap komponen, dimana sebelumnya sudah menghitung nilai estimasi parameter waktu antar kerusakan. Nilai MTTF terhadap waktu antar kerusakan adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan MTTF komponen *servopack*

Perhitungan MTTF komponen *bearing* berdistribusi Weibull berdasarkan Tabel 4.39, dimana nilai τ pada perhitungan MTTF didapat berdasarkan pada tabel Gamma yang terdapat pada lampiran J. Perhitungan MTTF komponen *servopack* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} MTTF &= \hat{\theta} \tau \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 280,677 \tau \left(1 + \frac{1}{5,337} \right) \\ &= 280,677 \tau (1,19) \\ &= 280,677 \times (0,92089) \\ &= 258,473 \text{ jam} \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan nilai MTTF komponen *servopack* adalah sebesar 258,473 jam.

2. Perhitungan MTTF komponen *bearing*

Perhitungan MTTF komponen *bearing* berdistribusi Weibull berdasarkan Tabel 4.41, dimana nilai τ pada perhitungan MTTF didapat berdasarkan pada tabel Gamma yang terdapat pada lampiran J. Perhitungan MTTF komponen *bearing* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} MTTF &= \hat{\theta} \tau \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 439,281 \left(1 + \frac{1}{8,452} \right) \\ &= 439,281 \tau (1,12) \end{aligned}$$

$$= 439281 \times (0,94359)$$

$$= 414,50 \text{ jam}$$

Hasil dari perhitungan nilai MTTF komponen *bearing* adalah sebesar 414,50 jam.

4.2.8 Perhitungan Mean Time to Repair (MTTR)

Tahap selanjutnya adalah menghitung nilai MTTR untuk setiap komponen, dimana sebelumnya sudah menghitung nilai estimasi parameter untuk waktu antar perbaikan. Nilai MTTR terhadap waktu antar perbaikan adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan MTTR komponen *servopack*

Perhitungan MTTR komponen *servopack* berdistribusi normal berdasarkan Tabel 4.43, dimana nilai MTTR sama dengan nilai parameter. Perhitungan MTTF komponen *servopack* adalah sebagai berikut.

$$MTTR = \mu$$

$$= 3,274 \text{ jam}$$

Hasil dari perhitungan nilai MTTR komponen *servopack* adalah sebesar 3,274 jam.

2. Perhitungan MTTR komponen *bearing*

Perhitungan MTTR komponen *bearing* berdistribusi Weibull berdasarkan Tabel 4.45, dimana nilai τ pada perhitungan MTTR didapat berdasarkan tabel Gamma yang terdapat di lampiran J. Perhitungan MTTR komponen *bearing* adalah sebagai berikut.

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

$$= 2,959 \tau \left(1 + \frac{1}{12,352} \right)$$

$$= 2,959 \tau (1,08)$$

$$= 2,959 \times (0,95973)$$

$$= 2,839 \text{ jam}$$

Hasil dari perhitungan nilai MTTR komponen *bearing* adalah sebesar 2,839 jam.

4.2.9 Perhitungan Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria

Minimasi Downtime

Perhitungan waktu pencegahan/ *time preventive* (tp) dilakukan menggunakan metode *age replacement*, dimana perhitungan untuk komponen kritis didasarkan pada distribusi yang dipilih. Perhitungan nilai tp dilakukan dengan cara *trial and error* untuk mendapatkan nilai *downtime* (D(tp)) untuk kerusakan komponen mesin yang paling minimum. Interval waktu penggantian komponen adalah sebagai berikut:

1. Interval waktu penggantian komponen *servopack*

- a. Data waktu kerusakan berdistribusi Weibull

$$MTTF = 258,473 \text{ jam}$$

- b. Data waktu perbaikan berdistribusi normal

$$MTTR = 3,274 \text{ jam}$$

Diasumsikan $T_f = T_p = 3,274 \text{ jam}$

Rekapitulasi hasil perhitungan terhadap D(tp) dengan menggunakan *trial and error* dapat dilihat pada Tabel 4.48.

Tabel 4.48 *Trial and Error* Komponen *Servopack*

tp	R(tp)	tp*R(tp)	1-(R(tp))	Tf*(1-R(Tp))	M(Tp)	D(tp)
169	0,935472	158,094787	0,064528	0,211264	4005,601459	0,007798

Lanjut...

Tabel 4.48 *Trial and Error* Komponen *Servopack* (Lanjutan)

tp	R(tp)	tp*R(tp)	1-(R(tp))	Tf*(1-R(Tp))	M(Tp)	D(tp)
179	0,913332	163,486392	0,086668	0,283752	2982,327888	0,007699
189	0,885883	167,431873	0,114117	0,373619	2264,980917	0,007629
199	0,852527	169,652802	0,147473	0,482828	1752,675891	0,007589
209	0,812798	169,874873	0,187202	0,612898	1380,720313	0,007585
219	0,766444	167,851323	0,233556	0,764661	1106,687217	0,007621
229	0,713503	163,392181	0,286497	0,937991	902,183882	0,007701

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.48, diketahui bahwa:

- Downtime* minimum (D(tp)) = 0,007585
- Interval waktu penggantian optimum (tp) = 209 jam = 32 hari
- Avaibility* (A(tp)) = 1 – 0,007585 = 0,9924

Kemampuan komponen untuk melaksanakan fungsinya sebesar 99,24% dan dilakukan penggantian komponen *servopack* setiap 209 jam atau 32 hari, dimana proses perhitungannya adalah sebagai berikut :

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

$$= \exp \left[- \left(\frac{209}{280,677} \right)^{5,337} \right]$$

$$= 0,812798$$
- $(tp \times R(tp)) = (209 \times 0,812798) = 169,874873$
- $F(tp) = 1 - R(tp) = 1 - 0,812798 = 0,187202$
- $M(tp) = \frac{MTTF}{F(tp)} = \frac{258,473}{0,187202} = 1380,720313$
- $$D(tp) = \frac{(Tp \times R(tp)) + (Tf \times (1 - R(tp)))}{((tp + Tp) \times R(tp)) + ((M(tp) + Tf) \times (1 - R(tp)))}$$

$$= \frac{(3,277 \times 0,812798) + (3,274 \times 0,187202)}{((209 + 3,274) \times 0,812798) + (1380,720313 + 3,274) \times 0,187202}$$

$$= 0,007585$$

2. Interval waktu penggantian komponen *bearing*

- Data waktu kerusakan berdistribusi Weibull

$$MTTF = 414,50 \text{ jam}$$

b. Data waktu perbaikan berdistribusi Weibull

$$MTTR = 2,839 \text{ jam}$$

Diasumsikan $T_f = T_p = 2,839 \text{ jam}$

Hasil perhitungan terhadap $D(tp)$ dengan menggunakan *trial and error* dapat dilihat pada Tabel 4.49.

Tabel 4.49 *Trial and Error* Komponen *Bearing*

tp	R(tp)	tp*R(tp)	1-(R(tp))	Tf*(1-R(Tp))	M(Tp)	D(tp)
327	0,920803614	301,102782	0,079196386	0,224839	5233,82	0,003951608
332	0,910465365	302,274501	0,089534635	0,254189	4629,49	0,003945173
337	0,899036892	302,975433	0,100963108	0,286634	4105,46	0,003941334
342	0,88644199	303,163161	0,11355801	0,322391	3650,12	0,003940307
347	0,872605481	302,794102	0,127394519	0,361673	3253,67	0,003942327
352	0,857454628	301,824029	0,142545372	0,404686	2907,85	0,003947645
357	0,840920785	300,20872	0,159079215	0,451626	2605,62	0,003956531

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.49, diketahui bahwa:

- Downtime* minimum ($D(tp)$) = 0,003940307
- Interval waktu penggantian optimum (tp) = 342 jam = 52 hari
- Availability* ($A(tp)$) = $1 - 0,003940307 = 0,9961$

Kemampuan komponen untuk melaksanakan fungsinya sebesar 99,61% dan dilakukan penggantian komponen *bearing* setiap 342 jam atau 52 hari. Dimana proses perhitungannya adalah sebagai berikut :

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

$$= \exp \left[- \left(\frac{342}{439,281} \right)^{8,452} \right]$$

$$= 0,88644199$$
- $(tp \times R(tp)) = (342 \times 0,88644199) = 303,163161$
- $F(tp) = 1 - R(tp) = 1 - 0,88644199 = 0,11335801$
- $M(tp) = \frac{MTTF}{F(tp)} = \frac{414,50}{0,11335801} = 3650,12$
- $$D(tp) = \frac{(Tp \times R(tp)) + (Tf \times (1 - R(tp)))}{((tp + Tp) \times R(tp)) + ((M(tp) + Tf) \times (1 - R(tp)))}$$

$$= \frac{(2,839 \times 0,88644199) + (2,839 \times 0,11335801)}{((342 + 2,839) \times 0,88644199) + (3650,12 + 2,839) \times 0,11335801}$$

$$= 0,003940307$$

4.2.10 Perhitungan Tingkat Keandalan Tanpa dan dengan Penggantian Pencegahan Kerusakan

Perhitungan yang dilakukan sebelumnya diperoleh data-data sebagai berikut:

1. Komponen *Servopack*

- a. Data waktu kerusakan berdistribusi Weibull dengan parameter-parameter:

$$MTTF = 258,473$$

$$\beta = 5,337$$

$$\theta = 280,677$$

- b. Data waktu perbaikan berdistribusi normal dengan parameter-parameter:

$$MTTR = 3,274$$

$$\mu = 3,274$$

$$\sigma = 0,061$$

Diketahui dari data-data diatas, sebagai berikut:

- a. Diasumsikan nilai $MTTR = T_f = T_p = 3,274$

- b. Nilai $t_p = T = 209$

Oleh karena itu nilai $t = 258,473$, berada pada selang :

$$1 \times 209 \leq t \leq (1+1) 209$$

$$209 \leq t \leq 418$$

Dengan demikian $n = 1$

- a. Tanpa tindakan pencegahan

$$\begin{aligned} R(t) &= \exp \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \\ &= \exp \left[- \left(\frac{258,473}{280,677} \right)^{5,337} \right] \\ &= 0,5251 \end{aligned}$$

- b. Tindakan Pencegahan

$$\begin{aligned} R(t - nT) &= \exp \left[- \left(\frac{t - nT}{\theta} \right)^\beta \right] \\ &= \exp \left[- \left(\frac{258,473 - (1 \times 209)}{280,677} \right)^{5,337} \right] \\ &= 0,9999 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(T) &= \exp \left[- \left(\frac{T}{\theta} \right)^\beta \right] \\ &= \exp \left[- \left(\frac{209}{280,677} \right)^{5,337} \right] \\ &= 0,8128 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_m(t) &= R(T)^n \times R(t - nT) \\ &= (0,8128)^1 \times 0,9999 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,8128 \\
\text{Peningkatan Reliability} &= \frac{Rm(t)-R(t)}{R(t)} \times 100\% \\
&= \frac{0,8128 - 0,5251}{0,5251} \times 100\% \\
&= 54,78\%
\end{aligned}$$

2. Komponen Bearing

- a. Data waktu kerusakan berdistribusi Weibull dengan parameter-parameter:

$$MTTF = 414,50$$

$$\beta = 8,452$$

$$\theta = 439,281$$

- b. Data waktu perbaikan berdistribusi Weibull dengan parameter-parameter:

$$MTTR = 2,839$$

$$\beta = 12,352$$

$$\theta = 2,959$$

Diketahui dari data-data diatas, sebagai berikut:

- a. Diasumsikan nilai $MTTR = T_f = T_p = 2,839$
b. Nilai $t_p = T = 342$

Oleh karena itu nilai $t = 414,50$, berada pada selang :

$$1 \times 342 \leq t \leq (1+1) 342$$

$$360 \leq t \leq 684$$

Dengan demikian $n = 1$

- a. Tanpa tindakan pencegahan

$$\begin{aligned}
R(t) &= \exp \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \\
&= \exp \left[- \left(\frac{414,50}{439,281} \right)^{8,452} \right] \\
&= 0,5422
\end{aligned}$$

- b. Tindakan Pencegahan

$$\begin{aligned}
R(t - nT) &= \exp \left[- \left(\frac{t - nT}{\theta} \right)^\beta \right] \\
&= \exp \left[- \left(\frac{414,50 - (1 \times 342)}{439,281} \right)^{8,452} \right] \\
&= 0,9999
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R(T) &= \exp \left[- \left(\frac{T}{\theta} \right)^\beta \right] \\
&= \exp \left[- \left(\frac{342}{439,281} \right)^{8,452} \right] \\
&= 0,8864
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_m(t) &= R(T)^n \times R(t - nT) \\ &= (0,8864)^1 \times 0,9999 \\ &= 0,8864\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Peningkatan Reliability} &= \frac{R_m(t) - R(t)}{R(t)} \times 100\% \\ &= \frac{0,8864 - 0,5422}{0,5422} \times 100\% \\ &= 63,50\%\end{aligned}$$

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Komponen Kritis Pada Mesin *Wirecut*

Penentuan komponen kritis dilakukan dengan melakukan perhitungan dan membuat diagram Pareto, dimana didapatkan bahwa yang termasuk komponen kritis dari mesin *wirecut* adalah *servopack*, *bs. sens cable*, dan *bearing*. Komponen-komponen tersebut dipilih berdasarkan frekuensi kerusakan mesin *wirecut*, komponen kritis terpilih memiliki frekuensi kerusakan terbesar, yaitu komponen *servopack* memiliki frekuensi kerusakan sebanyak tujuh kali, *bs. sens cable* sebanyak lima kali, dan *bearing* sebanyak empat kali.

