

**PENENTUAN INTERVAL WAKTU *PREVENTIVE REPLACEMENT*
PADA KOMPONEN KRITIS MESIN BENDING
DI PT NGK BUSI INDONESIA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Penyelesaian Program Diploma IV
Program Studi Teknik dan Manajemen Industri**



DISUSUN OLEH :

NAMA : PUTRI APRIYANTI

NIM : 1112054

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

2016

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

TANDA PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

**JUDUL TUGAS AKHIR : PENENTUAN INTERVAL WAKTU
PREVENTIVE REPLACEMENT PADA
KOMPONEN KRITIS MESIN *BENDING* DI
PT NGK BUSI INDONESIA**

**DISUSUN OLEH :
NAMA : PUTRI APRIYANTI
NIM : 1112054
PROGRAM STUDI : TEKNIK DAN MANAJEMEN INDUSTRI**

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

**Menyetujui,
Jakarta, 27 Juli 2016**

**Dosen Pembimbing
Pembimbing**

Dosen Asistensi

**Ir. Moh. Rahmatullah, MBA
MM
195504071984031004
195404101982031001**

Juhari Masudi, SMI,

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

LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL TUGAS AKHIR : PENENTUAN INTERVAL WAKTU
PREVENTIVE REPLACEMENT PADA
KOMPONEN KRITIS MESIN *BENDING* DI
PT NGK BUSI INDONESIA**

**DISUSUN OLEH :
NAMA : PUTRI APRIYANTI
NIM : 1112054
PROGRAM STUDI : TEKNIK DAN MANAJEMEN INDUSTRI**

**Telah Diuji oleh Tim Penguji Sidang Ujian Tugas Akhir Politeknik STMI
Jakarta Pada Hari Selasa Tanggal 25 Oktober 2016.**

Jakarta, Oktober 2016

Dosen Penguji 1

Dosen Penguji 2

**Siti Aisyah, ST, MT
MM
197712172002122003
195510091982031002**

DR. Huwae Elias Paulus, Msc,

Dosen Penguji 3

Dosen Penguji 4

**Muhammad Agus, ST, MT
Rahmatullah, MBA
197008292002121001
195504071984031004**

Ir. Moh.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Putri Apriyanti
NIM : 1112054
Program Studi : Teknik dan Manajemen Industri

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

“PENENTUAN INTERVAL WAKTU *PREVENTIVE REPLACEMENT* PADA KOMPONEN KRITIS MESIN BENDING DI PT NGK BUSI INDONESIA”

- **Dibuat** dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survey lapangan, dosen pembimbing dan asistensi dosen pembimbing, melalui tanya jawab maupun buku-buku dan jurnal yang menjadi acuan yang tertera dalam referensi pada Tugas Akhir ini.
- **Bukan** merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai sebelumnya untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas atau Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan sebagai bahan referensi pendukung, untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi pada Tugas Akhir ini.
- **Bukan** merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya Tugas Akhir saya.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah dinyatakan seperti diatas, maka saya bersedia menerima sanksi berdasarkan peraturan yang berlaku.

Jakarta, Juli 2016
Pembuat Pernyataan

Putri Apriyanti

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah menganugerahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir (TA) yang berjudul “Penentuan Interval Waktu *Preventive Replacement* Pada Komponen Kritis Mesin *Bending* Di PT NGK BUSI Indonesia”. Penulisan Tugas Akhir ini untuk memenuhi sebagian syarat penyelesaian Program Diploma Empat (IV) Program Studi Teknik dan Manajemen Industri, pada Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian R.I.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik dari masa perkuliahan sampai penulisan laporan penelitian ini sulit bagi penulis untuk menyelesaikan laporan ini. Terimakasih untuk kedua orangtua yang selalu menjadi motivasi dan penyemangat dalam menyelesaikan laporan ini, untuk dapat membahagiakan dan membanggakannya dan selalu mendoakan yang terbaik untuk anaknya, dan ucapan terima kasih lainnya penulis sampaikan kepada:

- Bapak DR. Mustofa, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian R.I.
- Bapak DR. Ridzky Kramanandita, S.Kom, M.T. selaku Pudir 1 Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian R.I.
- Bapak Muhamad Agus S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik dan Manajemen Industri.
- Bapak Ir. Moh. Rahmatullah, MBA dan bapak Juhari Masudi, SMI, MM sebagai dosen pembimbing dan asistensi dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
- Seluruh dosen Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian R.I. yang telah memberikan pengetahuan dan pengalaman yang bermanfaat bagi penulis.
- Bapak Harjanto Agung, Bapak Edy Haryono, Bapak Sigit, Bapak Nugroho Budi, Bapak Andi, dan Bapak Novi, yang telah memberikan arahan dan masukan selama Praktek Kerja Lapangan.

- Seluruh staf khususnya bagian *maintenance* dan *production engineering* PT NGK Busi Indonesia yang telah membantu memberikan informasi dalam pengumpulan data.
- Tth Febi dan Aa Berry yang selalu memberikan *support* untuk adik tersayang.
- Teman-teman mahasiswa Program Studi Teknik dan Manajemen Industri terutama yaitu Indri, Fransisca, Irin, Lita, Sarah, Febriani, Ferissa, Hanny, Resti, Nur Latifah, Armina, Intan, Risa, Aiko, Amalina, Dini dan teman-teman seperjuangan lainnya atas kebersamaan dan motivasinya selama ini.
- Seluruh anggota Himpunan Teknik dan Manajemen Industri (HMTMI), baik pengurus, mantan pengurus maupun DPP, yang selalu memberikan motivasi untuk tetap fokus belajar dalam kuliah meskipun harus tetap menjalankan kegiatan organisasi.
- Teman SMA Yuli, Evi, dan Oca yang selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Serta semua pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang memberikan kritik, saran, dan bantuan dalam pembuatan laporan ini.

Semoga Allah membalas kebaikan dan ketulusan semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan penelitian ini. Untuk itu penulis mohon kritik dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan di masa yang akan datang. Besar harapan penulis bahwa laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya.

Jakarta, Juli 2016

Penulis

ABSTRAK

Sebuah pabrik atau manufaktur selalu menginginkan target produksi yang direncanakan dapat terpenuhi dengan baik, salah satu faktor yang harus diperhatikan adalah masalah perawatan (*maintenance*) fasilitas produksi. Fasilitas produksi disini adalah kinerja mesin agar dapat berjalan dengan baik. PT NGK Busi Indonesia merupakan perusahaan industri dibidang otomotif, memproduksi dan menjual suku cadang kendaraan yang berkaitan dengan mesin-mesin pembakaran yaitu *spark plug* (busi). Sistem penggantian komponen mesin yang diterapkan pada perusahaan ini masih *corrective* (komponen diganti bila terjadi kerusakan), menyebabkan pemberhentian mesin secara tiba-tiba, sehingga proses produksi terhambat, jumlah produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diharapkan, dan adanya sumber daya yang mengganggu disebabkan karena terjadinya kerusakan mesin. Selama periode Januari-Juni 2016 mesin *Bending 4* menjadi mesin kritis karena memiliki waktu kerusakan tertinggi dibandingkan mesin *Bending* lainnya. Berdasarkan kondisi tersebut, maka dalam penelitian ini dilakukan penentuan waktu interval *Preventive Replacement*, dimana penggantian dilakukan sebelum terjadinya kerusakan diharapkan dapat meningkatkan volume produksi, produk yang diterima konsumen tidak mengalami keterlambatan, dan dapat meningkatkan kelancaran proses produksi. Metode yang digunakan adalah *Age Replacement* yaitu menentukan interval penggantian pencegahan berdasarkan umur optimal komponen. Komponen yang diamati dalam penelitian ini adalah komponen *pillow*, *gap knife*, dan *pressing cope* yang terpilih menjadi komponen kritis. Dari hasil pengolahan dan analisis data diperoleh rata-rata waktu kerusakan atau *Mean Time Between Failure* (MTBF) komponen *pillow* 486,04824 jam dengan kehandalan 50%, *gap knife* 298,37640 jam dengan kehandalan 37,985%, dan *pressing cope* 608,49004 jam dengan kehandalan 48,929%. Sedangkan interval waktu penggantian pencegahan komponen *pillow* $t_p=400$ jam, *gap knife* $t_p=205$ jam, dan *pressing cope* $t_p=473$ jam. Hasil yang didapat sudah cukup optimal karena penggantian pencegahan dilakukan sebelum rata-rata waktu kerusakan terjadi pada setiap komponen. Setelah dilakukan tindakan penggantian pencegahan pada titik t_p , maka peluang kehandalan komponen akan meningkat ke titik 1 atau 100%. Diharapkan dengan meningkatnya nilai kehandalan ini akan dapat berpengaruh terhadap mesin yang menjalankan proses produksi.

Kata Kunci : *Preventive Replacement*, *Age Replacement*, Komponen Kritis, MTBF, Kehandalan.

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	
Lembar Persetujuan Dosen Pembimbing	
Lembar Bimbingan Tugas Akhir	
Lembar Pernyataan Keaslian	
Lembar Pengesahan Sidang	
Abstrak	
Kata Pengantar	
Daftar Isi.....	i
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Tabel	
.....	vii
i	
Daftar Lampiran.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1.....	La
tar Belakang Masalah.....	1
1.2.....	Pe
rumusan Masalah.....	2
1.3.....	Tu
juan Penelitian.....	2
1.4.....	Pe
mbatasan Masalah.....	3
1.5.....	M
anfaat Penelitian.....	3
1.6.....	Si
stematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	6
2.1. Pemeliharaan.....	6
2.1.1. Definisi Pemeliharaan.....	6
2.1.2. Tujuan Pemeliharaan.....	7

2.1.3. Jenis-jenis Pemeliharaan	7
2.1.4. Konsep-konsep Pemeliharaan	12
2.1.5. Strategi Pemeliharaan	14
2.1.6. Fungsi Laju Kerusakan	15
2.2. Distribusi Kerusakan	16
2.2.1. Distribusi Normal	16
2.2.2. Distribusi Lognormal	17
2.2.3. Distribusi <i>Eksponensial</i>	17
2.2.4. Distribusi <i>Weibull</i>	18
2.3. Identifikasi Distribusi Kerusakan	19
2.3.1. <i>Index of Fit</i>	19
2.3.2. Uji Kecocokan Distribusi (<i>Goodness of Fit</i>)	22
2.3.2.1. Uji <i>Bartlett's</i> Untuk Distribusi <i>Eksponensial</i>	22
2.3.2.2. Uji <i>Mann's</i> Untuk Distribusi <i>Weibull</i>	22
2.3.2.3. Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> Untuk Distribusi Normal dan Lognormal	23
2.3.3. Penentuan Estimasi Parameter (<i>Maximum Likelihood Estimator</i>)	24
2.3.3.1. MLE Untuk Distribusi <i>Eksponensial</i>	24
2.3.3.2. MLE Untuk Distribusi <i>Weibull</i>	24
2.3.3.3. MLE Untuk Distribusi Normal	25
2.3.3.4. MLE Untuk Distribusi Lognormal	25
2.3.4. <i>Mean Time Between Failure</i> (MTBF) dan <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR)	25
2.3.5. Interval Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi <i>Downtime</i>	26
2.3.6. Perhitungan Keandalan Kondisi Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan	27
2.4. Diagram Pareto	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1. Studi Pendahuluan	32

3.2. Identifikasi Masalah	32
3.2.1. Studi Literatur.....	33
3.2.2. Studi Lapangan.....	33
3.3. Tujuan Penelitian.....	33
3.4. Pengumpulan Data.....	33
3.5. Pengolahan Data	34
3.5.1. Penentuan Mesin Kritis	34
3.5.2. Penentuan Komponen Kritis.....	35
3.5.3. Perhitungan Selang Waktu Kerusakan dan Selang Waktu Perbaikan	35
3.5.4. Penentuan Distribusi Kerusakan.....	35
3.5.5. Pengujian Kecocokan Distribusi	35
3.5.6. Perhitungan Parameter Berdasarkan Metode <i>Maximum Likelihood Estimator (MLE)</i>	36
3.5.7. Perhitungan MTBF dan MTTR.....	36
3.5.8. Perhitungan Interval Waktu Pengantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi <i>Downtime</i>	36
3.5.9. Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Kondisi Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan	36
3.6. Analisis dan Pembahasan	36
3.7. Kesimpulan dan Saran	37
3.8. <i>Flowchart</i> Pemecahan Masalah.....	37
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	39
4.1. Pengumpulan Data.....	39
4.1.1. Profil Perusahaan.....	39
4.1.2. Sejarah Singkat Perusahaan.....	39
4.1.3. Sasaran Mutu Perusahaan.....	40
4.1.4. Struktur Organisasi.....	42
4.1.5. Jam Kerja Perusahaan.....	45
4.1.6. Bidang Usaha Perusahaan	45
4.1.7. Proses Produksi <i>Spark Plug</i> (Busi).....	46

4.1.8. <i>Layout</i> Perusahaan.....	50
4.1.9. <i>Dara Waktu Kerusakan Bending</i>	50
4.2. <i>Pengolahan Data</i>	51
4.2.1. <i>Penentuan Mesin Kritis</i>	51
4.2.2. <i>Penentuan Komponen Kritis</i>	52
4.3. <i>Penentuan Rencana Pemeliharaan Optimal</i>	54
4.3.1. <i>Perhitungan TBF dan TTR</i>	54
4.3.1.1. <i>Perhitungan TBF Komponen Kritis</i> Pada <i>Mesin Bending 4</i>	54
4.3.1.2. <i>Perhitungan TTR Komponen Kritis</i> Pada <i>Mesin Bending 4</i>	56
4.3.2. <i>Pemilihan Jenis Distribusi Pada Komponen Kritis</i>	58
4.3.2.1. <i>Perhitungan Index of Fit Time Between Failure</i> (<i>TBF</i>) <i>Komponen Pillow</i>	58
4.3.2.2. <i>Perhitungan Index of Fit Time To Repair (TTR)</i> <i>Komponen Pillow</i>	66
4.3.3. <i>Pengujian Kecocokan Distribusi (Goodness of Fit)</i>	73
4.3.3.1. <i>Pengujian Kecocokan untuk Time Between Failure</i> dan <i>Time to Repair</i> pada <i>Komponen Pillow</i>	74
4.3.3.2. <i>Pengujian Kecocokan untuk Time Between Failure</i> dan <i>Time to Repair</i> pada <i>Komponen Gap Knife</i>	76
4.3.3.3. <i>Pengujian Kecocokan untuk Time Between</i> <i>Failure</i> dan <i>Time to Repair</i> pada <i>Komponen</i> <i>Pressing Cope</i>	79
4.3.4. <i>Perhitungan Estimasi Parameter pada Tiap</i> <i>Distribusi yang Terpilih</i>	81
4.3.4.1. <i>Perhitungan MLE Time Between Failure</i> <i>Komponen Kritis</i>	82
4.3.4.2. <i>Perhitungan MLE Time to Repair</i> <i>Komponen Kritis</i>	85
4.3.5. <i>Perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF)</i>	89

4.3.5.1. Perhitungan (MTBF) untuk Komponen <i>Pillow</i>	89
4.3.5.2. Perhitungan (MTBF) untuk Komponen <i>Gap Knife</i>	89
4.3.5.3. Perhitungan (MTBF) untuk Komponen <i>Pressing Cope</i>	90
4.3.6. Perhitungan <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR).....	90
4.3.6.1. Perhitungan (MTTR) untuk Komponen <i>Pillow</i>	90
4.3.6.2. Perhitungan (MTTR) untuk Komponen <i>Gap Knife</i>	91
4.3.6.3. Perhitungan (MTTR) untuk Komponen <i>Pressing Cope</i>	91
4.3.7. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Minimasi <i>Downtime</i>	91
4.3.7.1. Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Pillow</i>	91
4.3.7.2. Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Gap Knife</i>	93
4.3.7.3. Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Pressing Cope</i>	95
4.3.8. Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Kondisi Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan Pada Komponen Kritis...	97
4.3.8.1. Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Komponen <i>Pillow</i>	97
4.3.8.2. Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Komponen <i>Gap Knife</i>	99
4.3.8.3. Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Komponen <i>Pressing Cope</i>	10

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

.....	10
5	
5.1. Analisis Penentuan Mesin Dan Komponen Kritis	10
.....	10
5	
5.1.1. Analisis Penentuan Mesin Kritis	10
.....	10
5	
5.1.2. Analisis Penentuan Komponen Kritis	10
.....	10
5	
5.2. Analisis Rencana Pemeliharaan Optimal	10
.....	10
6	
5.2.1. Analisis Perhitungan TBF Dan TTR Komponen Kritis	10
.....	10
6	
5.2.2. Analisis Pemilihan Jenis Distribusi Komponen Kritis	10
.....	10
6	
5.2.3. Analisis Pengujian Kecocokan Distribusi Untuk	
Data TBF Dan TTR	
.....	10
7	
5.2.4. Analisis Estimasi Parameter Komponen Kritis	10
.....	10
8	
5.2.5. Analisis MTBF Dan MTTR Komponen Kritis	10
.....	10
9	

	5.2.6. Analisis Interval Waktu Penggantian Pencegahan			
		Berdasarkan	Kriteria	Minimasi <i>Downtime</i>
	0 11		
	5.2.7. Analisis Tingkat Keandalan (<i>Reliability</i>) Kondisi Tanpa			
		dan Dengan Penggantian Pencegahan Pada		
	1	Komponen		Kritis
	 11		
BAB	VI	KESIMPULAN	DAN	SARAN
	3 11		
	6.1.			Kesimpulan
	 11		
	3			
	6.2. Saran			
	 11		
	4			
	DAFTAR PUSTAKA			
	 11		
	5			
	LAMPIRAN			

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1.	Hubungan Antara Berbagai Bentuk Pemeliharaan.....	8
Gambar 2.2.	Konsep <i>Downtime</i>	13
Gambar 2.3.	Kurva Laju Kerusakan	15
Gambar 2.4.	Tampilan <i>Worksheet Minitab</i>	31
Gambar 2.5.	Tampilan Input Data Pareto <i>Chart</i> Pada <i>Minitab</i>	31
Gambar 2.6.	Tampilan Diagram Pareto.....	31
Gambar 3.1.	<i>Flowchart</i> Pemecahan Masalah.....	37
Gambar 4.1.	Sertifikat ISO 9001:2004	41
Gambar 4.2.	Sertifikat ISO 14001:2004.....	42
Gambar 4.3.	Nama-nama Bagian Pada <i>Spark Plug</i> (Busi).....	46
Gambar 4.4.	<i>Flow Process Metal Shell</i>	48
Gambar 4.5.	<i>Flow Process Assy</i>	48
Gambar 4.6.	<i>Flow Process Assembling</i> dan <i>Bending Process</i>	49
Gambar 4.7.	<i>Flow Process Final Inspection</i> dan <i>Packaging</i>	49
Gambar 4.8.	Grafik Waktu Kerusakan Mesin <i>Bending</i> Bulan Januari-Juni 2016.....	52
Gambar 4.9.	Grafik Diagram Pareto Waktu Kerusakan Komponen Mesin <i>Bending</i> 4 Bulan Januari-Juni 2016.....	53
Gambar 4.10.	Grafik Keandalan Komponen <i>Pillow</i> Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan	99
Gambar 4.11.	Grafik Keandalan Komponen <i>Gap Knife</i> Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan 101	
Gambar 4.12.	Grafik Keandalan Komponen <i>Pressing Cope</i> Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan 104	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1.	Pengaruh Nilai β Pada Distribusi <i>Weibull</i> 19
Tabel 2.2.	Contoh Hasil Perhitungan Diagram Pareto 30
Tabel 4.1.	Sasaran Mutu Perusahaan 40
Tabel 4.2.	Jam Kerja dan Istirahat PT NGK Busi Indonesia 45
Tabel 4.3.	Data Waktu Kerusakan Penggantian Komponen <i>Bending</i> 1 Sampai <i>Bending</i> 5 Periode Januari-Juni 2016 50
Tabel 4.4.	Hasil Perhitungan Diagram Pareto Komponen Mesin <i>Bending</i> 4 Bulan Januari-Juni 2016 53
Tabel 4.5.	Hasil Perhitungan Selang Waktu Kerusakan (TBF) Komponen <i>Pillow</i> Bulan Januari-Juni 2016 55
Tabel 4.6.	Hasil Perhitungan Selang Waktu Kerusakan (TBF) Komponen <i>Gap Knife</i> Bulan Januari-Juni 2016 55
Tabel 4.7.	Hasil Perhitungan Selang Waktu Kerusakan (TBF) Komponen <i>Pressing Cope</i> Bulan Januari-Juni 2016 55
Tabel 4.8.	Hasil Perhitungan Selang Waktu Perbaikan (TTR) Komponen <i>Pillow</i> Bulan Januari-Juni 2016 56
Tabel 4.9.	Hasil Perhitungan Selang Waktu Perbaikan (TTR) Komponen <i>Gap Knife</i> Bulan Januari-Juni 2016 57
Tabel 4.10.	Hasil Perhitungan Selang Waktu Perbaikan (TTR) Komponen <i>Pressing Cope</i> Bulan Januari-Juni 2016 57
Tabel 4.11.	Hasil Perhitungan <i>Index of Fit</i> TBF Distribusi <i>Weibull</i> Komponen <i>Pillow</i> 58
Tabel 4.12.	Hasil Perhitungan <i>Index of Fit</i> TBF Distribusi <i>Eksponensial</i> Komponen <i>Pillow</i> 60
Tabel 4.13.	Hasil Perhitungan <i>Index of Fit</i> TBF Distribusi <i>Lognormal</i> Komponen <i>Pillow</i> 61
Tabel 4.14.	Hasil Perhitungan <i>Index of Fit</i> TBF Distribusi <i>Normal</i> Komponen <i>Pillow</i> 63

Tabel 4.15.	Nilai <i>Index of Fit</i> TBF Komponen <i>Pillow</i>	65
Tabel 4.16.	Nilai <i>Index of Fit</i> TBF Komponen <i>Gap Knife</i>	65
Tabel 4.17.	Nilai <i>Index of Fit</i> TBF Komponen <i>Pressing Cope</i>	65
Tabel 4.18.	Hasil Perhitungan <i>Index of Fit</i> TTR Distribusi <i>Weibull</i> Komponen <i>Pillow</i>	66
Tabel 4.19.	Hasil Perhitungan <i>Index of Fit</i> TTR Distribusi <i>Eksponensial</i> Komponen <i>Pillow</i>	68
Tabel 4.20.	Hasil Perhitungan <i>Index of Fit</i> TTR Distribusi <i>Lognormal</i> Komponen <i>Pillow</i>	69
Tabel 4.21.	Hasil Perhitungan <i>Index of Fit</i> TTR Distribusi <i>Normal</i> Komponen <i>Pillow</i>	71
Tabel 4.22.	Nilai <i>Index of Fit</i> TTR Komponen <i>Pillow</i>	73
Tabel 4.23.	Nilai <i>Index of Fit</i> TTR Komponen <i>Gap Knife</i>	73
Tabel 4.24.	Nilai <i>Index of Fit</i> TTR Komponen <i>Pressing Cope</i>	73
Tabel 4.25.	Hasil Perhitungan Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> Data TBF Komponen <i>Pillow</i>	74
Tabel 4.26.	Hasil Perhitungan Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> Data TTR Komponen <i>Pillow</i>	75
Tabel 4.27.	Hasil Perhitungan Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> Data TBF Komponen <i>Gap Knife</i>	77
Tabel 4.28.	Hasil Perhitungan Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> Data TTR Komponen <i>Gap Knife</i>	78
Tabel 4.29.	Hasil Perhitungan Uji <i>Mann's</i> Data TBF Komponen <i>Pressing Cope</i>	79
Tabel 4.30.	Hasil Perhitungan Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> Data TTR Komponen <i>Pressing Cope</i>	80
Tabel 4.31.	Hasil Perhitungan MLE Data TBF Komponen <i>Pillow</i> Distribusi <i>Normal</i>	82
Tabel 4.32.	Nilai Estimasi Parameter MLE Data TBF Komponen <i>Pillow</i>	83
Tabel 4.33.	Hasil Perhitungan MLE Data TBF Komponen <i>Gap Knife</i> Distribusi <i>Lognormal</i>	83

Tabel 4.34.	Nilai Estimasi Parameter MLE Data TBF Komponen <i>Gap Knife</i>	84
Tabel 4.35.	Hasil Perhitungan MLE Data TBF Komponen <i>Pressing Cope</i> Distribusi <i>Weibull</i>	84
Tabel 4.36.	Nilai Estimasi Parameter MLE Data TBF Komponen <i>Pressing Cope</i>	85
Tabel 4.37.	Hasil Perhitungan MLE Data TTR Komponen <i>Pillow</i> Distribusi Normal	86
Tabel 4.38.	Nilai Estimasi Parameter MLE Data TTR Komponen <i>Pillow</i>	86
Tabel 4.39.	Hasil Perhitungan MLE Data TTR Komponen <i>Gap Knife</i> Distribusi Lognormal.....	87
Tabel 4.40.	Nilai Estimasi Parameter MLE Data TTR Komponen <i>Gap Knife</i>	87
Tabel 4.41.	Hasil Perhitungan MLE Data TTR Komponen <i>Pressing Cope</i> Distribusi Normal	88
Tabel 4.42.	Nilai Estimasi Parameter MLE Data TTR Komponen <i>Pressing Cope</i>	88
Tabel 4.43.	Hasil Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Pillow</i>	92
Tabel 4.44.	Hasil Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Gap Knife</i>	94
Tabel 4.45.	Hasil Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Pressing Cope</i>	96
Tabel 4.46.	Hasil perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan Komponen <i>Pillow</i>	98
Tabel 4.47.	Hasil perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan Komponen <i>Gap Knife</i>	
	100	
Tabel 4.48.	Hasil perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan Komponen <i>Pressing Cope</i>	
	102	

Tabel 5.1.	Ringkasan Pemilihan Distribusi dengan <i>Index of Fit</i>				
	Komponen				Kritis
	107				
Tabel 5.2.	Hasil Pengujian Hipotesis <i>Goodness of Fit</i>	Komponen			Kritis
	108				
Tabel 5.3.	Ringkasan Parameter MLE Data TBF dan TTR				
	Komponen				Kritis
	109				
Tabel 5.4.	Hasil Perhitungan	MTBF	Komponen		Kritis
	110				
Tabel 5.5.	Hasil Perhitungan	MTTR	Komponen		Kritis
				11
	0				
Tabel 5.6.	Hasil Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan				
	Berdasarkan	Kriteria	Minimasi	<i>Downtime</i>	
	111				
Tabel 5.7.	Hasil Perbandingan	Tingkat Keandalan	Komponen		Kritis
	112				

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A

Strukturk Organissai

Layout Perusahaan

Lampiran B

Gambar Komponen Kritis Mesin *Bending* 4

Data Waktu Kerusakan Komponen Mesin *Bending*

Lampiran C

Perhitungan *Index of Fit* untuk Komponen *Gap Knife* dan *Pressing Cope*

Lampiran D

Tabel Z

Tabel *Chi-Squared*

Tabel F

Tabel Gamma

Tabel *Kolmogrov-Smirnov*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Sebuah pabrik atau manufaktur selalu menginginkan target produksi yang direncanakan dapat terpenuhi dengan baik, salah satu faktor yang harus diperhatikan adalah masalah perawatan (*maintenance*) fasilitas produksi. Fasilitas produksi disini adalah kinerja agar dapat berjalan dengan baik. Dukungan kerja mesin yang optimal membuat permintaan produksi dapat terpenuhi dan berjalan secara lancar.

Suatu mesin dengan kinerja baik, mampu beroperasi secara normal dalam suatu proses produksi. Pencapaian hal tersebut diperlukan pertimbangan mengenai sistem pemeliharaan secara tepat, berdasarkan jenis mesin dan komponen yang ada. Jenis dan komponen mesin mempunyai masa *life cycle* yang beragam, hal tersebut diharapkan dapat diperhatikan secara serius agar menghasilkan kinerja mesin yang baik.

PT NGK Busi Indonesia merupakan perusahaan industri dibidang otomotif, memproduksi dan menjual suku cadang kendaraan yang berkaitan dengan mesin-mesin pembakaran yaitu *spark plug* (busi). Sistem produksi pada PT NGK Busi Indonesia memiliki mesin produksi yang cukup banyak, dengan kondisi seperti ini perlu diberlakukan proses pemeliharaan yang tepat pada tiap mesinnya.

Sistem penggantian komponen mesin yang diterapkan pada perusahaan ini masih *corrective* (komponen diganti bila terjadi kerusakan) menyebabkan pemberhentian mesin secara tiba-tiba, sehingga proses produksi terhambat, jumlah produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diharapkan, dan adanya sumber daya yang mengganggu disebabkan karena terjadinya kerusakan mesin. *Preventive maintenance* merupakan solusi yang dapat dipertimbangkan dalam memperbaiki kinerja mesin yang ada, penggantian yang dilakukan sebelum terjadinya kerusakan diharapkan dapat meningkatkan volume produksi, produk yang

diterima konsumen tidak mengalami keterlambatan, dan dapat meningkatkan kelancaran proses produksi.

Dalam penelitian ini, adapun mesin yang akan diteliti pada proses pembuatan *spark plug* (busi) yaitu mesin *Bending*, dimana mesin ini memiliki rata-rata efisiensi terendah pada periode Januari-Juni 2016 dibandingkan mesin lainnya, rendahnya efisiensi dapat berpengaruh terhadap performa mesin dalam menjalankan proses produksinya. Proses penekukkan pada mesin *Bending* merupakan hal yang sangat penting, karena jika penekukkan tidak sempurna busi tersebut tidak menghasilkan pengapian dengan baik, sesuai dengan fungsi busi itu sendiri yaitu sebagai pemantik api untuk proses pembakaran, sehingga dapat menyebabkan produk yang dihasilkan menjadi *No Good* (NG) dan menghambat proses selanjutnya. Maka dari itu, penentuan interval waktu *preventive replacement* dengan metode *Age Replacement* pada komponen kritis mesin *Bending* sangat dibutuhkan, untuk menentukan waktu terbaik dalam penggantian pencegahan berdasarkan umur optimal suatu komponen serta meminimalkan total *downtime* pada perusahaan sehingga proses produksi dapat berjalan dengan lancar.

1.2. Perumusan Masalah

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

1. Pada mesin *Bending* manakah yang merupakan mesin kritis dalam produksi *spark plug* (busi) ?
2. Komponen manakah yang merupakan bagian kritis mesin *Bending* pada produksi *sparkplug* (busi) ?
3. Bagaimana *interval* waktu *preventive replacement* pada komponen kritis mesin *Bending* dalam produksi *spark plug* (busi) ?

1.3. Tujuan Penelitian

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

1. Menentukan mesin kritis pada mesin *Bending* dalam produksi *spark plug* (busi).
2. Menentukan komponen kritis pada mesin *Bending* dalam produksi *spark plug* (busi).
3. Mengetahui *interval* waktu *preventive replacement* berdasarkan umur optimal suatu komponen dalam produksi *spark plug* (busi).

1.4. Pembatasan Masalah

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

1. Penelitian ini dilakukan pada PT NGK Busi Indonesia.
2. Penelitian ini dilakukan pada mesin produksi yaitu *Bending*.
3. Data yang diambil adalah data produksi periode Januari-Juni 2016.
4. Hanya menentukan interval waktu penggantian pencegahan komponen kritis.
5. Biaya pemeliharaan dan perawatan mesin atau peralatan tidak diperhitungkan.

1.5. Manfaat Penelitian

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

1. Pihak perusahaan
Untuk membantu perusahaan dalam menentukan waktu *preventive maintenance* pada penggantian komponen kritis secara optimal agar dapat meminimalkan total *downtime*, dan dapat dijadikan sebagai usulan pada bagian *maintenance* pada PT NGK Busi Indonesia untuk melakukan perawatan pada komponen kritis tersebut.

2. Pihak peneliti

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

3. Bagi orang lain

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

1.6. Sistematika Penulisan

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

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : LANDASAN TEORI

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

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisi data-data yang diperoleh dari wawancara dan pengamatan. Data berupa profil perusahaan, sejarah singkat perusahaan, sasaran mutu perusahaan, struktur organisasi, jam kerja perusahaan, bidang usaha perusahaan dan proses produksi. Selain itu pada bab ini

juga dilakukan pengumpulan dan pengolahan data waktu kerusakan mesin *Bending*, selanjutnya data tersebut diolah untuk mengetahui interval waktu penggantian pencegahan.

BAB V : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan analisis dan pembahasan dari hasil pengolahan data.

BAB IV: KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Pemeliharaan

2.1.1. Definisi Pemeliharaan

Pemeliharaan merupakan suatu fungsi dalam suatu perusahaan pabrik yang sama pentingnya dengan fungsi-fungsi lain seperti produksi. Hal ini karena suatu perawatan mesin dan komponennya sangat diperlukan dalam setiap kegiatan produksi agar mesin dapat digunakan secara optimal sesuai dengan kapasitas produksinya, karena mesin yang bermasalah dapat mengganggu jalannya produksi dan dapat berpengaruh langsung kepada hasil produksi. Program perawatan mesin dan komponennya harus benar-benar direncanakan, sehingga waktu terhentinya mesin saat aktivitas produksi yang merugikan dapat dikurangi menjadi seminimal mungkin. Dalam usaha untuk menggunakan terus fasilitas tersebut agar kontinuitas produksi dapat terjamin, maka dibutuhkan kegiatan-kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang meliputi pemeliharaan pengecekan, meminyaki (*lubrication*) dan perbaikan/reparsi atas kerusakan-kerusakan yang ada serta penyesuaian/penggantian *spare part* atau komponen yang terdapat pada fasilitas tersebut.

Dengan adanya perawatan yang baik, kita juga dapat meminimasi adanya sumber daya yang menganggur disebabkan adanya kerusakan pada mesin ketika produksi dilakukan dan kita juga dapat meminimasi ataupun menghilangkan biaya kehilangan produksi. Pemeliharaan mempunyai peranan yang sangat menentukan dalam kegiatan produksi dari suatu perusahaan pabrik yang menyangkut kelancaran atau kemacetan produksi, volume produksi serta efisiensi produksi. Agar produk yang diterima konsumen tidak mengalami keterlambatan. Dengan adanya *maintenance* diharapkan semua fasilitas dan mesin dapat dioperasikan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan dan mampu meningkatkan kelancaran proses produksi didalam perusahaan (Assauri, 2008). Menurut Corder (1992) pemeliharaan atau perawatan adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang atau memperbaikinya sampai pada suatu

kondisi yang bisa diterima. Menurut Ebeling (1997), perawatan (*maintenance*) didefinisikan sebagai aktivitas agar komponen/sistem yang rusak akan dikembalikan/diperbaiki dalam suatu kondisi tertentu pada periode tertentu.

2.1.2. Tujuan Pemeliharaan

Tujuan pemeliharaan mesin yang utama dapat didefinisikan sebagai berikut (Corder, 1992):

1. Untuk memperpanjang usia kegunaan asset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya). Hal ini terutama penting di negara berkembang karena kurangnya sumber daya modal untuk penggantian. Di negara-negara maju kadang-kadang lebih menguntungkan untuk ‘mengganti’ dari pada ‘memelihara.
2. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi/jasa dan mendapatkan laba investasi (*return of investment*) maksimum yang mungkin.
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran dan penyelamat, dan sebagainya.
4. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

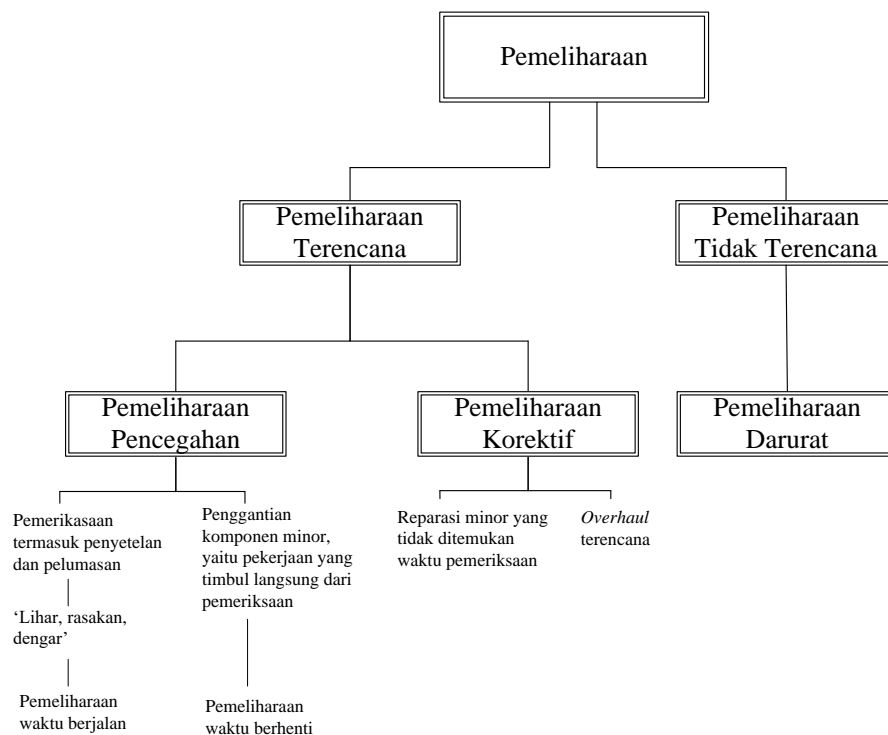
Dari keterangan diatas dapatlah dinyatakan bahwa pemeliharaan berkaitan erat dengan proses produksi karena kegagalan pemeliharaan akan sangat mengganggu kelancaran proses produksi.

