

**USULAN JADWAL *PREVENTIVE MAINTENANCE* UNTUK PENGGANTIAN
KOMPONEN KRITIS PADA MESIN CNC *MILLING* DENGAN METODE
AGE REPLACEMENT DI PT KREASI PRESISI METALINDO**

TUGAS AKHIR

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

OLEH :

TOMMY SAKTI

NIM 1112084



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

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL TUGAS AKHIR :USULAN JADWAL *PREVENTIVE*
MAINTENANCE UNTUK PENGGANTIAN
KOMPONEN KRITIS PADA MESIN CNC
MILLING DENGAN METODE *AGE*
REPLACEMENT DI PT KREASI PRESISI
METALINDO

DISUSUN OLEH :

NAMA : TOMMY SAKTI

NIM : 1112084

PROGRAM STUDI : Teknik Industri Otomotif

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam Ujian Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta.

Jakarta, Agustus 2016
Dosen Pembimbing

Ir. Moh Rahmatullah, MBA
NIP. 195504071984031004

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Tommy Sakti

Nim : 1112084

Program Studi : Teknik Industri Otomotif

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

“USULAN JADWAL *PREVENTIVE MAINTENANCE* UNTUK PENGGANTIAN KOMPONEN KRITIS PADA MESIN CNC *MILLING* DENGAN METODE *AGE REPLACEMENT* DI PT KREASI PRESISI METALINDO”

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

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

Jakarta, Agustus 2016

Yang Membuat Pernyataan

Tommy Sakti

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I.

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL TUGAS AKHIR :

**“USULAN JADWAL *PREVENTIVE MAINTENANCE* UNTUK
PENGANTIAN KOMPONEN KRITIS PADA MESIN CNC *MILLING*
DENGAN METODE *AGE REPLACEMENT* DI PT KREASI PRESISI
METALINDO”**

DISUSUN OLEH :

NAMA : TOMMY SAKTI

NIM : 1112084

PROGRAM STUDI : D-IV TEKNIK INDUSTRI OTOMOTIF

Telah Diuji oleh Tim Penguji Sidang Ujian Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta
Kementerian Perindustrian R.I. pada Hari Kamis 27 Oktober 2016.

Jakarta, November 2016

Dosen Penguji 1,

Dosen Penguji 2,

Irma Agustiningsih I, S.ST, M.T
NIP: 197208012003122002

Muhamad Agus, S.T, M.T
NIP: 197008292002121001

Dosen Penguji 3,

Dosen Penguji 4,

Dewi Auditya Marizka, S.T, M.T
NIP: 197503182001122003

Ir. Moh. Rahmatullah, MBA
NIP : 195504071984031004

KATA PENGANTAR

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

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada kedua orang tua, adik, dan saudara-saudara penulis atas semua dukungan dan doa selama penyusunan tugas akhir ini. Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan terutama kepada :

- Bapak Dr. Mustofa, ST, MT selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
- Bapak Ridzky Kramanandita, S.Kom, MT selaku Pembantu Direktur 1 Politeknik STMI Jakarta.
- Bapak Muhamad Agus, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Otomotif.
- Bapak Ir. Moh. Rahmatullah, MBA selaku Dosen Pembimbing, yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan petunjuk serta saran-saran dalam penelitian ini, dan selaku dosen pembimbing akademik.
- Seluruh dosen di Politeknik STMI Jakarta yang telah memberikan ilmu-ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
- Bapak Susilo Raharjo selaku Komisaris dan Bapak Amirullah selaku Direktur PT Kreasi Presisi Metalindo yang telah menyediakan tempat untuk melakukan Praktik Kerja Lapangan.