5.2 Analisis Perhitungan Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Antar Perbaikan

Pada analisis ini dilakukan perhitungan untuk jarak waktu yang ada antar setiap kerusakan sampai kerusakan berikutnya terjadi pada setiap komponen. Selain itu juga perhitungan lama waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki setiap kerusakan mesin atau komponen.

Pada pengolahan data didapatkan bahwa selang waktu untuk setiap komponen rusak memiliki waktu yang bervariasi. Selang waktu kerusakan komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 4.11 untuk komponen *servopack*, Tabel 4.13 untuk komponen *bs. sens cable*, dan Tabel 4.14 untuk komponen *bearing*. Selang waktu antar kerusakan komponen *servopack* yang tercepat adalah 169 jam dan yang terlama adalah 329 jam, komponen *bs. sens cable* tercepat adalah 175,83 jam dan yang terlama adalah 731 jam, dan komponen *bearing* tercepat adalah 327,50 jam dan waktu terlama adalah 477,33 jam. Hal tersebut dipengaruhi oleh besarnya beban produksi pada saat-saat tertentu, karena mesin tidak kuat menanggung beban yang terlalu berat bila permintaan dari konsumen terlalu banyak sehingga mudah rusak.

Pada pengolahan data selang waktu antar perbaikan juga memiliki waktu yang bervariasi. Selang waktu antar perbaikan setiap komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 4.14 untuk komponen *servopack*, Tabel 4.15 untuk komponen *bs. sens cable*, dan pada Tabel 4.16 untuk komponen *bearing*. Selang waktu antar komponen *servopack* memiliki waktu perbaikan tercepat adalah 3 jam dan yang terlama adalah 3,5 jam, komponen *bs. sens cable* tercepat adalah 3 jam dan yang terlama adalah 4 jam, komponen *bearing* tercepat adalah 2,75 jam dan yang terlama 3,17 jam. Waktu perbaikan tersebut dipengaruhi dari keterampilan atau teknik yang berbeda-beda oleh pihak luar. Selain itu penyebab yang paling berpengaruh adalah walaupun jenis kerusakannya sama tetapi tingkat keparahannya belum tentu sama.

5.3 Analisis Identifikasi Distribusi

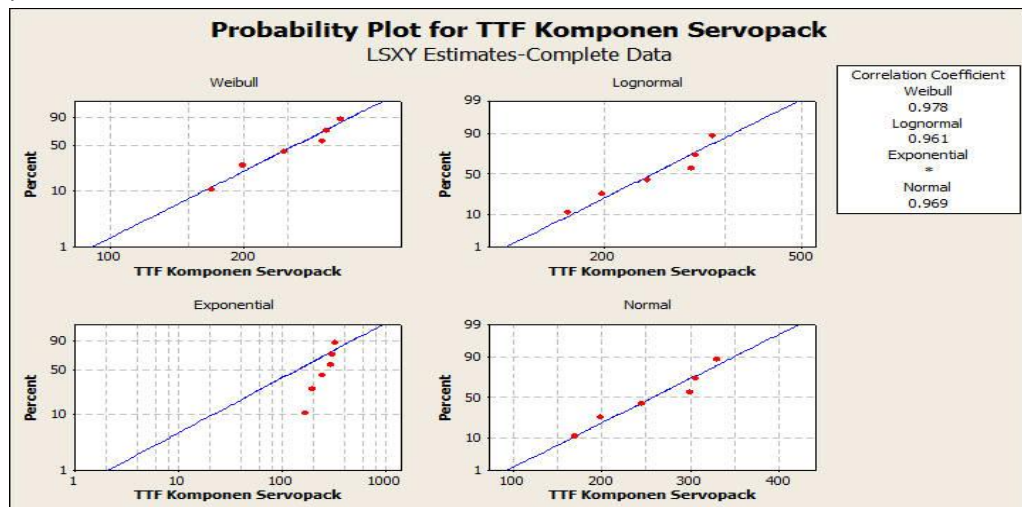
Metode yang digunakan untuk menentukan distribusi kerusakan adalah metode *least square curve fitting*. Pemilihan distribusi ini berdasarkan pengujian nilai *index of fit* yang ditunjukkan dengan hasil terbesar. Nilai *index of fit* terbesar diartikan sebagai distribusi yang paling sesuai untuk data-data kerusakan dari suatu komponen. Perhitungan *index of fit* dilakukan terhadap empat macam distribusi kerusakan yaitu distribusi normal, lognormal, Weibull, dan eksponensial. Perhitungan nilai *index of fit* dilakukan secara manual dengan bantuan Ms. Excel dan diperkuat dengan menggunakan *software* Minitab 14, dimana hasil pengujian dengan menggunakan *software* Minitab 14 dan manual adalah sebagai berikut:

5.3.1 Index Of Fit Waktu Antar kerusakan

Hasil perhitungan untuk data waktu kerusakan yang telah dilakukan baik secara manual maupun dengan menggunakan *software* Minitab 14 adalah sebagai berikut.

1. Komponen *servopack* untuk waktu antar kerusakan

Hasil nilai *index of fit* yang dihitung menggunakan *software* Minitab 14 dapat dilihat pada Tabel 5.1.



Gambar 5.1 Pengujian *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack* dengan Minitab 14
(Sumber: Minitab 14)

Berdasarkan Gambar 5.1, terdapat empat grafik distribusi kerusakan yaitu distribusi Weibull, lognormal, eksponensial, dan normal, dimana untuk penjelasan pada setiap grafik distribusi kerusakan adalah sebagai berikut:

a. Grafik distribusi Weibull

Grafik distribusi Weibull terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan Tabel 4.19. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar kerusakan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar kerusakan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi Weibull

adalah sebesar 0,978. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar pertama dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

b. Grafik distribusi lognormal

Grafik distribusi lognormal terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan Tabel 4.18. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar kerusakan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar kerusakan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi lognormal adalah sebesar 0,961. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar kedua dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

c. Grafik distribusi eksponensial

Grafik distribusi eksponensial terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan Tabel 4.20. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar kerusakan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar kerusakan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi eksponensial tidak terdefiniskan karena laju kerusakan dari distribusi kerusakan eksponensial adalah konstan. Oleh karena itu, distribusi tersebut tidak diperlukan untuk dilakukan tindakan penggantian pencegahan karena tidak akan meningkatkan nilai keandalan mesin.

d. Grafik distribusi normal

Grafik distribusi eksponensial terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan Tabel 4.17. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar kerusakan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar kerusakan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi normal adalah sebesar 0,969. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar ketiga dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

Berdasarkan Gambar 5.1 rekapitulasi nilai *index of fit* pada Minitab 14 dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Nilai *Index Of fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Servopack* Menggunakan *Software* Minitab 14

No.	Distribusi Kerusakan	<i>Index of Fit</i>
1	Distribusi Weibull	0,978
2	DistribRusi Lognormal	0,961
3	Distribusi Eksponensial	*
4	Distribusi Normal	0.969

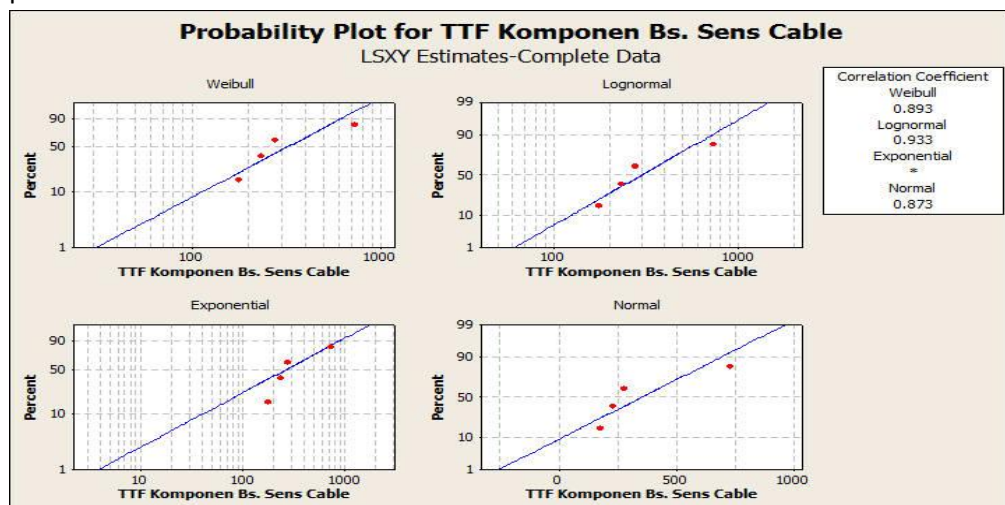
(Sumber: Pengolahan Data)

Pada Tabel 5.1, nilai *index of fit* yang dipilih pada analisis yang dilakukan sebelumnya adalah terbesar pertama yaitu sebesar 0.978 yang berdistribusi Weibull, sedangkan pada Tabel 4.21, nilai *index of fit* terbesar yang dipilih juga mengikuti distribusi

Weibull dengan nilai sebesar 0,978. Pada perhitungan menggunakan *software* maupun manual hasil yang didapat dari kedua perhitungan tersebut adalah sama yaitu sebesar 0,978, untuk itu distribusi yang dipilih adalah Weibull. Distribusi yang dipilih kemudian diuji kesesuaian distribusinya menggunakan uji Mann, sehingga didapatkan hasil distribusi yang dipilih adalah sama yaitu Weibull. Setelah distribusi Weibull dipilih maka selanjutnya adalah menghitung nilai estimasi parameternya.