2.1.3. Jenis-Jenis Pemeliharaan

Kerja pemeliharaan bisa terencana ataupun tidak terencana. Pemeliharaan terencana terbagi ada dua aktifitas utama, yaitu *preventive* dan *corrective*, sedangkan pemeliharaan tidak terencana hanya memiliki satu aktifitas, yaitu pemeliharaan darurat. Hubungan antara berbagai bentuk pemeliharaan dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Corder, 1992).

Pemeliharaan terencana merupakan pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya, dibagi menjadi dua aktivitas utama, pencegahan dan korektif. Bagian utama pemeliharaan pencegahan meliputi pemeriksaan yang berdasarkan pada ‘lihat, rasakan, dan dengarkan’ dan

penyetelan minor pada selang waktu yang telah ditentukan serta penggantian komponen minor yang ditemukan perlu diganti pada saat pemeriksaan. Sedangkan untuk pemeliharaan korektif memperbaiki suatu bagian yang meliputi reparasi minor, terutama untuk rencana jangka pendek, yang mungkin timbul diantara pemeriksaan, juga *overhaul* terencana. Pemeliharaan tidak terencana hanya memiliki satu bentuk pemeliharaan, yaitu pemeliharaan darurat, pemeliharaan yang perlu segera dilaksanakan tindakan untuk mencegah akibat yang serius, misalnya hilangnya produksi, kerusakan besar pada peralatan, atau untuk alasan keselamatan kerja (Corder, 1992).



Gambar 2.1. Hubungan antara berbagai bentuk pemeliharaan
(Sumber : Corder, 1992)

Menurut Assauri (2008) dalam bukunya manajemen produksi dan operasi membagi pemeliharaan menjadi:

1. Pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*)

Preventive maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang menyebabkan fasilitas

produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi. Dengan demikian semua fasilitas produksi yang mendapatkan perawatan pencegahan akan terjamin kelancaran kerjanya dan akan selalu diusahakan dalam kondisi yang siap setiap saat. Berdasarkan hal tersebut maka memungkinkan pembuatan suatu rencana jadwal perawatan dan rencana produksi yang lebih tepat dan efektif dalam menghadapi fasilitas-fasilitas produksi yang termaksud kedalam golongan *critical unit*. Sebuah fasilitas atau peralatan produksi akan termaksud dalam golongan *critical unit* apabila:

- a. Kerusakan fasilitas atau peralatan produksi akan membahayakan keselamatan atau kesehatan para pekerja.
- b. Kerusakan fasilitas akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan.
- c. Kerusakan fasilitas tersebut akan menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi.
- d. Modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut cukup besar dan mahal.

Apabila pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) dilaksanakan pada fasilitas-fasilitas atau peralatan yang termaksud dalam “*critical unit*”, maka tugas-tugas pemeliharaan (*maintenance*) dapatlah dilakukan dengan suatu perencanaan yang intensif untuk unit yang bersangkutan, sehingga rencana produksi dapat dicapai dengan jumlah hasil produksi yang lebih besar dalam waktu yang lebih singkat. Ruang lingkup pekerjaan *preventive* termasuk inspeksi, perbaikan kecil, pelumasan dan penyetelan, sehingga peralatan atau mesin-mesin selama beroperasi terhindar dari kerusakan. Secara umum tujuan dari pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) adalah:

- a. Meminimumkan kerusakan pada mesin serta meningkatkan efektivitas mesin/peralatan dan menjaga agar mesin dapat berfungsi tanpa ada gangguan.
- b. Meningkatkan efisiensi dan umur ekonomis mesin atau peralatan.

Dalam praktiknya *preventive maintenance* yang dilakukan oleh suatu perusahaan pabrik dapat dibedakan atas, *routine maintenance* dan *periodic maintenance*.

a. *Routine Preventive Maintenance*

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

b. *Periodic Maintenance*

Periodic maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara berkala atau dalam jangka waktu tertentu, misalnya setiap satu minggu sekali, lalu meningkat setiap bulan sekali, dan akhirnya setiap satu tahun sekali. Pemeliharaan periodik (*Periodic maintenance*) dapat dilakukan pula dengan memakai lamanya jam kerja mesin atau fasilitas produksi tersebut sebagai jadwal kegiatan, misalnya setiap seratus jam kerja mesin sekali dan seterusnya. Jadi kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) ini tetap secara periodik atau berkala. Kegiatan pemeliharaan periodik (*periodic maintenance*) adalah jauh lebih berat dari pada *routine maintenance*. Sebagai contoh dari kegiatan *periodic maintenance* adalah pembongkaran karburator ataupun pembongkaran alat-alat di bagian sistem aliran bensin, penyetelan katup-katup pemasukan dan pembuangan silinder mesin dan pembongkaran mesin/fasilitas tersebut untuk penggantian roda (*bearing*), serta *service* dan *overhaul* besar ataupun kecil. Keuntungan dilakukan pemeliharaan periodik (*periodic maintenance*) antara lain:

- 1) Pengurangan pemeliharaan darurat, hal ini tidak diragukan lagi karena merupakan alasan utama untuk merencanakan pekerjaan pemeliharaan.
 - 2) 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 tersebut adalah pekerjaan darurat, misalnya hanya memasang bagian mesin yang tidak lama.
 - 3) Meningkatkan ketersediaan (*availability*) untuk produksi, hal ini erat hubungannya dengan pengurangan waktu nganggur pada mesin atau pelayanan.
 - 4) Meningkatkan penggunaan tenaga kerja untuk pemeliharaan dan produksi.
 - 5) Pengurangan penggantian suku cadang.
 - 6) Meningkatkan efisiensi mesin/peralatan.
2. Pemeliharaan perbaikan (*corrective/breakdown maintenance*)

Dengan *corrective* atau *breakdown maintenance* dimaksudkan adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadi suatu kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) yang dilakukan sering disebut dengan kegiatan perbaikan atau reparasi. Perbaikan yang dilakukan karena adanya kerusakan yang dapat terjadi. Akibat tidak dilakukannya *preventive maintenance* ataupun telah dilakukan pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) tetapi sampai pada waktu tertentu fasilitas atau peralatan tersebut tetap rusak. Jadi dalam hal ini kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) sifatnya hanya menunggu sampai kerusakan terjadi dahulu, baru kemudian diperbaiki atau dibetulkan. Maksud tindakan perbaikan ini adalah agar fasilitas atau peralatan tersebut dapat dipergunakan kembali dalam proses produksi, sehingga operasi atau proses produksi dapat berjalan lancar kembali. Dengan demikian apabila

perusahaan hanya mengambil kebijaksanaan untuk melakukan pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) saja, maka terdapatlah faktor ketidakpastian (*uncertainly*) dalam kelancaran proses produksinya akibat ketidakpastian atau kelancaran bekerjanya fasilitas, atau peralatan produksi yang ada. Oleh karena itu kebijaksanaan untuk melakukan pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) saja tanpa pencegahan (*preventive*) ataupun memacetkan kegiatan produksi apabila terjadi suatu kerusakan yang tiba-tiba pada fasilitas produksi yang digunakan.

Secara sepintas lalu kelihatan pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) saja adalah lebih murah biayanya daripada mengadakan pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*). Hal ini adalah benar, selama kerusakan belum terjadi pada fasilitas/peralatan sewaktu proses produksi berlangsung. Tetapi sekali kerusakan terjadi pada fasilitas/peralatan selama proses produksi berlangsung, maka akibat dari kebijaksanaan pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) saja akan jauh lebih parah dari pada pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*). Di samping itu akan terdapat suatu kenaikan yang melonjak dari biaya-biaya perawatan dan pemeliharaan pada saat terjadinya kerusakan tersebut. Oleh karena *corrective maintenance* ini mahal, maka sedapat mungkin harus dicegah dengan mengintensifkan kegiatan *preventive maintenance*. Di samping itu perlu pula kita pertimbangkan bahwa dalam jangka panjang untuk mesin-mesin yang mahal dan termaksud dalam “*critical unit*” dari proses produksi, *preventive maintenance* akan lebih menguntungkan daripada *corrective maintenance* saja.

2.1.4. Konsep-Konsep Pemeliharaan

Dalam melakukan pemeliharaan terhadap mesin/peralatan terdapat konsep yang harus dilakukan agar dapat memenuhi kriteria pemeliharaan yang baik diantaranya:

1. Konsep keandalan (*reliability*)

Adalah probabilitas suatu komponen atau sistem akan beroperasi sesuai dengan fungsi yang ditetapkan dalam jangka waktu tertentu ketika

digunakan dalam kondisi operasional tertentu. Keandalan juga berarti kemampuan suatu peralatan untuk bertahan dan tetap beroperasi sampai batas waktu tertentu (Ebellling, 1997).

2. Konsep keterawatan (*maintainability*)

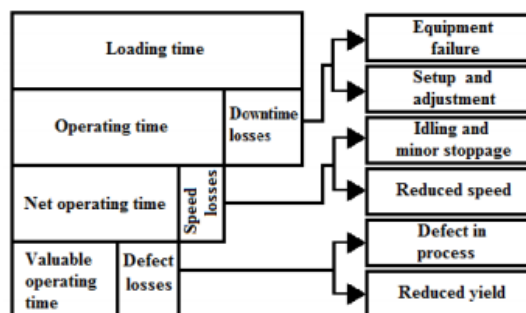
Adalah probabilitas suatu komponen atau sistem yang rusak akan diperbaiki atau dipulihkan pada kondisi yang telah ditentukan selama periode waktu tertentu dimana dilakukan perawatan sesuai dengan prosedur yang seharusnya. Keterawatan suatu peralatan dapat didefinisikan sebagai probabilitas peralatan tersebut untuk bisa diperbaiki pada kondisi tertentu dalam periode waktu tertentu (Ebellling, 1997).

3. Konsep ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan (*availability*) adalah probabilitas suatu komponen atau sistem menunjukkan kemampuan yang diharapkan pada suatu waktu tertentu ketika dioperasikan dalam kondisi operasional tertentu. Ketersediaan juga dapat diinterpretasikan sebagai persentase waktu operasional sebuah komponen atau sistem selama interval waktu tertentu (Ebellling, 1997).

4. Konsep *downtime*

Menurut Nakajima (1988) *downtime losses* terdiri dari kerusakan peralatan (*equipment failure*) serta *setup and adjustment*. *Downtime* adalah mesin berhenti, bisa terjadi karena melakukan *setup* dalam keadaan mesin tersebut tidak mengalami kerusakan, dan bisa juga terjadi saat mesin berhenti karena mesin atau peralatan tidak dapat melakukan fungsinya lagi dengan baik (*equipment failure*). Konsep *downtime* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Konsep *Downtime*
(Sumber: Nakajima, 1988)

Menurut Ebeling (1997) *downtime* terdiri dari :

- a. *Supply Delay* yaitu waktu yang dibutuhkan oleh personil *maintenance* untuk memperoleh komponen atau *spareparts*.
- b. *Maintenance Delay* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menunggu ketersediaan sumber daya perawatan untuk melakukan proses perbaikan.
- c. *Acess Time* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan akses ke komponen yang mengalami kerusakan.
- d. *Diagnosis Time* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menentukan penyebab kerusakan dan langkah dalam memperbaiki kerusakan.
- e. *Repair or Replacement Time* yaitu waktu aktual yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pemulihan, setelah permasalahan teridentifikasi.
- f. *Verification and Alligment Time* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk memastikan bahwa unit telah kembali pada kondisi operasi semula.

2.1.5. Strategi pemeliharaan

Pemilihan program perawatan akan mempengaruhi kelangsungan produktivitas produksi pabrik. Karena itu perlu dipertimbangkan secara cermat mengenai bentuk pemeliharaan yang akan digunakan terutama berkaitan dengan kebutuhan produksi, waktu, biaya, keterandalan tenaga pemeliharaan dan kondisi peralatan yang dikerjakan. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan strategi pemeliharaan, antara lain:

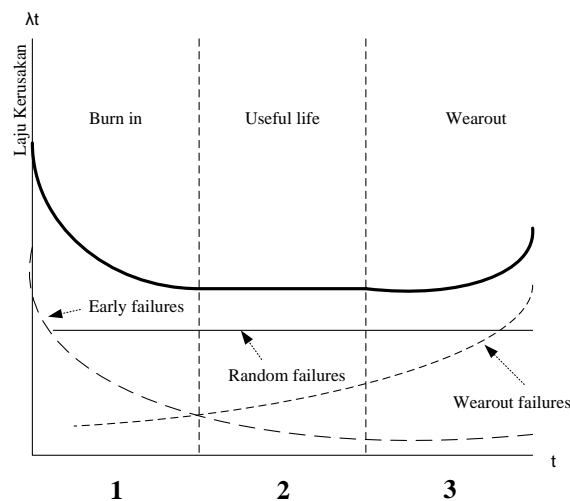
1. Umur peralatan/mesin produksi
2. Tingkat kapasitas pemakaian mesin
3. Kesiapan suku cadang
4. Kemampuan bagian pemeliharaan untuk bekerja cepat
5. Situasi pasar, kesiapan dana dan lain-lain.

Kesulitan-kesulitan dalam menentukan strategi pemeliharaan adalah adanya kebutuhan:

1. Tenaga kerja yang terampil
2. Ahli teknik yang berpengalaman
3. Instrumentasi yang cukup mendukung
4. Kerja sama yang baik diantara bagian pemeliharaan

2.1.6. Fungsi Laju Kerusakan

Pola dasar dari fungsi laju kerusakan sesaat yang umum bagi suatu produk dijelaskan melalui kurva yang dikenal dengan nama *Bathtub Curve*. *System* yang laju kerusakannya berbentuk *Bathtub Curve*, mengalami laju kerusakan yang selalu berubah sesuai dengan bertambahnya waktu. Menurut Ebeling (1997), kurva ini memiliki tiga area dengan karakteristik tertentu. Laju kerusakan dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Kurva Laju Kerusakan
Sumber : Ebeling, 1997

Dari gambar di atas kita dapat membaginya ke dalam tiga fase yaitu:

1. Fase kerusakan awal (*burn-in/early failures/wear in region*).

Wilayah dimana mesin baru mulai digunakan. 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 di bawah standar, ketidaksempurnaan perancangan, kesalahan dalam pemasangan dan *set up*, kurangnya kemampuan pekerja dan *Quality Control* yang tidak memenuhi syarat.

2. Fase Kerusakan acak (*Random Failure*)

Daerah ini ditandai dengan laju kerusakan yang konstan. Fase ini sering juga disebut *Useful Life Period*. Pada wilayah ini kerusakan sulit diprediksi dan cenderung terjadi secara acak. Contoh penyebab kerusakan

pada wilayah ini adalah kesalahan dalam operasional mesin oleh pekerja ataupun perubahan kondisi mesin secara tiba-tiba.

3. Fase Keausan (*wareout*)

Merupakan wilayah dimana umur ekonomis dari mesin telah habis dan melewati batas yang diizinkan. Pada fase ini resiko kerusakan akan meningkat (*increasing hazard rate*). 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.

2.2. Distribusi Kerusakan

Fungsi distribusi yang ada pada ilmu statistik sangat berperan didalam teori kehandalan. Hal ini dikarenakan penerapan *preventive maintenance* berhubungan erat dengan permasalahan peluang. Dalam penerapan *preventive maintenance* ini, data waktu kerusakan yang akan dihitung merupakan hasil pengukuran yang termasuk dalam data kontinu. Oleh karena itu, distribusi yang digunakan untuk menghitung waktu kerusakan dan waktu perbaikan adalah dengan distribusi Normal, Lognormal, *Exponensial*, dan *Weibull*.

2.2.1. Distribusi Normal

Distribusi Normal telah berhasil digunakan untuk model kelelahan (*fatigue*) dan keausan (*wear out*) dari mesin. Fungsi kepadatan dari distribusi Normal ini memiliki kurva yang menyerupai lonceng sehingga memiliki nilai simetris terhadap dua parameter yaitu nilai tengah (μ) dan standar deviasi (σ) menurut (Ebeling,1997) fungsi- fungsi dari distribusi Normal yaitu :

1. Fungsi kepadatan probabilitas $f(t)$

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

Dengan ketentuan : $-\infty < t < \infty$

Dimana : μ = Rata-rata dari distribusi

σ = Standar deviasi distribusi

2. Fungsi kehandalan $R(t)$

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (2)$$

3. Fungsi kumulatif kerusakan $F(t)$

$$F(t) = \phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (3)$$

4. Fungsi laju kerusakan $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (4)$$

2.2.2. Distribusi Lognormal

Distribusi Lognormal didefinisikan hanya untuk nilai t positif dan lebih sesuai daripada distribusi Normal sebagai distribusi kerusakan. Distribusi ini memiliki dua buah parameter yaitu, s parameter bentuk (*shape parameter*) dan t_{med} parameter lokasi (*location parameter*), fungsi- fungsi dari distribusi Lognormal yaitu :

1. Fungsi kepadatan probabilitas $f(t)$

$$f(t) = \frac{1}{st \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left\{ \frac{-1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{med}} \right)^2 \right\}} \dots\dots\dots (5)$$

Untuk : $t \geq 0$

2. Fungsi kumulatif kerusakan $F(t)$

$$F(t) = \phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots (6)$$

3. Fungsi kehandalan $R(t)$

$$R(t) = 1 - F(t) \dots\dots\dots (7)$$

4. Fungsi laju kerusakan $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (8)$$

2.2.3. Distribusi Exponensial

Distribusi ini ialah salah satu distribusi kerusakan yang biasa terjadi di dalam teknik kehandalan. Distribusi *Eksponensial* memiliki laju kerusakan yang

konstan terhadap waktu dan kerusakan yang bersifat acak. Distribusi *Ekspensial* merupakan salah satu dari distribusi kehandalan yang paling mudah dianalisis. Menurut *Ebeling* (1997), parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah λ . Parameter λ didefinisikan sebagai rata-rata kerusakan yang terjadi. Dengan $\lambda(t) = \lambda, t \geq 0, \lambda > 0$, maka didapatkan fungsi-fungsi dari distribusi *Ekspensial* yaitu :

1. Fungsi kepadatan probabilitas $f(t)$

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (9)$$

Untuk $t \geq 0, \lambda > 0$

Dimana : λ = rata-rata nilai kedatangan kerusakan

2. Fungsi kehandalan $R(t)$

$$R(t) = e^{(-\lambda t)} \dots\dots\dots (10)$$

3. Fungsi kumulatif kerusakan $F(t)$

$$F(t) = 1 - e^{(-\lambda t)} \dots\dots\dots (11)$$

4. Fungsi laju kerusakan $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \lambda \dots\dots\dots (12)$$

2.2.4. Distribusi Weibull

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi yang paling banyak digunakan untuk data waktu kerusakan dalam analisis kehandalan terutama untuk menghitung umur komponen, karena distribusi ini dapat digunakan baik untuk laju kerusakan meningkat maupun menurun. Menurut *Ebeling* (1997), parameter yang digunakan ada dua, yaitu :

β (Beta) = parameter bentuk (*shape parameter*)

θ (Teta) = parameter skala (*scale parameter*)

Parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah β dan θ dengan mengasumsikan $\theta > 0, \beta > 0, t \geq 0$ maka didapatkan fungsi-fungsi dari distribusi *Weibull* yaitu :

1. Fungsi kepadatan probabilitas $f(t)$

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \dots\dots\dots (13)$$

2. Fungsi kehandalan $R(t)$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \dots\dots\dots (14)$$

3. Fungsi kumulatif kerusakan $F(t)$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \dots\dots\dots (15)$$

4. Fungsi laju kerusakan $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\theta}\right)\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \dots\dots\dots (16)$$

Seperti telah dijelaskan melalui fungsi-fungsi di atas, parameter β berpengaruh terhadap Distribusi *Weibull*, hal ini dijelaskan melalui Tabel 2.1. dibawah ini menurut (Ebeling, 1997).

Tabel 2.1 Pengaruh Nilai β pada Distribusi *Weibull*

Nilai	Sifat Distribusi
$0 < \beta < 1$	Laju kerusakan menurun/ <i>Decreasing Failure Rate (DFR)</i>
$\beta = 1$	Laju kerusakan konstan / <i>Constant Failure Rate (CFR)</i>
$1 < \beta < 2$	Laju kerusakan meningkat <i>Increasing Failure Rate (IFR)</i> , <i>concave</i>
$\beta = 2$	Laju kerusakan linier/ <i>Rayligh Distribution Rate (LFR)</i>
$\beta > 2$	Laju kerusakan meningkat/ <i>Increasing Failure Rate (IFR)</i> , <i>convex</i>
$3 \leq \beta \leq 4$	Laju kerusakan meningkat/ <i>Increasing Failure Rate (IFR)</i> , <i>approaches normal distribution</i>

(Sumber : Ebeling, 1997)

2.3. Identifikasi Distribusi Kerusakan

Identifikasi distribusi dilakukan melalui tiga tahap, yaitu pemilihan distribusi dengan metode *Least-Square Curve Fitting (LSCF)* dengan menentukan *Index of Fit* atau koefisien korelasi (r) terbesar, uji kecocokan (*Goodness of Fit*) dan estimasi parameter dengan metode *Maximum Likelihood Estimator (MLE)* (Ebeling,1997).

2.3.1. *Index of Fit*

Persamaan regresi adalah persamaan matematik yang memungkinkan kita untuk meramalkan nilai-nilai suatu variabel yang diestimasi yaitu variabel dependen (atau variabel terikat) yang dilukiskan pada arah sumbu-y. Sementara variabel yang mempengaruhinya adalah variabel independen (atau variabel bebas)

dan dilukis pada sumbu-x. Hal ini dijelaskan melalui persamaan sebagai berikut :

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

Dimana : a = Menyatakan intersep atau perpotongan dengan sumbu tegak.

b = Kemiringan atau gradiennya.

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

Untuk distribusi *Weibull*, *Normal* dan *Lognormal*.

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \dots\dots\dots (17)$$

Untuk distribusi *Eksponensial*.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \dots\dots\dots (18)$$

Dimana : n adalah jumlah kerusakan yang terjadi

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

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

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \dots\dots\dots (19)$$

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

hubungan antara kedua peubah acak tersebut.

Dalam mengidentifikasi distribusi suatu komponen digunakan *index of fit* (r) yang merupakan ukuran hubungan linear antara peubah x dan y . Pada metode *least-square curve fitting*, distribusi dengan nilai *index of fit* yang terbesar yang terpilih. Perhitungan umum pada metode *least-square curve fitting* yaitu :

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \dots\dots\dots (20)$$

Dimana : i = data waktu ke- t .

n = Jumlah data yang diamati.

Sedangkan perhitungan khusus untuk setiap distribusi adalah :

1. Distribusi Eksponensial

$$x_i = t_i$$

$$y_i = \ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \dots\dots\dots (21)$$

Parameter : $\lambda = b$

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

t_i = data kerusakan ke- i

2. Distribusi Weibull

$$x_i = \ln t_i$$

$$y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] \dots\dots\dots (22)$$

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

3. Distribusi Normal

$$x_i = t_i$$

$$y_i = Z_i = \phi^{-1}[F(t_i)] \dots\dots\dots (23)$$

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

4. Distribusi Lognormal

$$x_i = \ln t_i$$

$$y_i = Z_i = \phi^{-1}[F(t_i)] \dots\dots\dots (24)$$

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

2.3.2. Uji Kecocokan Distribusi (*Goodness of Fit Test*)

Setelah mendapatkan distribusi terpilih, lantas selanjutnya adalah uji kecocokan distribusi. Uji kecocokan distribusi atau *Goodness of Fit Test* ini adalah membandingkan dua hipotesis yang berlawanan, yaitu :

H₀ : Data kerusakan atau perbaikan mendekati suatu distribusi tertentu.

H₁ : Data kerusakan atau perbaikan tidak menghampiri suatu distribusi tertentu.

Uji ini terdiri dari perhitungan statistik berdasarkan data yang diamati kemudian dibandingkan dengan nilai kritik pada tabel. Pada umumnya jika tes statistik lebih kecil dari pada nilai kritik, maka terima H₀ dan bila sebaliknya maka terima H₁.

Menurut (Ebeling, 1997), pengujian yang akan dilakukan adalah Uji *Bartlett* untuk distribusi *Eksponensial*, Uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk distribusi Normal dan Lognormal serta Uji *Mann* untuk distribusi *Weibull*.

2.3.2.1. Uji *Bartlett* Untuk Distribusi *Eksponensial*

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

H₀ : Data berdistribusi *Eksponensial*.

H₁ : Data tidak berdistribusi *Eksponensial*.

Uji statistiknya :
$$B = \frac{2r \left[\ln \left\{ \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right\} - \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \dots\dots\dots (25)$$

Dimana : r = jumlah kerusakan.

t_i = data waktu kerusakan ke-I.

B = nilai uji statistik untuk *Bartlett test*.

H₀ diterima apabila nilai B jatuh dalam wilayah kritik :

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

2.3.2.2. Uji *Mann's* Untuk Distribusi *Weibull*

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

H_0 : Data berdistribusi *Weibull*.

H_1 : Data tidak berdistribusi *Weibull*.

$$\text{Uji statistiknya : } M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]} \dots\dots\dots (26)$$

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

Dimana :

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

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

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

t_i = data waktu kerusakan ke- i .

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

$r = n$ = jumlah unit yang diamati.

Bila $M < F_{\text{crit}}$ maka H_0 diterima. Nilai F_{crit} diperoleh dari tabel distribusi F dengan $v_1 = 2k_2$ dan $v_2 = 2k_1$.

2.3.2.3. Uji Kolmogorov-Smirnov untuk Distribusi Normal dan Lognormal.

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

H_0 : Data berdistribusi Normal atau Lognormal.

H_1 : Data tidak berdistribusi Normal atau Lognormal.

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

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} \dots\dots\dots (27)$$

Dimana :

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

Untuk distribusi Normal $\rightarrow \bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}$ dan $s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}$

Untuk distribusi Lognormal $\rightarrow \bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n}$ dan $s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln(t_i - \bar{t}))^2}{n-1}$

Keterangan : t_i = data waktu antar kerusakan ke-i.

t = data waktu antar kerusakan.

s = standar deviasi.

n = banyaknya data kerusakan.

Bila $D_n < D_{crit}$ maka terima H_0 , dan bila sebaliknya maka terima H_1 .

Nilai D_{crit} diperoleh dari tabel *critical value for the Kolmogorov-Smirnov test for Normality*.

2.3.3. Penentuan Estimasi Parameter dengan Metode *Maximum Likelihood Estimator*

Setelah pengujian kecocokan distribusi data telah dilakukan, selanjutnya mengetahui nilai parameter-parameter dari distribusi data yang telah terpilih. Walaupun sebelumnya pada *Index of Fit* telah dihitung parameter-parameter dari distribusi, namun parameter-parameter tersebut bukan merupakan parameter terbaik. Estimasi parameter dengan *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) memberikan hasil estimasi yang lebih akurat (Ebeling,1997).

2.3.3.1. MLE Untuk Distribusi *Eksponensial*

Menurut Ebeling (1997), baik untuk data lengkap maupun data sensor, parameter λ diperoleh dari :

$$\lambda = \frac{r}{T} \dots\dots\dots (28)$$

Dimana : r = jumlah kerusakan

T = total waktu pengujian

2.3.3.2. MLE Untuk Distribusi *Weibull*

Menurut Ebeling (1997), baik untuk data lengkap dan sensor tunggal, parameter β diperoleh dengan menyelesaikan persamaan berikut :

$$g(\beta) = \frac{(\sum_{i=1}^r t_i^\beta Int_i) + (n-r)t_s^\beta Int_s}{(\sum_{i=1}^r t_i^\beta) + (n-r)t_s^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r Int_i = 0 \dots\dots\dots (29)$$

Sedangkan parameter θ diperoleh dari :

$$\theta = \left\{ \frac{1}{r} \left[\sum_{i=1}^r t_i^\beta + (n-r)t_s^\beta \right] \right\}^{1/\beta} \dots\dots\dots (30)$$

Dimana : n = jumlah unit yang diamati.

r = jumlah kerusakan yang terjadi.

t_i = data waktu kerusakan ke- i .

$t_s = 1$ untuk data lengkap.

2.3.3.3. MLE Untuk Distribusi Normal

Menurut Ebeling (1997), parameter μ dan σ yang digunakan adalah :

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{(n-1)s^2}{n}} ; \text{ dengan } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (31)$$

Dimana : t_i = data waktu kerusakan ke- i .

n = jumlah unit yang diamati.

2.3.3.4. MLE Untuk Distribusi Lognormal

Menurut Ebeling (1997), parameter μ , t_{med} dan s yang digunakan adalah:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n}$$
$$t_{med} = e^{\mu}$$
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} \dots\dots\dots (32)$$

Dimana : t_i = data waktu kerusakan ke- i

n = jumlah unit yang diamati.

t_{med} = waktu kerusakan median.

2.3.4. Mean Time Between Failure (MTBF) dan Mean Time To Repair (MTTR)

MTBF atau *Mean Time Between Failure* adalah nilai rata-rata waktu kerusakan dari mulai kerusakan selesai diperbaiki sampai kerusakan terjadi kembali dan MTTR atau *Mean Time To Repair* adalah nilai rata-rata waktu dalam melakukan perbaikan sampai mesin atau peralatan dapat beroperasi kembali.

Berikut ini rumus-rumus untuk menghitung MTBF dan MTTR untuk distribusi Normal, Lognormal, *Eksponensial* dan *Weibull* yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

1. Distribusi Normal $MTBF=MTTR=\mu$
2. Distribusi Lognormal $MTBF=MTTR=t_{med} \exp\left(\frac{s^2}{2}\right)$
3. Distribusi *Eksponensial* $MTBF=MTTR=1/\lambda$
4. Distribusi *Weibull* $MTBF=MTTR=\theta \Gamma(x) = \theta \Gamma(1+(1/b))$

2.3.5. Interval Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi Downtime

Prinsip utama dalam manajemen sistem perawatan adalah menekan periode kerusakan (*breakdown period*) sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen berdasarkan *downtime* minimum menjadi sangat penting. Tujuan dilakukan penggantian pencegahan adalah untuk menentukan waktu terbaik dalam melakukan penggantian pencegahan dengan mengurangi frekuensi kerusakan sehingga dapat meminimasi total *downtime* per unit waktu. (Jardine, 2006).

Pada metode ini ada dua model standar bagi permasalahan penggantian, yaitu model *Block Replacement* dan *Age Replacement* (Jardine,2006).

1. Block Replacement

Dalam model ini jika pada suatu selang waktu t_p tidak terdapat kerusakan, maka tindakan penggantian dilakukan sesuai dengan interval t_p . Jika sistem rusak sebelum interval waktu t_p maka dilakukan penggantian pencegahan selanjutnya akan tetap dilakukan pada waktu t_p dan mengabaikan waktu penggantian perbaikan sebelumnya.

2. Age Replacement

Dalam metode ini tindakan penggantian dilakukan pada saat pengoperasiannya mencapai umur tertentu yang telah ditetapkan, misalnya sebesar t_p . Jika pada selang waktu t_p tersebut tidak terdapat kerusakan, maka penggantian akan tetap dilakukan sebagai tindakan pencegahan. Jika sistem mengalami kerusakan pada selang waktu t_p tersebut, maka dilakukan

tindakan penggantian perbaikan dan penggantian berikutnya akan dilakukan berdasarkan perhitungan t_p dihitung mulai dari waktu penggantian perbaikan tersebut. *Downtime* disini hanya menunjukkan waktu kerusakan mesin (*equipment failure*) tidak termasuk waktu *set-up* dan *adjustment*, untuk penggantian pencegahan pada saat t_p dinotasikan dengan $D(t_p)$, dengan rumus sebagai berikut:

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

$$D(t_p) = \frac{[T_p \times R(t_p)] + [T_f \times F(t_p)]}{[(t_p + T_p) \times R(t_p)] + [M(t_p) + T_f] \times F(t_p)} \dots\dots\dots 33$$

$$M(t_p) = \frac{MTTF}{F(t_p)} \dots\dots\dots 34$$

Dimana:

t_p = interval waktu penggantian pencegahan

T_f = rata-rata waktu dalam melakukan penggantian kerusakan

T_p = rata-rata waktu dalam melakukan penggantian pencegahan

$F(t_p)$ = fungsi kumulatif kerusakan

$R(t_p)$ = probabilitas kehandalan

$M(t_p)$ = waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian pencegahan dilakukan pada t_p

$D(t_p)$ = *downtime* persatuan waktu

2.3.6. Perhitungan Kehandalan (*Reliability*) Tanpa Dan Dengan Penggantian Pencegahan

Menurut (Ebeling,1997) peningkatan kehandalan atau *reliability* dapat ditempuh dengan cara melakukan perawatan pencegahan. Model kehandalan berikut ini dapat mengurangi efek dari *wearout* dan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap umur hidup sistem dengan mengasumsikan sistem kembali ke kondisi awal setelah dilakukan tindakan perawatan pencegahan.

Bila $R(t)$ adalah kehandalan sistem tanpa tindakan perawatan pencegahan, sedangkan $R(t-nT)$ adalah kehandalan sistem dengan tindakan perawatan pencegahan:

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

1. Distribusi Eksponensial

Nilai kehandalan tanpa penggantian pencegahan :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (35)$$

Nilai kehandalan dengan penggantian pencegahan :

$$R(t - nT) = R(t) = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (36)$$

Untuk Distribusi Eksponensial, preventive maintenance tidak mempunyai efek apapun.

2. Distribusi Weibull

Nilai kehandalan tanpa penggantian pencegahan :

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \dots\dots\dots (37)$$

Nilai kehandalan dengan penggantian pencegahan :

$$R(t - nT) = \exp\left[-\left(\frac{t - nT}{\theta}\right)^\beta\right] \dots\dots\dots (38)$$

3. Distribusi Normal

Nilai kehandalan tanpa penggantian pencegahan :

$$R(t) = 1 - \phi\left[\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)\right] \dots\dots\dots (39)$$

Nilai reliabilitas dengan penggantian pencegahan :

$$R(t - nT) = 1 - \phi\left[-\left(\frac{t - \mu - nT}{\sigma}\right)\right] \dots\dots\dots (40)$$

4. Distribusi Lognormal

Nilai realibilitas tanpa penggantian pencegahan :

$$R(t) = 1 - \phi\left[\frac{1}{s} \ln\left(\frac{t}{t_{med}}\right)\right] \dots\dots\dots (41)$$

Nilai reliabilitas dengan penggantian pencegahan :

$$R(t - nT) = 1 - \Phi\left[\frac{1}{s} \ln\left(\frac{t - nT}{t_{med}}\right)\right] \dots\dots\dots (42)$$

2.4. Diagram Pareto

Diagram Pareto diperkenalkan oleh seorang ahli yaitu Alfredo Pareto (1848-1923). Diagram Pareto salah satu *seven tools* yang merupakan alat bantu untuk memetakan permasalahan, mengorganisir data agar lebih mudah dipahami, serta menelusuri berbagai kemungkinan penyebab permasalahan. Diagram ini merupakan suatu gambar yang mengurutkan klasifikasi data dari kiri ke kanan menurut urutan ranking tertinggi hingga terendah. Hal ini dapat membantu menemukan permasalahan yang paling penting untuk segera diselesaikan (ranking tertinggi) sampai dengan masalah yang tidak harus segera diselesaikan (ranking terendah).

Diagram Pareto dibuat berdasarkan data statistik dan prinsip bahwa 20% penyebab bertanggung jawab terhadap 80% masalah yang muncul atau sebaliknya. Kedua aksioma tersebut menegaskan bahwa lebih mudah mengurangi bagian lajur yang terletak di bagian kiri diagram Pareto daripada mencoba untuk menghilangkan secara sistematis lajur yang terletak di sebelah kanan diagram. Hal ini dapat diartikan bahwa diagram Pareto dapat menghasilkan sedikit sebab penting untuk meningkatkan mutu produk atau jasa (Wignjosoebroto, 2006).