- Bapak Wagiantoro selaku Pembimbing Kerja Lapangan yang telah menjadi pembimbing dan motivator selama penyusun melakukan Tugas Akhir di PT Kreasi Presisi Metalindo.
- Seluruh karyawan PT Kreasi Presisi Metalindo yang telah memberikan informasi-informasi yang dibutuhkan dalam pelaksanaan Tugas Akhir.
- Seluruh teman-teman di Politeknik STMI Jakarta, yaitu Tri Angga Perkasa, Septian Eko Pambudi, Yunita Endah, Roro Ayu Andani, Nindia Aneksi, Muhamad Trimulya Taramdana, Wahyudi Khoirul Ikhsan, Gigih Herlambang, Ulul Azmi, Afgani Darmawan, Mia Herawati, Ayu Wulandari, Sapti Winarti, Aprilia Purcha, Tabattia Dwi, teman-teman TMI 3, teman-teman angkatan 2012 atas kebersamaan, kebahagiaan, semangat, doa, dan dukungannya.
- Teman-teman pengurus Permata GBKP DELA, yaitu Andreas Ginting, Selly Anita Sembiring, Elinda Sembiring, Putri Barus, Efraimon Perangin angin, Yemima Tadenta Sebayang, Christian Pratama Sembiring, Erika Sebayang, Branz Santa Ginting, dan Angel Sembiring, serta teman-teman Permata lainnya atas kebersamaan, semangat, doa, dan dukungannya.

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

Jakarta, Agustus 2016

Penulis

ABSTRAK

Kelancaran proses produksi dipengaruhi oleh keandalan dan ketersediaan mesin atau alat penunjang proses produksi yang dipergunakan. Mesin atau alat penunjang proses produksi yang tidak beroperasi dengan normal akibat kerusakan dapat menyebabkan terjadinya *downtime*, sehingga mengganggu jalannya proses produksi yang telah direncanakan. PT Kreasi Presisi Metalindo merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pembuatan komponen-komponen alat berat. Salah satu produk yang dibuat adalah *plate*. Pada proses pembuatan *plate* mesin yang digunakan adalah mesin CNC *milling*. Perawatan penggantian komponen mesin CNC *milling* yang diterapkan pada perusahaan ini masih bersifat *corrective* (komponen diganti bila benar-benar terjadi kerusakan). Oleh karena itu, diperlukan suatu metode dalam *preventive maintenance* untuk menanggulangi hal tersebut. Berdasarkan data waktu kerusakan mesin CNC *milling* terbesar bulan Januari 2014–Desember 2015 ini diperoleh 3 komponen kritis, yaitu *hydraulic hose* dengan persentase 15,35%, *bearing* dengan persentase 34,77%, dan *auto tool change* dengan persentase 39,09%. Metode *Age Replacement* dapat digunakan untuk menekan terjadinya kerusakan pada komponen kritis mesin CNC *milling* dengan cara menentukan waktu penggantian komponen kritis yang paling efektif berdasarkan umur optimal komponen. Dari hasil pengolahan data, analisis, dan pembahasan yang dilakukan diperoleh interval waktu penggantian untuk pencegahan komponen *hydraulic hose* 55 hari dengan minimum *downtime* 0,00157336 jam, komponen *bearing* 121 hari 6 jam dengan minimum *downtime* 0,00314166 jam, dan komponen *auto tool change* 99 hari dengan minimum *downtime* 0,00414880 jam.

Kata Kunci : *Preventive Maintenance*, Komponen Kritis, *Age Replacement*, Minimum *Downtime*.

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL

LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

LEMBAR PENGESAHAN SIDANG

ABSTRAK

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Pemeliharaan	6
2.1.1 Definisi Pemeliharaan	6
2.1.2 Tujuan Pemeliharaan.....	7
2.1.3 Keuntungan Adanya Pemeliharaan	8
2.1.4 Tugas-Tugas Pemeliharaan	9
2.2 Jenis-jenis Pemeliharaan	11
2.2.1 <i>Preventive Maintenance</i>	12

2.2.2	<i>Corrective Maintenance</i>	16
2.3	Konsep-Konsep Pemeliharaan	17
2.3.1	Konsep keandalan	17
2.3.2	Ketersediaan.....	19
2.3.3	Keterawatan.....	20
2.4	Fungsi Kerusakan.....	20
2.4.1	Fungsi Kepadatan Probabilitas.....	20
2.4.2	Fungsi Distribusi Kumulatif.....	21
2.4.3	Fungsi Keandalan.....	21
2.4.4	Fungsi laju Kerusakan.....	22
2.5	Distribusi Kerusakan.....	22
2.5.1	Distribusi Weibull	23
2.5.2	Distribusi Eksponensial.....	25
2.5.3	Distribusi Normal.....	25
2.5.4	Distribusi Lognormal	26
2.6	Identifikasi Distribusi Kerusakan.....	29
2.6.1	<i>Index of Fit</i>	28
2.6.2	Uji Keselarasan Disribusi.....	31
2.6.3	Penentuan Estimasi Parameter dengan Metode Penaksiran Kemungkinan Maksimum	33
2.7	<i>Mean Time To Failure</i> dan <i>Mean Time To Repair</i>	35
2.8	<i>Downtime</i>	35
2.9	Model Penentuan Interval Waktu Penggantian dengan Kriteria Minimasi <i>Downtime</i>	37
2.10	Nilai keandalan (<i>Reliabilty</i>) Sebelum dan Sesudah Perawatan	39
2.11	Diagram Pareto.....	40