2. Komponen *bearing* untuk waktu antar kerusakan

Hasil nilai *index of fit* yang dihitung menggunakan *software* Minitab 14 dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Pengujian *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *B.s Sens Cable* dengan Minitab 14
(Sumber: Minitab 14)

Berdasarkan Gambar 5.2, terdapat empat grafik distribusi kerusakan yaitu distribusi Weibull, lognormal, eksponensial, dan normal, dimana grafik-grafik tersebut menggambarkan *index of fit* pada data waktu kerusakan. Penjelasan untuk setiap grafik distribusi kerusakan adalah sebagai berikut:

a. Grafik distribusi Weibull

Grafik distribusi Weibull terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran B. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar kerusakan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar kerusakan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi Weibull adalah sebesar 0,893. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar pertama dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

b. Grafik distribusi lognormal

Grafik distribusi lognormal terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran B. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar kerusakan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar kerusakan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi lognormal adalah sebesar 0,933. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar kedua dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

c. Grafik distribusi eksponensial

Grafik distribusi eksponensial terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran B. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar kerusakan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar kerusakan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi eksponensial tidak terdefiniskan karena laju kerusakan dari distribusi kerusakan eksponensial adalah konstan. Oleh karena itu, distribusi tersebut tidak diperlukan untuk dilakukan tindakan penggantian pencegahan karena tidak akan meningkatkan nilai keandalan mesin.

d. Grafik distribusi normal

Grafik distribusi eksponensial terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan Tabel lampiran B. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar kerusakan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar kerusakan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi normal adalah sebesar 0,873. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar ketiga dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

Berdasarkan Gambar 5.2 rekapitulasi nilai *index of fit* pada Minitab 14 dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Nilai *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Bs. sens Cable* Menggunakan *Software* Minitab 14

No.	Distribusi Kerusakan	<i>Index of Fit</i>
1	Distribusi Weibull	0,893
2	DistribRusi Lognormal	0,933
3	Distribusi Eksponensial	*
4	Distribusi Normal	0.873

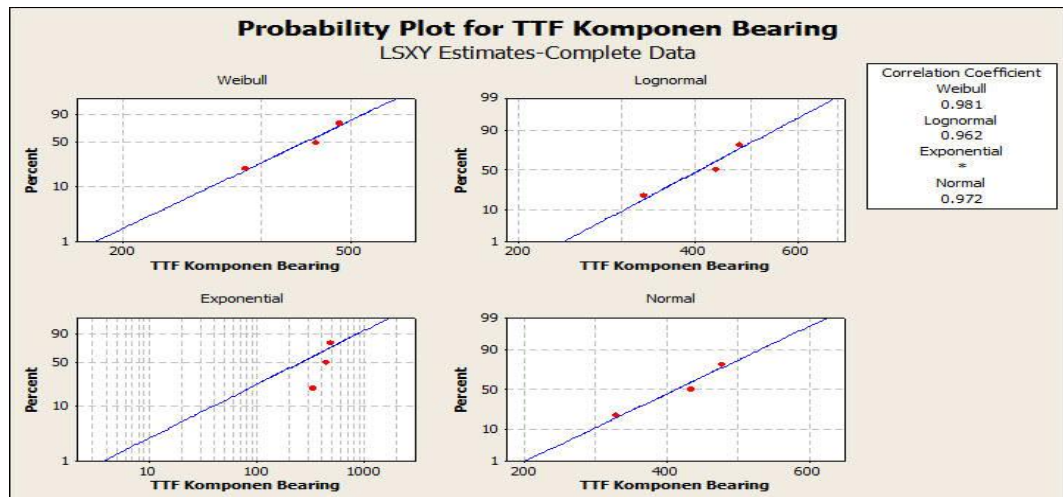
(Sumber: Pengolahan Data)

Pada Tabel 5.2, nilai *index of fit* yang dipilih pada analisis yang dilakukan sebelumnya adalah terbesar pertama yaitu sebesar 0.933 yang berdistribusi Weibull, sedangkan pada Tabel 4.21 yang dipilih adalah distribusi Eksponensial dengan nilai *index of fit* sebesar 0,955. Pada Tabel 5.2 nilai pada distribusi eksponensial tidak terdefiniskan akan tetapi pada perhitungan manual nilai *index of fit* terbesar yang dipilih adalah

distribusi eksponensial yaitu 0.955. Hal ini disebabkan karena distribusi eksponensial berada pada laju kerusakan konstan. Oleh karena itu, komponen *bs. sens cable* tidak diperlukan untuk dilakukan tindakan penggantian pencegahan karena tidak akan meningkatkan nilai keandalan mesin.

3. Komponen *bearing* untuk waktu antar kerusakan

Hasil nilai *index of fit* yang dihitung menggunakan *software* Minitab 14 dapat dilihat pada Tabel 5.3.



Gambar 5.3 Pengujian *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Bearing* dengan Minitab 14
(Sumber: Minitab 14)

Berdasarkan Gambar 5.3, terdapat empat grafik distribusi kerusakan yaitu distribusi Weibull, lognormal, eksponensial, dan normal, dimana grafik-grafik tersebut menggambarkan *index of fit* pada data waktu kerusakan. Penjelasan untuk setiap grafik distribusi kerusakan adalah sebagai berikut:

a. Grafik distribusi Weibull

Grafik distribusi Weibull terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran C. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar kerusakan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar kerusakan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi Weibull adalah sebesar 0,981. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar pertama dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

b. Grafik distribusi lognormal

Grafik distribusi lognormal terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran C. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar kerusakan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar kerusakan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi lognormal

adalah sebesar 0,962. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar kedua dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

c. Grafik distribusi eksponensial

Grafik distribusi eksponensial terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran C. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar kerusakan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar kerusakan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi eksponensial tidak terdefiniskan karena laju kerusakan dari distribusi kerusakan eksponensial adalah konstan. Oleh karena itu, distribusi tersebut tidak diperlukan untuk dilakukan tindakan penggantian pencegahan karena tidak akan meningkatkan nilai keandalan mesin.

d. Grafik distribusi normal

Grafik distribusi eksponensial terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran C. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar kerusakan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar kerusakan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi normal adalah sebesar 0,972. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar ketiga dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

Berdasarkan Gambar 5.3 rekapitulasi nilai *index of fit* pada Minitab 14 dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Nilai *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Bearing* Menggunakan *Software* Minitab 14

No.	Distribusi Kerusakan	<i>Index of Fit</i>
1	Distribusi Weibull	0,981
2	DistribRusi Lognormal	0,962
3	Distribusi Eksponensial	*
4	Distribusi Normal	0.972

(Sumber: Pengolahan Data)

Pada Tabel 5.3, nilai *index of fit* yang dipilih pada analisis yang telah dilakukan sebelumnya adalah terbesar pertama yaitu sebesar 0.981 yang berdistribusi Weibull, sedangkan pada Tabel 4.21, nilai *index of fit* terbesar yang dipilih juga mengikuti distribusi Weibull dengan nilai sebesar 0,981. Pada perhitungan menggunakan *software* maupun manual hasil yang didapat dari kedua perhitungan tersebut adalah sama yaitu sebesar 0.981, untuk itu distribusi yang dipilih adalah distribusi Weibull. Distribusi yang dipilih kemudian diuji kesesuaian distribusinya menggunakan uji Mann, sehingga didapatkan hasil distribusi yang dipilih adalah sama yaitu Weibull. Setelah distribusi Weibull dipilih maka selanjutnya adalah menghitung nilai estimasi parameternya.

5.3.2 *Index of Fit* Waktu Antar perbaikan

Hasil perhitungan untuk data waktu perbaikan yang telah dilakukan baik secara manual maupun dengan menggunakan *software* Minitab 14 adalah sebagai berikut.

1. Komponen *servopack* untuk waktu antar perbaikan

Hasil nilai *index of fit* yang dihitung menggunakan *software* Minitab 14 dapat dilihat pada Tabel 5.4 di halaman selanjutnya. Berdasarkan gambar tersebut terdapat empat grafik distribusi kerusakan yaitu distribusi Weibull, lognormal, eksponensial, dan normal, dimana grafik-grafik tersebut menggambarkan *index of fit* pada data waktu perbaikan. Penjelasan untuk setiap grafik distribusi kerusakan adalah sebagai berikut:

a. Grafik distribusi Weibull

Grafik distribusi Weibull terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan Tabel 4.26. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar perbaikan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar perbaikan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi Weibull adalah sebesar 0,866. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar pertama dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

b. Grafik distribusi lognormal

Grafik distribusi lognormal terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan Tabel 4.25. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar perbaikan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar perbaikan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi lognormal adalah sebesar 0,866. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar kedua dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

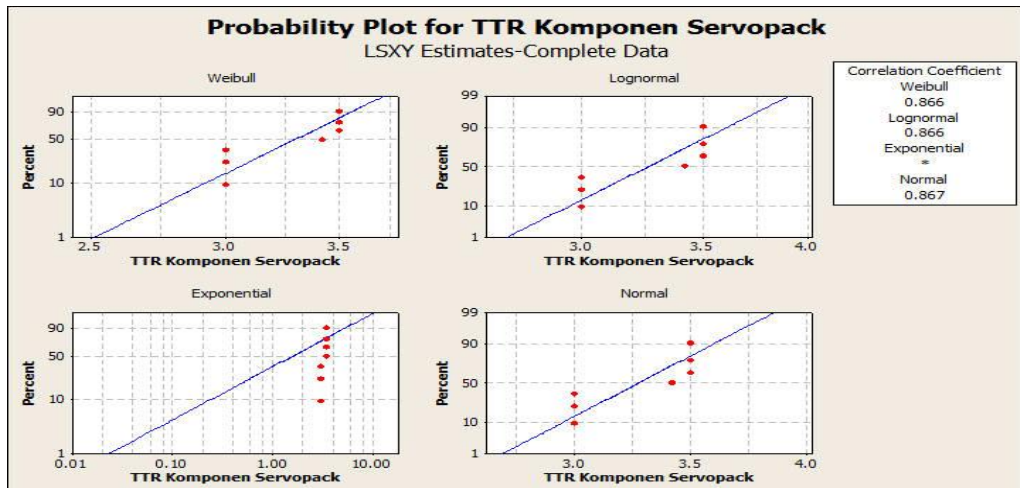
c. Grafik distribusi eksponensial

Grafik distribusi eksponensial terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan Tabel 4.27. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar perbaikan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar perbaikan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi eksponensial tidak terdefinisikan karena laju kerusakan dari distribusi kerusakan eksponensial adalah konstan. Oleh karena itu, distribusi tersebut tidak diperlukan untuk dilakukan tindakan penggantian pencegahan karena tidak akan meningkatkan nilai keandalan mesin.

d. Grafik distribusi normal

Grafik distribusi eksponensial terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan Tabel 4.24. Nilai sumbu x merupakan data waktu

antar perbaikan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar perbaikan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi normal adalah sebesar 0,867. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar ketiga dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.



Gambar 5.4 Pengujian *Index of Fit* Waktu Antar perbaikan Komponen *Servopack* dengan Minitab 14 (Sumber: Minitab 14)

Berdasarkan Gambar 5.4 rekapitulasi nilai *index of fit* pada Minitab 14 dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Nilai *Index of Fit* Waktu Antar Perbaikan Komponen *Servopack* Menggunakan *Software* Minitab 14

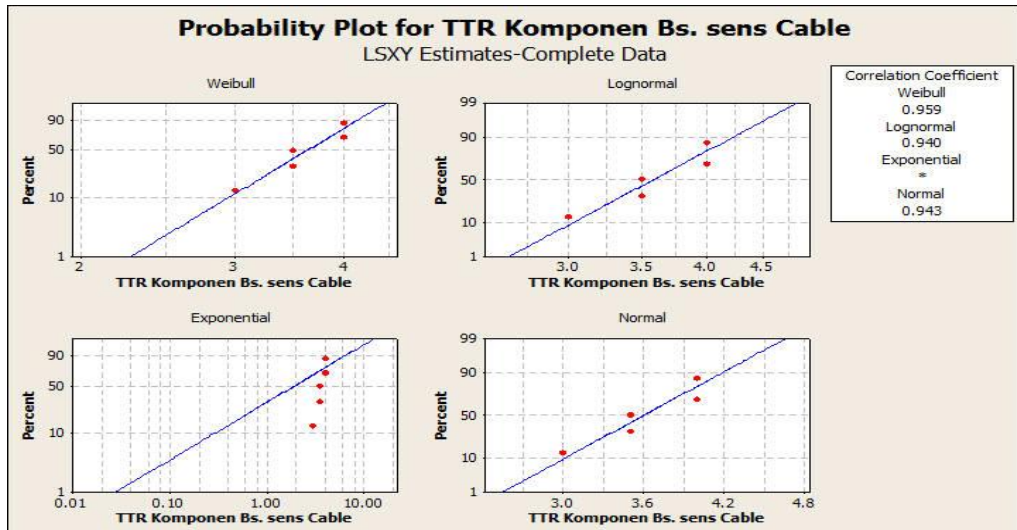
No.	Distribusi Kerusakan	<i>Index of Fit</i>
1	Distribusi Weibull	0,866
2	Distribusi Lognormal	0,866
3	Distribusi Eksponensial	*
4	Distribusi Normal	0.867

(Sumber: Pengolahan Data)

Pada Tabel 5.4, nilai *index of fit* yang dipilih pada analisis yang dilakukan sebelumnya adalah terbesar pertama yaitu sebesar 0.867 yang berdistribusi Weibull, sedangkan pada Tabel 4.28, nilai *index of fit* terbesar yang dipilih juga mengikuti distribusi Weibull dengan nilai sebesar 0,868. Bila dilihat dari hasil perhitungan baik secara manual maupun menggunakan *software* terdapat selisih sebesar 0,001. Hal ini dapat terjadi karena adanya perbedaan pembulatan angka dibelakang koma, sehingga hasil yang didapat dari kedua perhitungan baik menggunakan *software* maupun manual didapatkan nilai *index of fit* yang dipilih adalah distribusi normal. Distribusi yang dipilih kemudian diuji kesesuaian distribusinya menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov, sehingga didapatkan hasil distribusi yang dipilih adalah sama yaitu distribusi normal. Setelah distribusi normal dipilih maka selanjutnya adalah menghitung nilai estimasi parameternya.