Prinsip Pareto juga dikenal sebagai aturan 80/20 dengan melakukan 20% dari pekerjaan bisa menghasilkan 80% manfaat dari pekerjaan itu. Aturan 80/20 dapat diterapkan pada hampir semua hal, seperti :

1. 80% dari keluhan pelanggan timbul 20% dari produk atau jasa.
2. 80% dari keterlambatan jadwal timbul 20% dari kemungkinan penyebab penundaan.
3. 20% dari tenaga penjualan menghasilkan 80% dari pendapatan perusahaan Anda.

Proses penyusunan diagram Pareto meliputi enam langkah, yaitu:

1. Menentukan metode atau arti dari pengklasifikasian data, misalnya berdasarkan masalah, penyebab, jenis ketidaksesuaian, dan sebagainya.
2. Menentukan satuan yang digunakan untuk membuat urutan karakteristik-karakteristik tersebut, misalnya rupiah, frekuensi, unit, dan sebagainya.
3. Mengumpulkan data sesuai dengan interval waktu yang telah ditentukan.

4. Merangkum data dan membuat ranking kategori data tersebut dari yang terbesar hingga yang terkecil.
5. Menghitung frekuensi kumulatif atau persentase kumulatif yang digunakan.
6. Menggambar diagram batang, menunjukkan tingkat kepentingan relatif masing-masing masalah dan mengidentifikasi beberapa hal yang penting untuk mendapat perhatian.

Contoh cara perhitungan diagram Pareto sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase (\%)} &= \frac{\text{Down Time}}{\text{Total Down Time}} \times 100\% \\
 &= \frac{405.000 \text{ detik}}{3.172.590 \text{ detik}} \times 100\% = 12,8\%
 \end{aligned}$$

Tabel 2.2. Contoh Hasil Perhitungan Diagram Pareto

Mesin	Down Time (detik)	Persentase (%)	Cum. Persentase (%)
CF	405.000	12,8	12,8
CM	1.065.870	33,6	46,4
WT	256.140	8,1	54,5
Setsugo	146.400	4,6	59,1
Line	211.380	6,7	65,8
Bending	1.007.700	31,8	97,6
Automatic	80.100	2,5	100
Total	3.172.590	100	

Setelah mendapatkan hasil perhitungan persentase dan *Cumulative* Persentase, langkah selanjutnya adalah membuat diagram Pareto. Langkah-langkah pembuatan diagram Pareto dengan *software Minitab* Versi 16 sebagai berikut:

1. Dari menu utama, masukan data mesin dan *downtime* pada *worksheet* yang tersedia.

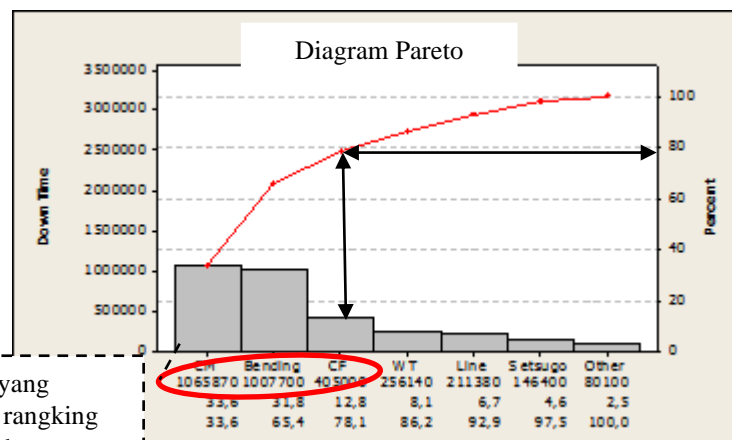
	C1-T	C2	C3
	Mesin	Downtime	
1	CF	486060	
2	CM	962700	
3	WT	458400	
4	Setsugo	112200	
5	Line	161700	
6	Bending	723600	
7	Automatic	162720	

Gambar 2.4. Tampilan *worksheet Minitab*
Sumber : *Minitab V.16*

2. Klik *Stat* → *Quality Tools* → *Pareto Chart* → *Ok*.

Gambar 2.5. Tampilan Input Data *Pareto Chart* Pada *Minitab*
Sumber : *Minitab V.16*

3. Hasil akhirnya berupa diagram Pareto.



Masalah yang memiliki rangking tertinggi dan menjadi prioritas perbaikan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian adalah tahapan-tahapan penelitian secara sistematis yang bertujuan untuk mempermudah dalam menjelaskan dan menganalisa permasalahan yang terjadi. Dalam menyelesaikan suatu permasalahan dalam penelitian ini, diperlukan tahapan-tahapan yang terstruktur dan sistematis agar apa yang menjadi tujuan penelitian dapat tercapai. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini akan dijelaskan dibawah ini :

3.1. Studi Pendahuluan

Maksud dari studi pendahuluan adalah untuk melihat permasalahan dengan lebih jelas. Studi pendahuluan dilakukan pada rantai produksi PT NGK Busi Indonesia dengan tujuan untuk mengidentifikasi permasalahan yang terjadi dalam perusahaan dan melakukan tanya jawab dengan pihak perusahaan khususnya bagian *maintenance* dan *production engineering*.

3.2. Identifikasi Masalah

Suatu mesin dengan kinerja baik, mampu beroperasi secara normal dalam suatu proses produksi. Jenis dan komponen mesin mempunyai masa *life cycle* yang beragam, Sistem penggantian komponen mesin yang diterapkan pada perusahaan ini masih *corrective* (komponen diganti bila terjadi kerusakan) yang mengakibatkan adanya pemberhentian mesin secara tiba-tiba saat proses produksi berjalan. *Preventive maintenance* merupakan solusi yang dapat dipertimbangkan dalam memperbaiki kinerja mesin yang ada, penggantian yang dilakukan sebelum terjadinya kerusakan diharapkan dapat meminimasi adanya sumber daya yang menganggur disebabkan adanya kerusakan pada mesin, meningkatkan volume produksi, produk yang diterima konsumen tidak mengalami keterlambatan dan dapat meningkatkan kelancaran proses produksi.

3.2.1. Studi Literatur

Studi literatur akan digunakan untuk mendapatkan kajian secara teoritis, mengenai metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini, serta buku dan jurnal sebagai referensi yang dapat dijadikan acuan bagi penelitian yang akan dilakukan.

3.2.2. Studi Lapangan

Studi lapangan ini dilaksanakan untuk mengamati objek yang akan diteliti. Dari hasil pengamatan lapangan dan tanya jawab dengan pihak perusahaan mengenai data-data serta informasi yang terkait dengan pembahasan pada penelitian ini.

3.3. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini berdasarkan permasalahan yang terjadi dalam menentukan interval waktu *preventive replacement* pada komponen kritis mesin *Bending* sebagai berikut :

4. Menentukan mesin kritis pada mesin *Bending*.
5. Menentukan komponen kritis pada mesin *Bending*.
6. Mengetahui *interval* waktu *preventive replacement* berdasarkan umur optimal suatu komponen.

3.4. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperlukan untuk memperoleh informasi-informasi yang berkaitan dengan masalah yang akan diteliti. informasi tersebut akan menjadi dasar dalam melakukan analisis dan pemecahan masalah. Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini, di antaranya:

1. Studi Kepustakaan

Dilakukan untuk mendapatkan teori-teori yang berhubungan dengan permasalahan dan metode-metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan, serta buku dan jurnal sebagai referensi dalam pembuatan laporan.

2. Tanya Jawab

Tanya jawab dilakukan dengan para karyawan bagian *maintenance* maupun *production engineering*, yang berhubungan dengan variabel-variabel yang akan diteliti.

3. Penelitian Deskriptif

Metode ini merupakan penelitian yang dilakukan terhadap variabel yang data-datanya sudah ada tanpa proses manipulasi.

Ada 2 jenis data yang dikumpulkan dari perusahaan. Data ini digunakan untuk membuat penelitian, diantaranya yaitu:

1. Data Primer adalah data yang diperoleh peneliti secara langsung. Data yang diperoleh antara lain sebagai berikut:
 - a. Data jumlah mesin *Bending*.
 - b. Data waktu kerusakan komponen mesin *Bending*.
2. Data Sekunder adalah data pendukung yang berhubungan dengan objek penelitian, meliputi:
 - a. Sejarah umum perusahaan dan sasaran mutu perusahaan.
 - b. Jam kerja dan istirahat.
 - c. Proses produksi *spark plug* (busi).
 - d. Struktur organisasi dan *job description*.
 - e. *Lay out* perusahaan.

3.5. Pengolahan Data

Pengolahan data adalah tahapan uraian seluruh perhitungan dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut sesuai dengan metode yang digunakan. Dibawah ini akan dijelaskan langkah-langkah penyelesaiannya sebagai berikut :

3.5.1. Penentuan Mesin Kritis

Penentuan mesin kritis adalah dengan mengurutkan total waktu kerusakan pada 5 mesin *Bending* selama periode Januari-Juni 2016 dari yang terbesar sampai terkecil. Kemudian membuat diagram batang untuk melihat mesin kritis mana yang memiliki waktu kerusakan terbesar.

3.5.2. Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis dilihat dari mesin kritis yang memiliki waktu kerusakan terbesar. Kemudian dari tiap komponen dihitung persentase kumulatif kerusakan dengan diagram Pareto, selanjutnya dapat ditentukan komponen kritis dengan melihat kumulatif waktu kerusakan yang mempunyai nilai $\leq 80\%$.

3.5.3. Perhitungan Selang Waktu Kerusakan dan Selang Waktu Perbaikan

Perhitungan selang waktu kerusakan (*time between failure*) adalah selang waktu dari kerusakan komponen yang pertama hingga kerusakan selanjutnya terjadi. Selang waktu perbaikan (*time to repair*) adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki satu komponen. Data selang waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan komponen ini sebagai langkah awal untuk menentukan dan mengidentifikasi pola kerusakan yang terjadi.

3.5.4. Pemilihan Distribusi Kerusakan

Pemilihan distribusi kerusakan menggunakan metode *Least-Square Curve Fitting*, dengan menghitung *Index of Fit* dari setiap komponen kritis. *Index of Fit* dihitung dengan menggunakan distribusi *Weibull*, Normal, *Eksponensial*, dan Lognormal. Distribusi yang terpilih adalah distribusi yang memiliki *Index of Fit* terbesar.

3.5.5. Pengujian Kecocokan Distribusi

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan uji *Goodness of Fit*, bermaksud untuk membuktikan bahwa sejumlah data mengikuti distribusi yang telah terpilih. Jika data tersebut tidak mendekati distribusi yang terpilih atau tolak H_0 maka dilakukan pengujian kembali berdasarkan *Index of Fit* terbesar yang kedua dan seterusnya sampai hasil pengujian menunjukkan kecocokan distribusi. Pengujian kecocokan yang digunakan untuk masing-masing distribusi adalah uji *Mann's* untuk data berdistribusi *Weibull*, uji *Bartlett* untuk data berdistribusi *Eksponensial*, dan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk data berdistribusi Lognormal dan Normal.

3.5.6. Perhitungan Parameter berdasarkan Metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE)

Perhitungan ini bertujuan untuk menggambarkan keadaan optimal data secara lebih akurat mengenai waktu kerusakan. Perhitungan dilakukan berdasarkan distribusi yang terpilih menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) untuk mendapatkan nilai *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan nilai *Mean Time to Repair* (MTTR).

3.5.7. Perhitungan *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR)

Perhitungan MTBF merupakan waktu rata-rata terjadinya kerusakan mesin atau peralatan dari mulai kerusakan selesai diperbaiki sampai kerusakan terjadi kembali, berdasarkan data selang waktu antar kerusakan dengan menggunakan parameter yang telah diestimasi sebelumnya. Perhitungan MTTR merupakan waktu rata-rata untuk melakukan perbaikan mesin/peralatan, berdasarkan data selang waktu perbaikan dengan menggunakan parameter yang telah diestimasi sebelumnya.

3.5.8. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi *Downtime*

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan kriteria minimasi *downtime* dilakukan untuk menentukan waktu terbaik dalam penggantian pencegahan dan menekan waktu kerusakan yang terjadi. *Downtime* disini hanya menunjukkan waktu kerusakan mesin (*equipment failure*) dan tidak termasuk waktu *set-up* dan *adjustment*.

3.5.9. Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Komponen Kondisi Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan

Perhitungan keandalan (*Reliability*) dilakukan untuk membandingkan bahwa suatu sistem perawatan, dalam hal ini penggantian pencegahan dapat meningkatkan nilai keandalan komponen.

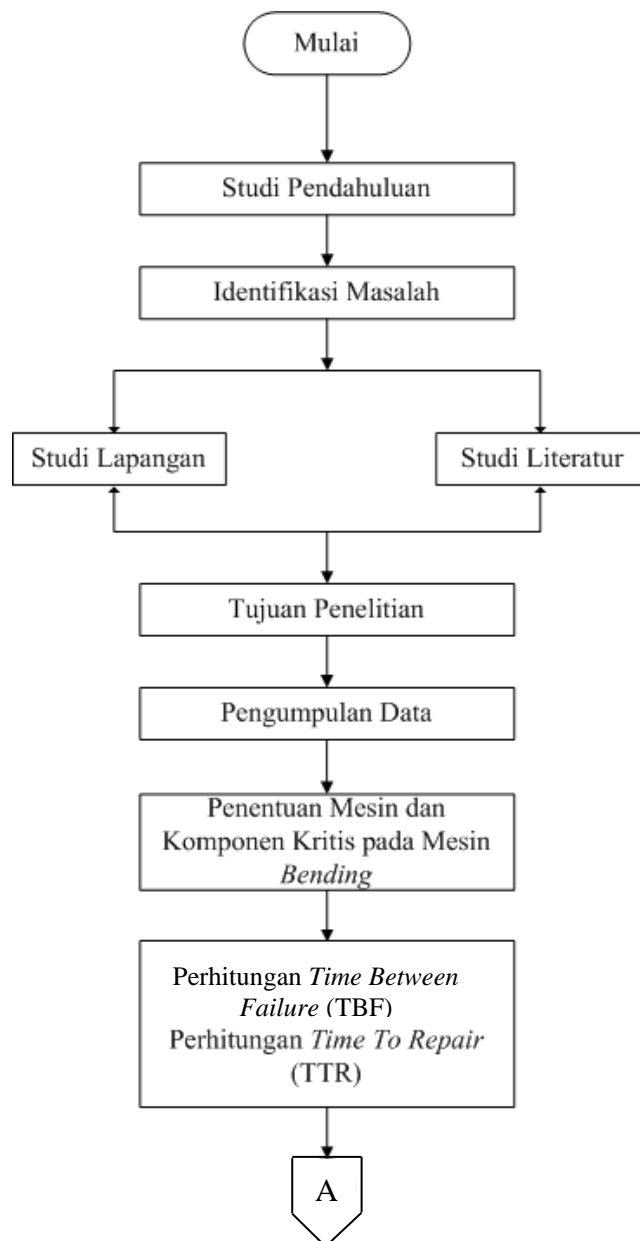
3.6. Analisis dan Pembahasan

Setelah semua data diolah kemudian dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data yang dilakukan dalam menentukan interval waktu penggantian pencegahan komponen yang optimal dengan menekan waktu kerusakan yang terjadi.

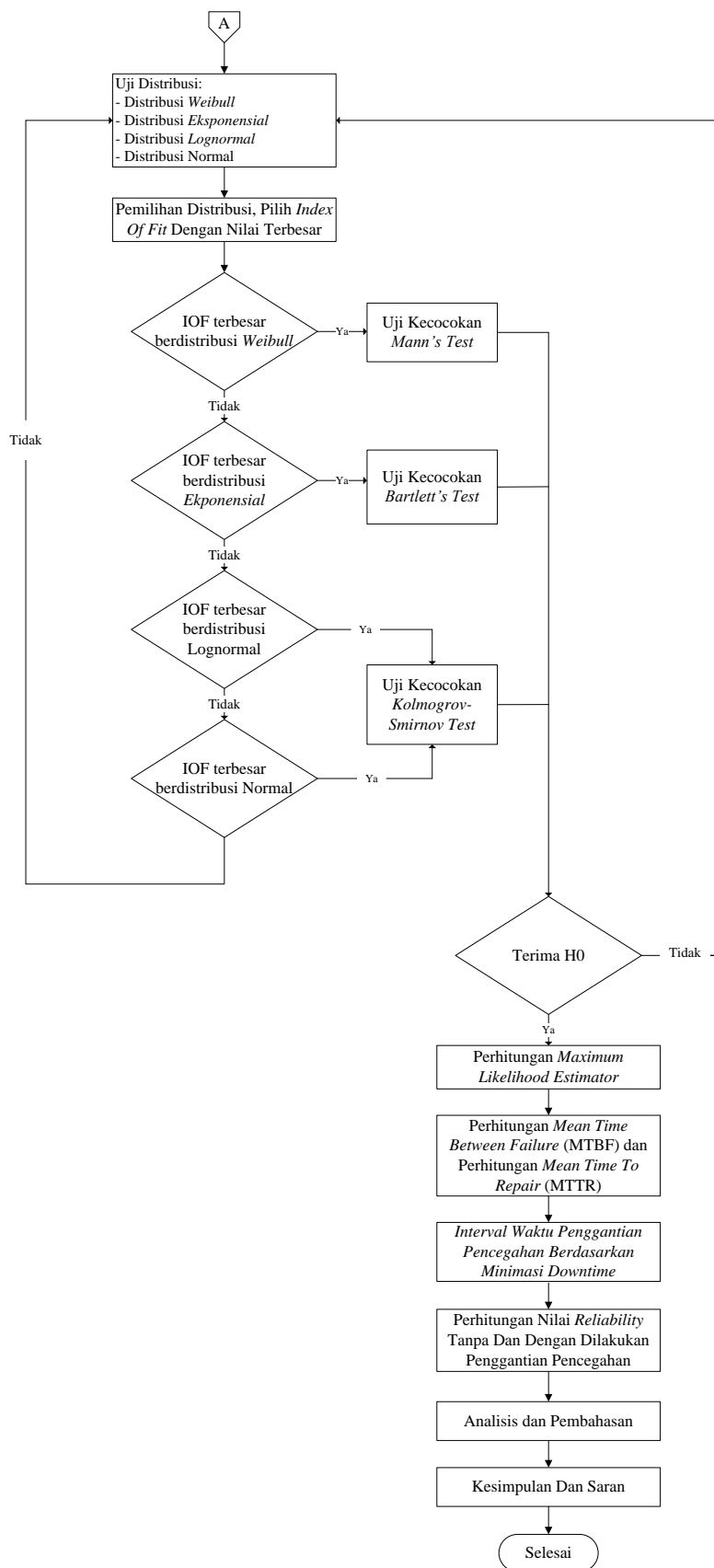
3.7. Kesimpulan dan Saran

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

3.8. Flowchart Pemecahan Masalah



Gambar 3.1. Flowchart Pemecahan Masalah



Gambar 3.1. *Flowchart* Pemecahan Masalah (Lanjutan)

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data terdiri atas data yang dikumpulkan di PT NGK Busi Indonesia. Adapun data-data tersebut antara lain:

4.1.1. Profil Perusahaan

Nama Perusahaan	: PT NGK Busi Indonesia
Status Perusahaan	: Perseroan Terbatas
Tanggal Berdiri	: Juli 1977 perusahaan <i>joint venture</i> antara PT PENDAWA SEMPURNA dan PT NGK SPARK PLUG CO. LTD Februari 1978 mulai memproduksi busi
Jenis Produk	: <i>Sparkplug</i> (Busi) dan <i>Plugcap</i> (Tutup busi)
Aktivitas	: 1. Membuat komponen 2. Assembly
Jumlah Karyawan	: 483 orang

4.1.2. Sejarah Singkat Perusahaan

PT NGK Busi Indonesia adalah Perusahaan yang memproduksi busi dengan teknologi mutakhir dari Jepang. Perusahaan ini adalah perusahaan *joint venture* antara PT PENDAWA SEMPURNA (Indonesia) dan NGK SPARK PLUG CO. LTD (jepang). NGK SPARK PLUG CO. LTD adalah perusahaan yang memproduksi dan menjual busi dan produk-produk yang berkaitan dengan mesin-mesin pembakaran, keramik dan produk-produk aplikasinya. Perusahaan ini berdiri pada 26 Oktober 1936 di jepang, dengan modal 47.869 juta yen. Hingga Maret 2014 tercatat jumlah karyawannya sebanyak 12.760 (*consolidated*) dan 5.809 (*non-consolidated*). Jaringan perusahaan yang tersebar di seluruh dunia yaitu 18 kantor penjualan beserta pabrik, 10 pabrik dan 2 kantor pendukung. Salah satu jaringannya berada di Indonesia, dengan membuat perusahaan *joint-venture* yang bernama PT NGK Busi Indonesia. Perusahaan ini di dirikan pada tahun 1977, diatas tanah seluas 27.000 m² dengan luas bangunan 8.750 m².

Perusahaan ini berlokasi di Jalan Raya Jakarta Bogor Km 26,6 Ciracas- Jakarta Timur.

PT NGK BUSI INDONESIA mulai beroperasi pada Februari 1978 dan mulai memproduksi secara komersial pada April 1978. Perusahaan ini mampu memproduksi “BUSI” rata-rata 3,16 juta unit/bulan atau 38 juta unit/tahun, dengan rata-rata peningkatan produksi 15% pada setiap tahunnya, serta memproduksi komponen busi lainnya berupa “*METAL SHELL*” sebanyak 3,83 juta unit/bulan atau 46 juta unit/tahun dan “*PLUG CAP*” sebanyak 500 ribu unit/bulan atau 6 juta unit/tahun yang telah diekspor ke pabrik-pabrik NGK di kawasan ASEAN dan Taiwan.

PT NGK BUSI INDONESIA memiliki sumber daya manusia sebanyak 483 orang (terdiri dari 478 karyawan lokal dan 4 direksi asing dan 1 direksi lokal) sudah mampu menghasilkan busi dan tutup busi yang terbaik dan telah di ekspor ke kawasan ASEAN.

4.1.3. Sasaran Mutu Perusahaan

PT NGK Busi Indonesia memiliki sasaran mutu yang berfungsi sebagai target yang harus dicapai oleh perusahaan. Sasaran mutu perusahaan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Sasaran Mutu Perusahaan

No.	SASARAN MUTU	TARGET
1	<i>Reject Ratio</i> Rasio Kerusakan Produk (<i>Final Inspection</i>)	1.1 Busi (<i>Spark Plug</i>) : 50 PPM 1.2 Tutup Busi (<i>Plug Cap</i>) : 500 PPM
2	<i>OEE (Overall Equipment Effectiveness)</i> Efektivitas Peralatan Keseluruhan	80%
3	<i>Customer Claim</i> Keluhan Pelanggan	<i>Zero Claim</i>
4	<i>Improvement Program</i> Program Perbaikan Berkelanjutan	1.1 Ide Kaizen / <i>Kaizen Idea</i> : 400 ide 1.2 Tema QCC / <i>QCC Theme</i> : 18 Tema
5	<i>Safety</i> Keselamatan Kerja	<i>Zero Accident</i>
6	<i>Cost Reduction Program</i> Program Penghematan Biaya	1.1 <i>Cost of Poor Quality (COPQ)</i> Biaya ata kualitas yang buruk : 50% dari <i>Budget</i> FY116 (Rp 50.000.000,-) 1.2 <i>Budget & Efficiency</i> : 5% dari <i>Budget Manufacturing Cost</i>

(Sumber : PT NGK Busi Indonesia)

Tabel 4.1. diatas merupakan sasaran mutu dan target PT NGK Busi Indonesia untuk menjadi perusahaan yang terdepan dalam berbagai faktor. Selain sasaran mutu, perusahaan ini juga telah menerapkan sistem mutu ISO 9001:2000 dan sistem pengontrolan lingkungan ISO 14001:2004 dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1. Sertifikat

ISO 9001:2004
 (Sumber : www.ngkbusi.com)



Gambar 4.2. sertifikat ISO 14001:2004
(Sumber : www.ngkbusi.com)

4.1.4. Struktur Organisasi

Struktur organisasi perusahaan merupakan sebuah garis hierarki yang mendeskripsikan komponen-komponen yang menyusun perusahaan dimana setiap individu (sumber daya manusia) yang berada pada lingkup perusahaan tersebut memiliki posisi dan fungsi masing-masing. Menjalankan suatu proses produksi yang berkelanjutan dan menciptakan kinerja perusahaan yang lebih baik, PT NGK Busi Indonesia memiliki struktur organisasi yang membagi karyawan kedalam bidang-bidang pekerjaan yang sesuai dengan kebutuhan. Gambar struktur

organisasi PT NGK Busi Indonesia dapat dilihat dalam lampiran. Adapun uraian penjelasan struktur organisasi, penulis mencoba untuk menjelaskan secara garis besarnya dari masing-masing divisi adalah sebagai berikut:

1. *President Direktor*

Fungsi dari *president director* adalah merencanakan, mengendalikan, dan mengkoordinasikan pelaksanaan kegiatan Direksi dalam pengelolaan perusahaan baik yang bersifat strategis, agar misi perusahaan dapat diemban dengan baik dan tujuan perusahaan dapat dicapai sesuai dengan ketentuan dalam anggaran dasar.

2. *Vice President*

Vice president adalah orang yang mengawasi dan menjalankan kelangsungan bisnis perusahaan. *Vice president* bertindak sebagai wakil perusahaan yang melaporkan keadaan keuangan serta untung rugi perusahaan terhadap *president director*.

3. *Sales dan Marketing*

Bertugas untuk melakukan sistem penjualan dan penerapan strategi pemasaran, memastikan pencapaian target penjualan dan menetapkan mekanisme untuk pengembangan bisnis perusahaan serta peningkatan *profit* perusahaan.

4. *Finance dan Accounting*

Bertugas mengelola fungsi akuntansi dalam memproses data dan informasi keuangan untuk menghasilkan laporan keuangan yang dibutuhkan perusahaan secara akurat dan tepat waktu.

5. *Plant Manager*

Bertugas untuk mengawasi kinerja pekerja, jalannya sistem produksi, dan menerima semua laporan dari kepala bagian. *Plant manager* secara langsung membawahi *production, quality, dan maintenance*.

6. *Health, Safety, Environment (HSE)*

Bertugas melakukan pemeriksaan pada peralatan kerja, tenaga kerja, kesehatan tenaga kerja serta lingkungan kerja dan penanggulangan kecelakaan kerja dan melakukan penyelidikan penyebabnya.

7. *Human Resources Development (HRD)*

Bertanggung jawab di dalam pengelolaan dan pengembangan sumber daya manusia, yaitu dalam hal perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan kegiatan sumber daya manusia, serta pengurusan dokumen atau surat yang berkaitan dengan perusahaan.

8. *Information Technology*

Bertugas melakukan pengawasan terhadap sistem informasi dan perangkatnya yang ada di perusahaan dan melakukan pembersihan data jika dibutuhkan.

9. *Supply Procurement*

Bertugas merancang hubungan yang tepat dengan *supplier*. Hubungan dengan *supplier* bisa bersifat kemitraan jangka panjang maupun hubungan transaksional jangka pendek. Baik berupa model hubungan, berapa jumlah *Supplier* dan sebagainya dan memilih *supplier-supplier* kunci yang berpotensi untuk menjalin hubungan jangka panjang.

10. *Logistic Manager*

Bertugas mengkoordinasi penawaran dan permintaan dan informasi yang terkait dengan siklus pesanan.

11. *Production Engineering*

Bertanggung jawab atas laporan hasil produksi untuk diperiksa oleh atasan dan memproduksi sesuai kebutuhan.

12. *Maintenance Manager*

Memiliki tanggung jawab untuk melakukan perawatan dan pemeliharaan atas semua mesin atau peralatan yang dibutuhkan selama proses produksi.

13. *Production Manager*

Mempunyai tugas memantau jalannya proses produksi yang berlangsung. *Production manager* juga mengatur pembagian shift dan jam kerja dari karyawan sehingga efisiensi kerja dapat tercapai.

14. *Quality Manager*

Bertugas sebagai pengambil keputusan layak dan tidaknya hasil produksi yang ada dan melakukan pengecekan barang hasil produksi, hasil *packaging*.

15. *ISO Manager*

Bertugas berkoordinasi dengan badan sertifikasi, menyiapkan dan merevisi dokumen SMM (manual yaitu kualitasm prosedur sistem mutu dan dokumentasi lainnya).

4.1.5. Jam Kerja Perusahaan

PT NGK Busi Indonesia menerapkan sistem kerja 3 *shift* terdiri dari *shift* 1, 2, dan 3 bagi para pekerjanya. Pengaturan jam kerja pada PT NGK Busi Indonesia dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Jam Kerja dan Istirahat PT NGK Busi Indonesia

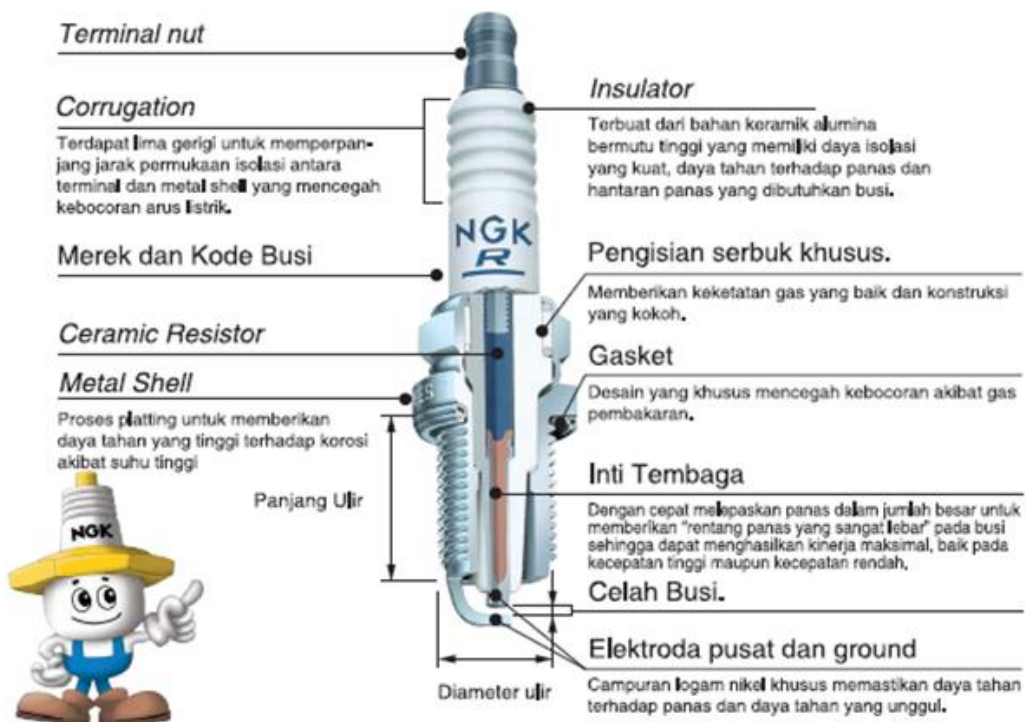
No.	Shift	Jam Kerja	Istirahat	Waktu	Keterangan
1	Shift 1 Senin-Kamis	06.00-14.00	10.00-10.30	30 menit	Makan Siang
	Jum'at		12.00-12.30	30 menit	Sholat Jum'at
	Sabtu (lembur)		10.00-10.30	30 menit	Makan Siang
	Minggu (lembur)				
2	Shift 2 Senin-Jum'at	14.00-22.00	18.00-18.30	30 menit	Makan Malam dan Sholat Magrib
	Sabtu (lembur)				
	Minggu (lembur)				
3	Shift 3 Senin-Jum'at	22.00-06.00	02.00-02.30	30 menit	Makan
	Sabtu (lembur)				
	Minggu (lembur)				

(Sumber : PT NGK Busi Indonesia)

4.1.6. Bidang Usaha Perusahaan

PT NGK Busi Indonesia merupakan perusahaan industri dibidang otomotif yang memproduksi dan menjual suku cadang kendaraan yang berkaitan dengan mesin-mesin pembakaran salah satunya adalah *spark plug* (busi). Busi yang diproduksi terdiri dari busi motor dan mobil dengan proses produksi yang sama, *brand* yang menggunakannya adalah Yamaha, Suzuki, Honda, Piaggio, Kawasaki, Mitshubitshi, Nissan, Daihatsu dan yang lainnya. Busi adalah bagian kecil dari

mesin namun peranannya tidak sekecil bentuknya. Mesin bensin secanggih apapun dan berapapun besarnya, akan tidak berfungsi dengan baik jika tidak ada busi. Dengan fungsinya yaitu mengalirkan listrik tegangan tinggi dari *ignition coil* ke elektroda pusat, mengubahnya menjadi percikan api antara dua elektroda dan menyalakan campuran bahan bakar dan udara yang terkompresi di ruang bakar sebagai tenaga penggerak mesin. Nama pada bagian busi dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Pada dasarnya proses pembuatan *spark plug* (*busi*) pada PT NGK Busi Indonesia melalui kurang lebih 4 tahapan yang saling berhubungan antara proses yang satu dengan proses selanjutnya. Proses ini saling berkesinambungan dimana setiap proses harus menghasilkan produk yang berkualitas sesuai dengan standar yang ditetapkan sehingga menjadi satu produk yang siap pakai dan mampu bersaing dipasaran. *Flow process* dari tahapan-tahapan pembuatan *spark plug* adalah sebagai berikut:

1. Tahap ke-satu adalah pembuatan *metal shell*

Pada tahap satu material berupa *steel coil* yang diproses kedalam *cold forming*, terjadinya pembentukan dan hasilnya disebut *forged*. *Forged*

tersebut diproses kembali kedalam *chucking machine* terjadi lagi pembentukan yang disebut dengan *chucked*. *Chucked* kembali diproses di mesin *welding threading* untuk membuat ulir dibagian atas *metal shell* yang disebut dengan *chucked M/S*. *Chucked M/S* diproses ke bagian *plating* untuk melakukan pelapisan atau peng-*chroman* dan dilanjutkan dengan *inspection metal shell*. *Flow process metal sheel* dapat dilihat pada Gambar 4.4.

2. Tahap ke-dua adalah perakitan Insulator












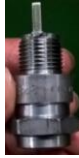
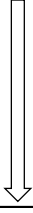
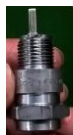


Pada tahap ini perakitan *t-stud*, keramik *insulator*, dan *center elektro* diproses kedalam mesin *setsugo* dan hasilnya disebut dengan insulator. *Flow process insulator assy* dapat dilihat pada Gambar 4.5.

3. Tahap ke-tiga adalah proses *assembling* dan *bending process*




Tahap ini melakukan pemasangan *talc ring powder*, *wire packing*, *sheet packing*, dan *gasket* menggunakan mesin *assembling line*. Selanjutnya penggabungan antara *metal shell* dengan *insulator* menggunakan mesin *assembling automatic* dan pembengkokan pada ujung busi menggunakan mesin *bending* . Hasil akhirnya menjadi produk *spark plug*. *Flow process assembling dan bending process* dapat dilihat pada Gambar 4.6.

4. Tahap ke-empat adalah *final inspection* dan *packaging*

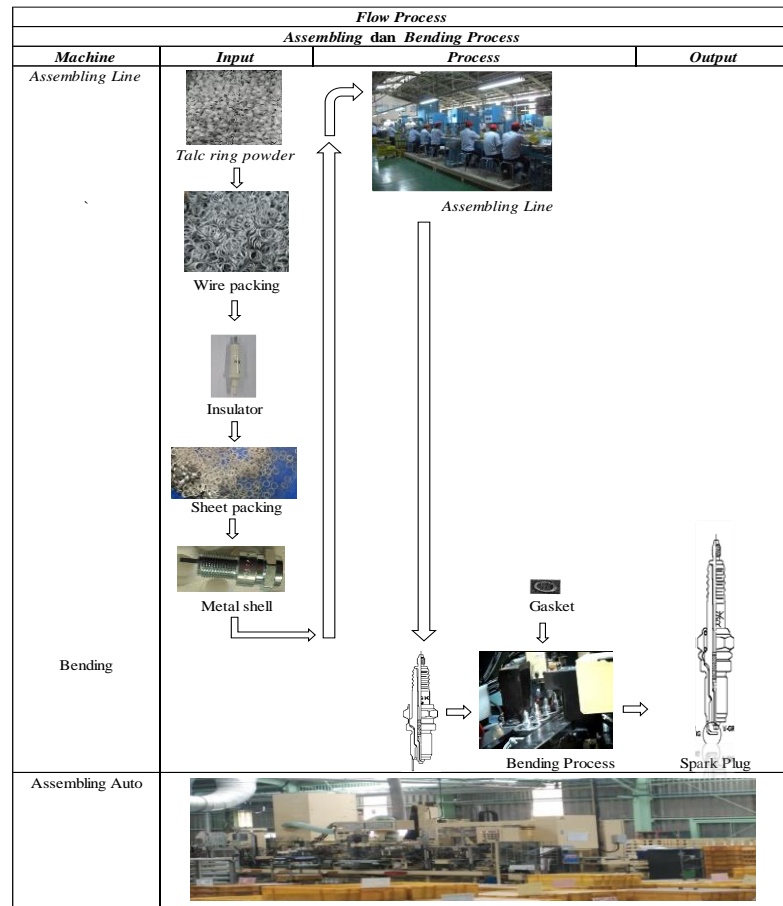
Tahap ini dilakukan pemeriksaan apakah hasil produksi sudah sesuai standar yang ditentukan atau belum. Jika produk tidak sesuai standar akan dipisahkan menjadi produk NG, sebaliknya apabila sudah sesuai akan dilanjutkan ke proses *packaging box* yang telah disesuaikan. *Flow process final inspection dan packaging* dapat dilihat pada Gambar 4.7.