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1	Pengumpulan Data	51
4.1.1	Sejarah Perusahaan.....	51
4.1.2	Visi dan Misi Perusahaan.....	52
4.1.3	Lokasi dan Tata Letak Pabrik	53
4.1.4	Struktur Organisasi Perusahaan dan Uraian jabatan	53
4.1.5	Tenaga kerja dan Jam Kerja.....	58
4.1.6	Prosedur Produksi	59
4.1.7	Jenis-jenis Produk	60
4.1.8	Proses Produksi	61
4.1.9	Mesin CNC <i>Milling</i>	62
4.2	Pengolahan Data.....	63
4.2.1	Penentuan Komponen Kritis Mesin CNC <i>Milling</i> .	63
4.2.2	Perhitungan Selang Waktu Antar kerusakan dan Selang Waktu Antar Perbaikan Komponen Kritis .	66

4.2.3	Perhitungan <i>Index of Fit</i> TTF dan TTR Komponen Kritis.....	69
4.2.4	Pemilihan <i>Index of Fit</i> Distribusi TTF dan TTR Komponen Kritis.....	83
4.2.5	Pengujian Keselarasan Distribusi Terpilih.....	85
4.2.6	Perhitungan Estimasi Parameter Setiap Distribusi Terpilih.....	87
4.2.7	Perhitungan <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF).....	97
4.2.8	Perhitungan <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR)	98
4.2.9	Perhitungan Interval waktu Penggantian Pencegahan Komponen Kritis dengan Metode <i>Age Replacement</i>	99
4.2.10	Perhitungan dan Perbandingan Keandalan (<i>Reliability</i>) Sebelum dan Sesudah Pemeliharaan Pencegahan.....	106

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN MASALAH

5.1	Analisis Penentuan Komponen Kritis	112
5.2	Analisis Perhitungan Selang Waktu Antar Kerusakan dan Selang waktu Antar Perbaikan Komponen Kritis	112
5.3	Analisis Pemilihan Distribusi Kerusakan Komponen Kritis	113
5.4	Analisis Pengujian Keselarasan Distribusi Terpilih.....	114
5.5	Analisis Estimasi Parameter.....	115
5.6	Analisis <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF).....	118
5.7	Analisis <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR).....	119
5.8	Analisis Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Kritis	120
5.9	Analisis Tingkat Keandalan Komponen Kritis Sebelum dan Sesudah Penggantian Pencegahan	121
5.10	Penjadwalan Pemeliharaan.....	123

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan125

6.2 Saran.....126

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai Parameter β	24
Tabel 4.1	Jumlah Karyawan PT Kreasi Presisi Metalindo.....	59
Tabel 4.2	Jam Kerja PT kreasi Presisi Metalindo	59
Tabel 4.3	Jenis-Jenis Produk <i>Plate</i>	60
Tabel 4.4	Frekuensi Kerusakan Komponen Mesin CNC <i>Milling</i>	64
Tabel 4.5	Persentase Waktu Kerusakan Komponen Kritis Mesin CNC <i>Milling</i>	65
Tabel 4.6	Penentuan Komponen Kritis Mesin CNC <i>Milling</i>	65
Tabel 4.7	Data Perhitungan TTF dan TTR Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	67
Tabel 4.8	Data Perhitungan TTF dan TTR Komponen <i>Bearing</i>	68
Tabel 4.9	Data Perhitungan TTF dan TTR Komponen <i>Auto Tool Change</i> ...	68
Tabel 4.10	Perhitungan Iof Distribusi Weibull TTF Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	69
Tabel 4.11	Perhitungan Iof Distribusi Normal TTF Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	71
Tabel 4.12	Perhitungan Iof Distribusi Lognormal TTF Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	73
Tabel 4.13	Perhitungan Iof Distribusi Eksponensial TTF Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	75
Tabel 4.14	Perhitungan Iof Distribusi Weibull TTR Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	76
Tabel 4.15	Perhitungan Iof Distribusi Normal TTR Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	78
Tabel 4.16	Perhitungan Iof Distribusi Lognormal TTR Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	80
Tabel 4.17	Perhitungan Iof Distribusi Eksponensial TTR Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	82
Tabel 4.18	Nilai Iof TTF dan TTR Komponen <i>Hydarulic Hose</i>	84
Tabel 4.19	Nilai IoF TTF dan TTR Komponen <i>Bearing</i>	84