2. Komponen *bs. sens cable* untuk waktu antar perbaikan

Hasil nilai *index of fit* yang dihitung menggunakan *software* Minitab 14 dapat dilihat pada Tabel 5.5.



Gambar 5.5 Pengujian *Index of Fit* Waktu Antar Perbaikan Komponen *Bs. Sens Cable* dengan Minitab 14 (Sumber: Minitab 14)

Berdasarkan Gambar 5.5, terdapat empat grafik distribusi kerusakan yaitu distribusi Weibull, lognormal, eksponensial, dan normal, dimana grafik-grafik tersebut menggambarkan *index of fit* pada data waktu perbaikan. Penjelasan untuk setiap grafik distribusi kerusakan adalah sebagai berikut:

a. Grafik distribusi Weibull

Grafik distribusi Weibull terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran D. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar perbaikan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar perbaikan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi Weibull adalah sebesar 0,959. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar pertama dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

b. Grafik distribusi lognormal

Grafik distribusi lognormal terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran D. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar perbaikan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar perbaikan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi lognormal adalah sebesar 0,940. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar kedua dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

c. Grafik distribusi eksponensial

Grafik distribusi eksponensial terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran D. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar perbaikan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar perbaikan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi eksponensial tidak terdefiniskan karena laju kerusakan dari distribusi kerusakan eksponensial adalah konstan. Oleh karena itu, distribusi tersebut tidak diperlukan untuk dilakukan tindakan penggantian pencegahan karena tidak akan meningkatkan nilai keandalan mesin.

d. Grafik distribusi normal

Grafik distribusi eksponensial terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran D. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar perbaikan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar perbaikan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi normal adalah sebesar 0,943. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar ketiga dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

Berdasarkan Gambar 5.5 rekapitulasi nilai *index of fit* pada Minitab 14 dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Nilai *Index of Fit* Waktu Antar Perbaikan Komponen *Bs. sens Cable* Menggunakan *Software* Minitab 14

No.	Distribusi Kerusakan	<i>Index of Fit</i>
1	Distribusi Weibull	0,959
2	Distribusi Lognormal	0,940
3	Distribusi Eksponensial	*
4	Distribusi Normal	0.943

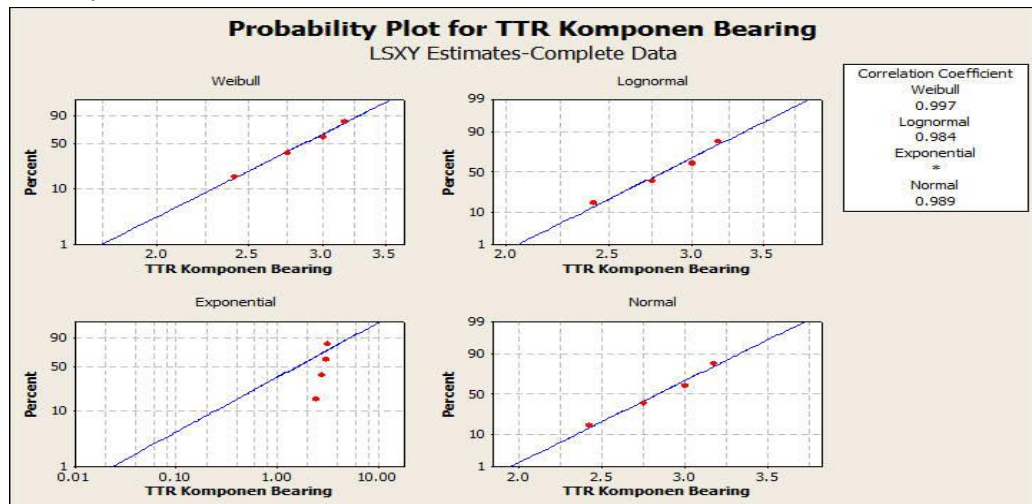
(Sumber: Pengolahan Data)

Pada Tabel 5.5, nilai *index of fit* yang dipilih pada analisis yang dilakukan sebelumnya adalah terbesar pertama yaitu sebesar 0.959 yang berdistribusi Weibull, sedangkan pada Tabel 4.29, nilai *index of fit* terbesar yang dipilih juga mengikuti distribusi Weibull dengan nilai sebesar 0,959. Pada perhitungan menggunakan *software* maupun manual hasil yang didapat dari kedua perhitungan tersebut adalah sama yaitu sebesar 0.959, untuk itu distribusi yang dipilih adalah distribusi Weibull. Distribusi yang dipilih kemudian diuji kesesuaian distribusinya menggunakan uji Mann, sehingga didapatkan hasil distribusi yang dipilih adalah sama yaitu Weibull. Setelah distribusi Weibull dipilih maka selanjutnya adalah menghitung nilai estimasi parameternya.

3. Komponen *bearing* untuk waktu antar perbaikan

Hasil nilai *index of fit* yang dihitung menggunakan *software* Minitab 14 dapat dilihat pada Tabel 5.6 di halaman selanjutnya. Berdasarkan gambar tersebut, terdapat empat grafik distribusi kerusakan yaitu distribusi Weibull, lognormal, eksponensial,

dan normal, dimana grafik-grafik tersebut menggambarkan *index of fit* pada data waktu perbaikan.



Gambar 5.6 Pengujian *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Komponen *Bearing* dengan Minitab 14
(Sumber: Minitab 14)

Penjelasan untuk setiap grafik distribusi kerusakan adalah sebagai berikut:

a. Grafik distribusi Weibull

Grafik distribusi Weibull terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran E. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar perbaikan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar perbaikan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi Weibull adalah sebesar 0,997. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar pertama dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

b. Grafik distribusi lognormal

Grafik distribusi lognormal terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran E. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar perbaikan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar perbaikan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi lognormal adalah sebesar 0,984. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar kedua dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

c. Grafik distribusi eksponensial

Grafik distribusi eksponensial terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran E. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar perbaikan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar perbaikan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi

eksponensial tidak terdefiniskan karena laju kerusakan dari distribusi kerusakan eksponensial adalah konstan. Oleh karena itu, distribusi tersebut tidak diperlukan untuk dilakukan tindakan penggantian pencegahan karena tidak akan meningkatkan nilai keandalan mesin.

d. Grafik distribusi normal

Grafik distribusi eksponensial terdiri dari sumbu x dan y, dimana nilai dari sumbu x dan y diperoleh berdasarkan lampiran E. Nilai sumbu x merupakan data waktu antar perbaikan (t_i) sedangkan nilai sumbu y merupakan data dari fungsi kepadatan probabilitas dari waktu antar perbaikan ($F(t_i)$). Nilai *index of fit* yang didapatkan antara variabel x dan y melalui Minitab 14 pada distribusi normal adalah sebesar 0,989. Nilai *index of fit* pada grafik tersebut memiliki nilai yang terbesar ketiga dari nilai *index of fit* pada semua grafik distribusi kerusakan.

Berdasarkan Gambar 5.6, rekapitulasi nilai *index of fit* pada Minitab 14 dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai *Index of Fit* Waktu Antar Perbaikan Komponen *Bearing* Menggunakan *Software* Minitab 14

No.	Distribusi Kerusakan	<i>Index of Fit</i>
1	Distribusi Weibull	0,997
2	DistribRusi Lognormal	0,984
3	Distribusi Eksponensial	*
4	Distribusi Normal	0.989

(Sumber: Pengolahan Data)

Pada Tabel 5.6, nilai *index of fit* yang dipilih pada analisis yang dilakukan sebelumnya adalah terbesar pertama yaitu sebesar 0.997 yang berdistribusi Weibull, sedangkan pada Tabel 4.29, nilai *index of fit* terbesar yang dipilih juga mengikuti distribusi Weibull dengan nilai sebesar 0,997. Pada perhitungan menggunakan *software* maupun manual hasil yang didapat dari kedua perhitungan tersebut adalah sama yaitu sebesar 0.997, untuk itu distribusi yang dipilih adalah distribusi Weibull. Distribusi yang dipilih kemudian diuji kesesuaian distribusinya menggunakan uji Mann, sehingga didapatkan hasil distribusi yang dipilih adalah sama yaitu Weibull. Setelah distribusi Weibull dipilih maka selanjutnya adalah menghitung nilai estimasi parameternya.

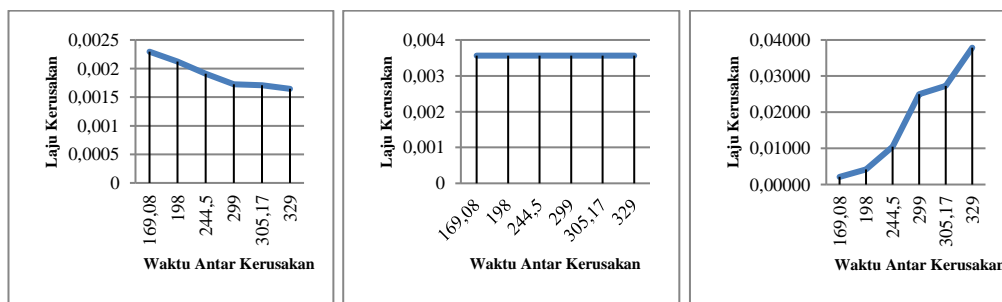
5.4 Analisis Perhitungan Nilai Estimasi Parameter, MTTF, dan MTTR

Perhitungan nilai estimasi parameter dilakukan dengan menggunakan penaksiran terbesar (*Maximum Likelihood Estimator*), dimana estimasi parameter dapat dihitung setelah diketahui distribusi terpilih yang digunakan karena setiap distribusi memiliki parameter yang berbeda. Distribusi normal memiliki parameter μ dan σ , distribusi lognormal memiliki parameter s dan t_{med} , distribusi Weibull memiliki parameter β dan θ , dan untuk distribusi eksponensial memiliki parameter λ . Setelah

nilai parameternya diketahui selanjutnya adalah menghitung nilai MTTF dan MTTR berdasarkan nilai parameter yang didapat.

Perhitungan nilai parameter pada waktu antar kerusakan dapat dilihat pada Tabel 4.39 untuk komponen *servopack* dan Tabel 4.41 untuk komponen *bearing*, maka didapat nilai parameter β sebesar 5,337 dan 8,452, dan θ sebesar 280,677 dan 439,281. Nilai estimasi parameter pada waktu antar perbaikan dapat dilihat pada Tabel 4.43 untuk komponen *servopack* dan Tabel 4.45 untuk komponen *bearing*, maka nilai parameter μ sebesar 3,274 dan σ sebesar 0.061, dan nilai parameter β sebesar 12,352 dan θ sebesar 2,959.