<i>Flow Process</i>			
<i>Metal Shell</i>			
<i>Machine</i>	<i>Input</i>	<i>Process</i>	<i>Output</i>
<i>Cold Forming</i> 	 <i>Steel coil</i>	 <i>Cold forming</i>	 <i>Forged</i>
<i>Cuchking Machine</i> 	 <i>Forged</i>	 <i>Cuchking Machine</i>	 <i>Chuckered</i>
<i>Welding Threading</i> 	 <i>Chuckered</i>	 <i>Welding Threading</i>	 <i>Chuckeres M/S</i>
<i>Plating Process</i> 	 <i>Chuckeres M/S</i>	 <i>Plating</i>	 <i>Metal Shell</i>
<i>Inspection Metal Shell</i>			

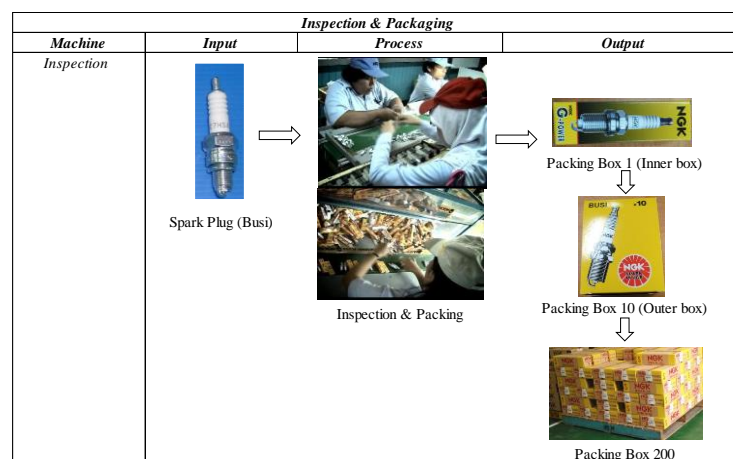
Gambar 4.4. *Flow Process Metal Shell*
(Sumber : PT NGK Busi Indonesia)

<i>Flow Process</i>			
<i>Assy</i>			
<i>Machine</i>	<i>Input</i>	<i>Process</i>	<i>Output</i>
<i>Insulator Assy</i>	 <i>T-stud, Insulator, dan CE</i>	 <i>Setsugo</i>	 <i>Insulator</i>

4.5. *Flow Process Assy*
(Sumber : PT NGK Busi Indonesia)



Gambar 4.6. Flow Process Assembling dan Bending Process
(Sumber : PT NGK Busi Indonesia)



Gambar 4.7. Flow Process Final Inspection & Packaging
(Sumber : PT NGK Busi Indonesia)

4.1.8. *Layout* Perusahaan

Layout/tata letak pabrik adalah susunan letak fasilitas produksi di dalam perusahaan. Cara penempatan fasilitas-fasilitas produksi guna memperlancar proses produksi yang efektif dan efisien. Fasilitas pabrik dapat berupa mesin-mesin, alat-alat produksi, alat pengangkutan bahan, dan peralatan pengawasan. Gambar *layout* PT NGK Busi Indonesia dapat dilihat dalam lampiran.

4.1.9. Data Kerusakan Mesin Bending

Dalam penelitian ini, adapun mesin yang akan diteliti pada proses pembuatan *spark plug* (busi) yaitu mesin *Bending*, dimana mesin ini memiliki rata-rata efisiensi terendah yaitu 65,16453% dibandingkan mesin lainnya, efisiensi pada periode Januari-Juni 2016 dapat dilihat dalam lampiran. Rendahnya efisiensi terhadap mesin dapat berpengaruh terhadap performa mesin dalam menjalankan proses produksinya dan produk yang dihasilkan bisa berkurang dari yang ditargetkan. Proses penekukkan pada mesin *Bending* merupakan hal yang sangat penting, karena jika penekukkan tidak sempurna busi tersebut tidak menghasilkan pengapian dengan baik, sesuai dengan fungsi busi itu sendiri yaitu sebagai pemantik api untuk proses pembakaran, sehingga dapat menyebabkan produk yang dihasilkan berkualitas *No Good* (NG) dan menghambat proses selanjutnya.

Maka dari itu, mesin yang diamati adalah mesin *Bending*. Beberapa komponen yang diamati yaitu *pillow*, *gap knife*, *pressing cope*, *shutter pawl*, *cylinder gasket pusher*, dan *hasame*. Berikut ini data waktu kerusakan dalam melakukan penggantian pada komponen mesin *Bending* 1 sampai *Bending* 5 periode Januari-Juni 2016 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Data Waktu Kerusakan Penggantian Komponen *Bending* 1 sampai *Bending* 5 Periode Januari-Juni 2016

Mesin Komponen	Bending 1 (menit)	Bending 2 (menit)	Bending 3 (menit)	Bending 4 (menit)	Bending 5 (menit)
<i>Pillow</i>	20	0	50	150	50
<i>Gap Knife</i>	55	35	95	145	25
<i>Pressing Cope</i>	80	85	105	135	95
<i>Shutter Pawl</i>	60	60	0	110	0

(Sumber : PT NGK Busi Indonesia)

Tabel 4.3. Data Waktu Kerusakan Dalam Melakukan Penggantian Komponen *Bending* 1 sampai *Bending* 5 Periode Januari-Juni 2016 (Lanjutan)

Mesin Komponen	Bending 1 (menit)	Bending 2 (menit)	Bending 3 (menit)	Bending 4 (menit)	Bending 5 (menit)
<i>Cylinder</i> <i>Gasket</i> <i>Pusher</i>	50	0	50	0	185
<i>Hasame</i>	45	20	0	0	0
Total	310	200	300	540	380

(Sumber : PT NGK Busi Indonesia)

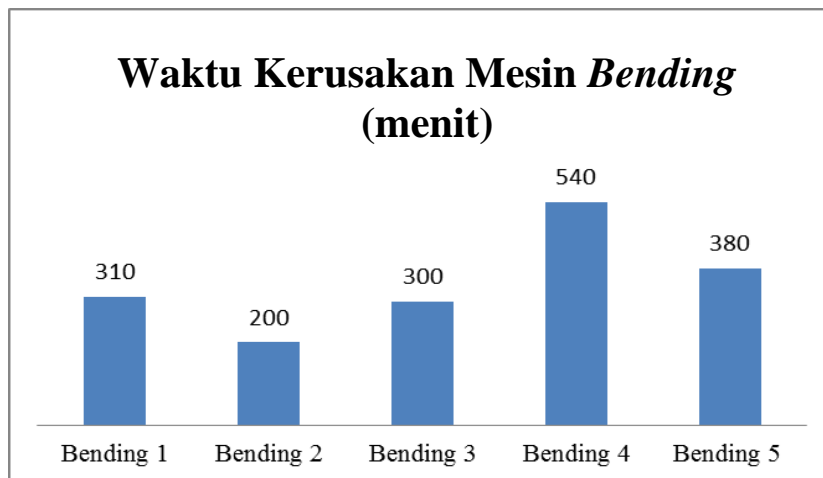
Berdasarkan Tabel 4.3. dapat diketahui total waktu kerusakan yang terjadi terhadap komponen *Bending* 1 sampai *Bending* 5, untuk sumber kerusakan dari waktu ke waktunya setiap komponen dapat dilihat dalam lampiran.

4.2. Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan diolah guna mengetahui kelengkapan, keakuratan, serta kesesuaian untuk dijadikan informasi dalam analisis permasalahan. Hal ini bermanfaat pula dalam pemecahan masalah untuk dijadikan solusi atau masukan bagi perusahaan. Pada pengolahan data dalam penelitian penentuan interval waktu *preventive replacement* dilakukan pengambilan data mengenai waktu kerusakan dalam penggantian komponen mesin *bending*. Tahapannya adalah penentuan mesin kritis dan komponen kritis.

4.2.1. Penentuan Mesin Kritis

Mesin yang disebut sebagai mesin kritis adalah mesin yang memiliki peranan penting dan memiliki banyak kerusakan, sehingga proses produksi tidak dapat berjalan dengan baik dan juga dapat menyebabkan cacat pada produk yang dihasilkan. Tabel 4.3 merupakan pengumpulan data waktu kerusakan dalam penggantian komponen, dari data tersebut dapat menentukan mesin yang dikategorikan sebagai mesin kritis, dapat dilihat pada Gambar 4.8 merupakan grafik waktu kerusakan komponen pada tiap mesin *Bending* dalam periode Januari-Juni 2016, dan diambil satu mesin yang memiliki waktu kerusakan tertinggi untuk menjadi objek penelitian.



Gambar 4.8. Grafik Waktu Kerusakan Mesin Bending Bulan Januari-Juni 2016
(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan grafik diatas, mesin Bending 4 memiliki waktu kerusakan tertinggi sebesar 540 menit dibandingkan mesin lainnya. Maka dari itu, mesin Bending 4 dapat dikatakan sebagai mesin kritis yang menjadi objek penelitian.

4.2.2. Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis dilakukan untuk mengetahui sumber kerusakan yang terjadi dari waktu ke waktu. Suatu komponen dikatakan kritis apabila termasuk ke dalam kriteria tingginya waktu kerusakan, laju kerusakan meningkat dan berpengaruh terhadap keberlangsungan proses produksi. Penentuan ini berdasarkan perhitungan diagram Pareto dengan kriteria kumulatif persentase bernilai $\leq 80\%$. Berikut ini adalah cara mencari persentase dengan menggunakan perhitungan Pareto.

Perhitungan diagram Pareto untuk komponen *Gap Knife* sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Persentase (\%)} &= \frac{\text{Waktu Kerusakan Komponen}}{100\%} \times \\ &= \frac{145 \text{ menit}}{540 \text{ menit}} \times 100\% = 26,9\% \end{aligned}$$

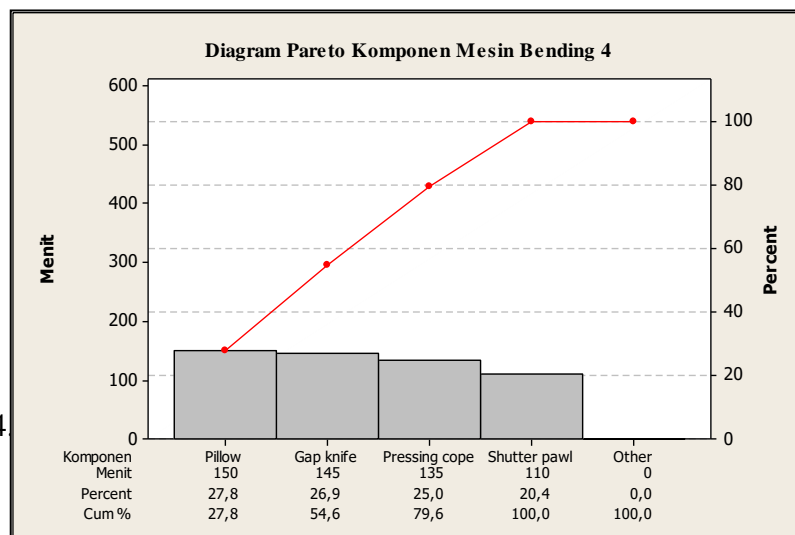
Dengan cara yang sama, maka hasil perhitungan diagram Pareto untuk data komponen kritis mesin *Bending 4* bulan Januari-Juni 2016 dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Diagram Pareto Komponen Mesin *Bending* 4 Bulan Januari-Juni 2016

No	Nama Komponen	Waktu Kerusakan Komponen (mnt)	Persentase (%)	Kum. Persentase (%)
1	<i>Pillow</i>	150	27,8	27,8
2	<i>Gap knife</i>	145	26,9	54,6
3	<i>Pressing cope</i>	135	25,0	79,6
4	<i>Shutter pawl</i>	110	20,4	100,0
5	<i>Cylinder gasket pusher</i>	0	0,0	100,0
6	<i>Hasame</i>	0	0,0	100,0
Total		540		

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Hasil diagram Pareto dengan menggunakan software minitab V.16 dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9

Diagram Bending

Berdasarkan Gambar 4.9 komponen yang memiliki kumulatif persentase $\leq 80\%$ sesuai dengan ketentuan diagram Pareto antara lain komponen *Pillow* (27,8%), *Gap Knife* (54,9%) dan *Pressing Cope* (79,6%). Gambar komponen kritis dapat dilihat dalam lampiran. Maka, Ketiga komponen ini dinyatakan sebagai komponen kritis yang selanjutnya dijadikan objek penelitian.

4.3. Penentuan Rencana Pemeliharaan Optimal

4.3.1. Perhitungan Selang Waktu Kerusakan (TBF) Dan Selang Waktu Perbaikan (TTR)

Setelah terpilihnya *Bending 4* menjadi mesin kritis serta *Pillow*, *Gap Knife* dan *Pressing Cope* merupakan komponen kritis, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menghitung TBF (*Time Between Failure*) dan TTR (*Time to Repair*). TBF adalah selang waktu antar kerusakan, yaitu dari suatu kerusakan selesai diperbaiki sampai terjadi kerusakan lagi pada mesin dan komponen yang sama. Sedangkan TTR adalah waktu untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi. Data yang didapatkan merupakan kerusakan yang terjadi antara bulan Januari-Juni 2016. Perhitungan TBF dan TTR dari setiap komponen kritis mesin *Bending 4* berdasarkan satuan waktu akan dijabarkan sebagai berikut:

4.3.1.1. Selang Waktu Kerusakan (TBF) Komponen Kritis Pada Mesin Bending 4

Berdasarkan data yang diperoleh dari PT NGK Busi Indonesia selama periode Januari-Juni 2016, hasil perhitungan selang waktu kerusakan (TBF) untuk komponen *Pillow*, *Gap Knife* dan *Pressing Cope* dapat dilihat pada Tabel 4.5 sampai Tabel 4.7.

Langkah-langkah untuk menghitung waktu kerusakan adalah sebagai berikut :

1. Uraian penulisan tanggal yaitu tanggal, bulan, dan tahun.
2. Jam operasional mesin 22,5 jam termasuk hari lembur (Sabtu dan Minggu) dalam sehari dan khusus untuk hari Jum'at 22 jam.
3. Tanggal lembur: (9,16,23,30 Jan), (6,20,21,28 Feb), (12,13,19,20,26,27 Mar), (2,9,16,17,24 Apr), (1,7,14,22 Mei), (18,19 Jun)
4. Misalnya untuk data waktu kerusakan pada komponen *Pillow*, hitung selang waktu komponen selesai diperbaiki pada tanggal 27 Januari 2016 pukul 3:50 sampai 6:00 yaitu 2,03125 jam.
5. Kemudian kerusakan kembali terjadi pada tanggal 19 Februari 2016 pukul 7:50. Selang hari dari 28 Januari sampai 18 Februari (terdiri dari 15 hari biasa termasuk hari lembur dan 3 hari jum'at) yaitu 403 jam, selang waktu dari pukul 06:00 ke 7:50 yaitu 1,68056 jam.
6. Kemudian jumlahkan waktu yang didapat dari perhitungan diatas yaitu 2,03125 jam ditambah 403 jam ditambah 1,68056 jam sama dengan

406,7118 jam, dengan cara yang sama dapat menentukan hasil perhitungan selang waktu kerusakan untuk komponen *Gap Knife* dan *Pressing Cope*.

Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Selang Waktu Kerusakan (TBF) Komponen *Pillow* Bulan Januari-Juni 2016

No	Tanggal	Awal Waktu Kerusakan	Akhir Waktu Perbaikan	TBF (Jam)
1	27/01/2016	27/01/2016 3:30	27/01/2016 3:50	0
2	19/02/2016	19/02/2016 7:50	19/02/2016 8:20	406,7118
3	31/03/2016	31/03/2016 22:25	31/03/2016 22:55	803,0295
4	24/04/2016	24/04/2016 16:10	24/04/2016 16:40	473,3906
5	02/05/2016	02/05/2016 15:05	02/05/2016 15:25	153,0156
6	07/06/2016	07/06/2016 8:25	07/06/2016 8:45	594,0937
Total				2.430,241

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Selang Waktu Kerusakan (TBF) Komponen *Gap Knife* Bulan Januari-Juni 2016

No	Tanggal	Awal Waktu Kerusakan	Akhir Waktu Perbaikan	TBF (Jam)
1	06/01/2016	06/01/2016 4:10	06/01/2016 4:20	0
2	20/01/2016	20/01/2016 8:45	20/01/2016 8:55	250,6406
3	02/02/2016	02/02/2016 19:25	02/02/2016 19:35	239,3125
4	06/02/2016	06/02/2016 21:20	06/02/2016 21:40	94,1094
5	20/02/2016	20/02/2016 13:05	20/02/2016 13:20	245,3281
6	07/03/2016	07/03/2016 2:05	07/03/2016 2:15	279,5469
7	22/03/2016	22/03/2016 13:40	22/03/2016 13:50	96,6875
8	06/04/2016	06/04/2016 16:25	06/04/2016 16:45	488,6093
9	18/04/2016	18/04/2016 5:10	18/04/2016 5:20	234,8594
10	06/06/2016	06/06/2016 21:45	06/06/2016 22:00	822,3906
11	19/06/2016	19/06/2016 11:05	19/06/2016 11:20	243,7656
Total				2.995,2499

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Selang Waktu Kerusakan (TBF) Komponen *Pressing Cope* Bulan Januari-Juni 2016

No	Tanggal	Awal Waktu Kerusakan	Akhir Waktu Perbaikan	TBF (Jam)
1	06/01/2016	06/01/2016 3:30	06/01/2016 4:05	0

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Selang Waktu Kerusakan (TBF) Komponen *Pressing Cope* Bulan Januari-Juni 2016 (Lanjutan)

No	Tanggal	Awal	Akhir	TBF
----	---------	------	-------	-----

		Waktu Kerusakan	Waktu Perbaikan	(Jam)
2	16/02/2016	16/02/2016 19:15	16/02/2016 19:35	709,1788
3	07/03/2016	07/03/2016 22:25	07/03/2016 22:45	386,4687
4	18/04/2016	18/04/2016 11:10	18/04/2016 11:30	850,5468
5	02/05/2016	02/05/2016 17:05	02/05/2016 17:25	262,0469
6	19/06/2016	19/06/2016 7:25	19/06/2016 7:45	819,0312
Total				3.027,272

(Sumber : Hasil pengolahan data)

4.3.1.2. Selang Waktu Perbaikan (TTR) Komponen Kritis Pada Mesin Bending 4

Berdasarkan data yang diperoleh dari PT NGK Busi Indonesia selama periode Januari-Juni 2016, hasil perhitungan data selang waktu perbaikan (TTR) untuk komponen *Pillow*, *Gap Knife* dan *Pressing Cope* dapat dilihat pada Tabel 4.8 sampai Tabel 4.10.

Langkah-langkah untuk menghitung selang waktu perbaikan adalah sebagai berikut :

1. Uraian penulisan tanggal yaitu tanggal, bulan, dan tahun.
2. Misalnya untuk data waktu perbaikan untuk komponen *Pillow*, kerusakan awal terjadi pada tanggal 27 Januari 2016 dimulai pukul 3:30 sampai dengan pukul 3:50, sehingga selisih selang waktu perbaikan yaitu 0,333 jam. Dengan langkah yang sama dapat menentukan waktu perbaikan (TTR) pada komponen *Gap Knife* dan *Pressing Cope*.

Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Selang Waktu Perbaikan (TTR) Komponen *Pillow* Bulan Januari-Juni 2016

No	Tanggal	Awal Waktu Kerusakan	Akhir Waktu Perbaikan	TTR (Jam)
1	27/01/2016	27/01/2016 3:30	27/01/2016 3:50	0,333
2	19/02/2016	19/02/2016 7:50	19/02/2016 8:20	0,500
3	31/03/2016	31/03/2016 22:25	31/03/2016 22:55	0,500
4	24/04/2016	24/04/2016 16:10	24/04/2016 16:40	0,500

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Selang Waktu Perbaikan (TTR) Komponen *Pillow* Bulan Januari-Juni 2016 (Lanjutan)

No	Tanggal	Awal	Akhir	TTR
-----------	----------------	-------------	--------------	------------

		Waktu Kerusakan	Waktu Perbaikan	(Jam)
5	02/05/2016	02/05/2016 15:05	02/05/2016 15:25	0,333
6	07/06/2016	07/06/2016 8:25	07/06/2016 8:45	0,333
Total				2,500

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Selang Waktu Perbaikan (TTR) Komponen Komponen *Gap Knife* Bulan Januari-Juni 2016

No	Tanggal	Awal Waktu Kerusakan	Akhir Waktu Perbaikan	TTR (Jam)
1	06/01/2016	06/01/2016 4:10	06/01/2016 4:20	0,167
2	20/01/2016	20/01/2016 8:45	20/01/2016 8:55	0,167
3	02/02/2016	02/02/2016 19:25	02/02/2016 19:35	0,167
4	06/02/2016	06/02/2016 21:20	06/02/2016 21:40	0,333
5	20/02/2016	20/02/2016 13:05	20/02/2016 13:20	0,250
6	07/03/2016	07/03/2016 2:05	07/03/2016 2:15	0,167
7	22/03/2016	22/03/2016 13:40	22/03/2016 13:50	0,167
8	06/04/2016	06/04/2016 16:25	06/04/2016 16:45	0,333
9	18/04/2016	18/04/2016 5:10	18/04/2016 5:20	0,167
10	06/06/2016	06/06/2016 21:45	06/06/2016 22:00	0,250
11	19/06/2016	19/06/2016 11:05	19/06/2016 11:20	0,250
Total				2,417

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Selang Waktu Perbaikan (TTR) Komponen *Pressing Cope* Bulan Januari-Juni 2016

No	Tanggal	Awal Waktu Kerusakan	Akhir Waktu Perbaikan	TTR (Jam)
1	08/01/2016	08/01/2016 3:30	08/01/2016 4:05	0,583
2	16/02/2016	16/02/2016 19:15	16/02/2016 19:35	0,333
3	07/03/2016	07/03/2016 22:25	07/03/2016 22:45	0,333
4	18/04/2016	18/04/2016 11:10	18/04/2016 11:30	0,333
5	02/05/2016	02/05/2016 17:05	02/05/2016 17:25	0,333
6	19/06/2016	19/06/2016 7:25	19/06/2016 7:45	0,333
Total				2,250

(Sumber : Hasil pengolahan data)

4.3.2. Pemilihan Jenis Distribusi Pada Komponen Mesin Kritis

Pemilihan distribusi yang sesuai dengan karakteristik data yang ada dapat membantu mempermudah dalam menganalisis permasalahan. Perhitungan yang dilakukan adalah menggunakan data TBF dan TTR. Pemilihan jenis distribusi menggunakan perhitungan *Index of Fit*.

Pemilihan distribusi pada masing-masing komponen berdasarkan perhitungan nilai *Index of Fit* (r) terbesar. Hal ini dilakukan untuk menentukan distribusi mana yang akan terpilih pada setiap komponen. Jenis distribusi yang digunakan untuk perhitungan adalah distribusi *Weibull*, *Eksponensial*, Lognormal dan Normal. Selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan metode *Goodness Of Fit* dan *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Berikut ini akan ditampilkan hasil perhitungan untuk pemilihan distribusi pada setiap komponen kritis.

4.3.2.1. Perhitungan *Index of Fit Time Between Failure* (TBF) Komponen *Pillow*

Pemilihan distribusi ini dilakukan dengan menggunakan *Index of Fit* (r) terbesar. Data yang digunakan adalah selang waktu kerusakan (TBF). Jenis distribusi yang dihitung adalah distribusi *Weibull*, *Eksponensial*, Lognormal dan Normal. Perhitungan mengenai pemilihan distribusi yang sesuai untuk komponen *pillow* dapat dilihat pada Tabel 4.11 sampai dengan Tabel 4.15.

1. Distribusi *Weibull*

Tabel 4.11. Hasil Perhitungan *Index of Fit* TBF Distribusi *Weibull* Komponen *Pillow*

i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	Y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	153,0156	5,03054	0,12963	-1,974459	-9,93259	25,30633	3,89849
2	406,7118	6,00810	0,31481	-0,972686	-5,84400	36,09732	0,94612
3	473,3906	6,15992	0,50000	-0,366513	-2,25769	37,94462	0,13433
4	594,0937	6,38704	0,68519	0,1447674	0,92463	40,79424	0,02096
5	803,0295	6,68839	0,87037	0,7144555	4,77856	44,73458	0,51045
Total		30,27399	2,50000	-2,45443	12,33109	184,87710	5,51034

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk $i=1$

- a. Kolom t_i didapat dari data TBF pada Tabel 4.5 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan $n = 5$

$$b. x_i = \ln(t_i) = \ln(153,0156) = 5,03054$$

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

$$= \frac{1 - 0,3}{5 + 0,4} = \frac{0,7}{5,4} = 0,12963$$

$$d. y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - 0,12963} \right) \right] = -1,97446$$

$$e. x_i \cdot y_i = -9,93259$$

$$f. x_i^2 = 25,30633, \quad y_i^2 = 3,89849$$

Berdasarkan Tabel 4.11, untuk menghitung parameter bentuk ($\beta=b$), *intersep* (a), parameter skala (θ), dan *index of fit* (r) dari distribusi *Weibull* adalah sebagai berikut:

Parameter bentuk (β)

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

$$\beta = b = \frac{(5)(-12,33109) - (30,27399)(-2,45443)}{(5)(184,87710) - (30,27399)^2} = 1,60722$$

Intersep (a)

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

$$\alpha = \frac{(-2,45443) - (1,60722)(30,27399)}{(5)} = -10,22227$$

Parameter Skala (θ)

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

$$\theta = e^{-\left(\frac{-10,22227}{1,60722} \right)} = -578,37659$$

Index of Fit (r)

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

$$= \frac{(5)(-12,33109) - (30,27399)(-2,45443)}{\sqrt{\left[(5)(184,87710) - (30,27399)^2 \right] \left[(5)(5,51034) - (-2,45443)^2 \right]}}$$

$$= 0,971825$$

2. Distribusi Ekspensial

Tabel 4.12. Hasil Perhitungan *Index of Fit* TBF Distribusi *Ekspensial* Komponen *Pillow*

i	T_i	x_i = t_i	F(t_i)	Y_i	x_i.y_i	x_i²	y_i²
1	153,0156	153,0156	0,12963	0,13884	21,24414	23413,77384	0,01928
2	406,7118	406,7118	0,31481	0,37807	153,76396	165414,48826	0,14293
3	473,3906	473,3906	0,50000	0,69315	328,12936	224098,66017	0,48045
4	594,0937	594,0937	0,68519	1,15577	686,63609	352947,32438	1,33581
5	803,0295	803,0295	0,87037	2,04307	1640,64861	644856,37787	4,17415
Total	2430,241	2430,2412	4,40889	2830,42216	1410730,62452	6,15262	

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

a. Kolom t_i didapat dari data TBF pada Tabel 4.5 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 5

b. x_i = t_i
 = 153,0156

c. $F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$
 $= \frac{1 - 0,3}{5 + 0,4} = \frac{0,7}{5,4} = 0,12963$

d. $y_i = \ln\left(\frac{1}{1 - F(t_i)}\right) = \ln\left(\frac{1}{1 - 0,12963}\right) = 0,13884$

e. x_i.y_i = 2830,42216

f. x_i² = 1410730,62452 , y_i² = 6,15262

Berdasarkan Tabel 4.12, untuk menghitung *gradien* (b) dan *index of fit* (r) dari distribusi *Eksponensial* adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$$\lambda = b = \frac{2830,42216}{1410730,62452} = 0,002006352$$

Index of Fit (r)

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

$$= \frac{(5)(2830,42216) - (2430,2412)(4,40889)}{\sqrt{\left[(5)(1410730,62452) - (2430,2412)^2 \right] \left[(5)(6,15262) - (4,40889)^2 \right]}}$$

$$= 0,95352$$

3. Distribusi Lognormal

Tabel 4.13. Hasil Perhitungan *Indeks of Fit* TBF Distribusi Lognormal Komponen *Pillow*

i	t _i	x _i =ln (t _i)	F(t _i)	Y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	153,0156	5,03054	0,12963	-1,128144	5,67517	25,30633	1,27271
2	406,7118	6,00810	0,31481	-0,482248	2,89740	36,09732	0,23256
3	473,3906	6,15992	0,50000	0	0,00000	37,94462	0,00000
4	594,0937	6,38704	0,68519	0,4822482	3,08014	40,79424	0,23256
5	803,0295	6,68839	0,87037	1,1281436	7,54547	44,73458	1,27271
Total		30,27399	2,50000	0,00000	2,05303	184,87710	3,01054

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

- a. Kolom t_i didapat dari data TBF pada Tabel 4.5 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 5

b. $x_i = \ln(t_i)$

$$= \ln((153,0156)) = 5,03054$$

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

$$= \frac{1 - 0,3}{5 + 0,4} = \frac{0,7}{5,4} = 0,12963$$

d. Sedangkan nilai y_i diperoleh dari konversi nilai $F(t_i)$ ke Tabel Z (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSINV)

e. $x_i \cdot y_i = 2,05303$

f. $x_i^2 = 184,87710$, $y_i^2 = 3,01054$

Berdasarkan Tabel 4.13, untuk menghitung *gradien* (b), *intersep* (a), standar deviasi (s), parameter (t_{med}) dan *index of fit* (r) dari distribusi Lognormal adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

$$b = \frac{\left(n \sum_{i=1}^n x_i y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\left(n \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{(5)(2,05303) - (30,27399)(0)}{(5)(184,87710) - (30,27399)^2} = 1,30421$$

Intersep (a)

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

$$\alpha = \frac{(0) - (1,30421)(30,27399)}{(5)} = -7,89673$$

Standar Deviasi (s)

$$s = \frac{1}{b} = \frac{1}{1,30421} = 0,76675$$

Parameter (t_{med})

$$(t_{med}) = e^{-s\alpha} = e^{-(0,76675)(-7,89673)} = 426,15316$$

Index of Fit (r)

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

$$= \frac{(5)(2,05303) - (30,27399)(0)}{\sqrt{\left[(5)(184,87710) - (30,27399)^2 \right] \left[(5)(3,01054) - (0)^2 \right]}} = 0,94308$$

4. Distribusi Normal

Tabel 4.14. Hasil Perhitungan *Indeks of Fit* TBF Distribusi Normal Komponen *Pillow*

I	t _i	x _i = t _i	F(t _i)	Y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	153,0156	153,0156	0,12963	-1,128144	-172,62358	23413,77384	1,27271
2	406,7118	406,7118	0,31481	-0,482248	-196,13604	165414,48826	0,23256
3	473,3906	473,3906	0,50000	0	0,00000	224098,66017	0,00000
4	594,0937	594,0937	0,68519	0,4822482	286,50063	352947,32438	0,23256
5	803,0295	803,0295	0,87037	1,1281436	905,93263	644856,37787	1,27271
Total	2430,241	2430,2412	0,00000	0,00000	823,67364	1410730,62452	3,01054

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

a. Kolom t_i didapat dari data TBF pada Tabel 4.5 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 5

b. x_i = t_i
 = 153,0156

c. $F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$
 $= \frac{1 - 0,3}{5 + 0,4} = \frac{0,7}{5,4} = 0,12963$

d. Sedangkan nilai y_i diperoleh dari konversi nilai F(t_i) ke Tabel Z (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSINV)

e. x_i.y_i = 823,67364

f. x_i² = 1410730,62452, y_i² 3,01054

Berdasarkan Tabel 4.14, untuk menghitung *gradien* (b), *intersep* (a), standar deviasi (σ), rata-rata kerusakan (μ) dan *index of fit* (r) dari distribusi Normal adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$$b = \frac{(5)(823,67364) - (2430,2412)(0)}{(5)(1410730,62452) - (2430,2412)^2} = 0,00359$$

Intersep (a)

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

$$\alpha = \frac{(0) - (0,00359)(2430,2412)}{(5)} = -1,74430$$

Standar Deviasi (σ)

$$\sigma = \frac{1}{b} = \frac{1}{0,00359} = 278,64940$$

Rata-rata (μ)

$$\mu = -\frac{\alpha}{b} = -\frac{(-1,72057)}{(0,00271)} = 634,89668$$

Index of Fit (r)

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

$$= \frac{(5)(1056,32073) - (3170,750)(0)}{\sqrt{[(5)(2400059,40972) - (3170,750)^2][(5)(3,01054) - (0)^2]}} = 0,97570$$

Hasil perhitungan *index of fit* untuk data TBF pada komponen *gap knife* dan *pressing cope* dengan cara yang sama dapat dilihat dalam lampiran. Pemilihan distribusi ini dilakukan berdasarkan nilai *Index of Fit* (r) terbesar. Setelah melakukan perhitungan dengan keempat distribusi yaitu distribusi *Weibull*, *Ekspensial*, *Lognormal*, dan *Normal*, terlihat bahwa distribusi yang terpilih untuk komponen *pillow* yaitu distribusi *Normal*, *gap knife* distribusi *Lognormal* dan *pressing cope* distribusi *Weibull*. Ringkasan nilai *Index of Fit* data TBF dapat dilihat pada Tabel 4.15 sampai Tabel 4.16.

Tabel 4.15. Nilai *Index of Fit* TBF Komponen *Pillow*

TBF	
Distribusi	<i>Indeks of Fit</i> (r)
Weibull	0,97182
Ekspensial	0,95352
Lognormal	0,94308
Normal	0,99089

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.16. Nilai *Index of Fit* TBF Komponen *Gap Knife*

TBF	
Distribusi	<i>Indeks of Fit</i> (r)
Weibull	0,91608
Ekspensial	0,93330
Lognormal	0,93453
Normal	0,85846

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.17. Nilai *Index of Fit* TBF Komponen *Pressing Cope*

TBF	
Distribusi	<i>Indeks of Fit</i> (r)
Weibull	0,96135
Ekspensial	0,86163
Lognormal	0,93428
Normal	0,94640

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Perhitungan r hanya merupakan nilai korelasi yang menunjukkan kecenderungan suatu data mengikuti salah satu pola distribusi kerusakan. Untuk

itu perlu dilakukan pengujian hipotesis lebih lanjut untuk memperkuat distribusi. Pengujian lebih lanjut itu adalah dengan melakukan uji *goodness of fit*, perhitungan yang dilakukan sesuai dengan jenis distribusi terpilih.

4.3.2.2. Perhitungan *Indeks of Fit Time to Repair (TTR) Komponen Pillow*

Pemilihan distribusi ini dilakukan dengan menggunakan *Indeks Of Fit (r)* terbesar. Data yang digunakan adalah selang waktu perbaikan (TTR). Jenis distribusi yang dihitung adalah distribusi *Weibull*, *Eksponensial*, Lognormal dan Normal. Hasil perhitungan pemilihan distribusi untuk komponen *pillow* dapat dilihat pada Tabel 4.18 sampai Tabel 4.21.