Tabel 4.20	Nilai Iof TTF dan TTR Komponen <i>Auto Tool Change</i>	84
Tabel 4.21	Perhitungan Uji Keselarasan TTF Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	85
Tabel 4.22	Perhitungan Uji Keselarasan TTR Komponen <i>Hydraulic Hose</i> ...	86
Tabel 4.23	Perhitungan MLE TTF Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	88
Tabel 4.24	Nilai Parameter Komponen <i>Hydraulic Hose</i> (TTF).....	88
Tabel 4.25	Nilai laju Kerusakan Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	89
Tabel 4.26	Perhitungan MLE TTR Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	90
Tabel 4.27	Nilai Parameter Komponen <i>Hydraulic Hose</i> (TTR)	91
Tabel 4.28	Perhitungan MLE TTF Komponen <i>Bearing</i>	91
Tabel 4.29	Nilai Parameter Komponen <i>Bearing</i> (TTF)	92
Tabel 4.30	Nilai laju Kerusakan Komponen <i>Bearing</i>	92
Tabel 4.31	Perhitungan MLE TTR Komponen <i>Bearing</i>	93
Tabel 4.32	Nilai Parameter Komponen <i>Bearing</i> (TTR).....	94
Tabel 4.33	Perhitungan MLE TTF Komponen <i>Auto Tool Change</i>	94
Tabel 4.34	Nilai Parameter Komponen <i>Auto Tool Change</i> (TTF).....	95
Tabel 4.35	Nilai laju Kerusakan Komponen <i>Auto Tool Change</i>	96
Tabel 4.36	Perhitungan MLE TTR Komponen <i>Auto Tool Change</i>	96
Tabel 4.37	Nilai Parameter Komponen <i>Auto Tool Change</i> (TTR)	97
Tabel 4.38	Perhitungan Interval waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	100
Tabel 4.39	Perhitungan Interval waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Bearing</i>	102
Tabel 4.40	Perhitungan Interval waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Auto Tool Change</i>	104
Tabel 4.41	Waktu Penjadwalan Komponen Kritis.....	105
Tabel 4.42	Perhitungan Keandalan Komponen <i>Hydarulic Hose</i>	106
Tabel 4.43	Perhitungan Keandalan Komponen <i>Bearing</i>	108
Tabel 4.44	Perhitungan Keandalan Komponen <i>Auto Tool Change</i>	110
Tabel 5.1	Ringkasan Perhitungan <i>Index of Fit</i> Komponen Kritis	113
Tabel 5.2	Ringkasan Hasil Penaksiran Parameter.....	116

Tabel 5.3	Ringkasan Hasil Perhitungan MTTF Komponen Kritis	119
Tabel 5.4	Ringkasan Hasil Perhitungan MTTR Komponen Kritis	119
Tabel 5.5	Jadwal Pemeliharaan pencegahan Komponen <i>Hydraulic Hose</i> ...	123
Tabel 5.6	Jadwal Pemeliharaan pencegahan Komponen <i>Bearing</i>	124
Tabel 5.7	Jadwal Pemeliharaan pencegahan Komponen <i>Auto Tool Change</i>	124

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Bathtub curve</i>	19
Gambar 2.2	Kurva Fungsi kepadatan Probabilitas	22
Gambar 2.3	Konsep <i>Downtime</i>	36
Gambar 2.4	Model Penggantian Umur	38
Gambar 2.5	Diagram Pareto.....	41
Gambar 3.1	Kerangka Penelitian	50
Gambar 4.1	Struktur Organisasi PT Kreasi Presisi Metalindo	54
Gambar 4.2	Produk Plate	61
Gambar 4.3	Mesin CNC <i>Milling</i>	63
Gambar 4.4	Diagram Pareto Komponen Kritis.....	66
Gambar 4.5	Grafik Keandalan Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	107
Gambar 4.6	Grafik Keandalan Komponen <i>Bearing</i>	109
Gambar 4.7	Grafik Keandalan Komponen <i>Auto Tool Change</i>	111
Gambar 5.1	Laju Kerusakan Komponen <i>Hydraulic Hose</i>	116
Gambar 5.2	Laju Kerusakan Komponen <i>Bearing</i>	117
Gambar 5.3	Laju Kerusakan Komponen <i>Auto Tool Change</i>	118