Nilai parameter kerusakan digunakan untuk menentukan laju kerusakan dari setiap komponen berdasarkan distribusi yang dipilih. Dari hasil pengolahan pada Tabel 4.39 memiliki nilai $\beta > 1$, dimana komponen *servopack* memiliki laju kerusakan yang meningkat. Hasil pengolahan data pada Tabel 4.40, gambar laju kerusakan komponen *servopack* dapat dilihat pada Gambar 5.7.



(a) $\beta < 1$

(b) $\beta = 1$

(c) $\beta > 1$

Gambar 5.7 Kurva Laju Kerusakan Komponen *Servopack*

(Sumber: Pengolahan Data)

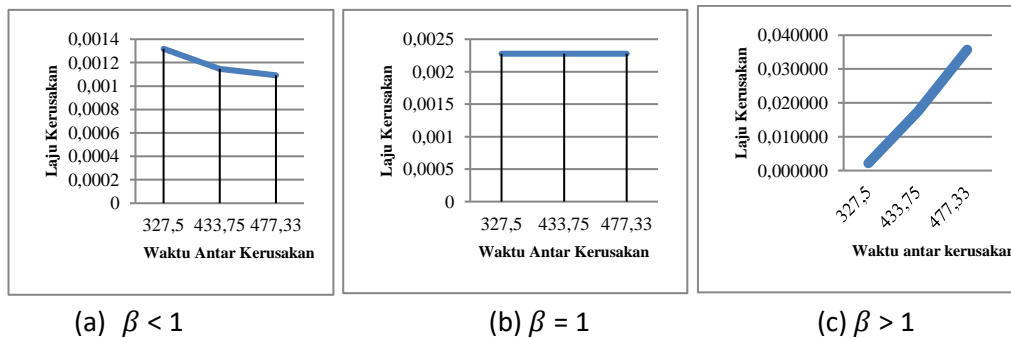
Berdasarkan Gambar 5.7, diketahui bahwa sumbu x merupakan waktu antar kerusakan (t) untuk komponen *servopack* sedangkan sumbu y merupakan nilai dari laju kerusakan (λ) untuk komponen *servopack*. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa berdasarkan teori kurva *bathub* laju kerusakan adalah sebagai berikut:

1. Pada Gambar a, nilai $\beta < 1$ berada pada fase atau wilayah kerusakan awal dimana ditandai dengan menurunnya laju kerusakan seiring dengan peningkatan waktu. Nilai laju kerusakan awal sebesar 0,002295 yang kemudian mengalami penurunan menjadi 0,001645.
2. Pada Gambar b, nilai $\beta = 1$ berada pada fase atau wilayah pengoperasian normal dimana ditandai dengan laju kerusakan yang konstan. Nilai laju kerusakannya adalah konstan yaitu sebesar 0,003563.

3. Pada Gambar c, nilai $\beta > 1$ berada pada fase atau wilayah *wearout* dimana laju kerusakan semakin meningkat. Nilai laju kerusakan awal sebesar 0,00211 yang kemudian mengalami peningkatan menjadi 0,03787.

Berdasarkan Gambar 5.7, komponen *servopack* memiliki nilai $\beta > 1$ yaitu sebesar 5,337, dimana laju kerusakan komponen *servopack* terus meningkat seiring dengan peningkatan waktu kerusakannya. Komponen *servopack* berada pada fase atau wilayah *wearout*, fase ini ditandai dengan laju kerusakan yang terus meningkat, dimana kerusakan-kerusakan yang terjadi mungkin disebabkan oleh memburuknya kondisi mesin atau komponen akibat pemakaian yang berlebihan. Oleh karena itu, dilakukan tindakan pergantian pencegahan kerusakan untuk menghindari terjadinya kerusakan yang lebih fatal.

Pada hasil pengolahan Tabel 4.41, komponen *bearing* memiliki nilai $\beta > 1$, dimana komponen *bearing* memiliki laju kerusakan yang meningkat. Hasil pengolahan data pada Tabel 4.43, gambar laju kerusakan komponen *bearing* dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Kurva Laju Kerusakan Komponen Bearing
(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan Gambar 5.8, diketahui bahwa sumbu x merupakan waktu antar kerusakan (t) untuk komponen *bearing* sedangkan sumbu y merupakan nilai dari laju kerusakan (λ) untuk komponen *bearing*. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa berdasarkan teori kurva *bathub* laju kerusakan adalah sebagai berikut:

1. Pada Gambar a, nilai $\beta < 1$ berada pada fase atau wilayah kerusakan awal dimana ditandai dengan menurunnya laju kerusakan seiring dengan peningkatan waktu. Nilai laju kerusakan awal sebesar 0,001318 yang kemudian mengalami penurunan menjadi 0,001092.
2. Pada Gambar b, nilai $\beta = 1$ berada pada fase atau wilayah pengoperasian normal dimana ditandai dengan laju kerusakan yang konstan. Nilai laju kerusakannya adalah konstan yaitu sebesar 0,002276.
3. Pada Gambar c, nilai $\beta > 1$ berada pada fase atau wilayah *wearout* dimana laju kerusakan semakin meningkat. Nilai laju kerusakan awal sebesar 0,002157 yang kemudian mengalami peningkatan menjadi 0,035731.

Berdasarkan Gambar 5.8, komponen *bearing* memiliki nilai $\beta > 1$ yaitu sebesar 8,452, dimana laju kerusakan komponen *bearing* terus meningkat seiring dengan peningkatan waktu kerusakannya. Komponen *bearing* berada pada fase atau wilayah *wearout*, fase ini ditandai dengan laju kerusakan yang terus meningkat, dimana kerusakan-kerusakan yang terjadi mungkin disebabkan oleh memburuknya kondisi mesin atau komponen akibat pemakaian yang berlebihan. Oleh karena itu, dilakukan tindakan penggantian pencegahan kerusakan untuk menghindari terjadinya kerusakan yang lebih fatal.

Pada komponen *bs. sens cable* distribusi yang dipilih adalah eksponensial, dimana distribusi tersebut berada pada fase pengoperasian normal yang laju kerusakannya konstan. Pada fase pengoperasian normal tindakan penggantian pencegahan kerusakan tidak akan efektif untuk dilaksanakan karena tidak akan meningkatkan nilai keandalan mesin. Setelah nilai parameter diketahui, selanjutnya adalah menentukan nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR).

Nilai MTTF didapat dari pengolahan data, dimana untuk komponen *servopack* adalah sebesar 258,473 dan untuk komponen *bearing* adalah sebesar 414,50. Nilai MTTR didapat dari pengolahan data, dimana untuk *servopack* adalah sebesar 3,274, dan untuk komponen *bearing* adalah sebesar 2,839. Nilai MTTF dan MTTR yang diketahui berguna untuk menentukan rata-rata waktu terjadinya kerusakan dan waktu rata-rata terjadinya perbaikan untuk setiap komponen setelah beroperasi, sehingga akan memudahkan kapan suatu komponen mesin harus diganti sebelum mengalami kerusakan. Penggantian setiap komponen tersebut dilakukan untuk mencegah supaya mesin tidak mengalami kerusakan, sehingga dapat beroperasi tanpa adanya gangguan dari kerusakan komponen. Setelah nilai MTTF dan MTTR diketahui selanjutnya adalah menghitung waktu penggantian pencegahan kerusakan.

5.5 Analisis Penentuan Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Kritis Berdasarkan Kriteria Minimasi *Downtime*.

Perusahaan saat ini menerapkan sistem pemeliharaan secara *corrective* dan secara rutin, dimana perusahaan baru melakukan perbaikan ketika mesin atau komponen tersebut rusak, hal ini yang menyebabkan terhentinya proses produksi. Adanya interval waktu penggantian pencegahan dengan kriteria minimasi *downtime* untuk kerusakan komponen mesin, dimana komponen hanya beroperasi dengan umur optimalnya dan diganti sebelum komponen mengalami kerusakan yang tinggi.

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan kerusakan dilakukan berdasarkan model *age replacement* yaitu apabila terjadi kerusakan, maka komponen harus diganti pada saat sebelum waktunya. Hal ini diharapkan komponen dapat dipergunakan lebih lama dan secara ekonomis lebih irit.

Nilai interval waktu penggantian optimal (t_p) dapat dilakukan dengan cara *trial and error* sesuai dengan nilai MTTF, MTTR, dan parameternya. Hal ini dimaksudkan untuk menghasilkan nilai *downtime* pada kerusakan komponen yang minimum melalui

tindakan penggantian pencegahan kerusakan. Tindakan penggantian pencegahan kerusakan untuk komponen kritis adalah sebagai berikut:

1. Komponen *servopack* akan dilakukan penggantian pencegahan setiap 209 jam sekali (lihat Tabel 4.48), dimana nilai waktu penggantian pencegahan < nilai MTTF, yaitu $209 < 258,46$. Hal ini disebabkan karena waktu pencegahan dilakukan sebelum komponen rusak, sehingga komponen tersebut selalu dalam kondisi baik.
2. Komponen *Bs. Sens Cable* tidak dilakukan penggantian pencegahan, dikarenakan komponen *bs. sens cable* berada pada laju kerusakan konstan. Oleh karena itu, komponen *bs. sens cable* tidak diperlukan untuk dilakukan tindakan penggantian pencegahan karena tidak akan meningkatkan nilai keandalan mesin.
3. Komponen *bearing* akan dilakukan penggantian pencegahan setiap 342 jam sekali (lihat Tabel 4.49), dimana nilai waktu penggantian pencegahan < nilai MTTF, yaitu $342 < 414,50$. Hal ini disebabkan karena waktu pencegahan dilakukan sebelum komponen rusak, sehingga komponen tersebut selalu dalam kondisi baik.

Penggantian waktu yang optimal untuk penggantian komponen *servopack* adalah 209 jam dan komponen *bearing* adalah 342 jam, dimana waktu pencegahan dilakukan sebelum komponen rusak. Setelah diketahui nilai waktu pencegahan untuk setiap komponen, selanjutnya adalah menghitung nilai keandalan tanpa dan dengan tindakan pencegahan.

5.6 Analisis Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Tanpa dan Dengan Tindakan Penggantian Pencegahan Kerusakan

Tujuan dilaksanakan tindakan penggantian pencegahan kerusakan ini selain untuk menghindari terjadinya kerusakan mendadak juga untuk meningkatkan nilai keandalan dari suatu komponen. Meningkatnya nilai keandalan mesin diharapkan dapat meningkatkan produktivitas dan juga dapat meningkatkan keuntungan perusahaan. Perhitungan peningkatan keandalan dilakukan sebelum dan sesudah dilakukan tindakan penggantian pencegahan kerusakan, dimana perhitungan ini sesuai dengan distribusi waktu kerusakan dari setiap komponen yang terpilih sebelumnya.

Nilai peningkatan keandalan ini akan semakin besar bila tindakan penggantian pencegahan diterapkan pada komponen yang laju kerusakannya meningkat. Akan tetapi, nilai keandalan tidak akan meningkat bila tindakan penggantian pencegahan diterapkan pada komponen yang laju kerusakannya konstan atau menurun. Peningkatan keandalan juga tidak akan terjadi pada komponen bila waktu penggantian pencegahan kerusakannya sudah melebihi nilai MTTF.

Berdasarkan pada pengolahan data, didapatkan komponen *servopack* mengalami peningkatan keandalan sebesar 54,78% dan komponen *bearing* mengalami peningkatan keandalan sebesar 63,50%. Hal ini menunjukkan bahwa penggantian

pencegahan kerusakan ini sangat efektif bila diterapkan pada suatu mesin atau komponen yang laju kerusakannya terus meningkat.