1. Distribusi *Weibull*

Tabel 4.18. Hasil perhitungan *Indeks of Fit TTR Distribusi Weibull* Komponen *Pillow*

I	t _i	x _i =ln (t _i)	F(t _i)	Y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	0,3333	-1,09861	0,10938	-2,15562	2,36819	1,20695	4,64668
2	0,3333	-1,09861	0,26563	-1,17527	1,29117	1,20695	1,38126
3	0,3333	-1,09861	0,42188	-0,60154	0,66086	1,20695	0,36185
4	0,5000	-0,69315	0,57813	-0,14729	0,10209	0,48045	0,02169
5	0,5000	-0,69315	0,73438	0,28192	-0,19541	0,48045	0,07948
6	0,5000	-0,69315	0,89063	0,79434	-0,55059	0,48045	0,63097
Total		-5,37528	3,00000	-3,00346	3,67630	5,06221	7,12194

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

a. Kolom t_i didapat dari data TTR pada Tabel 4.8 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 6

b. x_i = ln (t_i)

$$= \ln (0,3333) = -1,09861$$

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

$$= \frac{1 - 0,3}{6 + 0,4} = \frac{0,7}{6,4} = 0,10938$$

d. $y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - 0,10938} \right) \right] = -2,15562$

e. x_i.y_i = (-1,09861) x (-2,15562) = 2,36819

$$f. x_i^2 = (-1,09861)^2 = 1,20695, \quad y_i^2 = (-2,15562)^2 = 4,64668$$

Berdasarkan Tabel 4.18, untuk menghitung parameter bentuk ($\beta=b$), *intersep* (a), parameter skala (θ), dan *index of fit* (r) dari distribusi *Weibull* adalah sebagai berikut:

Parameter bentuk (β)

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

$$\beta = b = \frac{(6)(3,67630) - (-5,37528)(-3,00346)}{(6)(5,06221) - (-5,37528)^2} = 3,99656$$

Intersep (a)

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

$$\alpha = \frac{(-3,00346 - (3,99656)(-5,37528))}{(6)} = 3,07986$$

Parameter Skala (θ)

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

$$\theta = e^{-\left(\frac{3,07986}{3,99656}\right)} = 0,46272$$

Index of Fit (r)

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

$$= \frac{(6)(3,67630) - (-5,37528)(-3,00346)}{\sqrt{\left[(6)(5,06221) - (-5,37528)^2 \right] \left[(6)(7,12194) - (-3,00346)^2 \right]}} = 0,83729$$

2. Distribusi Eksponensial

Tabel 4.19. Hasil perhitungan *Indeks of Fit* TTR Distribusi *Eksponensial* Komponen *Pillow*

I	t _i	x _i = t _i	F(t _i)	y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	0,3333	0,3333	0,10938	0,11583	0,03861	0,11111	0,01342
2	0,3333	0,3333	0,26563	0,30874	0,10291	0,11111	0,09532
3	0,3333	0,3333	0,42188	0,54797	0,18266	0,11111	0,30027
4	0,5000	0,5000	0,57813	0,86305	0,43152	0,25000	0,74485
5	0,5000	0,5000	0,73438	1,32567	0,66283	0,25000	1,75740
6	0,5000	0,3333	0,89063	2,21297	1,10649	0,25000	4,89725
Total		2,500	3,00000	5,37422	2,52502	1,08333	7,80850

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

a. Kolom t_i didapat dari data TTR pada Tabel 4.8 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 6

b. $x_i = t_i$
 $= 0,3333$

c. $F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$
 $= \frac{1 - 0,3}{6 + 0,4} = \frac{0,7}{6,4} = 0,10938$

d. $y_i = \ln\left(\frac{1}{1 - F(t_i)}\right) = \ln\left(\frac{1}{1 - 0,10938}\right) = 0,11583$

e. $x_i.y_i = 0,3333 \times 0,11583 = 0,03861$

f. $x_i^2 = (0,3333)^2 = 0,11111$, $y_i^2 = (0,11583)^2 = 0,01342$

Berdasarkan Tabel 4.19, untuk menghitung *gradient* (b) dan *index of fit* (r) dari distribusi *Eksponensial* adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$$\lambda = b = \frac{2,52502}{1,08333} = 2,33079$$

Index of Fit (r)

$$\begin{aligned} r_{\text{eksponensial}} &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \\ &= \frac{(6)(2,52502) - (2,500)(5,37422)}{\sqrt{\left[(6)(1,08333) - (2,500)^2 \right] \left[(6)(7,80850) - (5,37422)^2 \right]}} = 0,80896 \end{aligned}$$

3. Distribusi Lognormal

Tabel 4.20. Perhitungan *Indeks of Fit* TTR Distribusi Lognormal Komponen *Pillow*

I	t _i	x _i = ln (t _i)	F(t _i)	Y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	0,3333	-1,09861	0,10938	-1,22986	1,35114	1,20695	1,51255
2	0,3333	-1,09861	0,26563	-0,62601	0,68784	1,20695	0,39200
3	0,3333	-1,09861	0,42188	-0,19701	0,21654	1,20695	0,03885
4	0,5000	-0,69315	0,57813	0,19701	-0,13662	0,48045	0,03885
5	0,5000	-0,69315	0,73438	0,62601	-0,43398	0,48045	0,39200
6	0,5000	-0,69315	0,89063	1,22986	-0,85247	0,48045	1,51255
Total		-5,37528	3,00000	0,00000	0,83244	5,06221	3,88680

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

a. Kolom t_i didapat dari data TTR pada Tabel 4.8 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 6

b. x_i = ln (t_i)

$$= \ln (0,3333) = -1,09861$$

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

$$= \frac{1-0,3}{6+0,4} = \frac{0,7}{6,4} = 0,10938$$

d. Sedangkan nilai y_i diperoleh dari konversi nilai $F(t_i)$ ke Tabel Z (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSINV)

e. $x_i \cdot y_i = (-1,09861) \times (-1,22986) = 1,35114$

f. $x_i^2 = (-1,09861)^2 = 1,20695$, $y_i^2 = (-1,22986)^2 = 1,51255$

Berdasarkan Tabel 4.20, untuk menghitung *gradien* (b), *intersep* (a), standar deviasi (s), parameter (t_{med}) dan *index of fit* (r) dari distribusi Lognormal adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

$$b = \frac{\left(n \sum_{i=1}^n x_i y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\left(n \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{(6)(0,83244) - (-5,37528)(0)}{(6)(15,06221) - (-5,37528)^2} = 3,37564$$

Intersep (a)

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

$$\alpha = \frac{(0) - (3,37564)(-5,37528)}{(6)} = 3,02417$$

Standar Deviasi (s)

$$s = \frac{1}{b} = \frac{1}{3,37564} = 0,29624$$

Parameter (t_{med})

$$(t_{med}) = e^{-sa} = e^{-(0,29624)(3,02417)} = 0,40825$$

Index of Fit (r)

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

$$= \frac{(6)(0,83244) - (-5,37528)(0)}{\sqrt{[(6)(5,06221) - (-5,37528)^2][(6)(3,88680) - (0)^2]}} = 0,85027$$

4. Distribusi Normal

Tabel 4.21. Perhitungan *Indeks of Fit* TTR Distribusi Normal Komponen *Pillow*

I	t _i	x _i = t _i	F(t _i)	Y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	0,3333	0,3333	0,10938	-1,22986	-0,40995	0,11111	1,51255
2	0,3333	0,3333	0,26563	-0,62601	-0,20870	0,11111	0,39200
3	0,3333	0,3333	0,42188	-0,19701	-0,06570	0,11111	0,03885
4	0,5000	0,5000	0,57813	0,19701	0,09855	0,25000	0,03885
5	0,5000	0,5000	0,73438	0,62601	0,31305	0,25000	0,39200
6	0,5000	0,5000	0,89063	1,22986	0,61493	0,25000	1,51255
Total	2,5000	3,00000	0,00000	0,34218	1,08333	3,88680	

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

a. Kolom t_i didapat dari data TTR pada Tabel 4.8 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 6

b. x_i = t_i
= 0,3333

c. $F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$
 $= \frac{1 - 0,3}{6 + 0,4} = \frac{0,7}{6,4} = 0,10938$

d. Sedangkan nilai y_i diperoleh dari konversi nilai F(t_i) ke Tabel Z (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSINV)

e. x_i.y_i = 0,3333 x (-1,22986) = -0,40995

f. x_i² = (0,3333)² = 0,11111, y_i² = (-1,22986)² = 1,51255

Berdasarkan Tabel 4.21, untuk menghitung *gradien* (b), *intersep* (a), standar deviasi (σ), rata-rata kerusakan (μ) dan *index of fit* (r) dari distribusi Normal adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

$$b = \frac{\left(n \sum_{i=1}^n x_i y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\left(n \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{(6(0,34218) - (2,5000)(0))}{(6)(1,08333) - (2,5000)^2} = 8,21223$$

Intersep (a)

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

$$\alpha = \frac{(0) - (8,21223)(2,5000)}{(6)} = -3,42176$$

Standar Deviasi (σ)

$$\sigma = \frac{1}{b} = \frac{1}{8,21223} = 0,12177$$

Rata-rata (μ)

$$\mu = -\frac{\alpha}{b} = -\frac{(-3,42176)}{(8,21223)} = 0,41667$$

Index of Fit (r)

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

$$= \frac{(6)(0,34218) - (2,5000)(0)}{\sqrt{\left[(6)(1,08333) - (2,5000)^2 \right] \left[(6)(3,88680) - (0)^2 \right]}} = 0,85029$$

Hasil perhitungan *index of fit* untuk data TTR pada komponen *gap knife* dan *pressing cope* dengan cara yang sama dapat dilihat dalam lampiran. Pemilihan distribusi ini dilakukan berdasarkan nilai *Index of Fit* (r) terbesar. Setelah melakukan perhitungan dengan keempat distribusi yaitu distribusi *Weibull*, *Eksponensial*, *Lognormal*, dan *Normal*, terlihat bahwa distribusi yang terpilih

untuk komponen *pillow* yaitu distribusi Normal, *gap knife* distribusi Lognormal dan *pressing cope* distribusi Normal. Ringkasan nilai *Index of Fit* data TTR dapat dilihat pada Tabel 4.22 sampai Tabel 4.24.

Tabel 4.22. Nilai *Index of Fit* TTR Komponen *Pillow*

TTR	
Distribusi	<i>Indeks of Fit (r)</i>
Weibull	0,83729
Eksponensial	0,80896
Lognormal	0,85027
Normal	0,85029

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.23. Nilai *Index of Fit* TTR Komponen *Gap Knife*

TTR	
Distribusi	<i>Indeks of Fit (r)</i>
Weibull	0,82187
Eksponensial	0,80310
Lognormal	0,88422
Normal	0,88420

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.24. Nilai *Index of Fit* TTR Komponen *Pressing Cope*

TTR	
Distribusi	<i>Indeks of Fit (r)</i>
Weibull	0,59844
Eksponensial	0,58384
Lognormal	0,68330
Normal	0,68336

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Perhitungan r hanya merupakan nilai korelasi yang menunjukkan kecenderungan suatu data mengikuti salah satu pola distribusi kerusakan. Untuk itu perlu dilakukan pengujian hipotesis lebih lanjut untuk memperkuat distribusi yang terpilih. Pengujian lebih lanjut itu adalah dengan melakukan uji *goodness of fit*, perhitungan yang dilakukan sesuai dengan jenis distribusi terpilih.

4.3.3. Pengujian Kecocokan Distribusi (*Goodness Of Fit*)

Pengujian kecocokan (*goodness of fit*) dilakukan untuk membuktikan bahwa sejumlah data mengikuti distribusi yang telah terpilih. Tujuan dilakukannya pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah distribusi yang terpilih telah mendekati distribusi yang sesuai dengan nilai *index of fit* terbesar.

Tetapi, jika pengujian ini menyatakan bahwa data tidak mendekati distribusi yang terpilih, maka dipilih kembali distribusi dengan nilai *index of fit* terbesar kedua, dan seterusnya sampai mendekati distribusi tertentu.

Pengujian kecocokan yang digunakan untuk masing-masing distribusi adalah uji *Mann's* untuk data berdistribusi *Weibull*, uji *Bartlett's* untuk data berdistribusi *Ekspensial*, dan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk data berdistribusi Lognormal dan Normal.

4.3.3.1. Pengujian Kecocokan untuk *Time Between Failure* dan *Time to Repair* pada Komponen *Pillow*

Berdasarkan hasil perhitungan *index of fit* terbesar dari komponen *pillow* menunjukkan bahwa data waktu kerusakan mengikuti pola distribusi Normal dengan nilai *index of fit* 0,99089 dan data waktu perbaikan mengikuti pola distribusi Normal dengan nilai *index of fit* 0,85029. Sehingga uji kecocokan yang digunakan adalah uji *Kolmogorov-Smirnov*. Hasil perhitungan uji *Kolmogorov-Smirnov* dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Tabel 4.26.

Tabel 4.25. Hasil Perhitungan Uji *Kolmogorov-Smirnov* Data TBF Komponen *Pillow*

i	(i-1)/n	i/n	$x_i = t_i$	$(x_i - \bar{t})^2$	$Z = \frac{t_i - \bar{t}}{s}$	$\phi(Z_i)$	$D1 = \phi(Z_i) - (i-1)/n$	$D2 = i/n - \phi(Z_i)$
1	0,000	0,2000	153,0156	110910,73931	-1,39031	0,08222	0,08222	0,11778
2	0,200	0,4000	406,7118	6294,27071	-0,33120	0,37025	0,17025	0,02975
3	0,400	0,6000	473,3906	160,21585	-0,05284	0,47893	0,07893	0,12107
4	0,600	0,8000	594,0937	11673,82143	0,45106	0,67403	0,07403	0,12597
5	0,800	1,0000	803,0295	100477,11919	1,32330	0,90713	0,10713	0,09287
Total			2430,2412	229516,16649	Maximum		0,17025	0,12597
(Sumber : Hasil pengolahan data)							D_n	0,17025
							D_{crit}	0,563

Pengujian kecocokan dilakukan melalui hipotesis dengan asumsi sebagai berikut :

1. H_0 = Data kerusakan berdistribusi Normal
2. H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi Normal
3. $\alpha = 0,05$
4. H_0 diterima apabila dalam wilayah kritis yaitu $D_n < D_{crit}$

Nilai $D_{crit(5;0,95)} = 0,563$ (diperoleh dari Tabel *Kolmogorov-Smirnov*)

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} = \frac{2430,2412}{5} = 486,0482$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}, \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{229516,16649}{5-1}} = 239,53923$$

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} = 0,08222 - 0,000 = 0,08222$$

$$D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{1}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} = 0,2000 - 0,08222 = 0,11778$$

Nilai ϕ (Z_i) diperoleh dari Tabel *Standardized Normal Probabilities* (dengan rumus *excel* menggunakan *NORMSDIST*)

Kesimpulan :

Karena $D_n (0,17025) < D_{crit} (0,563)$, maka terima H_0 dan data TBF komponen *Pillow* berdistribusi Normal.

Tabel 4.26. Hasil Perhitungan Uji *Kolmogorov-Smirnov* Data TTR Komponen *Pillow*

i	(i-1)/n	i/n	$x_i = t_i$	$(x_i - \bar{t})^2$	$Z = \frac{t_i - \bar{t}}{s}$	$\phi(Z_i)$	$D1 = \phi(Z_i) - (i-1)/n$	$D2 = i/n - \phi(Z_i)$
1	0,000	0,1667	0,3333	0,00694	-1,00000	0,15866	0,15866	0,00801
2	0,167	0,3333	0,3333	0,00694	-1,00000	0,15866	-0,00801	0,17468
3	0,333	0,5000	0,3333	0,00694	-1,00000	0,15866	-0,17468	0,34134
4	0,500	0,6667	0,5000	0,00694	1,00000	0,84134	0,34134	-0,17468
5	0,667	0,8333	0,5000	0,00694	1,00000	0,84134	0,17468	-0,00801
6	0,833	1,0000	0,5000	0,00694	1,00000	0,84134	0,00801	0,15866
Total			2,5000	0,03472	Maximum		0,34134	0,34134
(Sumber : Hasil pengolahan data)							D_n	0,34134
							D_{crit}	0,520

Pengujian kecocokan dilakukan melalui hipotesis dengan asumsi sebagai berikut :

1. $H_0 =$ Data kerusakan berdistribusi Normal

2. H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi Normal
3. $\alpha = 0,05$
4. H_0 diterima apabila dalam wilayah kritis yaitu $D_n < D_{crit}$

Nilai $D_{crit(6;0,95)} = 0,520$ (diperoleh dari Tabel *Kolmogorov-Smirnov*)

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} = \frac{2,5000}{6} = 0,41667$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}, \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,03472}{6-1}} = 0,08333$$

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} = 0,15866 - 0,000 = 0,15866$$

$$D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{1}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} = 0,1667 - 0,15866 = 0,00801$$

Nilai ϕ (Z_i) diperoleh dari Tabel *Standardized Normal Probabilities* (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSDIST)

Kesimpulan :

Karena D_n (0,34134) < D_{crit} (0,520), maka terima H_0 dan data TTR komponen *Pillow* berdistribusi Normal.

4.3.3.2. Pengujian Kecocokan untuk *Time Between Failure* dan *Time to Repair* pada Komponen *Gap Knife*

Berdasarkan hasil perhitungan *index of fit* terbesar dari komponen *gap knife* menunjukkan bahwa data waktu kerusakan mengikuti pola distribusi Lognormal dengan nilai *index of fit* 0,93453 dan data waktu perbaikan mengikuti pola distribusi Lognormal dengan nilai *index of fit* 0,88422. Sehingga uji kecocokan yang digunakan adalah uji *Kolmogorov-Smirnov*. Hasil perhitungan uji *Kolmogorov-Smirnov* dapat dilihat pada Tabel 4.27 dan Tabel 4.28.

Tabel 4.27. Hasil Perhitungan Uji *Kolmogorov-Smirnov* Data TBF Komponen *Gap Knife*

i	(i-1)/n	i/n	$X_i = \ln(t_i)$	$(X_i - \bar{t})^2$	$Z = \frac{t_i - \bar{t}}{s}$	$\phi(Z_i)$	$D1 = \phi(Z_i) - (i-1)/n$	$D2 = i/n - \phi(Z_i)$
1	0,000	0,100	94,109	4,54446	0,93468	-1,49931	0,06690	0,06690
2	0,100	0,200	96,688	4,57148	0,88315	-1,45740	0,07250	-0,02750
3	0,200	0,300	234,859	5,45899	0,00273	-0,08105	0,46770	0,26770
4	0,300	0,400	239,313	5,47777	0,00112	-0,05192	0,47930	0,17930
5	0,400	0,500	243,766	5,49621	0,00023	-0,02332	0,49070	0,09070
6	0,500	0,600	245,328	5,50260	0,00007	-0,01342	0,49465	-0,00535
7	0,600	0,700	250,641	5,52402	0,00016	0,01981	0,50790	-0,09210
8	0,700	0,800	279,547	5,63317	0,01487	0,18908	0,57498	-0,12502
9	0,800	0,900	488,609	6,19156	0,46283	1,05504	0,85430	0,05430
10	0,900	1,000	822,391	6,71222	1,44232	1,86248	0,96873	0,06873
Total			55,1125	3,74217	Maximum		0,26770	0,22502
(Sumber : Hasil pengolahan data)							D_n	0,26770
							D_{crit}	0,409

Pengujian kecocokan dilakukan melalui hipotesis dengan asumsi sebagai berikut :

1. H_0 = Data kerusakan berdistribusi Lognormal
2. H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi Lognormal
3. $\alpha = 0,05$
4. H_0 diterima apabila dalam wilayah kritis yaitu $D_n < D_{crit}$

Nilai $D_{crit(10;0,95)} = 0,409$ (diperoleh dari Tabel *Kolmogorov-Smirnov*)

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n} = \frac{55,1125}{10} = 5,51125$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i - \bar{t})^2}{n-1}, \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{3,74217}{10-1}} = 0,64482$$

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{s}\right) - \frac{i-1}{n} \right\} = 0,06690 - 0,000 = 0,06690$$

$$D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{1}{n} - \Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{s}\right) \right\} = 0,100 - 0,06690 = 0,03310$$

Nilai $\phi(Z_i)$ diperoleh dari Tabel *Standardized Normal Probabilities* (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSDIST)

Kesimpulan :

Karena $D_n (0,26770) < D_{crit} (0,409)$, maka terima H_0 dan data TBF komponen *Gap Knife* berdistribusi Lognormal.

Tabel 4.28. Hasil Perhitungan Uji *Kolmogorov-Smirnov* Data TTR Komponen *Gap Knife*

I	(i-1)/n	i/n	$X_i = \ln(t_i)$	$(X_i - \bar{t})^2$	$Z = \frac{t_i - \bar{t}}{s}$	$\phi(Z_i)$	$D1 = \phi(Z_i) - (i-1)/n$	$D2 = i/n - \phi(Z_i)$
1	0,000	0,091	-1,79176	0,05598	-0,81721	0,20691	0,20691	-0,11600
2	0,091	0,182	-1,79176	0,05598	-0,81721	0,20691	0,11600	-0,02509
3	0,182	0,273	-1,79176	0,05598	-0,81721	0,20691	0,02509	0,06582
4	0,273	0,364	-1,79176	0,05598	-0,81721	0,20691	-0,06582	0,15673
5	0,364	0,455	-1,79176	0,05598	-0,81721	0,20691	-0,15673	0,24764
6	0,455	0,545	-1,79176	0,05598	-0,81721	0,20691	-0,24764	0,33855
7	0,545	0,636	-1,38629	0,02851	0,58320	0,72012	0,17467	-0,08376
8	0,636	0,727	-1,38629	0,02851	0,58320	0,72012	0,08376	0,00715
9	0,727	0,818	-1,38629	0,02851	0,58320	0,72012	-0,00715	0,09806
10	0,818	0,909	-1,09861	0,20843	1,57681	0,94258	0,12440	-0,03349
11	0,909	1,000	-1,09861	0,20843	1,57681	0,94258	0,03349	0,05742
Total			-17,1067	0,83829	Maximum		0,20691	0,33855
(Sumber : Hasil pengolahan data)							D_n	0,33855
							D_{crit}	0,391

Pengujian kecocokan dilakukan melalui hipotesis dengan asumsi sebagai berikut :

1. H_0 = Data kerusakan berdistribusi Lognormal
2. H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi Lognormal
3. $\alpha = 0,05$
4. H_0 diterima apabila dalam wilayah kritis yaitu $D_n < D_{crit}$

Nilai $D_{crit(11;0,95)} = 0,391$ (diperoleh dari Tabel *Kolmogorov-Smirnov*)

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n} = \frac{-17,1067}{11} = -1,55515$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i - \bar{t})^2}{n-1}, s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,83829}{11-1}} = 0,28953$$

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} = 0,20691 - 0,000 = 0,20691$$

$$D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{1}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} = 0,091 - 0,20691 = -0,11600$$

Nilai ϕ (Z_i) diperoleh dari Tabel *Standardized Normal Probabilities* (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSDIST)

Kesimpulan :

Karena D_n (0,33855) < D_{crit} (0,391), maka terima H_0 dan data TTR komponen *Gap Knife* berdistribusi Lognormal.

4.3.3.3. Pengujian Kecocokan untuk *Time Between Failure* dan *Time to Repair* pada Komponen *Pressing Cope*

Berdasarkan hasil perhitungan *index of fit* terbesar dari komponen *pressing cope* menunjukkan bahwa data waktu kerusakan mengikuti pola distribusi *Weibull* dengan nilai *index of fit* 0,96135 dan data waktu perbaikan mengikuti pola distribusi Normal dengan nilai *index of fit* 0,68336. Sehingga uji kecocokan yang digunakan adalah uji *Mann's* dan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Hasil perhitungan uji dapat dilihat pada Tabel 4.29 dan Tabel 4.30.

Tabel 4.29. Hasil Perhitungan Uji *Mann's* Data TBF Komponen *Pressing Cope*

I	T _i	x _i = ln (t _i)	Z _i	M _i	ln(t _{i+1}) - ln(t _i)	ln (t _{i+1}) - ln (t _i)/M _i
1	262,047	5,56852	0,09524	1,2125112	0,388527386	0,32043
2	386,469	5,95705	0,28571	0,6532542	0,607056799	0,92928
3	709,179	6,56411	0,47619	0,5300332	0,144014497	0,27171
4	819,031	6,70812	0,66667	0,571682	0,037757258	0,06605
5	850,547	6,74588	0,85714			
Total	3027,272	32,816				

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Pengujian kecocokan dilakukan melalui hipotesis dengan asumsi sebagai berikut :

1. H_0 = Data kerusakan berdistribusi *Weibull*
2. H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi *Weibull*
3. $\alpha = 0,05$

4. $i = r = n = 5$

5. H_0 diterima apabila dalam wilayah kritis yaitu $M < F_{crit(\alpha, v_1, v_2)}$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0,5}{5+0,25} \right) \right] = -2,30175$$

$$K_1 = \left\lceil \frac{r}{2} \right\rceil = \left\lceil \frac{5}{2} \right\rceil = 2,5 \approx 2 \quad , \quad K_2 = \left\lceil \frac{r-1}{2} \right\rceil = \left\lceil \frac{5-1}{2} \right\rceil = 2$$

$$V_1 = 2K_2 = 2(2) = 4 \quad , \quad V_2 = 2K_1 = 2(2) = 4$$

Nilai $F_{crit(0,05;4;4)} = 6,39$ (diperoleh dari Tabel Distribusi F)

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

$$M = \frac{2 \sum_{i=1}^{5-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{2 \sum_{i=1}^2 \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}$$

$$M = \frac{2x(0,32043 + 0,92928)}{2x(0,27171 + 0,06605)} = 3,7000651$$

Kesimpulan :

Karena $M (3,7000651) < F_{crit} (6,39)$, maka terima H_0 dan data TBF komponen *Pressing Cope* berdistribusi *Weibull*.

Tabel 4.30. Hasil Perhitungan Uji *Kolmogorov-Smirnov* Data TTR Komponen *Pressing Cope*

i	(i-1)/n	i/n	X_i=t_i	(X_i-t̄)²	Z = $\frac{t_i - \bar{t}}{s}$	ϕ (Z_i)	D1 = ϕ (Z_i) - (i-1)/n	D2 = i/n - ϕ (Z_i)
1	0,000	0,167	0,333	0,00174	-0,40825	0,34155	0,34155	-0,17488
2	0,167	0,333	0,333	0,00174	-0,40825	0,34155	0,17488	-0,00821
3	0,333	0,500	0,333	0,00174	-0,40825	0,34155	0,00821	0,15845
4	0,500	0,667	0,333	0,00174	-0,40825	0,34155	-0,15845	0,32512

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.30. Hasil Perhitungan Uji *Kolmogorov-Smirnov* Data TTR Komponen *Pressing Cope* (Lanjutan)

i	(i-1)/n	i/n	X _i =t _i	(X _i - \bar{t}) ²	Z = $\frac{t_i - \bar{t}}{s}$	$\phi(Z_i)$	D1 = $\phi(Z_i) - (i-1)/n$	D2 = $i/n - \phi(Z_i)$
5	0,667	0,833	0,333	0,00174	-0,40825	0,34155	-0,32512	0,49179
6	0,833	1,000	0,583	0,04340	2,04124	0,97939	0,14605	0,02061
Total			2,250	0,05208	Maximum		0,34155	0,49179
							D_n	0,49179
							D_{crit}	0,520

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Pengujian kecocokan dilakukan melalui hipotesis dengan asumsi sebagai berikut :

1. H₀ = Data kerusakan berdistribusi Normal
2. H₁ = Data kerusakan tidak berdistribusi Normal
3. $\alpha = 0,05$
4. H₀ diterima apabila dalam wilayah kritis yaitu D_n < D_{crit}

Nilai D_{crit(6;0,95)} = 0,520 (diperoleh dari Tabel *Kolmogorov-Smirnov*)

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} = \frac{2,250}{6} = 0,375$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}, \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,05208}{6-1}} = 0,10206$$

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} = 0,34155 - 0,000 = 0,34155$$

$$D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{1}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} = 0,167 - 0,34155 = -0,17488$$

Nilai $\phi(Z_i)$ diperoleh dari Tabel *Standardized Normal Probabilities* (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSDIST)

Kesimpulan :

Karena D_n (0,49179) < D_{crit} (0,520), maka terima H₀ dan data TTR komponen *Pressing Cope* berdistribusi Normal.

4.3.4. Perhitungan Estimasi Parameter pada Tiap Distribusi yang Terpilih

Perhitungan estimasi parameter ini untuk mengetahui parameter dari distribusi yang terpilih dan telah diuji kecocokan berdasarkan data yang ada,

dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Tujuannya adalah untuk mendapatkan nilai yang lebih akurat mengenai parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan selanjutnya. Berikut ini adalah perhitungan MLE data TBF dan TTR komponen kritis mesin *Bending* 4.

4.3.4.1. Perhitungan *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) *Time Between Failure* Komponen Kritis

Perhitungan MLE disesuaikan dengan distribusi yang telah terpilih. Berikut perhitungan MLE data TBF untuk masing-masing komponen kritis.

1. *Komponen Pillow*

Berdasarkan hasil perhitungan pada uji kecocokan sebelumnya, didapat bahwa data kerusakan mengikuti pola distribusi Normal. Oleh karena itu perhitungan MLE juga menggunakan distribusi Normal, langkah yang perlu dilakukan adalah menghitung parameter σ dan μ , hasil perhitungan MLE dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31. Hasil Perhitungan MLE Data TBF Komponen *Pillow* Distribusi Normal

i	T_i	t_i/n	(t_i - \bar{t})²
1	153,0156	30,60312	110910,7393
2	406,7118	81,3424	6294,2707
3	473,3906	94,6781	160,2159
4	594,0937	118,8187	11673,8214
5	803,0295	160,60590	100477,1192
Total	2430,2412	486,0482	229516,166

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh Perhitungan :

$$n = 5$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{2430,2412}{5} = 486,04824$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{229516,166}{5-1}} = 239,53923$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(n-1)xs^2}{n}} = \sqrt{\frac{(5-1)x(239,53923)^2}{5}} = 214,25040$$

Hasil estimasi parameter μ dan σ dengan perhitungan MLE dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32. Nilai Estimasi Parameter MLE Data TBF Komponen *Pillow*

Komponen	Distribusi	Parameter MLE
<i>Pillow</i>	Normal	$\mu = 486,04824$ $\sigma = 214,25040$

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.32 memperlihatkan bahwa parameter μ bernilai 486,04824, sedangkan parameter σ bernilai 214,25040 .

2. Komponen *Gap Knife*

Berdasarkan hasil perhitungan pada uji kecocokan sebelumnya, didapat bahwa data kerusakan mengikuti pola distribusi Lognormal. Oleh karena itu perhitungan MLE juga menggunakan distribusi Lognormal, langkah yang perlu dilakukan adalah menghitung parameter s dan t_{med} , hasil perhitungan MLE dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33. Hasil Perhitungan MLE Data TBF Komponen *Gap Knife* Distribusi Lognormal

i	ti	xi = ln (ti)	ti/n	(Inti - \bar{t}) ²
1	94,1094	4,54446	9,4109	0,93468
2	96,6875	4,57148	9,6688	0,88315
3	234,8594	5,45899	23,4859	0,00273
4	239,3125	5,47777	23,9313	0,00112
5	243,7656	5,49621	24,3766	0,00023
6	245,3281	5,50260	24,5328	0,00007
7	250,6406	5,52402	25,0641	0,00016
8	279,5469	5,63317	27,9547	0,01487
9	488,6093	6,19156	48,8609	0,46283
10	822,3906	6,71222	82,2391	1,44232
Total	2995,2499	55,11247	299,5250	3,74217

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan:

$$n = 10$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} = \frac{55,11247}{10} = 5,51125$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \bar{\ln t})^2}{n}} = \sqrt{\frac{3,74217}{10}} = 0,61173$$

$$t_{med} = e^{\mu} = e^{5,51125} = 247,45956$$

Hasil estimasi parameter s dan t_{med} , dengan perhitungan MLE dapat pada Tabel 4.34.

Tabel 4.34. Nilai Estimasi Parameter MLE Data TBF Komponen *Gap Knife*

Komponen	Distribusi	Parameter MLE
<i>Gap Knife</i>	Lognormal	$s = 0,61173$ $t_{med} = 247,45956$

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.34 memperlihatkan bahwa parameter t_{med} bernilai 247,45956, sedangkan parameter s bernilai 0,61173.

3. Komponen *Pressing Cope*

Berdasarkan hasil perhitungan pada uji kecocokan sebelumnya, didapat bahwa data kerusakan mengikuti pola distribusi *Weibull*. Oleh karena itu perhitungan MLE juga menggunakan distribusi *Weibull*, langkah yang perlu dilakukan adalah menghitung nilai parameter β dan θ , oleh karena itu perlu dilakukan perkiraan nilai parameter β agar menghasilkan nilai $g(\beta)$ yang mendekati 0 dengan cara *trial and error*. Perhitungan MLE dapat dilihat pada Tabel 4.35.

Diketahui : $n = r = 5$

Nilai $t_s = 1$ dan perkiraan $\beta = 2,9441$

Tabel 4.35. Hasil Perhitungan MLE Data TBF Komponen *Pressing Cope* Distribusi *Weibull*

i	Perkiraan β	t_i	t_i^β	$\ln(t_i)$	$t_i^\beta \times \ln(t_i)$
1	2,9441	262,047	13181040,414	5,56852	73398933,23612
2	2,9441	386,469	41373597,774	5,95705	246464627,09048
3	2,9441	709,179	247121190,333	6,56411	1622130103,58324
4	2,9441	819,031	377613787,595	6,70812	2533079423,42033
5	2,9441	850,547	422011722,401	6,74588	2846840200,22204
Total		3027,272	1101301338,51565	31,54368	7321913287,55222

(Sumber : Hasil pengolahan data)

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

$$g(\beta) = \frac{(7321913287,55222) + (5-5)x(1^{2,9441})x(0)}{(1101301338,51565) + (5-5)x(1^{2,9441})} - \frac{1}{2,9441} - \frac{1}{5}(31,54368)$$

$$g(\beta) = 2,0383617 \times 10^{-5}$$

Pada Tabel 4.35 diperoleh nilai $g(\beta) = 2,0383617 \times 10^{-5}$ dengan perkiraan nilai $\beta=2,9441$. Artinya $g(\beta)$ sudah mendekati 0. Proses selanjutnya adalah menghitung θ .

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

$$\theta = \left\{ \frac{1}{5} [1101301338,51565 + (5-5)x1^{2,9441}] \right\}^{1/2,8791} = 681,99551$$

Setelah mendapatkan hasil estimasi parameter β dan θ , dapat dilihat nilai parameter dengan perhitungan MLE pada Tabel 4.36.

Tabel 4.36. Nilai Estimasi Parameter MLE Data TBF Komponen *Pressing Cope*

Komponen	Distribusi	Parameter MLE
<i>Pressing Cope</i>	<i>Weibull</i>	$\beta=2,9441$ $\theta=681,99551$

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.36 memperlihatkan bahwa parameter β bernilai 2,9441 dan θ bernilai 681,99551.

4.3.4.2. Perhitungan *Maximum Likelihood Estimator (MLE) Time to Repair Komponen Kritis*

Perhitungan MLE disesuaikan dengan distribusi yang telah terpilih. Berikut perhitungan MLE data TTR untuk masing-masing komponen kritis.

1. *Komponen Pillow*

Berdasarkan hasil perhitungan pada uji kecocokan sebelumnya, didapat bahwa data perbaikan mengikuti pola distribusi Normal. Oleh karena itu perhitungan MLE juga menggunakan distribusi Normal, langkah yang

perlu dilakukan adalah menghitung parameter σ dan μ , hasil perhitungan MLE dapat dilihat pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37. Hasil Perhitungan MLE Data TTR Komponen *Pillow* Distribusi Normal

i	T_i	t_i/n	(t_i - \bar{t})²
1	0,3333	0,05556	0,00700
2	0,3333	0,05556	0,00700
3	0,3333	0,05556	0,00700
4	0,5000	0,08333	0,00694
5	0,5000	0,08333	0,00694
6	0,5000	0,08333	0,00694
Total	2,5000	0,4167	0,04167

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh Perhitungan :

$$n = 6$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{2,5000}{6} = 0,41667$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,04167}{6-1}} = 0,09129$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(n-1)xs^2}{n}} = \sqrt{\frac{(6-1) \times (0,09129)^2}{6}} = 0,08333$$

Hasil estimasi parameter μ dan σ dengan perhitungan MLE dapat dilihat pada Tabel 4.38.

Tabel 4.38. Nilai Estimasi Parameter MLE Data TTR Komponen *Pillow*

Komponen	Distribusi	Parameter MLE
<i>Pillow</i>	Normal	$\mu = 0,41667$ $\sigma = 0,08333$

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.38 memperlihatkan bahwa parameter μ bernilai 0,41667, sedangkan parameter σ bernilai 0,08333.

2. Komponen *Gap Knife*

Berdasarkan hasil perhitungan pada uji kecocokan sebelumnya, didapat bahwa data perbaikan mengikuti pola distribusi Lognormal. Oleh karena itu perhitungan MLE juga menggunakan distribusi Lognormal, langkah

yang perlu dilakukan adalah menghitung parameter s dan t_{med} , hasil perhitungan MLE dapat dilihat pada Tabel 4.39.