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Tata Letak Pabrik PT Kreasi Presisi Metalindo
- Lampiran B Data *Breakdown Time* Mesin CNC *Milling* di PT Kreasi Presisi Metalindo
- Lampiran C Lampiran Perhitungan *Index of Fit* dan pengujian keselarasan
- Lampiran D Gambar Komponen yang Mengalami Kerusakan Pada Mesin CNC *Milling*
- Lampiran E Tabel-Tabel Distribusi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada era globalisasi saat ini, dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat akan mendorong persaingan antar perusahaan sejenis semakin ketat. Hal ini dirasakan oleh seluruh perusahaan, dimana kegiatan memproduksi suatu produk yang sesuai dengan keinginan konsumen semakin mudah dan cepat untuk dilakukan, sehingga memacu setiap perusahaan untuk berlomba-lomba memenuhi permintaan konsumen secepat mungkin dengan tetap memperhatikan kualitas produk yang dihasilkan. Dalam rangka menjaga kuantitas dan kualitas produknya, perusahaan mengupayakan agar seluruh kegiatan produksi dapat berjalan dengan lancar. Kelancaran proses produksi dipengaruhi oleh keandalan dan ketersediaan mesin atau alat penunjang proses produksi yang dipergunakan. Mesin atau alat penunjang proses produksi yang tidak beroperasi dengan normal akibat kerusakan dapat menyebabkan terjadinya *downtime*, sehingga mengganggu jalannya proses produksi yang telah direncanakan.

Cara yang tepat untuk mengatasi hal tersebut adalah diperlukan suatu pemeliharaan. Pemeliharaan (*maintenance*) dapat diartikan sebagai kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas/peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian/ penggantian yang diperlukan supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Pemeliharaan tersebut harus bersifat pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*). Pemeliharaan pencegahan merupakan kegiatan pemeriksaan dan pengamatan secara berkala terhadap performansi sistem dan telah direncanakan terlebih dahulu dalam jangka waktu tertentu untuk memperpanjang kemampuan berfungsinya suatu peralatan. Tujuan utama dari kegiatan ini adalah untuk menjaga mesin agar dalam keadaan siap pakai ketika diperlukan dan memperpanjang umur ekonomis mesin. Oleh karena itu, perusahaan harus menerapkan sistem pemeliharaan (*maintenance*) yaitu pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) pada mesin-mesin produksinya.

PT Kreasi Presisi Metalindo merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pembuatan komponen-komponen alat berat. Salah satu produk yang dibuat adalah *plate*. Pada proses pembuatan *plate* mesin yang digunakan adalah mesin CNC *milling*. PT Kreasi Presisi Metalindo ini hanya memiliki satu mesin CNC *milling* yang berfungsi. Pada perusahaan ini memiliki banyak waktu kerusakan mesin CNC *milling* yang diakibatkan oleh komponen-komponen mesin yang mengalami kerusakan. Terjadinya kerusakan mesin CNC *milling* akibat rusaknya komponen mesin tidak dapat diketahui dengan pasti. Kerusakan ini juga akan berdampak pada rendahnya keandalan setiap komponen mesin. Pada perusahaan ini sistem penggantian komponen mesin yang diterapkan pada perusahaan ini masih *corrective* (komponen diganti bila terjadi kerusakan) yang mengakibatkan adanya pemberhentian proses produksi secara tiba-tiba. Kondisi tersebut

menyebabkan diperlukannya kebijakan pemeliharaan yang baik serta memadai pada saat dibutuhkan. Salah satu bentuk aktivitas pemeliharaan adalah penggantian (*replacement*) komponen yang telah mengalami kerusakan. *Preventive maintenance* merupakan suatu solusi yang dapat dipertimbangkan dalam memperbaiki kinerja mesin yang ada. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode dalam *preventive maintenance* untuk menanggulangi hal tersebut. Metode *Age Replacement* dapat digunakan untuk menekan terjadinya kerusakan pada komponen kritis mesin CNC *Milling* dengan cara menentukan waktu penggantian komponen kritis yang paling efektif, sehingga proses produksi dapat berjalan dengan lancar. Nilai keandalan dari setiap komponen mesin CNC *milling* juga dapat meningkat akibat adanya penggantian komponen mesin yang terjadwal.