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada mesin *wirecut*, penentuan kerusakan komponen dilakukan dalam periode satu tahun yaitu pada Januari 2015 sampai dengan Desember 2015. Komponen kritis di mesin *wirecut* adalah komponen *servopack*, *bs. sens cable*, dan *bearing*.
2. Nilai MTTF dan MTTR pada setiap komponen kerusakan mesin *wirecut* untuk komponen *servopack* sebesar 258,473 jam dan 3,274 jam, dan pada komponen *bearing* adalah sebesar 418,50 jam dan 2,839 jam.
3. Waktu interval penggantian komponen mesin yang tepat adalah dengan menggunakan model *age replacement*, dimana interval waktu penggantian komponen *servopack* adalah selama 209 jam atau 32 hari. Sedangkan interval waktu penggantian pada komponen *bearing* adalah selama 342 jam atau 52 hari.
4. Nilai keandalan yang didapatkan setelah melakukan tindakan penggantian pencegahan untuk komponen *servopack* sebesar 81,28% dengan peningkatan nilai keandalan sebesar 54,78%. Komponen *bearing* memiliki nilai keandalan setelah melakukan tindakan penggantian pencegahan sebesar 88,64% dengan peningkatan keandalan sebesar 63,50%.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan bagi perusahaan adalah:

1. Perusahaan perlu menerapkan tindakan perawatan pencegahan dengan cara melakukan perawatan pencegahan terhadap komponen kritis, yaitu *servopack*, *bs. sens cable*, dan *bearing*.
2. Pencatatan kerusakan pada komponen kritis *servopack* dan *bearing* pada setiap kerusakan yang terjadi baik kerusakan besar maupun kecil tetap dilakukan untuk kemudahan pemeriksaan selanjutnya.

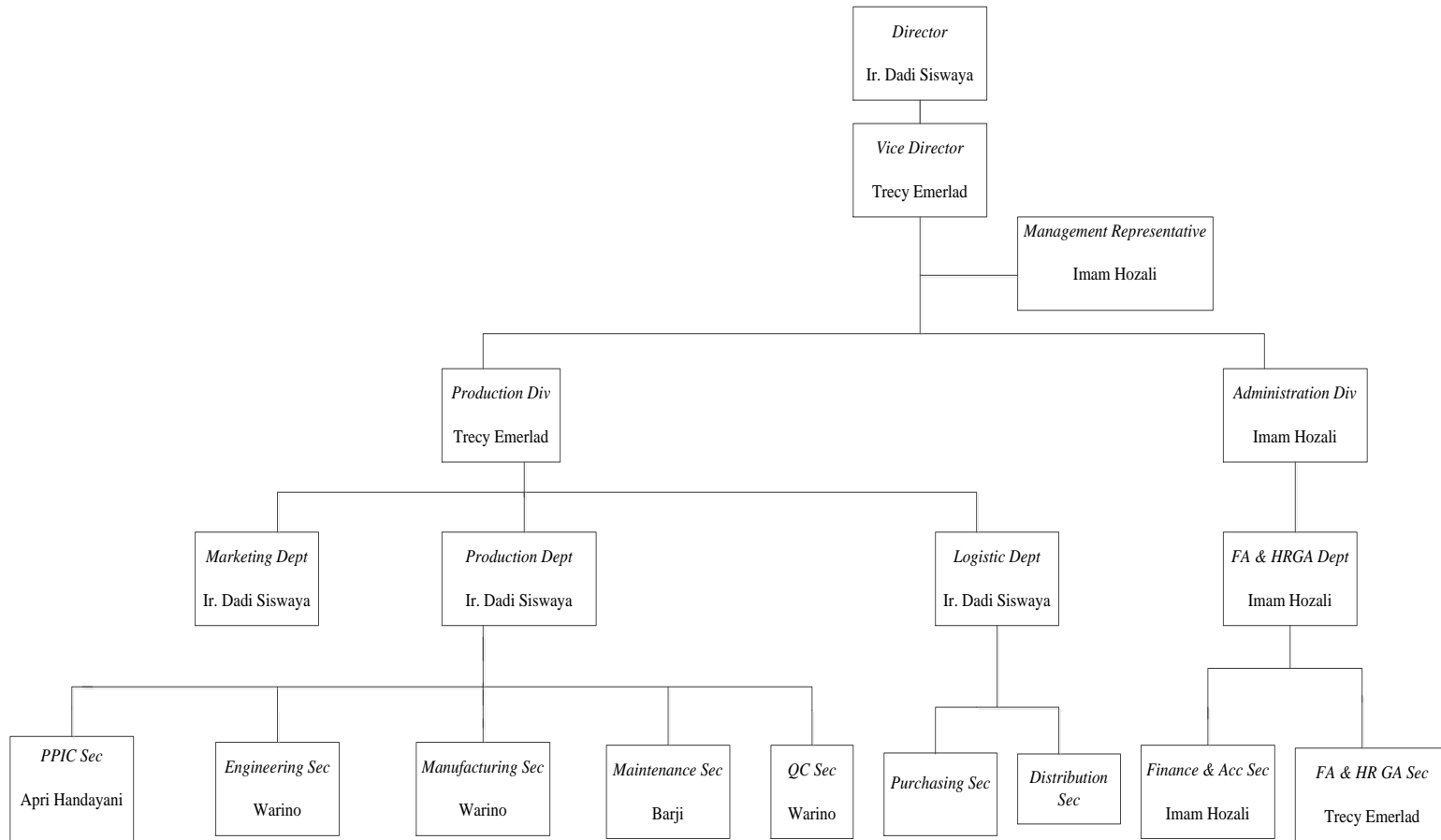
3. Model *age replacement* sebaiknya digunakan untuk melakukan tindakan perawatan pencegahan yang diharapkan komponen dapat dipergunakan lebih lama dan secara ekonomis lebih irit.
4. Apabila tindakan pencegahan perawatan dilakukan pada komponen kritis mesin *wirecut*, maka nilai keandalan dari komponen kritis mesin *wirecut* akan mengalami kenaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Corder, Anthony S. 1996. *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Erlangga. Jakarta.
- Ebeling, Charles E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. The Mc.Graw-Hill Companies Inc. Singapore.
- Dhillon, B.S, and Reiche H. 1985. *Reliability and Maintainability Management*. Van Nonstrand Reinhold Company Inc. New York.
- Ishikawa, Kaoru. (1992). *Pengendalian Mutu Terpadu*. PT Remaja Rosdakarya Bandung.
- Jardine, Andrew K.S and Tsang, Albert. H.C. 2001. *Maintenance, Replacement, and Reliability*. Taylor and Francis. London.
- Nakajima, Seiichi. 1988. *Introduction to Total Produktive Maintenance*. Cambridge: Productivity Press, Inc.
- O’Cornnor, Patrick. 2002. *Practical Reliability Engineering*. Third Edition. John Wiley ans Sons, Ltd. USA.
- Pyzdek, Thomas. 2002. *The Six Sigma Handbook*. Salemba Empat. Jakarta.

LAMPIRAN A

(Data Perusahaan)



Struktur Organisasi PT Aristo Satria Mandiri Indonesia



PT ARISTO SATRIA MANDIRI INDONESIA

Departemen *Maintenance*

HISTORY MESIN

NAMA MESIN : SODICK

SERIAL NO. : AQ300

JENIS MESIN : *WIRECUT MACHINE*

TAHUN PEMBUATAN : 2011

NO	TANGGAL	KOMPONEN MESIN	JENIS PERAWATAN			KETERA NGAN
			GANTI	REPAIR	MODIF	
1	22-01-2015	<i>Hardisk</i>	√			OK
2	26-01-2015	<i>Mekanik Seal</i>	√			OK
3	17-02-2015	<i>Bearing</i>	√			OK
4	25-02-2015	<i>Servopack</i>	√			OK
5	10-03-2015	<i>Bs.Sens Cable</i>	√			OK
6	20-04-2015	<i>Servopack</i>	√			OK
7	07-05-2015	<i>Bearing</i>	√			OK
8	27-05-2015	<i>Servopack</i>	√			OK
9	09-06-2015	<i>Mekanik Seal</i>	√			OK
10	31-07-2015	<i>Bs. Sens Cable</i>	√			OK
11	05-08-2015	<i>Servopack</i>		√		OK
12	11-08-2015	<i>LAN Cable</i>	√			OK
13	13-08-2015	<i>Bearing</i>	√			OK
14	01-09-2015	<i>Bs. Sens Cable</i>	√			OK
15	30-09-2015	<i>Servopack</i>	√			OK
16	12-10-2015	<i>Bearing</i>	√			OK
17	21-10-2015	<i>Bs. sens cable</i>	√			OK
18	11-11-2015	<i>Servopack</i>	√			OK
19	30-11-2015	<i>Bs. sens cable</i>	√			OK
20	01-12-2015	<i>Hardisk</i>	√			OK
21	10-12-2015	<i>Servopack</i>	√			OK
22	28-12-2015	<i>Mekanik Seal</i>	√			OK



DOWN TIME MACHINE REPORT

NO	TANGGAL	NAMA MESIN	TIPE/ JENIS	START LOSE	START MAINTENANCE	FINISH MAINTENANCE	TOTAL TIME LOSE	DIKERJAKAN OLEH	KETERANGAN	
									GANTI	REPAIR
1	22-01-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	10.00	13.00	16.00	6	FIRST MACHINERY TRADE	√	
2	26-01-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	11.00	13.30	15.30	4.5	FIRST MACHINERY TRADE	√	
3	17-02-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	09.30	10.00	12.45	2.25	FIRST MACHINERY TRADE	√	
4	25-02-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	09.00	11.30	14.30	5.5	FIRST MACHINERY TRADE	√	
5	10-03-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	09.30	11.00	15.00	4.5	FIRST MACHINERY TRADE	√	
6	20-04-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	11.30	12.00	15.00	3.5	FIRST MACHINERY TRADE	√	
7	07-05-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	10.30	13.05	15.30	5	FIRST MACHINERY TRADE	√	
8	27-05-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	10.00	11.30	15.00	5	FIRST MACHINERY TRADE	√	
9	09-06-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	09.15	10.15	13.20	4.083	FIRST MACHINERY TRADE	√	
10	31-07-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	09.00	10.00	14.00	5	FIRST MACHINERY TRADE	√	

NO	TANGGAL	NAMA MESIN	TIPE/ JENIS	START LOSE	START MAINTENANCE	FINISH MAINTENANCE	TOTAL TIME LOSE	DIKERJAKAN OLEH	KETERANGAN	
									GANTI	REPAIR
11	05-08-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	09.00	10.00	13.30	4.5	FIRST MACHINERY TRADE		√
12	11-08-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	08.00	10.30	12.30	4.5	FIRST MACHINERY TRADE	√	
13	13-08-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	09.50	11.30	14.30	4.333	FIRST MACHINERY TRADE	√	
14	01-09-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	09.50	11.30	14.30	4.333	FIRST MACHINERY TRADE	√	
15	30-09-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	11.40	13.30	16.30	3.167	FIRST MACHINERY TRADE	√	
16	12-10-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	09.00	10.50	14.00	5	FIRST MACHINERY TRADE	√	
17	21-10-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	09.00	10.00	13.30	4.5	FIRST MACHINERY TRADE	√	
18	11-11-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	09.30	11.00	14.25	4.083	FIRST MACHINERY TRADE	√	
19	30-11-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	11.00	12.00	15.30	4.5	FIRST MACHINERY TRADE	√	
20	01-12-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	09.30	12.00	15.00	5.5	FIRST MACHINERY TRADE	√	
21	10-12-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	08.30	09.30	13.00	4.30	FIRST MACHINERY TRADE	√	
22	28-12-2015	SODICK	WIRECUT MACHINE	10.00	11.10	14.00	4	FIRST MACHINERY TRADE	√	

LAMPIRAN B

(Perhitungan Nilai *Index Of Fit* Waktu Antar
Kerusakan Komponen *Bs. Sens Cable*)

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bs. sens cable* terhadap distribusi Normal

i	t _i (Jam)	x _i = t _i	F(t _i) = (i-0,3)/(n+0,4)	y _i = z _i = [φ ⁻¹ F(t _i)]	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	175,83	175,83	0,1591	-0,9982	-175,5137	30916,2	0,9964
2	231,50	231,50	0,3864	-0,2888	-66,8594	53592,3	0,0834
3	275,50	275,50	0,6136	0,2888	79,5670	75900,3	0,0834
4	731,00	731,00	0,8409	0,9982	729,6851	534361	0,9964
Total		1413,83	2	0	566,8790	694770	2,1596