Tabel 4.39. Hasil Perhitungan MLE Data TTR Komponen *Gap Knife* Distribusi Lognormal

i	t_i	x_i = ln (t_i)	t_i/n	(ln t_i - \bar{t})²
1	0,1667	-1,79176	0,01515	0,05598
2	0,1667	-1,79176	0,01515	0,05598
3	0,1667	-1,79176	0,01515	0,05598
4	0,1667	-1,79176	0,01515	0,05598
5	0,1667	-1,79176	0,01515	0,05598
6	0,1667	-1,79176	0,01515	0,05598
7	0,2500	-1,38629	0,02273	0,02851
8	0,2500	-1,38629	0,02273	0,02851
9	0,2500	-1,38629	0,02273	0,02851
10	0,3333	-1,09861	0,03030	0,20843
11	0,3333	-1,09861	0,03030	0,20843
Total	2,417	-17,10666	0,21970	0,83829

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan:

$$n = 11$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} = \frac{-17,10666}{11} = -1,55515$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \bar{t})^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,83829}{11}} = 0,27606$$

$$t_{med} = e^{\mu} = e^{-1,55515} = 0,21116$$

Hasil estimasi parameter s dan t_{med} , dengan perhitungan MLE dapat dilihat pada Tabel 4.40.

Tabel 4.40. Nilai Estimasi Parameter MLE Data TTR Komponen *Gap Knife*

Komponen	Distribusi	Parameter MLE
<i>Gap Knife</i>	Lognormal	$s = 0,27606$ $t_{med} = 0,21116$

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.40 memperlihatkan bahwa parameter t_{med} bernilai 0,21116 sedangkan parameter s bernilai 0,27606.

3. Komponen *Pressing Cope*

Berdasarkan hasil perhitungan pada uji kecocokan sebelumnya, didapat bahwa data perbaikan mengikuti pola distribusi Normal. Oleh karena itu perhitungan MLE juga menggunakan distribusi Normal, langkah yang perlu dilakukan adalah menghitung parameter σ dan μ , hasil perhitungan MLE dapat dilihat pada Tabel 4.41.

Tabel 4.41. Hasil Perhitungan MLE Data TTR Komponen *Pressing Cope* Distribusi Normal

i	T_i	t_i/n	(t_i - \bar{t})²
1	0,333	0,05556	0,00700
2	0,333	0,05556	0,00700
3	0,333	0,05556	0,00700
4	0,333	0,05556	0,00694
5	0,333	0,05556	0,00694
6	0,583	0,09722	0,02778
Total	2,2500	0,37500	0,06250

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh Perhitungan :

$$n = 6$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{2,2500}{6} = 0,37500$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,06250}{6-1}} = 0,11180$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(n-1)xs^2}{n}} = \sqrt{\frac{(6-1) \times (0,11180)^2}{6}} = 0,10206$$

Hasil estimasi parameter μ dan σ dengan perhitungan MLE dapat dilihat pada Tabel 4.42.

Tabel 4.42. Nilai Estimasi Parameter MLE Data TTR Komponen *Pressing Cope*

Komponen	Distribusi	Parameter MLE
<i>Pillow</i>	Normal	$\mu = 0,37500$ $\sigma = 0,10206$

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Tabel 4.42 memperlihatkan bahwa parameter μ bernilai 0,37500, sedangkan parameter σ bernilai 0,10206.

4.3.5. Perhitungan *Mean Time Between Failure* (MTBF)

Perhitungan *Mean Time Between Failure* adalah rata-rata waktu kerusakan dari mulai kerusakan selesai diperbaiki sampai kerusakan tersebut terjadi kembali. Perhitungan MTBF menggunakan estimasi parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut ini adalah perhitungan MTBF menyesuaikan distribusi yang telah terpilih untuk komponen kritis mesin *Bending* 4.

4.3.5.1. Perhitungan MTBF untuk Komponen *Pillow*

Perhitungan *Mean Time to Between* (MTBF) untuk data selang waktu kerusakan komponen *Pillow* yang berdistribusi Normal, maka perhitungannya sebagai berikut:

$$\mu = 486,04824$$

$$\sigma = 214,25040$$

$$\text{MTBF} = \mu = 486,04824 \text{ Jam}$$

Berdasarkan hasil perhitungan MTBF yang berdistribusi Normal, dapat dilihat bahwa rata-rata waktu kerusakan komponen *pillow* adalah 486,04824 Jam.

4.3.5.2. Perhitungan MTBF untuk Komponen *Gap Knife*

Perhitungan *Mean Time to Between* (MTBF) untuk data selang waktu kerusakan komponen *Gap Knife* yang berdistribusi Lognormal, maka perhitungannya sebagai berikut:

$$s = 0,61173$$

$$t_{med} = 247,45956$$

$$\text{MTBF} = t_{med} \cdot e^{\left(\frac{s^2}{2}\right)} = 247,45956 \times e^{\left(\frac{0,61173^2}{2}\right)} = 298,37640 \text{ Jam}$$

Berdasarkan hasil perhitungan MTBF yang berdistribusi Lognormal, dapat dilihat bahwa rata-rata waktu kerusakan komponen *gap knife* adalah 298,37640 Jam.

4.3.5.3. Perhitungan MTBF untuk Komponen *Pressing Cope*

Perhitungan *Mean Time to Between* (MTBF) untuk data selang waktu kerusakan komponen *Pressing Cope* yang berdistribusi *Weibull*, maka perhitungannya sebagai berikut:

$$\beta = 2,9441$$

$$\theta = 681,99551$$

$$\begin{aligned} \text{MTBF} &= \theta x \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 681,99551 x \Gamma \left(1 + \frac{1}{2,9441} \right) \\ &= 681,99551 x \Gamma(1,34) = 681,99551 x 0,89222 = 608,49004 \text{ Jam} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan MTBF yang berdistribusi *Weibull*, dapat dilihat bahwa rata-rata waktu kerusakan komponen *pressing cope* adalah 608,49004 Jam.

4.3.6. Perhitungan *Mean Time To Repair* (MTTR)

Perhitungan *Mean Time to Repair* adalah rata-rata waktu dalam melakukan perbaikan sampai mesin atau peralatan dapat beroperasi kembali. Perhitungan MTTR menggunakan estimasi parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut ini adalah perhitungan MTTR menyesuaikan distribusi yang telah terpilih untuk komponen kritis mesin *Bending 4*.

4.3.6.1. Perhitungan MTTR untuk Komponen *Pillow*

Perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk data selang waktu perbaikan komponen *Pillow* yang berdistribusi Normal, maka perhitungannya sebagai berikut:

$$\mu = 0,41667$$

$$\sigma = 0,08333$$

$$\text{MTTR} = \mu = 0,41667 \text{ Jam}$$

Berdasarkan hasil perhitungan MTTR yang berdistribusi Normal, dapat dilihat bahwa rata-rata waktu perbaikan komponen *pillow* adalah 0,41667 Jam.

4.3.6.2. Perhitungan MTTR untuk Komponen *Gap Knife*

Perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk data selang waktu perbaikan komponen *Gap Knife* yang berdistribusi Lognormal, maka perhitungannya sebagai berikut:

$$s = 0,27606$$

$$t_{med} = 0,21116$$

$$MTTR = t_{med} \cdot e^{\left(\frac{s^2}{2}\right)} = 0,21116 \times e^{\left(\frac{0,27606^2}{2}\right)} = 0,21936$$

Berdasarkan hasil perhitungan MTTR yang berdistribusi Lognormal, dapat dilihat bahwa rata-rata waktu perbaikan komponen *gap knife* adalah 0,21936 Jam

4.3.6.3. Perhitungan MTTR untuk Komponen *Pressing Cope*

Perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk data selang waktu perbaikan komponen *Pressing Cope* yang berdistribusi Normal, maka perhitungannya sebagai berikut:

$$\mu = 0,37500$$

$$\sigma = 0,10206$$

$$MTTR = \mu = 0,37500 \text{ Jam}$$

Berdasarkan hasil perhitungan MTTR yang berdistribusi Normal, dapat dilihat bahwa rata-rata waktu perbaikan komponen *pillow* adalah 0,37500 Jam.

4.3.7. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi *Downtime*

Perhitungan ini dilakukan untuk menentukan waktu terbaik dalam penggantian pencegahan, serta menekan waktu atau frekuensi kerusakan yang terjadi sehingga dapat meminimasi total *downtime* pada perusahaan. *Downtime* disini hanya menunjukkan waktu kerusakan mesin (*equipment failure*) dan tidak termasuk waktu *set-up* dan *adjustment*. Interval waktu penggantian pencegahan menggunakan metode *age replacement*, dimana metode ini memperhitungkan umur optimal suatu komponen. Berikut ini perhitungan Interval penggantian komponen kritis pada mesin *Bending 4*.

4.3.7.1. Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen *Pillow*

Perhitungan yang dilakukan pada komponen *Pillow* adalah sebagai berikut:

Distribusi waktu kerusakan (TBF) = Normal

$$\mu = 486,04824$$

$$\sigma = 214,25040$$

$$MTBF = 486,04824 \text{ Jam}$$

$$T_f = T_p = MTTR = 0,41667 \text{ Jam}$$

Rumus perhitungan:

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

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

$$M(t_p) = \frac{MTBF}{F(t_p)}$$

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

Hasil perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan kriteria minimasi *downtime* dapat dilihat pada Tabel 4.43 dibawah ini.

Tabel 4.43. Hasil Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen *Pillow*

t_p(jam)	$\frac{t-\mu}{\sigma}$	F(t_p)	R(t_p)	M(t_p)	D(t_p)
100	-1,80186	0,03578	0,96422	13582,80721	0,000714833
200	-1,33511	0,09092	0,90908	5345,89646	0,000623490
250	-1,10174	0,13529	0,86471	3592,71005	0,000592999
300	-0,86837	0,19260	0,80740	2523,66226	0,000571806
320	-0,77502	0,21916	0,78084	2217,73694	0,000565868
350	-0,63500	0,26272	0,73728	1850,09443	0,000559649
380	-0,49497	0,31031	0,68969	1566,33393	0,000556634
390	-0,44830	0,32697	0,67303	1486,52830	0,000556337
400	-0,40162	0,34398	0,65602	1413,01249	0,000556392
420	-0,30828	0,37894	0,62106	1282,66513	0,000557554
430	-0,26160	0,39681	0,60319	1224,87576	0,000558658
440	-0,21493	0,41491	0,58509	1171,44888	0,000560108
450	-0,16825	0,43319	0,56681	1122,01526	0,000561902

(Sumber : Hasil pengolahan data) ; an Interval Waktu Penggantian Pencegahan

$t_p(\text{jam})$	$\frac{t-\mu}{\sigma}$	$F(t_p)$	$R(t_p)$	$M(t_p)$	$D(t_p)$
460	-0,12158	0,45162	0,54838	1076,24128	0,000564038
470	-0,07490	0,47015	0,52985	1033,82516	0,000566511
480	-0,02823	0,48874	0,51126	994,49358	0,000569318
486,0482	0,00000	0,50000	0,50000	972,09648	0,000571176
499	0,06045	0,52410	0,47590	927,39249	0,000575556
500	0,06512	0,52596	0,47404	924,11574	0,000575916
501	0,06979	0,52782	0,47218	920,86305	0,000576280

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk $t_p = 400$ jam

$$\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) = \left(\frac{400 - 486,04824}{214,25040}\right) = -0,40162$$

$$F(t_p) = \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) = \phi(-0,40162) = 0,34398$$

(ϕ didapat dari tabel Z atau dengan rumus *excel* menggunakan NORMSDIST)

$$R(t_p) = 1 - \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) = 1 - \phi(-0,40162) = 1 - 0,34398 = 0,65602$$

$$M(t_p) = \frac{MTBF}{F(t_p)} = \frac{486,04824}{0,34398} = 1413,01249$$

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

$$D(400) = \frac{[0,41667 \times 0,65602] + [0,41667 \times 0,34398]}{[(400 + 0,41667) \times 0,65602] + [1413,01249 + 0,34398] \times 0,32690}$$

$$D(400) = 0,000556392$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.43 diperoleh interval waktu penggantian pencegahan komponen *Pillow* yaitu $t_p = 400$ jam atau 18 hari.

4.3.7.2. Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen *Gap Knife*

Perhitungan yang dilakukan pada komponen *gap knife* adalah sebagai berikut:

Distribusi waktu kerusakan (TBF) = Lognormal

$$s = 0,61173$$

$$t_{med} = 247,45956$$

$$MTBF = 298,37640 \text{ jam}$$

$$T_f = T_p = MTTR = 0,21936 \text{ Jam}$$

$$F(t_p) = \phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right)$$

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

$$M(t_p) = \frac{MTBF}{F(t_p)}$$

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

Hasil perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan kriteria minimasi *downtime* dapat dilihat pada Tabel 4.44.

Tabel 4.44. Hasil Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen *Gap Knife*

t_p(jam)	[1/s ln(t/t_{med})]	F(t_p)	R(t_p)	M(t_p)	D(t_p)
100	-1,48116	0,06928	0,93072	4306,73158	0,000560063
150	-0,81835	0,20658	0,79342	1444,372407	0,000525273
200	-0,34808	0,36389	0,63611	819,9600111	0,000515147
201	-0,33992	0,36696	0,63304	813,1096312	0,000515123
202	-0,33181	0,37002	0,62998	806,3875187	0,000515105
203	-0,32374	0,37307	0,62693	799,7904785	0,000515092
204	-0,31571	0,37611	0,62389	793,3154144	0,000515085
205	-0,30771	0,37915	0,62085	786,9593256	0,000515084
210	-0,26832	0,39423	0,60577	756,8647318	0,000515159
220	-0,19227	0,42376	0,57624	704,1094142	0,000515692
230	-0,11961	0,45240	0,54760	659,5454385	0,000516692
240	-0,05004	0,48005	0,51995	621,5564723	0,000518108
245	-0,01633	0,49349	0,50651	604,62994	0,000518957
265	0,11195	0,54457	0,45543	547,9140141	0,000523173
270	0,14250	0,55666	0,44334	536,0126018	0,000524408
271	0,14855	0,55904	0,44096	533,7253686	0,000524663
280	0,20195	0,58002	0,41998	514,4207893	0,000527065
298,37640	0,30587	0,62015	0,37985	481,1382999	0,000532508

(Sumber : Hasil pengolahan data) 205

$$F(t_p) = \phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)$$

$$F(t_p) = \phi\left(\frac{1}{0,61173} \ln \frac{205}{247,45956}\right) = \phi(-0,30771) = 0,37915$$

$$R(t_p) = 1 - F(t_p) = 1 - 0,37915 = 0,62085$$

$$M(t_p) = \frac{MTBF}{F(t_p)} = \frac{298,37640}{0,37915} = 786,9593256$$

$$D(t_p) = \frac{[T_p \cdot xR(t_p)] + [T_f \cdot x[F(t_p)]]}{[(t_p + T_p) \cdot xR(t_p)] + [M(t_p) + T_f][F(t_p)]}$$

$$D(205) = \frac{[0,21936 \cdot x0,62085] + [0,21936 \cdot x0,37915]}{[(205 + 0,21936) \cdot x0,62085] + [786,9593256 + 0,21936][0,37915]}$$

$$D(205) = 0,000515084$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.44 diperoleh interval waktu penggantian pencegahan komponen *Gap Knife* minimum yaitu $t_p = 205$ jam atau 10 hari.

4.3.7.3. Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen *Pressing Cope*

Perhitungan yang dilakukan pada komponen *pressing cope* adalah sebagai berikut:

Distribusi waktu kerusakan (TBF) = *Weibull*

$$\beta = 2,9441$$

$$\theta = 681,99551$$

$$MTBF = 608,49004 \text{ Jam}$$

$$T_f = T_p = MTTR = 0,37500 \text{ Jam}$$

Rumus perhitungan:

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

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

$$M(t_p) = \frac{MTBF}{F(t_p)}$$

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

Hasil perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan kriteria minimasi *downtime* dapat dilihat pada Tabel 4.45.

Tabel 4.45. Hasil Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen *Pressing Cope*

tp(jam)	(t/θ) ^β	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
100	0,0035097	0,99650	0,00350	173680,6842	0,000529276
200	0,0270101	0,97335	0,02665	22833,85249	0,000466688
300	0,0891162	0,91474	0,08526	7136,817282	0,000424551
400	0,2078685	0,81231	0,18769	3242,061616	0,000401589
410	0,2235429	0,79968	0,20032	3037,599468	0,000400327
420	0,2399784	0,78664	0,21336	2852,005878	0,000399252
450	0,2940267	0,74526	0,25474	2388,638853	0,0003971488
470	0,3341851	0,71592	0,28408	2141,976381	0,0003966793
472	0,3383892	0,71292	0,28708	2119,567098	0,0003966733
473	0,3405042	0,71141	0,28859	2108,504184	0,0003966732
474	0,3426280	0,70990	0,29010	2097,534452	0,0003966748
600	0,6858339	0,50367	0,49633	1225,978892	0,0004116053
608,49004	0,7147999	0,48929	0,51071	1191,459027	0,0004136365
614	0,7340241	0,47997	0,52003	1170,113786	0,0004150210
620	0,7553430	0,46985	0,53015	1147,768327	0,0004165872
700	1,0797345	0,33969	0,66031	921,5157641	0,0004429247

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk $t_p = 473$ jam

$$\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta = \left(\frac{473}{681,99551}\right)^{2,9441} = 0,3405042$$

$$R(t_p) = \text{Exp}^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} = \text{Exp}^{-(0,3405042)} = 0,71141$$

$$F(t_p) = 1 - \text{Exp}^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} = 1 - 0,71141 = 0,28859$$

$$M(t_p) = \frac{MTBF}{F(t_p)} = \frac{608,49004}{0,28859} = 2108,504184$$

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

$$D(473) = \frac{[0,37500 \times 0,71141] + [0,37500 \times 0,28859]}{[(611 + 0,37500) \times (0,71141)] + [2108,504184 + 0,37500][0,28859]}$$

$$D(473) = 0,0003966732$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.45 diperoleh interval waktu penggantian pencegahan komponen *Pressing Cope* minimum yaitu $t_p = 473$ jam atau 22 hari.

4.3.8. Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan pada Komponen Kritis

Perhitungan ini dilakukan untuk membandingkan bahwa suatu perawatan dapat meningkatkan keandalan suatu komponen. Adapun salah satu tujuan dilakukannya penggantian pencegahan (*preventive replacement*) adalah untuk meningkatkan *reliability* komponen yang akan berpengaruh terhadap mesin dalam menjalankan proses produksi. Seharusnya mesin akan menjadi lebih handal apabila dilakukan perawatan yang baik. Keandalan merupakan probabilitas suatu mesin atau komponen yang akan berfungsi hingga waktu tertentu. Perhitungan keandalan berikut ini mengasumsikan bahwa kondisi suatu komponen akan kembali seperti semula apabila dilakukan penggantian pencegahan.

4.3.8.1. Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Komponen *Pillow*

Perhitungan yang dilakukan pada komponen *Pillow* adalah sebagai berikut:

Distribusi waktu kerusakan (TBF) = Normal

$$\mu = 486,04824$$

$$\sigma = 214,25040$$

$$MTBF = 486,04824 \text{ Jam}$$

$$T = t_p = 400 \text{ jam}$$

Rumus perhitungan:

Nilai keandalan tanpa penggantian pencegahan :

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

Nilai keandalan dengan penggantian pencegahan :

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

Perhitungan *reliability* tanpa dan dengan penggantian pencegahan dapat dilihat pada Tabel 4.46.

Tabel 4.46. Hasil Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan Komponen *Pillow*

t_p(jam)	R(t_p)	N	R(t_p - nT)
0	1,00000	0	1,00000
100	0,96422	0	0,96422
150	0,94162	0	0,94162
360	0,72184	0	0,72184
370	0,70597	0	0,70597
390	0,67303	0	0,67303
399	0,65774	0	0,65774
400	0,65602	1	1,00000
401	0,65430	1	0,98821
402	0,65258	1	0,98807
403	0,65085	1	0,98792
486,048	0,50000	1	0,96905
500	0,47404	1	0,96422
790	0,07800	1	0,67303
799	0,00096	1	0,65774
800	0,07205	2	1,00000
801	0,07141	2	0,98821
810	0,07078	2	0,98686
1.000	0,00822	2	0,90908
1.100	0,00208	2	0,80740
1.199	0,00044	2	0,65774
1.200	0,00043	3	1,00000

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan:

$$T = t_p = 403 \text{ jam ; } n = 1$$

Nilai keandalan tanpa penggantian pencegahan :

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) = 1 - \Phi\left(\frac{403 - 486,04824}{214,25040}\right) = 1 - \Phi(-0,38762) = 1 - 0,34915$$

$$R(t) = 0,65085$$

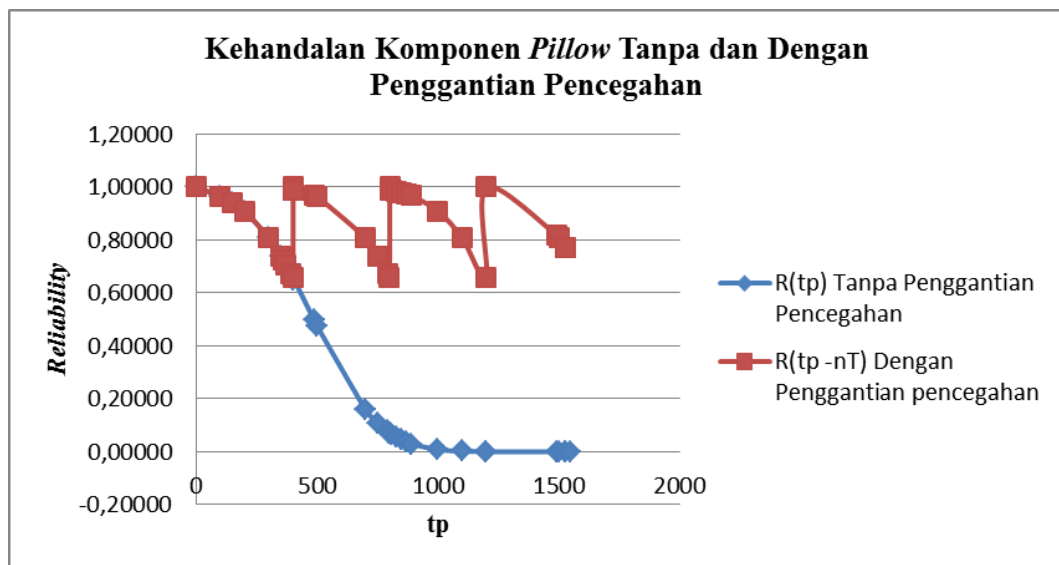
Nilai keandalan dengan penggantian pencegahan :

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

$$= 1 - \Phi\left(\frac{403 - 486,04824 - (1 \times 400)}{214,25040}\right) = 1 - \Phi(-2,25460) = 1 - 0,01208$$

$$R(t - nT) = 0,98792$$

Hasil perhitungan kehandalan tanpa dan dengan penggantian pencegahan komponen *pillow* ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Grafik Kehandalan Komponen *Pillow* Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan
(Sumber : Hasil pengolahan data)

Berdasarkan Gambar 4.10, terlihat bahwa jika tidak dilakukan tindakan penggantian pada komponen *pillow*, akan terjadi penurunan tingkat kehandalan dengan seiring berjalannya waktu. Sebaliknya, apabila dilakukan penggantian pencegahan pada titik $tp = 400$ jam yang telah ditentukan, maka akan menunjukkan pola pergerakan meningkat ke titik dimana nilai *reliability* adalah 1.

4.3.8.2. Perhitungan Kehandalan (*Reliability*) Komponen *Gap Knife*

Perhitungan yang dilakukan pada komponen *gap knife* adalah sebagai berikut:

Distribusi waktu kerusakan (TBF) = Lognormal

$$s = 0,61173$$

$$t_{med} = 247,45956$$

$$MTBF = 298,37640 \text{ Jam}$$

$$T = t_p = 205 \text{ Jam}$$

Rumus perhitungan:

Nilai kehandalan tanpa penggantian pencegahan :

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

Nilai kehandalan dengan penggantian pencegahan :

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

Hasil perhitungan *reliability* tanpa dan dengan penggantian pencegahan dapat dilihat pada Tabel 4.47.

Tabel 4.47. Hasil Perhitungan Kehandalan (*Reliability*) Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan Komponen *Gap Knife*

t_p(jam)	R(t_p)	N	R(t_p - nT)
0	0,79342	0	1,00000
150	0,63611	0	0,79342
200	0,63304	0	0,63611
201	0,62998	0	0,63304
202	0,62693	0	0,62998
203	0,62389	0	0,62693
204	0,62085	0	0,62389
205	0,79342	1	1,00000
245	0,62311	1	0,99855
298,37640	0,57607	1	0,94444
300	0,38852	1	0,94121
400	0,48838	1	0,65153
490	0,25003	1	0,99855
409	0,20571	1	0,62389
410	0,20458	2	1,00000
500	0,12512	2	0,95087
600	0,07383	2	0,66710
614	0,06870	2	0,62389
615	0,06835	3	1,00000

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan:

$$T = t_p = 405 \text{ jam ; } n = 1$$

Nilai kehandalan tanpa penggantian pencegahan :

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

$$= 1 - \Phi \left[\frac{1}{0,61173} \ln \left(\frac{405}{247,45956} \right) \right]$$

$$= 1 - \Phi [0,80532]$$

$$R(t) = 1 - [0,78968] = 0,21032$$

Nilai kehandalan dengan penggantian pencegahan :

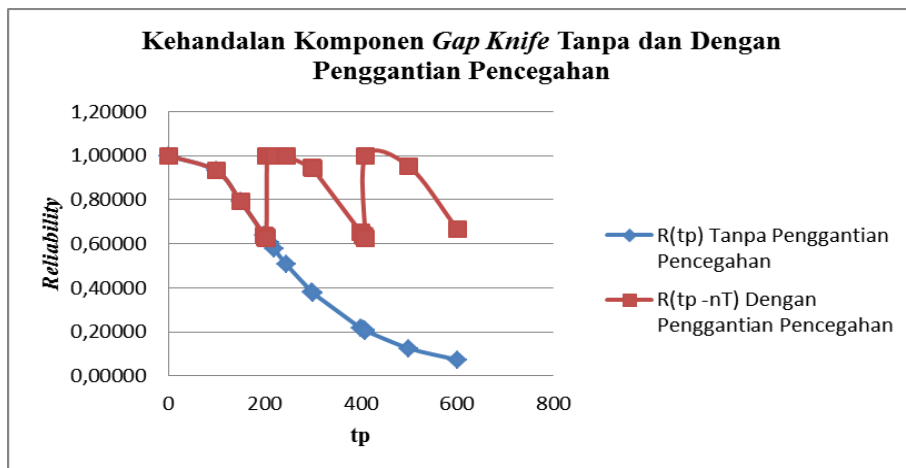
$$R(t - nT) = 1 - \Phi \left[\frac{1}{s} \ln \left(\frac{t - nT}{t_{med}} \right) \right]$$

$$= 1 - \Phi \left[\frac{1}{0,61173} \ln \left(\frac{405 - (1 \times 205)}{247,45956} \right) \right]$$

$$= 1 - \Phi [-0,34807]$$

$$R(t - nT) = 1 - [0,36389] = 0,63611$$

Hasil perhitungan kehandalan tanpa dan dengan penggantian pencegahan komponen *gap knife* ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Grafik Kehandalan Komponen *Gap Knife* Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan
(Sumber : Hasil pengolahan data)

Berdasarkan Gambar 4.11, terlihat bahwa jika tidak dilakukan tindakan penggantian pada komponen *gap knife*, akan terjadi penurunan tingkat kehandalan dengan seiring berjalannya waktu. Sebaliknya, apabila dilakukan penggantian pencegahan pada titik $tp = 205$ jam yang telah ditentukan, maka akan

menunjukkan pola pergerakan meningkat ke titik dimana nilai *reliability* adalah 1.

4.3.8.3. Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Komponen *Pressing Cope*

Perhitungan yang dilakukan pada komponen *pressing cope* adalah sebagai berikut:

Distribusi waktu kerusakan (TBF) = *Weibull*

$$\beta = 2,9441$$

$$\theta = 681,99551$$

$$MTBF = 608,49004 \text{ Jam}$$

$$T = t_p = 473 \text{ jam}$$

Rumus perhitungan:

Nilai keandalan tanpa penggantian pencegahan :

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

Nilai keandalan dengan penggantian pencegahan :

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

Hasil perhitungan *reliability* tanpa dan dengan penggantian pencegahan dapat dilihat pada Tabel 4.48.

Tabel 4.48. Hasil Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan Komponen *Pressing Cope*

tp(jam)	R(tp)	N	R(tp-nT)
100	0,99650	0	0,99650
200	0,97335	0	0,97335
300	0,91474	0	0,91474
400	0,81231	0	0,81231
410	0,79968	0	0,79968
440	0,75942	0	0,75942
470	0,71500	0	0,71500

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Keandalan (*Reliability*) Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan 1 *Pressing Cope* (Lanjutan)

tp(jam)	R(tp)	N	R(tp-nT)
472	0,71292	0	0,71292
473	0,71141	1	1,00000
500	0,66968	1	0,99993

600	0,50367	1	0,99293
605	0,49520	1	0,99208
608,49004	0,48929	1	0,99145
700	0,33969	1	0,96155
800	0,20195	1	0,89150
900	0,10406	1	0,77729
945	0,07336	1	0,71292
946	0,07277	2	1,00000
970	0,05954	2	0,99995
1.000	0,04569	2	0,99943
1.400	0,00025	2	0,73949
1.418	0,00018	2	0,71292
1.419	0,00018	3	1,00000
1.500	0,00004	3	0,99811

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan:

$$T = t_p = 605 \text{ jam ; } n = 1$$

Nilai kehandalan tanpa penggantian pencegahan :

$$\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta = \left(\frac{605}{681,99551}\right)^{2,9441} = 0,7027969$$

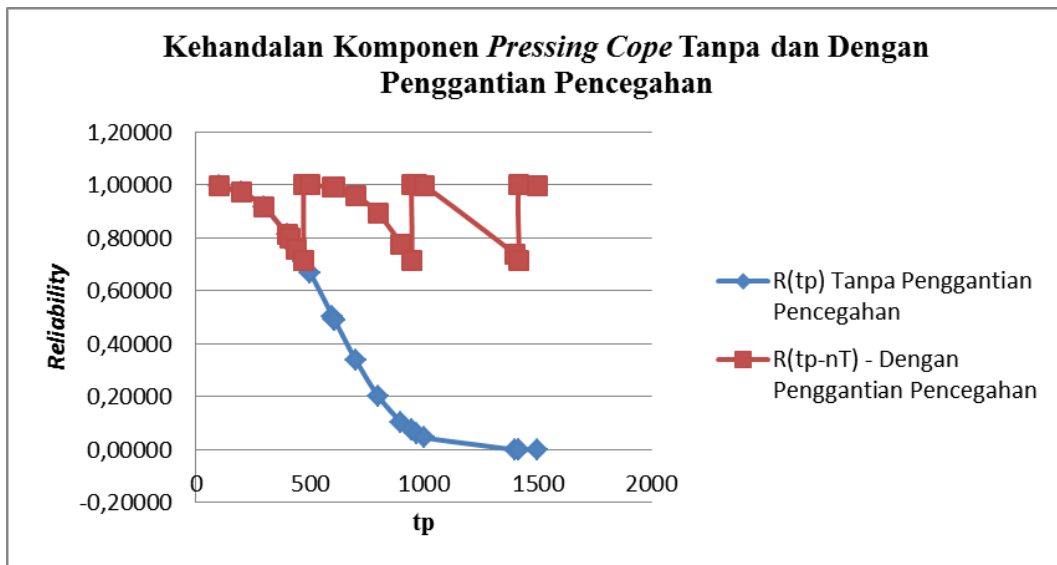
$$R(t_p) = \text{Exp}^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} = \text{Exp}^{-(0,7027969)} = 0,49520$$

Nilai kehandalan dengan penggantian pencegahan :

$$\left(\frac{t - nT}{\theta}\right)^\beta = \left(\frac{605 - (1 \times 473)}{681,99551}\right)^{2,9441} = 0,007947775$$

$$R(t_p - nT) = \text{Exp}^{-\left(\frac{t - nT}{\theta}\right)^\beta} = \text{Exp}^{-(0,007947775)} = 0,99208$$

Hasil perhitungan kehandalan tanpa dan dengan penggantian pencegahan komponen *pressing cope* ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Grafik Kehandalan Komponen *Pressing Cope* Tanpa dan Dengan Penggantian Pencegahan
(Sumber : Hasil pengolahan data)

Berdasarkan Gambar 4.12, terlihat bahwa jika tidak dilakukan tindakan pemeliharaan penggantian pada komponen *pressing cope*, akan terjadi penurunan tingkat kehandalan dengan seiring berjalannya waktu. Sebaliknya, apabila dilakukan penggantian pencegahan pada titik $tp= 473$ jam yang telah ditentukan, maka akan menunjukkan pola pergerakan meningkat ke titik dimana nilai *reliability* adalah 1.

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

6.1. Analisis Penentuan Mesin Dan Komponen Kritis

6.1.1. Analisis Penentuan Mesin Kritis

Mesin kritis adalah mesin yang memiliki peranan penting dalam jalannya proses produksi. Apabila mesin tersebut rusak, maka proses produksi tidak dapat berjalan dengan baik, sehingga dapat berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Mesin yang akan diteliti adalah mesin *Bending*, dimana mesin ini memiliki rata-rata efisiensi terendah dibandingkan mesin lainnya pada periode Januari-Juni 2016. Rendahnya efisiensi terhadap mesin dapat berpengaruh terhadap performa mesin dalam menjalankan proses produksinya dan produk yang dihasilkan bisa berkurang dari yang ditargetkan. Setelah dilakukan pengolahan data terpilihlah mesin *Bending* 4 yang memiliki waktu kerusakan tertinggi sebesar 540 menit dibandingkan mesin lainnya. Maka dari itu mesin *Bending* 4 dapat dikatakan sebagai mesin kritis.

6.1.2. Analisis Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis dilakukan untuk mengetahui sumber kerusakan yang terjadi dari waktu ke waktu. Suatu komponen dikatakan kritis apabila termasuk ke dalam kriteria yang memiliki waktu kerusakan tertinggi dan berpengaruh terhadap keberlangsungan proses produksi. Berdasarkan perhitungan diagram Pareto untuk komponen kritis mesin *Bending* 4 periode Januari-Juni 2016 dapat dilihat pada Tabel 4.3, komponen yang memiliki kumulatif persentase $\leq 80\%$ sesuai dengan ketentuan diagram Pareto antara lain komponen *Pillow* (27,8%) dengan waktu kerusakan 150 menit, *Gap Knife* (54,9%) dengan waktu kerusakan 145 menit dan *Pressing Cope* (79,6%) dengan waktu kerusakan 135 menit. Maka dari itu, ketiga komponen ini dinyatakan sebagai komponen kritis.

6.2. Analisis Rencana Pemeliharaan Optimal

6.2.1. Analisis Perhitungan Selang Waktu Kerusakan (TBF) Dan Selang Waktu Perbaikan (TTR) Komponen Kritis

Setelah menentukan komponen kritis, maka langkah selanjutnya adalah menentukan selang waktu kerusakan (*Time Between Failure*) dan selang waktu perbaikan (*Time to Repair*). Perhitungan ini diperlukan data tanggal kerusakan yang terjadi, waktu terjadinya kerusakan dan waktu perbaikan hingga mesin dapat beroperasi kembali. Perhitungan ini dimulai dari bulan Januari-Juni 2016, dimana mesin beroperasi selama 5 hari dalam seminggu atau 6 sampai 7 hari dalam seminggu jika terdapat jadwal lembur dengan waktu 22,5 jam dalam 3 shift untuk hari biasa termasuk waktu lembur dan 22 jam khusus hari Jum'at.

Nilai TBF diperoleh dari interval waktu kerusakan akhir sampai mesin tersebut mengalami kerusakan kembali dapat dilihat pada Tabel 4.5 sampai 4.7. Sedangkan nilai TTR diperoleh dari lamanya waktu kerusakan awal sampai kerusakan akhir hingga mesin dapat beroperasi kembali dapat dilihat pada Tabel 4.8 sampai Tabel 4.10, dari data TTR dapat dilihat bahwa waktu kerusakan yang terjadi untuk komponen yang sejenis tidak selalu sama, hal ini disebabkan faktor kemampuan operator atau teknisi dalam menyelesaikan kerusakan berbeda antara yang satu dengan yang lain dan juga dapat disebabkan tingkat kerusakan yang terjadi tidak selalu sama. Satuan yang digunakan dalam perhitungan TBF dan TTR adalah jam.