1.2 Perumusan Masalah

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

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

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang dapat diambil berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

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

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 di PT Kreasi Presisi Metalindo *Plant Cikarang*.

2. Penelitian ini dilakukan pada mesin produksi yaitu CNC *milling*.
3. Data yang diambil adalah data kerusakan komponen mesin CNC *milling* periode Januari 2014-Desember 2015.
4. Biaya pemeliharaan mesin atau peralatan tidak diperhitungkan.

1.5 Manfaat Penelitian

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

1. Pihak perusahaan

Untuk membantu perusahaan membuat perencanaan dalam menentukan waktu *preventif maintenance* melakukan penggantian komponen kritis yang optimal agar dapat menekan frekuensi kerusakan, dan dapat diterapkan pada PT Kreasi Presisi Metalindo 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 yang digunakan sebagai landasan teori dalam menyusun tugas akhir ini.

BAB III Metodologi Penelitian

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

BAB IV Pengumpulan dan Pengolahan Data

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

BAB V Analisis dan Pembahasan

Bab ini berisikan analisis dan pembahasan dari hasil yang diperoleh dari pengumpulan dan pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

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

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pemeliharaan

2.1.1 Definisi Pemeliharaan (*Maintenance*)

Pemeliharaan merupakan suatu fungsi dalam suatu perusahaan pabrik yang sama pentingnya dengan fungsi-fungsi lain seperti produksi. Hal ini karena apabila kita mempunyai peralatan atau fasilitas, maka biasanya kita selalu berusaha untuk tetap mempergunakan peralatan atau fasilitas tersebut. Demikian pula halnya dengan perusahaan pabrik, dimana pimpinan perusahaan pabrik tersebut akan selalu berusaha agar fasilitas/peralatan produksinya dapat dipergunakan sehingga kegiatan produksinya dapat berjalan lancar. Dalam usaha untuk menggunakan terus fasilitas tersebut agar kontinuitas produksi dapat terjamin, maka dibutuhkan kegiatan-kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang meliputi kegiatan—kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang meliputi kegiatan pengecekan, meminyaki (*lubrication*) dan perbaikan/repairasi atas kerusakan-kerusakan yang ada serta penyesuaian/penggantian *spare part* atau komponen yang terdapat pada fasilitas tersebut. Semua kegiatan ini sebenarnya merupakan tugas dari bagian. Peranan bagian tidak hanya untuk menjaga agar pabrik dapat tetap bekerja dan produk dapat diproduksi dan diserahkan kepada pelanggan tepat pada waktunya, akan tetapi untuk menjaga agar pabrik dapat bekerja secara efisien dengan menekan/mengurangi kemacetan-kemacetan menjadi sekecil mungkin. Jadi bagian mempunyai peranan yang sangat menentukan dalam kegiatan produksi dari suatu perusahaan pabrik yang menyangkut kelancaran atau kemacetan produksi, kelambatan dan volume produksi serta efisiensi berproduksi.

Dalam masalah pemeliharaan ini perlu diperhatikan bahwa sering terlihat dalam suatu perusahaan kurang diperhatikannya bidang pemeliharaan (*maintenance*) ini, sehingga terjadilah kegiatan pemeliharaan yang tidak teratur. Peranan yang penting dari kegiatan baru diingat setelah mesin-mesin yang dimiliki rusak dan tidak dapat berjalan sama sekali. Hendaknya kegiatan harus

menjamin bahwa selama proses produksi berlangsung, tidak akan terjadi kemacetan-kemacetan yang disebabkan oleh mesin atau fasilitas produksi.