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{4(566,8790) - (1413,83)(0)}{\sqrt{\{4(694770) - (1413,83^2)\} \{4(2,1596) - (0)^2\}}} \\
 &= \frac{2267,516}{2596,031} \\
 &= 0,873
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bs. sens cable* terhadap distribusi Lognormal

i	t _i (Jam)	x _i = ln(t _i)	F(t _i)=(i- 0.3)/(n+0.4)	y _i = z _i = [φ ⁻¹ (F(t _i))]	x _i ·y _i	x _i ²	y _i ²
1	175,83	5,1695	0,1591	-0,9982	-5,1602	26,7239	0,9964
2	231,50	5,4446	0,3864	-0,2888	-1,5724	29,6434	0,0834
3	275,50	5,6186	0,6136	0,2888	1,6227	31,5685	0,0834
4	731,00	6,5944	0,8409	0,9982	6,5826	43,4863	0,9964
Total		22,8271		0,00	1,4726	131,4222	2,1596

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(4 \times 1,4726) - (22,8271 \times 0)}{\sqrt{\{(4 \times 131,4222) - (22,8271)^2\} \{(4 \times 2,1596) - (0)^2\}}} \\
 &= \frac{5,8904}{6,31213} \\
 &= 0,933
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bs. sens cable* terhadap distribusi Weibull

i	t _i (Jam)	x _i = ln(t _i)	F(t _i)=(i- 0,3)/(n+0,4)	y _i = lnln(1/(1- F(t _i)))	x _i ·y _i	x _i ²	y _i ²
1	175,83	5,1695	0,1591	-1,7529	-9,0616	26,7239	3,0726
2	231,50	5,4446	0,3864	-0,7167	-3,9022	29,6434	0,5137
3	275,50	5,6186	0,6136	-0,0503	-0,2824	31,5685	0,0025
4	731,00	6,5944	0,8409	0,6088	4,0149	43,4863	0,3707
Total		22,8271		-1,9110	-9,2314	131,4222	3,9595

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit } (r) &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(4 \times (-9,2314)) - (22,8271 \times (-1,9110))}{\sqrt{\{(4 \times 131,4222) - (22,8271^2)\} \{(4 \times 3,9595) - (-1,9110)^2\}}} \\
 &= \frac{6,6968}{7,4971} \\
 &= 0,893
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bs. sens cable* terhadap distribusi Eksponensial

i	t _i (Jam)	x _i = t _i	F(t _i)=(i-0,3)/(n+0,4)	y _i = ln(1/(1-F(t _i)))	x _i ·y _i	x _i ²	y _i ²
1	175,83	175,83	0,1591	0,1733	30,4664	30916,1889	0,0300
2	231,50	231,50	0,3864	0,4884	113,0537	53592,2500	0,2385
3	275,50	275,50	0,6136	0,9510	261,9940	75900,2500	0,9044
4	731,00	731,00	0,8409	1,8383	1343,7823	534361,0000	3,3793
Total		1413,83		3,4509	1749,2963	694769,6889	4,5521

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(4 \times (1749,2963)) - (1413,83 \times 3,4509)}{\sqrt{\{(4 \times (694769,6889)) - (1413,83^2)\} \{(4 \times 4,5521) - (3,4509)^2\}}} \\
 &= \frac{2118,1993}{2216,9319} \\
 &= 0,955
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN C

(Perhitungan Nilai *Index Of Fit* Waktu Antar
Kerusakan Komponen *Bearing*)

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bearing* terhadap distribusi Normal

i	t _i (Jam)	x _i = t _i	F(t _i) = (i - 0,3)/(n + 0,4)	y _i = z _i = [φ ⁻¹ F(t _i)]	x _i · y _i	x _i ²	y _i ²
1	327,50	327,5	0,2059	-0,8200	-268,550	107256,2500	0,6724
2	433,75	433,75	0,5000	0,0000	0,0000	188139,0625	0,0000
3	477,33	477,33	0,7941	0,8200	391,4106	227843,9289	0,6724
Total		1238,58	1,5000	0,0000	122,8606	523239,2414	1,3448

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{3(122,8606) - (1238,58)(0)}{\sqrt{\{3(523239,2414) - (1238,58)^2\} \{3(1,3448) - (0)^2\}}} \\
 &= \frac{368,5818}{379,1769} \\
 &= 0,972
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bearing* terhadap distribusi Lognormal

i	t _i (Jam)	x _i = ln(t _i)	F(t _i)=(i- 0.3)/(n+0.4)	y _i = z _i = [φ ⁻¹ (F(t _i))]	x _i ·y _i	x _i ²	y _i ²
1	327,50	5,7915	0,2059	-0,821	-4,754	33,541	0,674
2	433,75	6,0725	0,5000	0,000	0,000	36,875	0,000
3	477,33	6,1682	0,7941	0,821	5,063	38,047	0,674
Total		18,0322		0,000	0,309	108,463	1,347

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(3 \times 0,309) - (18,0322 \times 0)}{\sqrt{\{(3 \times 108,463) - (18,0322^2)\} \{(3 \times 1,347) - (0)^2\}}} \\
 &= \frac{0,927}{0,962} \\
 &= 0,962
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bearing* terhadap distribusi Weibull

i	t _i (Jam)	x _i = ln(t _i)	F(t _i)=(i- 0.3)/(n+0.4)	y _i = lnln(1/(1- F(t _i)))	x _i ·y _i	x _i ²	y _i ²
1	327,50	5,7915	0,2059	-1,4674	-8,4984	33,5413	2,1533
2	433,75	6,0725	0,5000	-0,3665	-2,2256	36,8749	0,1343
3	477,33	6,1682	0,7941	0,4577	2,8232	38,0468	0,2095
Total		18,0322		-1,3762	-7,9008	108,4630	2,4971

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(3 \times (-7,9008)) - ((18,0322) \times (-1,3762))}{\sqrt{\{(3 \times 108,4630) - (18,0322^2)\} \{(3 \times 2,4971) - (-1,3762)^2\}}} \\
 &= \frac{1,113514}{1,134717} \\
 &= 0.981
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bearing* terhadap distribusi Eksponensial

i	t _i (Jam)	x _i = t _i	F(t _i)=(i-0.3)/(n+0.4)	y _i = ln(1/(1-F(t _i)))	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	327,50	327,50	0,1591	0,1733	30,4664	30916,1889	0,0300
2	433,75	433,75	0,3864	0,4884	113,0537	53592,2500	0,2385
3	477,33	477,33	0,6136	0,9510	261,9940	75900,2500	0,9044
Total		1413,83		3,4509	1749,2963	694769,6889	4,5521

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(3x(1749,2963)) - (1413,83x3,4509)}{\sqrt{\{(3x(694769,6889)) - (1413,83^2)\} \{(3x4,5521 - (3,4509)^2)\}}} \\
 &= \frac{368,903}{386,307} \\
 &= 0,955
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN D

(Perhitungan Nilai *Index Of Fit* Waktu
Antar Perbaikan Komponen *Bs. Sens
Cable*)

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bs. sens cable* terhadap distribusi Normal

i	t _i (Jam)	x _i = t _i	F(t _i)=(i-0,3)/(n+0,4)	y _i = z _i =[φ ⁻¹ F(t _i)]	x _i ·y _i	x _i ²	y _i ²
1	3,00	3,00	0,1296	-1,1300	-3,3900	9,0000	1,2769
2	3,50	3,50	0,3148	-0,4800	-1,6800	12,2500	0,2304
3	3,50	3,50	0,5000	0,0000	0,0000	12,2500	0,0000
4	4,00	4,00	0,6852	0,4800	1,9200	16,0000	0,2304
5	4,00	4,00	0,8704	1,1300	4,5200	16,0000	1,2769
Total		18,00	2,5000	0,0000	1,3700	65,5000	3,0146

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{5(1,3700) - (18,00)(0)}{\sqrt{\{5(65,50000) - (18,00^2)\} \{5(3,0146) - (0)\}}} \\
 &= \frac{6,8500}{7,2633} \\
 &= 0,943
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bs. sens cable* terhadap distribusi Lognormal

i	t _i (Jam)	x _i = ln(t _i)	F(t _i)=(i- 0.3)/(n+0.4)	y _i = z _i = [φ ⁻¹ (F(t _i))]	x _i ·y _i	x _i ²	y _i ²
1	3,00	1,0986	0,1296	-1,1281	-1,2394	1,2069	1,2727
2	3,50	1,2528	0,3148	-0,4822	-0,6041	1,5694	0,2326
3	3,50	1,2528	0,5000	0,0000	0,0000	1,5694	0,0000
4	4,00	1,3863	0,6852	0,4822	0,6685	1,9218	0,2326
5	4,00	1,3863	0,8704	1,1281	1,5639	1,9218	1,2727
Total		6.3767		0,0000	0,3889	8,1894	3,0105

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(5 \times 0,3889) - (6,3767 \times 0)}{\sqrt{\{(5 \times 8,1894) - (6,3767^2)\} \{(5 \times 3,0105) - (0)^2\}}} \\
 &= \frac{1,9445}{2,07012} \\
 &= 0,940
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bs. sens cable* terhadap distribusi Weibull

i	t _i (Jam)	x _i = ln(t _i)	F(t _i)=(i- 0,3)/(n+0,4)	y _i = lnln(1/(1- F(t _i)))	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	3,00	1,0986	0,1296	-1,9745	-2,1692	1,2069	3,8985
2	3,50	1,2528	0,3148	-0,9727	-1,2185	1,5694	0,9461
3	3,50	1,2528	0,5000	-0,3665	-0,4592	1,5694	0,1343
4	4,00	1,3863	0,6852	0,1448	0,2007	1,9218	0,0210
5	4,00	1,3863	0,8704	0,7145	0,9904	1,9218	0,5104
Total		6,3767		-2,4544	-2,6557	8,1894	5,5103

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(5 \times (-2,6557)) - ((6,3767) \times (-2,4544))}{\sqrt{\{(5 \times 8,1894) - (6,3767^2)\} \{(5 \times 5,5103) - (-2,4544)^2\}}} \\
 &= \frac{2,372472}{2,475640} \\
 &= 0,959
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bs. sens cable* terhadap distribusi Eksponensial

i	t _i (Jam)	x _i = t _i	F(t _i)=(i-0.3)/(n+0.4)	y _i = ln(1/(1-F(t _i)))	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	3,00	3,00	0,1296	0,1388	0,4165	9,0000	0,0193
2	3,50	3,50	0,3148	0,3781	1,3232	12,2500	0,1429
3	3,50	3,50	0,5000	0,6931	2,4260	12,2500	0,4805
4	4,00	4,00	0,6852	1,1558	4,6231	16,0000	1,3358
5	4,00	4,00	0,8704	2,0431	8,1723	16,0000	4,1742
Total		14,00		4,4089	16,9611	65,5000	6,1526

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(5 \times (16,9611)) - (14 \times 4,4089)}{\sqrt{\{(5 \times (65,5000)) - (14,00^2)\} \{(5 \times 6,1526) - (4,4089)^2\}}} \\
 &= \frac{23,08097897}{38,59021501} \\
 &= 0,598
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN E

(Perhitungan Nilai *Index Of Fit* Waktu
Antar Perbaikan Komponen *Bearing*)

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bearing* terhadap distribusi Normal

i	t _i (Jam)	x _i = t _i	F(t _i)=(i-0.3)/(n+0.4)	y _i =z _i = [φ ⁻¹ F(t _i)]	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	2,42	2,42	0,1591	-1,0000	-2,4170	5,8419	1,0000
2	2,75	2,75	0,3864	-0,2900	-0,7975	7,5625	0,0841
3	3,00	3,00	0,6136	0,2900	0,8700	9,0000	0,0841
4	3,17	3,17	0,8409	1,0000	3,1700	10,0489	1,0000
Total		11,34	2,0000	0,0000	0,8255	32,4533	2,1682

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{4(0,8255) - (11,34)(0)}{\sqrt{\{4(32,4533) - (11,34^2)\} \{4(2,1682) - (0)\}}} \\
 &= \frac{3,302}{3,339} \\
 &= 0,989
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bearing* terhadap distribusi Lognormal

i	t _i (Jam)	x _i = ln(t _i)	F(t _i)=(i- 0,3)/(n+0,4)	y _i = z _i = [φ ⁻¹ (F(t _i))]	x _i ·y _i	x _i ²	y _i ²
1	2,42	0,8825	0,1591	-0,9982	-0,8809	0,7789	0,9964
2	2,75	1,0116	0,3864	-0,2888	-0,2922	1,0233	0,0834
3	3,00	1,0986	0,6136	0,2888	0,3173	1,2069	0,0834
4	3,17	1,1537	0,8409	0,9982	1,1517	1,3311	0,9964
Total		4,1465		0,0000	0,2958	4,3402	2,1596