6.2.2. Analisis Pemilihan Jenis Distribusi Komponen Kritis

Pemilihan jenis distribusi ini dilakukan berdasarkan nilai *Index of Fit* (r) terbesar dimana nilai ini berkisar antara 0 dan +1 ($0 < r < +1$). Nilai ini menunjukkan kekuatan linear antara variabel x dan y . Semakin nilai korelasi mendekati +1, maka akan semakin baik hubungan linear antara variabel x dan y . Pemilihan distribusi ini terdiri atas distribusi *Eksponensial*, *Weibull*, *Lognormal* dan *Normal*. Hasil perhitungan *index of fit* untuk data TBF terdapat pada Tabel 4.11 sampai Tabel 4.14 dan untuk data TTR pada Tabel 4.18 sampai 4.21. Ringkasan pemilihan distribusi dengan *Index of Fit* masing-masing komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Ringkasan Pemilihan Distribusi dengan *Index of Fit* (r) Terbesar

Komponen Kritis	Data	Distribusi Terpilih	<i>Index of Fit</i>
<i>Pillow</i>	TBF	Normal	0,99089
	TTR	Normal	0,85029
<i>Gap Knife</i>	TBF	Lognormal	0,93453
	TTR	Lognormal	0,88422
<i>Pressing Cope</i>	TBF	<i>Weibull</i>	0,96135
	TTR	Normal	0,68336

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Pada Tabel 5.1 dapat dilihat distribusi yang terpilih untuk komponen *pillow* yaitu Normal untuk data TBF sebesar 0,97570 dan Normal untuk data TTR sebesar 0,85029, untuk komponen *gap knife* yaitu Lognormal untuk data TBF sebesar 0,85824 dan Lognormal untuk data TTR sebesar 0,88422, sedangkan untuk komponen *pressing cope* yaitu *Weibull* untuk data TBF sebesar 0,95864 dan Normal untuk data TTR sebesar 0,68336. Akan tetapi, distribusi-distribusi diatas tidak menjadikan data tersebut selalu mengikuti distribusi yang terpilih, karena itu diperlukan pengujian dengan uji kecocokan atau pengujian hipotesis untuk membuktikannya.

6.2.3. Analisis Pengujian Kecocokan Distribusi Untuk Data TBF Dan TTR Komponen Kritis

Setelah pemilihan jenis distribusi dengan berdasarkan *Index of Fit* (r) terbesar, maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji kecocokan distribusi untuk melihat apakah distribusi tersebut dapat sesuai atau tidak. Keputusan dari hasil uji ini adalah terima H_0 dan tolak H_0 (terima H_1). Apabila keputusannya adalah terima H_0 maka dapat diartikan bahwa data-data kerusakan yang terjadi dapat benar-benar diwakili oleh distribusi yang telah terpilih sebelumnya, dengan kriteria hasil perhitungan lebih kecil dari nilai kritik pada tabel dan apabila keputusan yang diperoleh tolak H_0 maka dapat diartikan data-data kerusakan yang terjadi tidak diwakili distribusi tersebut. Sehingga perlu dilakukan uji *Goodness of Fit* berdasarkan nilai r terbesar kedua dan seterusnya sampai diperoleh hasil pengujian kecocokan distribusi dengan hasil terima H_0 .

Jenis pengujian yang akan dilakukan dengan pengujian khusus yang berbeda-beda. Uji *Mann's* digunakan untuk distribusi *Weibull*, uji *Bartlett* untuk

distribusi *Eksponensial* dan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk distribusi Lognormal dan Normal. Perhitungan untuk uji kecocokan distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.25 sampai Tabel 4.30. Hasil pengujian kecocokan atau hipotesis komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Hasil Pengujian Hipotesis *Goodness of Fit* Komponen Kritis

Komponen Kritis	Data	Distribusi Terpilih	Hasil
<i>Pillow</i>	TBF	Normal	Terima H_0
	TTR	Normal	Terima H_0
<i>Gap Knife</i>	TBF	Lognormal	Terima H_0
	TTR	Lognormal	Terima H_0
<i>Pressing Cope</i>	TBF	<i>Weibull</i>	Terima H_0
	TTR	Normal	Terima H_0

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Berdasarkan Tabel 5.2 dapat dilihat untuk ketiga komponen kritis pada data TBF maupun TTR semuanya memiliki hasil Terima H_0 , artinya data TBF dan TTR komponen kritis sudah diwakili oleh distribusi yang telah terpilih sebelumnya dan tidak perlu melakukan pengujian ulang kembali.

6.2.4. Analisis Estimasi Parameter Komponen Kritis

Analisis estimasi parameter dilakukan dengan menggunakan metode penaksiran maksimum atau *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Perhitungan nilai estimasi parameter pada tiap distribusi yang telah terpilih pada dasarnya telah dilakukan ketika mencari koefisien dengan *Index of Fit*. Akan tetapi, nilai tersebut masih belum akurat. Oleh karena itu, dengan menggunakan metode MLE akan didapatkan nilai estimasi parameter yang lebih akurat dan dapat menggambarkan keadaan optimal dari setiap data.

Setiap distribusi memiliki parameter yang berbeda-beda. Untuk distribusi *Weibull* menggunakan parameter β yaitu *shape* parameter dan θ yaitu *scale* parameter. Distribusi Normal menggunakan parameter μ yang menunjukkan rata-rata dan σ menunjukkan standar deviasi. Sedangkan distribusi Lognormal menggunakan parameter s yaitu *shape* parameter dan t_{med} yaitu *location* parameter menunjukkan nilai tengah dari data yang ada. Ringkasan parameter MLE komponen kritis untuk data TBF maupun TTR dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Ringkasan Parameter MLE Data TBF Dan TTR Komponen Kritis

Komponen Kritis	Data	Distribusi Terpilih	Parameter MLE	
<i>Pillow</i>	TBF	Normal	$\mu = 486,02824$	$\sigma = 214,25040$
	TTR	Normal	$\mu = 0,41667$	$\sigma = 0,08333$
<i>Gap Knife</i>	TBF	Lognormal	$s = 0,61173$	$t_{med} = 247,45956$
	TTR	Lognormal	$s = 0,27606$	$t_{med} = 0,21116$
<i>Pressing Cope</i>	TBF	Weibull	$\beta = 2,9441$	$\theta = 681,99551$
	TTR	Normal	$\mu = 0,37500$	$\sigma = 1,0206$

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Berdasarkan Tabel 5.3 dapat kita lihat nilai parameter bentuk β memberikan informasi mengenai perilaku atau proses kegagalan, untuk $\beta = 2,9441$ nilai berada pada $\beta > 2$ dengan sifat distribusi laju kerusakan meningkat dan menunjukkan bahwa komponen berada dalam kondisi *wear out*, hal ini berarti tingkat kerusakan semakin tinggi sehingga tindakan *preventive replacement* semakin diperlukan. Kemungkinan pada awal umur komponen telah terjadi penurunan laju kerusakan dan akan meningkat kembali pada akhir umur komponen.

6.2.5. Analisis Mean Time to Between (MTBF) Dan Mean Time to Repair (MTTR) Komponen Kritis

Besar nilai MTBF dan MTTR ditentukan dari nilai parameter yang telah diperoleh. MTBF merupakan rata-rata waktu saat komponen selesai diperbaiki sampai komponen tersebut mengalami kerusakan kembali. Sedangkan MTTR merupakan rata-rata waktu yang diperlukan dalam melakukan suatu perbaikan ataupun penggantian hingga mampu beroperasi kembali seperti yang diharapkan. Cara perhitungan MTBF dan MTTR mengikuti distribusi dan parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil perhitungan MTBF dan MTTR untuk tiap komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

Tabel 5.4. Hasil Perhitungan MTBF Komponen Kritis

Komponen Kritis	Distribusi Terpilih	MTBF (Jam)
<i>Pillow</i>	Normal	486,04824
<i>Gap Knife</i>	Lognormal	298,37640
<i>Pressing Cope</i>	Weibull	608,49004

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Berdasarkan Tabel 5.4 dapat dilihat bahwa MTBF untuk komponen *gap knife* lebih kecil yaitu 298,37640 jam dibandingkan komponen *pillow* yaitu 486,04824 jam dan komponen *pressing cope* yaitu 608,49004 jam. Hal ini menunjukkan bahwa komponen *pillow* lebih cepat mengalami kerusakan dibandingkan dua komponen lainnya. Maka dapat diperkirakan kerusakan berikutnya pada komponen *gap knife* terjadi setelah pemakaian selama 298,37640 jam operasi. Begitu pula dengan komponen yang lain.

Tabel 5.5. Hasil Perhitungan MTTR Komponen Kritis

Komponen Kritis	Distribusi Terpilih	MTTR (Jam)
<i>Pillow</i>	Normal	0,41667
<i>Gap Knife</i>	Lognormal	0,21936
<i>Pressing Cope</i>	Normal	0,37500

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Berdasarkan Tabel 5.5 dapat dilihat MTTR komponen *pillow* 0,41667 jam, komponen *gap knife* 0,21936 jam, dan komponen *pressing cope* 0,37500 jam. Nilai ini menunjukkan bahwa setiap terjadi kerusakan, maka dapat diperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan tindakan perbaikan misalnya untuk komponen *pillow* adalah 0,41667 jam, begitu pula untuk komponen lainnya.

6.2.6. Analisis Interval Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi Downtime

Penggantian pencegahan dilakukan untuk menghindari kerusakan secara mendadak yang dapat menyebabkan terhentinya proses produksi. Selain itu, dengan adanya penggantian pencegahan maka dapat mengurangi resiko kerusakan yang terjadi dikemudian hari. Interval waktu penggantian pencegahan bertujuan untuk menekan kerusakan yang terjadi maka dari itu penggantian komponen berdasarkan minimasi *downtime* menjadi sangat penting dengan menentukan umur optimal yang tepat untuk mengganti komponen tersebut.

Downtime disini hanya menunjukkan waktu kerusakan mesin (*equipment failure*) dan tidak termasuk waktu *set-up* dan *adjustment*. Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan komponen kritis dengan minimasi *downtime* dilakukan dengan metode *trial and error*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *downtime* $D(t_p)$ yang minimum dapat dilihat pada Tabel 4.43 sampai Tabel

4.45. Berikut ini merupakan hasil dari interval waktu penggantian pencegahan komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6. Hasil Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi *Downtime*

Komponen Kritis	Interval Waktu Optimal Penggantian Pencegahan (t_p)
<i>Pillow</i>	400 jam / 18 hari
<i>Gap Knife</i>	205 jam / 10 hari
<i>Pressing Cope</i>	473 jam / 22 hari

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Interval waktu penggantian pencegahan tersebut diperoleh berdasarkan model *Age Replacement*, dimana model ini memperhitungkan umur optimal dari suatu komponen. Walaupun terkadang komponen tersebut rusak sebelum dilakukan penggantian berdasarkan umur optimal, namun pada penggantian selanjutnya akan dilakukan berdasarkan perhitungan t_p terhitung dimulai dari kerusakan selesai diperbaiki. Hal ini diperkirakan dapat mengurangi terjadinya pemborosan dalam hal pemakaian komponen.

Pada Tabel 5.6 dapat dilihat bahwa interval waktu optimal penggantian pencegahan untuk komponen *pillow* adalah 400 jam, komponen *gap knife* 205 jam, dan komponen *pressing cope* 473 jam. Hal ini berarti selang waktu untuk komponen *pillow* memerlukan penggantian pencegahan setelah pemakaian selama 400 jam operasi atau kurang lebih 18 hari, begitupula untuk komponen *gap knife* setelah pemakaian 205 jam atau kurang lebih 10 hari dan *pressing cope* memerlukan penggantian setelah pemakaian selama 473 jam operasi atau 22 hari dalam melakukan sebuah penggantian pencegahan.

6.2.7. Analisis Tingkat Keandalan (*Reliability*) Kondisi Tanpa Dan Dengan Penggantian Pencegahan Pada Komponen Kritis

Setelah dilakukan tindakan penggantian pencegahan, diharapkan tingkat keandalan komponen juga akan meningkat. Keandalan (*reliability*) merupakan peluang suatu sistem atau dalam hal ini komponen dapat berfungsi secara normal dalam suatu periode tertentu selama masa pemakaian. Angka keandalan yang paling baik adalah 1 atau 100%, jadi, jika nilai keandalan mendekati angka tersebut, berarti komponen tersebut akan bekerja secara optimal dalam jangka waktu tertentu.

Tujuan dilakukannya perhitungan kehandalan tanpa dan dengan tindakan penggantian pencegahan adalah untuk membandingkan apakah suatu sistem perawatan pencegahan akan meningkatkan kehandalan komponen. Perhitungan untuk tingkat kehandalan masing-masing komponen berbeda, disesuaikan dengan distribusi yang telah ditentukan sebelumnya, dapat dilihat pada Tabel 4.46 sampai Tabel 4.48. Hasil perbandingan tingkat kehandalan (*reliability*) tanpa dan dengan penggantian pencegahan dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7. Hasil Perbandingan Tingkat Kehandalan (*Reliability*) Pada Komponen kritis

Komponen Kritis	MTBF (Jam)	t_p	$R(t_p)$	$R(t_p-nT)$
<i>Pillow</i>	486,04824	400 jam / 18 hari	50,000%	100%
<i>Gap Knife</i>	298,37640	205 jam / 10 hari	37,985%	100%
<i>Pressing Cope</i>	608,49004	473 jam / 22 hari	48,929%	100%

(Sumber : Hasil pengolahan data)

MTBF : *Mean Time Between Failure*

t_p : Interval waktu penggantian pencegahan

$R(t_p)$: Kehandalan tanpa penggantian pencegahan

$R(t_p-nT)$: Kehandalan dengan penggantian pencegahan

Pada Tabel 5.7 dapat dilihat bahwa nilai interval waktu penggantian pencegahan misalnya komponen *pressing cope* jam lebih kecil dari waktu rata-rata terjadinya kerusakan (MTBF) sebesar 608,49004 jam artinya penentuan waktu penggantian pencegahan sudah cukup optimal, karena dilakukan sebelum terjadinya kerusakan pada suatu komponen. Tingkat kehandalan tanpa penggantian pencegahan sebesar 48,929%, sedangkan apabila dilakukan tindakan penggantian pencegahan kehandalan kembali meningkat ke titik 1 atau 100%, begitu pula dengan komponen *pillow* dan *gap knife*, grafik kehandalan untuk komponen kritis dapat dilihat pada Gambar 4.10 sampai Gambar 4.12.

Dengan demikian sangat dianjurkan agar perusahaan menerapkan *preventive maintenance* menggunakan metode *Age Replacement* dengan menentukan interval waktu penggantian pencegahan (*preventive replacement*) yang optimal terhadap suatu komponen, sehingga membuat kehandalan komponen dapat meningkat.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

8.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang berkaitan dengan penentuan interval waktu *preventive replacement* pada mesin *Bending*, antara lain:

1. Jenis mesin *Bending* yang kritis adalah *Bending 4* karena memiliki waktu kerusakan tertinggi yaitu 540 menit dibandingkan dengan mesin *Bending* lainnya.
2. Komponen kritis pada mesin *Bending 4* adalah komponen *Pillow* dengan waktu kerusakan 150 menit yaitu 27,8% dari kumulatif persentase, *Gap Knife* dengan waktu kerusakan 145 menit yaitu 54,9% dari kumulatif persentase dan *Pressing Cope* dengan waktu kerusakan 135 menit yaitu 79,6% dari kumulatif persentase.
3. Interval penggantian pencegahan untuk komponen kritis:

- a. Komponen *Pillow*

Interval waktu penggantian pencegahan untuk komponen *pillow* adalah $t_p=400$ jam atau 18 hari artinya penggantian komponen dilakukan setelah beroperasi selama 400 jam, lebih kecil dari rata-rata waktu kerusakannya (MTBF) sebesar 486,04824 jam artinya penentuan waktu penggantian pencegahan sudah cukup optimal, karena dilakukan sebelum terjadinya rata-rata waktu kerusakan pada komponen tersebut. Tingkat kehandalan tanpa penggantian pencegahan sebesar 50%, sedangkan jika pada titik t_p dilakukan penggantian pencegahan maka peluang kehandalan meningkat menjadi 100%.

- b. Komponen *Gap Knife*

Interval waktu penggantian pencegahan untuk komponen *gap knife* adalah $t_p=205$ jam atau 10 hari artinya penggantian komponen dilakukan setelah beroperasi selama 205 jam, lebih kecil dari rata-rata waktu kerusakannya (MTBF) sebesar 298,37640 jam artinya

penentuan waktu penggantian pencegahan sudah cukup optimal, karena dilakukan sebelum terjadinya rata-rata waktu kerusakan pada komponen tersebut. Tingkat kehandalan tanpa penggantian pencegahan sebesar 37,985%, sedangkan jika pada titik t_p dilakukan penggantian pencegahan maka peluang kehandalan meningkat menjadi 100%.

c. Komponen *Pressing Cope*

Interval waktu penggantian pencegahan untuk komponen *pressing cope* adalah $t_p=473$ jam atau 22 hari artinya penggantian komponen dilakukan setelah beroperasi selama 473 jam, lebih kecil dari rata-rata waktu kerusakannya (MTBF) sebesar 608,49004 jam artinya penentuan waktu penggantian pencegahan sudah cukup optimal, karena dilakukan sebelum terjadinya rata-rata waktu kerusakan pada komponen tersebut. Tingkat kehandalan tanpa penggantian pencegahan sebesar 48,929%, sedangkan jika pada titik t_p dilakukan penggantian pencegahan maka peluang kehandalan meningkat menjadi 100%.

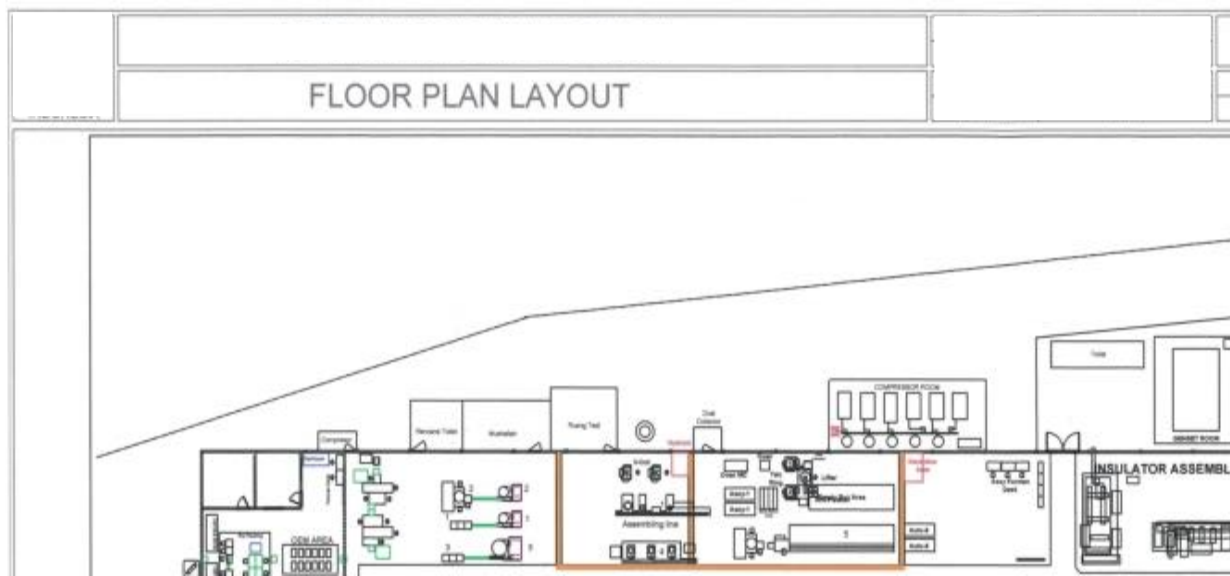
8.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas didapatkan beberapa saran yang dapat dipertimbangkan oleh perusahaan sebagai berikut:

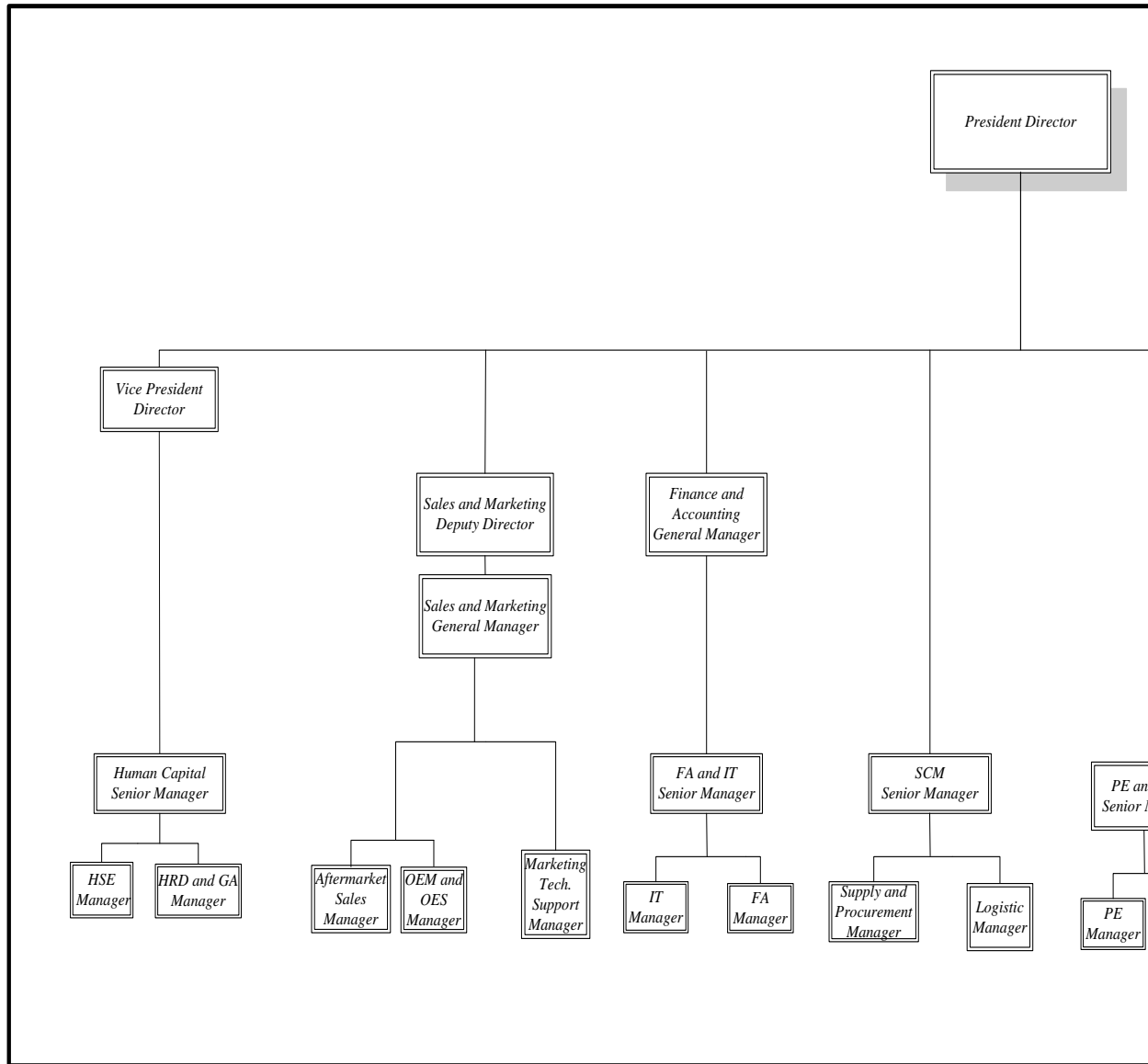
1. Perusahaan sebaiknya lebih memperhatikan pemeliharaan mesin *Bending* khususnya *Bending 4* agar dapat menekan waktu kerusakan yang terjadi.
2. Perusahaan sebaiknya memperhatikan pemeliharaan komponen kritis dengan baik, sehingga berpengaruh terhadap mesin agar proses produksi dapat berjalan dengan lancar.
3. Perusahaan diharapkan dapat menerapkan interval waktu *preventive replacement* berdasarkan umur optimal suatu komponen agar dapat meningkatkan kehandalan yang berpengaruh terhadap mesin dalam menjalankan proses produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, Dorothea. W, 2004, *Pengendalian Kualitas Statistik*. Andi, Yogyakarta.
- Assauri, S, 2008, *Manajemen Produksi dan Operasi*. Lembaga penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Corder, A.S, 1992, *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Ebeling, C.E, 1997, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Mc Graw Hill, New York.
- Jardine, Andrew K.S, and Tsang, Albert. H.C, 2006, *Maintenance, Replacement, and Reliability*. Taylor and Francis, London.
- Nakajima, S, 1988, *Introduction to Total Productive Maintenance. United State of American*: Productivity Press Inc, Cambridg.
- Walpole, R.E, Myers, R.H, 1978, *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, 2E, Mac-Millan Co.Inc, New York.
- Wingjosoebroto, Sritomo, 2006, *Pengantar Teknik dan Manajemen Industri*. Guna Widya, Surabaya.
- Djunaidi Much dan Mila Faila Sufa, 2007, Usulan Interval Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Pencetak Botol (Mould Gear) Berdasarkan Kriteria Minimasi Downtime. *Jurnal Teknik Gelagar*. Vol.18 No. 1. Universitas Muhammadiyah, Surakarta.



Struktur Organisasi PT NGK Busi Indonesia



Tabel Efisiensi Mesin Periode Januari-Juni 2016

Mesin	Produksi x cycle time	Total Jam Kerja	Efisiensi Mesin (%)
CF	25.926.424,59	8.275,580	87,02453
CM	80.737.177,25	29987,087	74,78884
WT	62.689.988,69	20117,093	86,56263
PLATING	15.533,75	13.017	83,79818
SETSUGO	23.172.656,79	9.700,830	66,35359
ASSY LINE	30.684.286,02	10804,867	78,88494

ASSY AUTO	9.667.885,11	3.367,24	79,75445
BENDING	30.390.188,58	12.954,47	65,16453

(Sumber : PT NGK Busi Indonesia)

Tabel Data Waktu Kerusakan Komponen *Bending 1*

Tanggal	Mesin	Ket	Awal Waktu Kerusakan	Akhir Waktu Perbaikan	Waktu (menit)
27-Mar-16	1	ganti gap knife	22:35	22:50	15
2-Apr-16	1	ganti gap knife	8:15	8:25	10
19-May-16	1	ganti gap knife	22:25	22:35	10
31-May-16	1	ganti gap knife	5:10	5:20	10
17-Jun-16	1	ganti gap knife	9:05	9:15	10
7-Jan-16	1	ganti hasame	7:25	8:00	35
16-May-16	1	ganti hasame	4:10	4:20	10
21-Jan-16	1	ganti pillow	20:05	20:25	20
14-Jan-16	1	ganti pressing cope	15:50	16:10	20
15-Mar-16	1	ganti pressing cope	7:25	7:45	20
16-May-16	1	ganti pressing cope	14:25	14:45	20
17-Jun-16	1	ganti pressing cope	8:15	8:35	20
6-Jan-16	1	ganti shutter pawl	8:15	9:15	60
8-Jan-16	1	ganti cylinder gasket pusher	22:15	23:05	50
Total					310

(Sumber : PT NGK Busi Indonesia)

Tabel Data Waktu Kerusakan Komponen *Bending 2*

Tanggal	Mesin	Ket	Awal Waktu Kerusakan	Akhir Waktu Perbaikan	Waktu (menit)
11-Jan-16	2	ganti gap knife	19:05	19:15	10
19-Jan-16	2	ganti gap knife	13:25	13:35	10
30-Jun-16	2	ganti gap knife	5:25	5:40	15
26-Apr-16	2	ganti hasame	7:25	8:00	10
9-May-16	2	ganti hasame	15:05	15:15	10
8-Jan-16	2	ganti pressing cope	18:45	19:10	25
29-Mar-16	2	ganti pressing cope	2:50	3:25	35
28-Apr-16	2	ganti pressing cope	11:10	11:35	25
2-Feb-16	2	ganti shutter pawl	14:25	15:25	60
Total					200

(Sumber : PT NGK Busi Indonesia)

Tabel Data Waktu Kerusakan Komponen *Bending 3*

Tanggal	Mesin	Ket	Awal Waktu Kerusakan	Akhir Waktu Perbaikan	Waktu (menit)
13-Jan-16	3	ganti gap knife	14:05	14:15	10

15-Jan-16	3	ganti gap knife	15:05	15:15	10
1-Mar-16	3	ganti gap knife	13:25	13:35	10
17-Mar-16	3	ganti gap knife	7:25	7:40	15
23-Mar-16	3	ganti gap knife	19:10	19:35	25
3-May-16	3	ganti gap knife	4:10	4:20	10
28-May-16	3	ganti gap knife	1:10	1:25	15
21-Jan-16	3	ganti pillow	20:05	20:25	20
17-Mar-16	3	ganti pillow	7:25	7:55	30
21-Jan-16	3	ganti pressing cope	9:15	9:50	35
23-Mar-16	3	ganti pressing cope	21:25	21:45	20
9-May-16	3	ganti pressing cope	16:25	16:55	30
14-Jun-16	3	ganti pressing cope	22:25	22:45	20
13-Feb-16	3	ganti cylinder gasket pusher	14:25	15:15	50
Total					300

Sumber : PT NGK Busi Indonesia

Tabel Data Waktu Kerusakan Komponen *Bending* 4

Tanggal	Mesin	Ket	Awal Waktu Kerusakan	Akhir Waktu Perbaikan	Waktu (menit)
6-Jan-16	4	ganti gap knife	4:10	4:20	10
20-Jan-16	4	ganti gap knife	8:45	8:55	10
2-Feb-16	4	ganti gap knife	19:25	19:35	10
6-Feb-16	4	ganti gap knife	21:20	21:40	20
20-Feb-16	4	ganti gap knife	13:05	13:20	15
7-Mar-16	4	ganti gap knife	2:05	02:15	10
13-Mar-16	4	ganti gap knife	13:40	13:50	10
6-Apr-16	4	ganti gap knife	16:25	16:45	20
18-Apr-16	4	ganti gap knife	5:10	5:20	10
6-Jun-16	4	ganti gap knife	21:45	22:00	15

Tabel Data Waktu Kerusakan Komponen *Bending* 4 (Lanjutan)

(Sumber : PT NGK Busi Indonesia)

Tanggal	Mesin	Ket	Awal Waktu Kerusakan	Akhir Waktu Perbaikan	Waktu (menit)
27-Jan-16	4	ganti pillow	3:30	3:50	20
19-Feb-16	4	ganti pillow	7:50	8:20	30
31-Mar-16	4	ganti pillow	22:25	22:55	30
24-Apr-16	4	ganti pillow	16:10	16:40	30
2-May-16	4	ganti pillow	15:05	15:25	20

7-Jun-16	4	ganti pillow	8:25	8:45	20
8-Jan-16	4	ganti pressing cope	3:30	4:05	35
16-Feb-16	4	ganti pressing cope	19:15	19:35	20
7-Mar-16	4	ganti pressing cope	22:25	22:45	20
18-Apr-16	4	ganti pressing cope	11:10	11:30	20
2-May-16	4	ganti pressing cope	17:05	17:25	20
19-Jun-16	4	ganti pressing cope	7:25	7:45	20
6-Jan-16	4	ganti shutter pawl	15:45	16:35	50
3-Mar-16	4	ganti shutter pawl	8:15	9:15	60
Total					540

Sumber : PT NGK Busi Indonesia

Tabel Data Waktu Kerusakan Komponen *Bending 5*

Tanggal	Mesin	Ket	Awal Waktu Kerusakan	Akhir Waktu Perbaikan	Waktu (menit)
11-May-16	5	ganti gap knife	9:05	9:15	10
15-Jun-16	5	ganti gap knife	13:25	13:40	15
24-Mar-16	5	ganti hasame	15:05	15:15	10
17-Jun-16	5	ganti hasame	1:10	1:25	15
26-Mar-16	5	ganti pillow	1:10	1:40	30
31-May-16	5	ganti pillow	14:25	14:45	20
28-Mar-16	5	ganti pressing cope	16:05	16:50	45
13-May-16	5	ganti pressing cope	14:10	14:35	25
14-Jun-16	5	ganti pressing cope	9:15	9:40	25
6-Mar-16	5	ganti cylinder gasket supply	8:15	9:05	50
26-Mar-16	5	ganti cylinder gasket supply	15:50	18:05	135
Total					380

Sumber : PT NGK Busi Indonesia



Gambar Komponen *Pillow*





Gambar Komponen *Pressing Cope*



Gambar *Bending* 4

Proses Produksi Mesin *Bending* 4



Dimulai dari Side Elektro (SE) tegak



Melakukan penekkan untuk membentuk gasket
Komponen Pillow



Pengpressan disini berfungsi agar gasket terpasang dengan baik



KOMPONEN GASKET PRESS digunakan untuk menekan gasket sampai ada jejak kuku dengan menggunakan komponen

Membentuk gap/jarak antara SE dan Center Elektro (CE)
Komponen Gap Knife

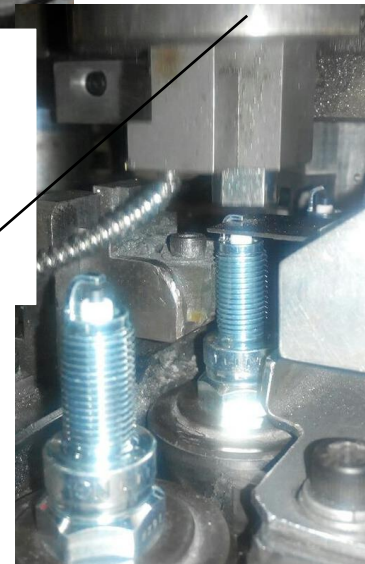


IMAGE PROCESSOR untuk mendeteksi busi tersebut sudah sesuai dengan standar atau belum, hal yang biasa terdeteksi dengan image processor adalah melihat gap sudah sesuai atau belum dan melihat gasket sudah terpasang atau belum

Perhitungan (TBF) K

5. Distribusi

failure

tabel Hasil Perhitungan Distribusi Komponen Gap Knife

i	t _i	x _i =ln (t _i)	F(t _i)	y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	94,1094	4,54446	0,06731	-2,663843	-12,10572	20,65210	7,09606
2	96,6875	4,57148	0,16346	-1,723263	-7,87787	20,89847	2,96964
3	234,8594	5,45899	0,25962	-1,202023	-6,56183	29,80054	1,44486
4	239,3125	5,47777	0,35577	-0,821667	-4,50090	30,00597	0,67514
5	243,7656	5,49621	0,45192	-0,508595	-2,79535	30,20829	0,25867
6	245,3281	5,50260	0,54808	-0,230365	-1,26761	30,27857	0,05307
7	250,6406	5,52402	0,64423	0,032925	0,18188	30,51480	0,00108
8	279,5469	5,63317	0,74038	0,2990329	1,68450	31,73261	0,08942
9	488,6093	6,19156	0,83654	0,5939772	3,67765	38,33545	0,35281

10	822,3906	6,71222	0,93269	0,9926889	6,66314	45,05384	0,98543
Total	55,11247	5,00000	-5,23113	-22,90210	307,48063	13,92617	

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk $i=1$

g. Kolom t_i didapat dari data TBF pada Tabel 4.6 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan $n = 10$

$$\begin{aligned} \text{h. } x_i &= \ln(t_i) \\ &= 4,54446 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i. } F(t_i) &= \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \\ &= 0,06731 \end{aligned}$$

$$\text{j. } y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] = -2,66384$$

$$\text{k. } x_i \cdot y_i = -22,90210$$

$$\text{l. } x_i^2 = 307,48063, \quad y_i^2 = 13,92617$$

Menghitung parameter bentuk ($\beta=b$), *intersep* (α), parameter skala (θ), dan *index of fit* (r) dari distribusi *Weibull* adalah sebagai berikut:

Parameter bentuk (β)

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

$$\beta = b = 1,584096212$$

Intersep (α)

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

$$\alpha = -9,25346$$

Parameter Skala (θ)

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

$$\theta = 344,28692$$

Index of Fit (r)

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

$$= 0,916082$$

6. Distribusi Eksponensial

Tabel Hasil Perhitungan *Index of Fit* TBF Distribusi *Eksponensial* Komponen *Gap Knife*

i	t_i	x_i = t_i	F(t_i)	y_i	x_i·y_i	x_i²	y_i²
1	94,1094	94,109	0,06731	0,06968	6,55754	8856,57917	0,00486
2	96,6875	96,688	0,16346	0,17848	17,25705	9348,47266	0,03186
3	234,8594	234,859	0,25962	0,30059	70,59532	55158,93777	0,09035
4	239,3125	239,313	0,35577	0,43970	105,22529	57270,47266	0,19333
5	243,7656	243,766	0,45192	0,60134	146,58592	59421,66774	0,36161
6	245,3281	245,328	0,54808	0,79424	194,85020	60185,87665	0,63082
7	250,6406	250,641	0,64423	1,03347	259,03029	62820,71037	1,06807
8	279,5469	279,547	0,74038	1,34855	376,98410	78146,46930	1,81860
9	488,6093	488,609	0,83654	1,81118	884,95820	238739,04805	3,28036
10	822,3906	822,391	0,93269	2,69848	2219,20520	676326,29897	7,28180
Total		2995,250	5,00000	9,27571	4281,24911	1306274,53333	14,76166

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

d. Kolom t_i didapat dari data TBF pada Tabel 4.6 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 10

e. x_i = t_i
= 94,109

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

$$= 0,06731$$

$$d. y_i = \ln\left(\frac{1}{1 - F(t_i)}\right) = 0,06968$$

$$e. x_i \cdot y_i = 4281,24911$$

$$f. x_i^2 = 1306274,53333, \quad y_i^2 = 14,76166$$

Menghitung *gradien* (b) dan *index of fit* (r) dari distribusi *Ekspensial* adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$$\lambda = b = 0,003277$$

Index of Fit (r)

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

$$= 0,93330$$

7. Distribusi Lognormal

Tabel Hasil Perhitungan *Indeks of Fit* TBF Distribusi Lognormal Komponen *Gap Knife*

i	t _i	x _i ln (t _i)	F(t _i)	y _i	x _i ·y _i	x _i ²	y _i ²
1	94,1094	4,54446	0,06731	-1,496147	-6,79918	20,65210	2,23846
2	96,6875	4,57148	0,16346	-0,98033	-4,48156	20,89847	0,96105
3	234,8594	5,45899	0,25962	-0,644532	-3,51849	29,80054	0,41542
4	239,3125	5,47777	0,35577	-0,369791	-2,02563	30,00597	0,13675
5	243,7656	5,49621	0,45192	-0,120804	-0,66396	30,20829	0,01459
6	245,3281	5,50260	0,54808	0,1208042	0,66474	30,27857	0,01459
7	250,6406	5,52402	0,64423	0,3697907	2,04273	30,51480	0,13675
8	279,5469	5,63317	0,74038	0,6445316	3,63076	31,73261	0,41542

9	488,6093	6,19156	0,83654	0,9803304	6,06978	38,33545	0,96105
10	822,3906	6,71222	0,93269	1,4961469	10,04246	45,05384	2,23846
Total		55,11247	5,00000	0,00000	4,96164	307,48063	7,53253

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk $i=1$

g. Kolom t_i didapat dari data TBF pada Tabel 4.6 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan $n = 10$

h. $x_i = \ln(t_i)$

$$= 4,54446$$

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

$$= 0,06731$$

j. Sedangkan nilai y_i diperoleh dari konversi nilai $F(t_i)$ ke Tabel Z (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSINV)

k. $x_i \cdot y_i = 4,96164$

l. $x_i^2 = 307,48063$, $y_i^2 = 7,53253$

Menghitung *gradien* (b), *intersep* (a), standar deviasi (s), parameter (t_{med}) dan *index of fit* (r) dari distribusi Lognormal adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$$b = 1,32587$$

Intersep (a)

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

$$\alpha = -7,30720$$

Standar Deviasi (s)

$$s = \frac{1}{b} = 0,75422$$

Parameter (t_{med})

$$(t_{\text{med}}) = e^{-s\alpha} = 247,45956$$

Index of Fit (r)

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

$$= 0,93453$$

8. Distribusi Normal

Tabel Hasil Perhitungan *Indeks of Fit* TBF Distribusi Normal Komponen *Gap Knife*

i	t _i	x _i = t _i	F(t _i)	y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	94,1094	94,109	0,06731	-1,496147	-140,80148	8856,57917	2,23846
2	96,6875	96,688	0,16346	-0,98033	-94,78569	9348,47266	0,96105
3	234,8594	234,859	0,25962	-0,644532	-151,37431	55158,93777	0,41542
4	239,3125	239,313	0,35577	-0,369791	-88,49553	57270,47266	0,13675
5	243,7656	243,766	0,45192	-0,120804	-29,44790	59421,66774	0,01459
6	245,3281	245,328	0,54808	0,1208042	29,63666	60185,87665	0,01459
7	250,6406	250,641	0,64423	0,3697907	92,68456	62820,71037	0,13675
8	279,5469	279,547	0,74038	0,6445316	180,17681	78146,46930	0,41542
9	488,6093	488,609	0,83654	0,9803304	478,99853	238739,04805	0,96105
10	822,3906	822,391	0,93269	1,4961469	1230,41713	676326,29897	2,23846
Total		2995,250	5,00000	0,00000	1507,00877	1306274,53333	7,53253

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

- g. Kolom t_i didapat dari data TBF pada Tabel 4.6 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan $n = 10$
- h. $x_i = t_i$
 $= 94,109$
- i. $F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$
 $= 0,06731$
- j. Sedangkan nilai y_i diperoleh dari konversi nilai $F(t_i)$ ke Tabel Z (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSINV)
- k. $x_i \cdot y_i = 1507,00877$
- l. $x_i^2 = 1306274,53333$, $y_i^2 = 7,53253$

Menghitung *gradien* (b), *intersep* (a), standar deviasi (σ), rata-rata kerusakan (μ) dan *index of fit* (r) dari distribusi Normal adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$$b = 0,00368$$

Intersep (a)

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

$$\alpha = -1,10331$$

Standar Deviasi (σ)

$$\sigma = \frac{1}{b} = 271,47973$$

Rata-rata (μ)

$$\mu = -\frac{\alpha}{b} = 299,52499$$

Index of Fit (r)

$$r_{\text{normal}} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}}$$
$$= 0,85846$$

Perhitungan Indeks of Fit Time Between Failure (TBF) Komponen Pressing Cope

1. Distribusi Weibull

Tabel Hasil Perhitungan *Index of Fit* TBF Distribusi *Weibull* Komponen *Pressing Cope*

i	t _i	x _i = ln (t _i)	F(t _i)	y _i	x _i ·y _i	x _i ²	y _i ²
1	262,0469	5,56852	0,12963	-1,974459	-10,99482	31,00845	3,89849
2	386,4687	5,95705	0,31481	-0,972686	-5,79434	35,48646	0,94612
3	709,1788	6,56411	0,50000	-0,366513	-2,40583	43,08751	0,13433
4	819,0312	6,70812	0,68519	0,1447674	0,97112	44,99890	0,02096
5	850,5468	6,74588	0,87037	0,7144555	4,81963	45,50689	0,51045
Total		31,54368	2,50000	-2,45443	-13,40424	200,08821	5,51034

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

a. Kolom t_i didapat dari data TBF pada Tabel 4.7 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 5

b. $x_i = \ln (t_i)$
 $= 5,56852$

c. $F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$
 $= 0,12963$

$$d. \quad y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] = -1,97446$$

$$e. \quad x_i y_i = -13,40424$$

$$f. \quad x_i^2 = 200,08821, \quad y_i^2 = 5,51034$$

Menghitung parameter bentuk ($\beta=b$), *intersep* (α), parameter skala (θ), dan *index of fit* (r) dari distribusi *Weibull* adalah sebagai berikut:

Parameter bentuk (β)

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

$$\beta = b = 1,91292$$

Intersep (α)

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

$$\alpha = -12,55901$$

Parameter Skala (θ)

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

$$\theta = 710,06254$$

Index of Fit (r)

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

$$=0,961355$$

2. Distribusi Eksponensial

Tabel Hasil Perhitungan *Index of Fit* TBF Distribusi *Eksponensial* Komponen *Pressing Cope*

i	t _i	x _i = t _i	F(t _i)	y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	262,0469	262,047	0,12963	0,13884	36,38166	68668,57780	0,01928
2	386,4687	386,469	0,31481	0,37807	146,11073	149358,05608	0,14293
3	709,1788	709,179	0,50000	0,69315	491,56529	502934,57037	0,48045
4	819,0312	819,031	0,68519	1,15577	946,61227	670812,10657	1,33581
5	850,5468	850,547	0,87037	2,04307	1737,72997	723429,85899	4,17415
Total		3027,272	2,50000	4,40889	3358,39990	2115203,16981	6,15262

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

a. Kolom t_i didapat dari data TBF pada Tabel 4.7 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 5

b. x_i = t_i
= 262,047

c. $F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$
= 0,12963

d. $y_i = \ln\left(\frac{1}{1 - F(t_i)}\right) = 0,13884$

e. x_i.y_i = 3358,39990

f. x_i² = 2115203,16981 , y_i² = 6,15262

Menghitung *gradien* (b) dan *index of fit* (r) dari distribusi *Eksponensial* adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$$\lambda = b = 0,001588$$

Index of Fit (r)

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

$$= 0,86163$$

3. Distribusi Lognormal

Tabel Hasil Perhitungan *Indeks of Fit* TBF Distribusi Lognormal Komponen *Pressing Cope*

i	t_i	x_i = ln (t_i)	F(t_i)	y_i	x_i.y_i	x_i²	y_i²
1	262,0469	5,56852	0,12963	-1,128144	-6,28209	31,00845	1,27271
2	386,4687	5,95705	0,31481	-0,482248	-2,87278	35,48646	0,23256
3	709,1788	6,56411	0,50000	0	0,00000	43,08751	0,00000
4	819,0312	6,70812	0,68519	0,4822482	3,23498	44,99890	0,23256
5	850,5468	6,74588	0,87037	1,1281436	7,61032	45,50689	1,27271
Total		31,54368	2,50000	0,00000	1,69043	200,08821	3,01054

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

- Kolom t_i didapat dari data TBF pada Tabel 4.7 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 5
- x_i = ln (t_i)
= 5,56852
- F(t_i) = $\frac{i - 0,3}{n + 0,4}$
= 0,12963
- Sedangkan nilai y_i diperoleh dari konversi nilai F(t_i) ke Tabel Z (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSINV)
- x_i.y_i = 1,69043

$$f. \quad x_i^2 = 200,08821, \quad y_i^2 = 3,01054$$

Menghitung *gradien* (b), *intersep* (a), standar deviasi (s), parameter (t_{med}) dan *index of fit* (r) dari distribusi Lognormal adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$$b = 1,55454$$

Intersep (a)

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

$$\alpha = -9,80718$$

Standar Deviasi (s)

$$s = \frac{1}{b} = 0,643278$$

Parameter (t_{med})

$$(t_{med}) = e^{-s\alpha} = 549,35053$$

Index of Fit (r)

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

$$= 0,93428$$

4. Distribusi Normal

Tabel Hasil Perhitungan *Indeks of Fit* TBF Distribusi Normal Komponen *Pressing Cope*

i	t _i	x _i = t _i	F(t _i)	Y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	262,0469	262,047	0,12963	-1,128144	-295,62655	68668,57780	1,27271
2	386,4687	386,469	0,31481	-0,482248	-186,37384	149358,05608	0,23256
3	709,1788	709,179	0,50000	0	0,00000	502934,57037	0,00000
4	819,0312	819,031	0,68519	0,4822482	394,97633	670812,10657	0,23256
5	850,5468	850,547	0,87037	1,1281436	959,53897	723429,85899	1,27271
Total		3027,272	2,50000	0,00000	872,51492	2115203,16981	3,01054

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

- Kolom t_i didapat dari data TBF pada Tabel 4.7 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 5
- x_i = t_i
= 262,047
- $$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

= 0,12963
- Sedangkan nilai y_i diperoleh dari konversi nilai F(t_i) ke Tabel Z (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSINV)
- x_i.y_i = = 872,51492
- x_i² = 2115203,16981 , y_i² = 3,01054

Menghitung *gradien* (b), *intersep* (a), standar deviasi (σ), rata-rata kerusakan (μ) dan *index of fit* (r) dari distribusi Normal adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$$b = 0,00309$$

Intersep (a)

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

$$\alpha = -1,87112$$

Standar Deviasi (σ)

$$\sigma = \frac{1}{b} = 323,57903$$

Rata-rata (μ)

$$\mu = -\frac{\alpha}{b} = 605,45448$$

Index of Fit (r)

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

$$= 0,94640$$

Perhitungan Indeks of Fit Time to Repair (TTR) Komponen Gap Knife

1. Distribusi Weibull

Tabel Hasil Perhitungan *Index of Repair* TTR Distribusi *Weibull* Komponen *Gap Knife*

i	t _i	x _i = ln (t _i)	F(t _i)	y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	0,1667	-1,79176	0,06140	-2,758771	4,94305	3,21040	7,61082
2	0,1667	-1,79176	0,14912	-1,823328	3,26696	3,21040	3,32452
3	0,1667	-1,79176	0,23684	-1,308259	2,34408	3,21040	1,71154
4	0,1667	-1,79176	0,32456	-0,935491	1,67618	3,21040	0,87514
5	0,1667	-1,79176	0,41228	-0,632041	1,13247	3,21040	0,39948
6	0,1667	-1,79176	0,50000	-0,366513	0,65670	3,21040	0,13433

7	0,2500	-1,38629	0,58772	-0,120981	0,16772	1,92181	0,01464
8	0,2500	-1,38629	0,67544	0,1180324	-0,16363	1,92181	0,01393
9	0,2500	-1,38629	0,76316	0,3648942	-0,50585	1,92181	0,13315
10	0,3333	-1,09861	0,85088	0,6434238	-0,70687	1,20695	0,41399
11	0,3333	-1,09861	0,93860	1,0261449	-1,12734	1,20695	1,05297
Total		- 17,10666	5,50000	-5,79289	11,68348	27,44175	15,68452

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk $i=1$

a. Kolom t_i didapat dari data TTR pada Tabel 4.9 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan $n = 11$

b. $x_i = \ln(t_i)$

$$= -1,79176$$

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

$$= 0,06140$$

d. $y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] = -1,97446$

e. $x_i \cdot y_i = 4,94305$

f. $x_i^2 = 3,21040$, $y_i^2 = 7,61082$

Menghitung parameter bentuk ($\beta=b$), *intersep* (α), parameter skala (θ), dan *index of fit* (r) dari distribusi *Weibull* adalah sebagai berikut:

Parameter bentuk (β)

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

$$\beta = b = 3,190595$$

***Intersep* (α)**

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

$$\alpha = 4,43523$$

Parameter Skala (θ)

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

$$\theta = 0,24905$$

Index of Fit (r)

$$r_{\text{weibull}} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} = 0,82187$$

2. Distribusi Eksponensial

Tabel Hasil Perhitungan *Index of Repair* TTR Distribusi *Eksponensial* Komponen *Gap Knife*

i	t _i	x _i = t _i	F(t _i)	y _i	x _i ·y _i	x _i ²	y _i ²
1	0,1667	0,167	0,06140	0,06337	0,01056	0,02778	0,00402
2	0,1667	0,167	0,14912	0,16149	0,02691	0,02778	0,02608
3	0,1667	0,167	0,23684	0,27029	0,04505	0,02778	0,07306
4	0,1667	0,167	0,32456	0,39239	0,06540	0,02778	0,15397
5	0,1667	0,167	0,41228	0,53151	0,08858	0,02778	0,28250
6	0,1667	0,167	0,50000	0,69315	0,11552	0,02778	0,48045
7	0,2500	0,250	0,58772	0,88605	0,22151	0,06250	0,78509
8	0,2500	0,250	0,67544	1,12528	0,28132	0,06250	1,26626
9	0,2500	0,250	0,76316	1,44036	0,36009	0,06250	2,07464
10	0,3333	0,333	0,85088	1,90299	0,63433	0,11111	3,62135
11	0,3333	0,333	0,93860	2,79029	0,93010	0,11111	7,78571
Total		2,417	5,50000	10,25716	2,77938	0,57639	16,55312

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

a. Kolom t_i didapat dari data TTR pada Tabel 4.9 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 11

b. x_i = t_i
= 0,167

c. $F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = 0,06140$

d. $y_i = \ln\left(\frac{1}{1 - F(t_i)}\right) = 0,06337$

e. $x_i \cdot y_i = 0,01056$

f. $x_i^2 = 0,02778$, $y_i^2 = 0,00402$

Menghitung *gradien* (b) dan *index of fit* (r) dari distribusi *Ekspensial* adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$\lambda = b = 4,82206$

Index of Fit (r)

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

=0,80310

3. Distribusi Lognormal

Tabel Hasil Perhitungan *Indeks of Repair* TTR Distribusi Lognormal Komponen *Gap Knife*

i	t _i	X _i = ln (t _i)	F(t _i)	y _i	X _i ·y _i	X _i ²	y _i ²
1	0,1667	-1,79176	0,06140	-1,543098	2,76486	3,21040	2,38115
2	0,1667	-1,79176	0,14912	-1,040203	1,86379	3,21040	1,08202
3	0,1667	-1,79176	0,23684	-0,716498	1,28379	3,21040	0,51337
4	0,1667	-1,79176	0,32456	-0,454981	0,81522	3,21040	0,20701
5	0,1667	-1,79176	0,41228	-0,221682	0,39720	3,21040	0,04914
6	0,1667	-1,79176	0,50000	0	0,00000	3,21040	0,00000
7	0,2500	-1,38629	0,58772	0,2216821	-0,30732	1,92181	0,04914
8	0,2500	-1,38629	0,67544	0,4549811	-0,63074	1,92181	0,20701
9	0,2500	-1,38629	0,76316	0,7164975	-0,99328	1,92181	0,51337
10	0,3333	-1,09861	0,85088	1,040203	-1,14278	1,20695	1,08202
11	0,3333	-1,09861	0,93860	1,5430979	-1,69527	1,20695	2,38115

Total	17,10666	5,50000	0,00000	2,35549	27,44175	8,46539
--------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	----------------

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk $i=1$

a. Kolom t_i didapat dari data TTR pada Tabel 4.9 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan $n = 11$

b. $x_i = \ln(t_i)$
 $= -1,79176$

c. $F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$
 $= 0,06140$

d. Sedangkan nilai y_i diperoleh dari konversi nilai $F(t_i)$ ke Tabel Z (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSINV)

e. $x_i \cdot y_i = 2,76486$

f. $x_i^2 = 3,21040$, $y_i^2 = 2,38115$

Menghitung *gradien* (b), *intersep* (a), standar deviasi (s), parameter (t_{med}) dan *index of fit* (r) dari distribusi Lognormal adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$b = 2,80986$

Intersep (a)

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

$\alpha = 4,36975$

Standar Deviasi (s)

$$s = \frac{1}{b} = 0,35589$$

Parameter (t_{med})

$$(t_{med}) = e^{-sa} = 0,21116$$

Index of Fit (r)

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

$$= 0,88422$$

4. Distribusi Normal

Tabel Hasil Perhitungan *Indeks of Repair* TTR Distribusi Normal Komponen *Gap Knife*

i	t _i	x _i = t _i	F(t _i)	y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	0,1667	0,167	0,06140	-1,543098	-0,25718	0,02778	2,38115
2	0,1667	0,167	0,14912	-1,040203	-0,17337	0,02778	1,08202
3	0,1667	0,167	0,23684	-0,716498	-0,11942	0,02778	0,51337
4	0,1667	0,167	0,32456	-0,454981	-0,07583	0,02778	0,20701
5	0,1667	0,167	0,41228	-0,221682	-0,03695	0,02778	0,04914
6	0,1667	0,167	0,50000	0	0,00000	0,02778	0,00000
7	0,2500	0,250	0,58772	0,2216821	0,05542	0,06250	0,04914
8	0,2500	0,250	0,67544	0,4549811	0,11375	0,06250	0,20701
9	0,2500	0,250	0,76316	0,7164975	0,17912	0,06250	0,51337
10	0,3333	0,333	0,85088	1,040203	0,34673	0,11111	1,08202
11	0,3333	0,333	0,93860	1,5430979	0,51437	0,11111	2,38115
Total		2,417	5,50000	0,00000	0,54665	0,57639	8,46539

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

- Kolom t_i didapat dari data TTR pada Tabel 4.9 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 10
- x_i = t_i
= 0,167

$$\begin{aligned} \text{c. } F(t_i) &= \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \\ &= 0,06140 \end{aligned}$$

d. Sedangkan nilai y_i diperoleh dari konversi nilai $F(t_i)$ ke Tabel Z (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSINV)

$$\text{e. } x_i, y_i = -0,25718$$

$$\text{f. } x_i^2 = 0,02778, \quad y_i^2 = 2,38115$$

Menghitung *gradien* (b), *intersep* (a), standar deviasi (σ), rata-rata kerusakan (μ) dan *index of fit* (r) dari distribusi Normal adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$$b = 12,02623$$

Intersep (a)

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

$$\alpha = -2,64213$$

Standar Deviasi (σ)

$$\sigma = \frac{1}{b} = 0,08315$$

Rata-rata (μ)

$$\mu = -\frac{\alpha}{b} = 0,21970$$

Index of Fit (r)

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

$$= 0,88420$$

Perhitungan Indeks of Fit Time to Repair (TTR) Komponen Pressing Cope

1. Distribusi Weibull

Tabel Hasil Perhitungan *Index of Reair* TTR Distribusi *Weibull* Komponen *Gap Knife*

i	t _i	x _i =ln (t _i)	F(t _i)	y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	0,333	-1,09861	0,10938	-2,15562	2,36819	1,20695	4,64668
2	0,333	-1,09861	0,26563	-1,17527	1,29117	1,20695	1,38126
3	0,333	-1,09861	0,42188	-0,60154	0,66086	1,20695	0,36185
4	0,333	-1,09861	0,57813	-0,14729	0,16181	1,20695	0,02169
5	0,333	-1,09861	0,73438	0,28192	-0,30972	1,20695	0,07948
6	0,583	-0,53900	0,89063	0,79434	-0,42814	0,29052	0,63097
Total		-6,03206	3,00000	-3,00346	3,74416	6,32526	7,12194

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

a. Kolom t_i didapat dari data TTR pada Tabel 4.10 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 6

b. $x_i = \ln (t_i)$
 $= -1,09861$

c. $F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = 0,10938$

d. $y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] = - 2,15562$

e. $x_i.y_i = 2,36819$

f. $x_i^2 = 1,20695$, $y_i^2 = 4,64668$

Menghitung parameter bentuk ($\beta = b$), *intersep* (a), parameter skala (θ), dan *index of fit* (r) dari distribusi *Weibull* adalah sebagai berikut:

Parameter bentuk (β)

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

$$\beta = b = 2,77672$$

Intersep (α)

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

$$\alpha = 2,29098$$

Parameter Skala (θ)

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

$$\theta = 0,43821$$

Index of Fit (r)

$$r_{\text{weibull}} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}}$$
$$= 0,59844$$

2. Distribusi Eksponensial

Tabel Hasil Perhitungan *Index of Repair* TTR Distribusi *Eksponensial* Komponen *Pressing Cope*

I	t _i	x _i = t _i	F(t _i)	y _i	x _i ·y _i	x _i ²	y _i ²
1	0,333	0,333	0,10938	0,11583	0,03861	0,11111	0,01342
2	0,333	0,333	0,26563	0,30874	0,10291	0,11111	0,09532
3	0,333	0,333	0,42188	0,54797	0,18266	0,11111	0,30027
4	0,333	0,333	0,57813	0,86305	0,28768	0,11111	0,74485
5	0,333	0,333	0,73438	1,32567	0,44189	0,11111	1,75740
6	0,583	0,583	0,89063	2,21297	1,29090	0,34028	4,89725
Total		2,250	3,00000	5,37422	2,34465	0,89583	7,80850

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk $i=1$

a. Kolom t_i didapat dari data TTR pada Tabel 4.10 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan $n = 6$

b. $x_i = t_i$
 $= 0,333$

c. $F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} = 0,10938$

d. $y_i = \ln\left(\frac{1}{1 - F(t_i)}\right) = 0,11583$

e. $x_i \cdot y_i = 0,03861$

f. $x_i^2 = 0,11111$, $y_i^2 = 0,01342$

Menghitung *gradien* (b) dan *index of fit* (r) dari distribusi *Ekspensial* adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$\lambda = b = 2,61728$

Index of Fit (r)

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

$= 0,58384$

3. Distribusi Lognormal

Tabel Hasil Perhitungan *Indeks of Repair* TTR Distribusi Lognormal Komponen *Gap Knife*

I	t _i	x _i = ln (t _i)	F(t _i)	y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	0,333	-1,09861	0,10938	-1,22986	1,35114	1,20695	1,51255
2	0,333	-1,09861	0,26563	-0,62610	0,68784	1,20695	0,39200
3	0,333	-1,09861	0,42188	-0,19710	0,21654	1,20695	0,03885
4	0,333	-1,09861	0,57813	0,19710	-0,21654	1,20695	0,03885
5	0,333	-1,09861	0,73438	0,62610	-0,68784	1,20695	0,39200
6	0,583	-0,53900	0,89063	1,22986	-0,66289	0,29052	1,51255
Total		-6,03206	3,00000	0,00000	0,68825	6,32526	3,88680

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

- Kolom t_i didapat dari data TTR pada Tabel 4.10 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan n = 6
- x_i = ln (t_i)
= -1,09861
- F(t_i) = $\frac{i - 0,3}{n + 0,4}$
= 0,10938
- Sedangkan nilai y_i diperoleh dari konversi nilai F(t_i) ke Tabel Z (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSINV)
- x_i.y_i = 1,35114
- x_i² = 1,20695 , y_i² = 1,51255

Menghitung *gradien* (b), *intersep* (a), standar deviasi (s), parameter (t_{med}) dan *index of fit* (r) dari distribusi Lognormal adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$$b = 2,63722$$

Intersep (a)

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

$$\alpha = 2,65131$$

Standar Deviasi (s)

$$s = \frac{1}{b} = 0,37919$$

Parameter (t_{med})

$$(t_{med}) = e^{-s\alpha} = 0,36592$$

Index of Fit (r)

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

$$= 0,68330$$

4. Distribusi Normal

Tabel Hasil Perhitungan *Indeks of Repair TTR* Distribusi Normal Komponen *Pressing Cope*

i	t _i	x _i = t _i	F(t _i)	y _i	x _i .y _i	x _i ²	y _i ²
1	0,333	0,333	0,10938	-1,22986	-0,4100	0,1111	1,5126
2	0,333	0,333	0,26563	-0,62610	-0,2087	0,1111	0,3920
3	0,333	0,333	0,42188	-0,19710	-0,0657	0,1111	0,0388
4	0,333	0,333	0,57813	0,19710	0,0657	0,1111	0,0388
5	0,333	0,333	0,73438	0,62610	0,2087	0,1111	0,3920
6	0,583	0,583	0,89063	1,22986	0,7174	0,3403	1,5126
Total		2,250	3,00000	0,00000	0,30746	0,89583	3,88680

(Sumber : Hasil pengolahan data)

Contoh perhitungan untuk i=1

- a. Kolom t_i didapat dari data TTR pada Tabel 4.10 yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar dengan $n = 6$
- b. $x_i = t_i$
 $= 0,333$
- c. $F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$
 $= 0,10938$
- d. Sedangkan nilai y_i diperoleh dari konversi nilai $F(t_i)$ ke Tabel Z (dengan rumus *excel* menggunakan NORMSINV)
- e. $x_i \cdot y_i = -0,4100$
- f. $x_i^2 = 0,1111, y_i^2 = 1,5126$

Menghitung *gradien* (b), *intersep* (a), standar deviasi (σ), rata-rata kerusakan (μ) dan *index of fit* (r) dari distribusi Normal adalah sebagai berikut:

Gradien (b)

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

$$b = 5,90332$$

Intersep (a)

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

$$\alpha = -2,21375$$

Standar Deviasi (σ)

$$\sigma = \frac{1}{b} = 0,16940$$

Rata-rata (μ)

$$\mu = -\frac{\alpha}{b} = 0,37500$$

Index of Fit (r)

Tabel Z (Lanjutan)

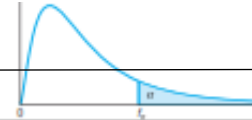
$$r_{\text{normal}} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}}$$

$$= 0,68336$$

Tabel Chi-Squared (Lanjutan)

v	α										
	0.30	0.25	0.20	0.10	0.05	0.025	0.02	0.01	0.005	0.001	
1	Tabel Chi-Squared						2	6.635	7.879	10.827	
2							4	9.210	10.597	13.815	
3	3.000	4.108	4.642	6.251	7.879	9.348	9.837	11.345	12.838	16.266	
4	4.878	5.385	5.989	7.779	9.488	11.143	11.668	13.277	14.860	18.466	
5	6.064	6.626	7.289	9.236	11.070	12.832	13.388	15.086	16.750	20.515	
6	7.231	7.841	8.558	10.645	12.592	14.449	15.033	16.812	18.548	22.457	
7	8.383	9.037	9.803	12.017	14.067	16.013	16.622	18.475	20.278	24.321	
8	9.524	10.219	11.030	13.362	15.507	17.535	18.168	20.090	21.955	26.124	
9	10.656	11.389	12.242	14.684	16.919	19.023	19.679	21.666	23.589	27.877	
10	11.781	12.549	13.442	15.987	18.307	20.483	21.161	23.209	25.188	29.588	
11	12.899	13.701	14.631	17.275	19.675	21.920	22.618	24.725	26.757	31.264	
12	14.011	14.845	15.812	18.549	21.026	23.337	24.054	26.217	28.300	32.909	
13	15.119	15.984	16.985	19.812	22.362	24.736	25.471	27.688	29.819	34.527	
14	16.222	17.117	18.151	21.064	23.685	26.119	26.873	29.141	31.319	36.124	
15	17.322	18.245	19.311	22.307	24.996	27.488	28.259	30.578	32.801	37.698	
16	18.418	19.369	20.465	23.542	26.296	28.845	29.633	32.000	34.267	39.252	
17	19.511	20.489	21.615	24.769	27.587	30.191	30.995	33.409	35.718	40.791	
18	20.601	21.605	22.760	25.989	28.869	31.526	32.346	34.805	37.156	42.312	
19	21.689	22.718	23.900	27.204	30.144	32.852	33.687	36.191	38.582	43.819	
20	22.775	23.828	25.038	28.412	31.410	34.170	35.020	37.566	39.997	45.314	
21	23.858	24.935	26.171	29.615	32.671	35.479	36.343	38.932	41.401	46.796	
22	24.939	26.039	27.301	30.813	33.924	36.781	37.659	40.289	42.796	48.268	
23	26.018	27.141	28.429	32.007	35.172	38.076	38.968	41.638	44.181	49.728	
24	27.096	28.241	29.553	33.196	36.415	39.364	40.270	42.980	45.558	51.179	
25	28.172	29.339	30.675	34.382	37.652	40.646	41.566	44.314	46.928	52.619	
26	29.246	30.435	31.795	35.563	38.885	41.923	42.856	45.642	48.290	54.051	
27	30.319	31.528	32.912	36.741	40.113	43.195	44.140	46.963	49.645	55.475	
28	31.391	32.620	34.027	37.916	41.337	44.461	45.419	48.278	50.994	56.892	
29	32.461	33.711	35.139	39.087	42.557	45.722	46.693	49.588	52.335	58.301	
30	33.530	34.800	36.250	40.256	43.773	46.979	47.962	50.892	53.672	59.702	

Table A.6 Critical Values of the F -Distribution



		$f_{0.05}(v_1, v_2)$								
		v_1								
v_2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	161.45	109.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	

Table A.6 (continued) Critical Values of the F -Distribution

		$f_{0.05}(v_1, v_2)$									
		v_1									
v_2	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	
1	241.88	243.91	245.95	248.01	249.05	250.10	251.14	252.20	253.25	254.31	
2	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50	
3	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53	
4	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63	
5	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36	
6	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67	
7	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23	
8	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93	
9	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71	
10	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54	
11	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40	
12	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30	
13	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21	
14	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13	
15	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07	
16	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01	
17	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96	
18	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92	
19	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88	
20	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84	
21	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81	
22	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78	
23	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76	
24	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73	
25	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71	

Tabel Fungsi Gamma

x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
1.01	.99433	1.51	.88659	2.01	1.00427	2.51	1.33875
1.02	.98884	1.52	.88704	2.02	1.00862	2.52	1.34830
1.03	.98355	1.53	.88757	2.03	1.01306	2.53	1.35798
1.04	.97844	1.54	.88818	2.04	1.01758	2.54	1.36779
1.05	.97350	1.55	.88887	2.05	1.02218	2.55	1.37775
1.06	.96874	1.56	.88964	2.06	1.02687	2.56	1.38784
1.07	.96415	1.57	.89049	2.07	1.03164	2.57	1.39807
1.08	.95973	1.58	.89142	2.08	1.03650	2.58	1.40844
1.09	.95546	1.59	.89243	2.09	1.04145	2.59	1.41896
1.10	.95135	1.60	.89352	2.10	1.04649	2.60	1.42962
1.11	.94740	1.61	.89468	2.11	1.05161	2.61	1.44044
1.12	.94359	1.62	.89592	2.12	1.05682	2.62	1.45140
1.13	.93993	1.63	.89724	2.13	1.06212	2.63	1.46251
1.14	.93642	1.64	.89854	2.14	1.06751	2.64	1.47377
1.15	.93304	1.65	.90012	2.15	1.07300	2.65	1.48519
1.16	.92980	1.66	.90167	2.16	1.07857	2.66	1.49677
1.17	.92670	1.67	.90330	2.17	1.08424	2.67	1.50851
1.18	.92373	1.68	.90500	2.18	1.09000	2.68	1.52040
1.19	.92089	1.69	.90678	2.19	1.09585	2.69	1.53246
1.20	.91817	1.70	.90864	2.20	1.10180	2.70	1.54469
1.21	.91558	1.71	.91057	2.21	1.10785	2.71	1.55708
1.22	.91311	1.72	.91258	2.22	1.11399	2.72	1.56964
1.23	.91075	1.73	.91467	2.23	1.12023	2.73	1.58237
1.24	.90852	1.74	.91683	2.24	1.12657	2.74	1.59528
1.25	.90640	1.75	.91906	2.25	1.13300	2.75	1.60836
1.26	.90440	1.76	.92137	2.26	1.13954	2.76	1.62162
1.27	.90250	1.77	.92376	2.27	1.14618	2.77	1.63506
1.28	.90072	1.78	.92623	2.28	1.15292	2.78	1.64868
1.29	.89904	1.79	.92877	2.29	1.15976	2.79	1.66249
1.30	.89747	1.80	.93138	2.30	1.16671	2.80	1.67649
1.31	.89600	1.81	.93408	2.31	1.17377	2.81	1.69068
1.32	.89464	1.82	.93685	2.32	1.18093	2.82	1.70506
1.33	.89338	1.83	.93969	2.33	1.18819	2.83	1.71963
1.34	.89222	1.84	.94261	2.34	1.19557	2.84	1.73441
1.35	.89115	1.85	.94561	2.35	1.20305	2.85	1.74938
1.36	.89018	1.86	.94869	2.36	1.21065	2.86	1.76456
1.37	.88931	1.87	.95184	2.37	1.21836	2.87	1.77994
1.38	.88854	1.88	.95507	2.38	1.22618	2.88	1.79553
1.39	.88785	1.89	.95838	2.39	1.23412	2.89	1.81134
1.40	.88726	1.90	.96177	2.40	1.24217	2.90	1.82736
1.41	.88676	1.91	.96523	2.41	1.25034	2.91	1.84359
1.42	.88636	1.92	.96877	2.42	1.25863	2.92	1.86005
1.43	.88604	1.93	.97240	2.43	1.26703	2.93	1.87673
1.44	.88581	1.94	.97610	2.44	1.27556	2.94	1.89363
1.45	.88566	1.95	.97988	2.45	1.28421	2.95	1.91077
1.46	.88560	1.96	.98374	2.46	1.29298	2.96	1.92814
1.47	.88563	1.97	.98769	2.47	1.30188	2.97	1.94574
1.48	.88575	1.98	.99171	2.48	1.31091	2.98	1.96358
1.49	.88595	1.99	.99581	2.49	1.32006	2.99	1.98167
1.50	.88623	2.00	1	2.50	1.32934	3.00	2

Critical values for the Kolmogorov-Smirnov Test for goodness of fit

$1 - \alpha$ n	0.9	0.95	0.99
1	0.950	0.975	0.995
2	0.776	0.842	0.929
3	0.636	0.708	0.829
4	0.565	0.624	0.734
5	0.510	0.563	0.669
6	0.468	0.520	0.617
7	0.436	0.483	0.576
8	0.410	0.454	0.542
9	0.387	0.430	0.513
10	0.369	0.409	0.489
11	0.352	0.391	0.468
12	0.338	0.375	0.450
13	0.325	0.361	0.432
14	0.314	0.349	0.418
15	0.304	0.338	0.404
16	0.295	0.327	0.392
17	0.286	0.318	0.381
18	0.279	0.309	0.371
19	0.271	0.301	0.361
20	0.265	0.294	0.352

$1 - \alpha$ n	0.9	0.95	0.99
21	0.259	0.287	0.344
22	0.253	0.281	0.337
23	0.247	0.275	0.330
24	0.242	0.269	0.323
25	0.238	0.264	0.317
26	0.233	0.259	0.311
27	0.229	0.254	0.305
28	0.225	0.250	0.300
29	0.221	0.246	0.295
30	0.218	0.242	0.290
31	0.214	0.238	0.285
32	0.211	0.234	0.281
33	0.208	0.231	0.277
34	0.205	0.227	0.273
35	0.202	0.224	0.269
> 35	$\frac{1.224}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.358}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.628}{\sqrt{n}}$