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(4 \times 0,2958) - (4,1465 \times 0)}{\sqrt{\{(4 \times 4,3402) - (4,1465^2)\} \{(4 \times 2,1596) - (0)^2\}}} \\
 &= \frac{1,1832}{1,2023} \\
 &= 0,984
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bearing* terhadap distribusi Weibull

i	t _i (Jam)	x _i = ln(t _i)	F(t _i)=(i- 0,3)/(n+0,4)	y _i = lnln(1/(1- F(t _i)))	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	2,42	0,8825	0,1591	-1,7529	-1,5470	0,7789	3,0726
2	2,75	1,0116	0,3864	-0,7167	-0,7250	1,0233	0,5137
3	3,00	1,0986	0,6136	-0,0503	-0,0552	1,2069	0,0025
4	3,17	1,1537	0,8409	0,6088	0,7024	1,3311	0,3707
Total		4,1465		-1,9110	-1,6248	4,3402	3,9595

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(4 \times (-1,6248)) - ((4,1465) \times (-1,9110))}{\sqrt{\{(4 \times 4,3402) - (4,1465^2)\} \{(4 \times 3,9595) - (-1,9110)^2\}}} \\
 &= \frac{1,4247615}{1,4280024} \\
 &= 0,997
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *index of fit* komponen *bearing* terhadap distribusi Eksponensial

i	t _i (Jam)	x _i = t _i	F(t _i)=(i- 0.3)/(n+0.4)	y _i = ln(1/(1- F(t _i))	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	2,42	2,42	0,1591	0,1733	0,4188	5,8419	0,0300
2	2,75	2,75	0,3864	0,4884	1,3430	7,5625	0,2385
3	3,00	3,00	0,6136	0,9510	2,8529	9,0000	0,9044
4	3,17	3,17	0,8409	1,8383	5,8273	10,0489	3,3793
Total		11,34		3,4509	10,4420	32,4533	4,5521

$$\begin{aligned}
 \text{Index of fit (r)} &= \frac{(n \sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \\
 &= \frac{(4 \times (10,4420)) - (11,34 \times 3,4509)}{\sqrt{\{(4 \times (32,4533) - (11,34^2)) \{(4 \times 4,5521) - (3,4509^2)\}}} \\
 &= \frac{2,634794}{2,845904} \\
 &= 0,925
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN F

(Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi
Data Waktu Antar Kerusakan)

Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi Terhadap Nilai *Index of Fit* Komponen

Bearing

i	t _i	Ln(t _{i+1})	Ln(t _i)	$\frac{\text{Ln}(t_{i+1})}{-\text{Ln}(t_i)}$	Z _{i+1}	Z _i	M _i	$\frac{(\text{Ln}(t_{i+1}) - \text{Ln}(t_i))/M_i}{M_i}$
1	327,50	6,07247	5,79149	0,28098	-0,4796	-1,7894	1,30985	0,21451
2	433,75	6,16821	6,07247	0,09574	0,38277	-0,4796	0,86235	0,11102
3	477,33		6,16821	-6,1682				

$$k_1 = \frac{r}{2} = \frac{3}{2} = 1,5$$

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

$$M_{hitung} = \frac{k_1 \sum_{i=k_2+1}^{r-1} \left[\frac{(\text{Ln}t_{i+1} - \text{Ln}t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\text{Ln}t_{i+1} - \text{Ln}t_i)}{M_i} \right]}$$

$$= \frac{1,5 \times (0,11102)}{1 \times (0,21451)}$$

$$= \frac{0,16653}{0,21451}$$

$$= 0,7763$$

Perhitungan nilai F_{tabel} dengan α = 0,05 adalah sebagai berikut:

$$v_1 = 2k_2 = 2$$

$$v_2 = 2k_1 = 3$$

$$F_{tabel}(\alpha, v_1, v_2) = F_{tabel}(0,05; 2, 3) = 5,46.$$

Kriteria uji : M_{hitung} < F_{tabel}
 = 0,7763 < 5,46, Terima Ho

LAMPIRAN G

(Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi
Data Waktu Antar Perbaikan)

Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi Data Waktu Antar Perbaikan Terhadap
Komponen Bearing

i	t_i	$\ln t_{i+1}$	$\ln t_i$	$\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{\ln t_i}$	Z_{i+1}	Z_i	M_i	$\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i}$
1	2,417	1,0116	0,88253	0,12907	-0,8317	-2,0781	1,24646	0,10355
2	2,75	1,09861	1,0116	0,08701	-0,1196	-0,8317	0,71211	0,12219
3	3,00	1,15373	1,09861	0,05512	0,55078	-0,1196	0,67035	0,08223
4	3,17		1,15373					

Taraf nyata (α) = 0,05

$$k_1 = \frac{r}{2} = \frac{4}{2} = 2$$

$$k_2 = \frac{r-1}{2} = \frac{4-1}{2} = 1,5$$

$$M_{hitung} = \frac{k_i \sum_{i=k_2+1}^{r-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}$$

$$= \frac{2 \times (0,08223)}{1,5 \times (0,10355 + 0,12219)}$$

$$= 0,4857$$

Perhitungan nilai F_{tabel} dengan nilai $\alpha = 0,05$ adalah sebagai berikut:

$$v_1 = 2k_2 = 3$$

$$v_2 = 2k_1 = 4$$

Taraf Nyata (α) = 0,05

$$F_{tabel}(\alpha, v_1, v_2) = F_{tabel}(0,05; 3; 4) = 4,14$$

Kriteria uji : $M_{hitung} < F_{tabel}$
 $= 0,4857 < 4,14$, Terima H_0

LAMPIRAN H

(Perhitungan Nilai Estimasi Parameter
Data Waktu Antar Kerusakan)

Perhitungan Nilai Estimasi Parameter Data Waktu Antar Kerusakan Terhadap Komponen *Bearing* yang Berdistribusi Weibull

Iterasi 1

i	t_i (Jam)	$\ln(t_i)$	t_i^β	$t_i^\beta \ln(t_i)$	$t_i^\beta \ln(t_i)^2$
1	327,50	5,791488055	1,49535E+12	8,66032E+12	5,01561E+13
2	433,75	6,072468331	5,82659E+12	3,53818E+13	2,14855E+14
3	477,33	6,168208076	9,2614E+12	5,71262E+13	3,52367E+14
Total	1238,58	18,03216446	1,65833E+13	1,01168E+14	6,17377E+14

Iterasi 2

i	t_i (Jam)	$\ln(t_i)$	t_i^β	$t_i^\beta \ln(t_i)$	$t_i^\beta \ln(t_i)^2$
1	327,50	5,79149	3,96522E+17	2,29645E+18	1,32999E+19
2	433,75	6,07247	2,83182E+18	1,71962E+19	1,04423E+20
3	477,33	6,16821	5,53331E+18	3,41306E+19	2,10525E+20
Total	1238,58	18,0322	8,76165E+18	5,36232E+19	3,28248E+20

Iterasi 3

i	t_i (Jam)	$\ln(t_i)$	t_i^β	$t_i^\beta \ln(t_i)$	$t_i^\beta \ln(t_i)^2$
1	327,50	5,79149	4,51675E+20	2,61587E+21	1,51498E+22
2	433,75	6,07247	4,53855E+21	2,75602E+22	1,67358E+23
3	477,33	6,16821	9,9624E+21	6,14502E+22	3,79038E+23
Total	1238,58	18,0322	1,49526E+22	9,16262E+22	5,61546E+23

Iterasi 4

i	t_i (Jam)	$\ln(t_i)$	t_i^β	$t_i^\beta \ln(t_i)$	$t_i^\beta \ln(t_i)^2$
1	327,50	5,79149	1,74383E+21	1,00994E+22	5,84905E+22
2	433,75	6,07247	1,87094E+22	1,13612E+23	6,89906E+23
3	477,33	6,16821	4,19958E+22	2,59039E+23	1,59780E+24
Total	1238,58	18,0322	6,2449E+22	3,8275E+23	2,3462E+24

Iterasi 5

i	t_i (Jam)	$\ln(t_i)$	t_i^β	$t_i^\beta \ln(t_i)$	$t_i^\beta \ln(t_i)^2$
1	327,50	5,79149	1,81116E+21	1,04919E+22	6,07635E+22
2	433,75	6,07247	1,94724E+22	1,18246E+23	7,18044E+23
3	477,33	6,16821	4,37361E+22	2,69773E+23	1,66402E+24
Total	1238,58	18,0322	6,50201E+22	3,98511E+23	2,44282E+24

Iterasi 6

i	t_i (Jam)	$\ln(t_i)$	t_i^β	$t_i^\beta \ln(t_i)$	$t_i^\beta \ln(t_i)^2$
1	327,50	5,79149	1,81165E+21	1,04922E+22	6,07653E+22
2	433,75	6,07247	1,9473E+22	1,18249E+23	7,18065E+23
3	477,33	6,16821	4,37374E+22	2,69782E+23	1,66407E+24
Total	1238,58	18,0322	6,50221E+22	3,98523E+23	2,4429E+24

LAMPIRAN I

(Perhitungan Nilai Estimasi Parameter
Data Waktu Antar Perbaikan)

Perhitungan Nilai Estimasi Parameter Data Waktu Antar Perbaikan Terhadap
Komponen *Bearing*

Iterasi 1

i	t_i (Jam)	$\ln(t_i)$	t_i^β	$t_i^\beta \ln(t_i)$	$t_i^\beta \ln(t_i)^2$
1	2,42	0,882527102	1804,14	1592,2	1405,16
2	2,75	1,011600912	5401,5	5464,16	5527,55
3	3,00	1,098612289	11312,6	12428,1	13653,7
4	3,17	1,153731588	18069,1	20846,8	24051,7
Total		4,14647189	36587,3	40331,3	44638

Iterasi 2

i	t_i (Jam)	$\ln(t_i)$	t_i^β	$t_i^\beta \ln(t_i)$	$t_i^\beta \ln(t_i)^2$
1	2,42	0,88253	20815,5	18370,2	16212,2
2	2,75	1,0116	89119,1	90152,9	91198,8
3	3,00	1,09861	237539	260963	286698
4	3,17	1,15373	442023	509976	588376
Total		4,14647	789497	879463	982484

Iterasi 3

i	t_i (Jam)	$\ln(t_i)$	t_i^β	$t_i^\beta \ln(t_i)$	$t_i^\beta \ln(t_i)^2$
1	2,42	0,88253	50274,1	44368,2	39156,2
2	2,75	1,0116	244871	247712	250586
3	3,00	1,09861	711967	782175	859308
4	3,17	1,15373	1399871	1615075	1863363
Total		4,14647	2406983	2689331	3012413

Iterasi 4

i	t_i (Jam)	$\ln(t_i)$	t_i^β	$t_i^\beta \ln(t_i)$	$t_i^\beta \ln(t_i)^2$
1	2,42	0,88253	54216,9	47847,9	42227,1
2	2,75	1,0116	267008	270106	273239
3	3,00	1,09861	782130	859258	943991
4	3,17	1,15373	1545095	1782625	2056671
Total		4,14647	2648450	2959837	3316128

Iterasi 5

i	t_i (Jam)	$\ln(t_i)$	t_i^β	$t_i^\beta \ln(t_i)$	$t_i^\beta \ln(t_i)^2$
1	2,42	0,88253	54242,9	47870,8	42247,3
2	2,75	1,0116	267155	270254	273389
3	3,00	1,09861	782598	859771	944555
4	3,17	1,15373	1546065	1783744	2057961
Total		4,14647	2650060	2961640	3318154

LAMPIRAN J

(Tabel Kolmogorof-Smirnov, Tabel distribusi F, Tabel *Chi-Square*, dan Tabel Gamma)