Setelah membicarakan mengenai peranan pemeliharaan, maka perlulah diketahui apa yang dimaksudkan dengan pemeliharaan (*maintenance*) tersebut. pemeliharaan (*maintenance*) dapat diartikan sebagai kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas/peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian/ penggantian yang diperlukan supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Jadi dengan adanya kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) ini maka fasilitas/peralatan tersebut dipergunakan untuk proses produksi datau sebelum jangka waktu yang direncanakan tercapai. Sehingga dapatlah diharapkan proses produksi dapat berjalan lancar dan terjamin, karena kemungkinan-kemungkinan kemacetan yang disebabkan tidak baiknya beberapa fasilitas atau peralatan produksi telah dihilangkan atau dikurangi (Assauri, 2008). Sedangkan menurut Dhillon (1997), pemeliharaan adalah semua tindakan yang penting dengan tujuan untuk menghasilkan produk yang baik atau untuk mengembalikan kedalam keadaan yang memuaskan.

2.1.2 Tujuan Pemeliharaan (*Maintenance*)

Tujuan pemeliharaan menurut Assauri (2008) adalah sebagai berikut:

1. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
3. Membantu mengurangi pemakaian atau penyimpanan diluar batas serta menjaga modal yang ditanamkan selama waktu yang ditentukan.
4. Mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) secara efektif dan efisien keseluruhan.
5. Menghindari kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja

6. Mengadakan suatu kerja sama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan, yaitu tingkat keuntungan (*return of investment*) yang sebaik mungkin dan total biaya yang terendah.

Menurut Corder (1996), dalam bukunya Teknik manajemen Pemeliharaan tujuan pemeliharaan/perawatan yang utama dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. Memperpanjang kegunaan aset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya).
2. Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa untuk mendapatkan laba investasi semaksimal mungkin.
3. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu.
4. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

2.1.3 Keuntungan Adanya Pemeliharaan

Adapun beberapa keuntungan yang akan diperoleh dengan adanya pemeliharaan yang baik dari mesin dan peralatan produksi antara lain sebagai berikut (Ahyari,1987):

1. Mesin dan peralatan produksi (fasilitas produksi) yang ada di dalam perusahaan yang bersangkutan akan dapat dipergunakan di dalam jangka waktu yang relatif lebih panjang.
2. Pelaksanaan proses produksi di dalam perusahaan yang bersangkutan akan berjalan dengan lancar.
3. Dapat menghindari diri, atau setidaknya tidaknya dapat menekan menjadi sekecil mungkin dari terdapatnya kemungkinan kerusakan-kerusakan berat dari mesin dan peralatan produksi yang dipergunakan selama proses produksi berjalan.
4. Oleh karena mesin dan peralatan produksi yang dipergunakan dalam perusahaan dapat berjalan dengan stabil dan baik, maka pengendalian proses dan pengendalian kualitas proses dalam perusahaan tersebut akan dapat dilaksanakan dengan lebih baik pula.

5. Dapat mencegah terjadinya kerusakan-kerusakan total dari mesin dan peralatan produksi yang digunakan, maka berarti perusahaan dapat menekan biaya pemeliharaan bagi mesin dan peralatan tersebut.
6. Apabila mesin dan peralatan produksi berjalan dengan baik, maka penyerapan bahan baku juga dapat berjalan dengan normal pula.
7. Dengan adanya kelancaran penggunaan mesin dan peralatan produksi yang ada di dalam perusahaan, maka pembebanan mesin dan peralatan produksi yang ada akan menjadi semakin baik.

2.1.4 Tugas-Tugas Pemeliharaan

Menurut Assauri (2008) semua tugas atau kegiatan pemeliharaan dapat digolongkan ke dalam salah satu dari lima tugas pokok yang berikut:

1. Inspeksi (*inspection*)

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

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

mengambil keputusan, apakah mesin atau peralatan tersebut perlu diganti atau tidak.

2. Kegiatan teknik (*Engineering*)

Kegiatan teknik meliputi kegiatan percobaan atas peralatan yang baru dibeli, dan kegiatan-kegiatan pengembangan peralatan atau komponen peralatan yang perlu diganti, serta melakukan penelitian-penelitian terhadap kemungkinan pengembangan tersebut. Dalam kegiatan inilah dilihat kemampuan untuk mengadakan perubahan-perubahan dan perbaikan-perbaikan bagi perluasan dan kemajuan dari pembangunan dan peralatan pabrik. Oleh karena itu kegiatan teknik ini sangat diperlukan terutama apabila dalam perbaikan mesin-mesin yang rusak tidak diperoleh/didapatkan komponen yang sama dengan yang dibutuhkan. Dalam hal ini perlu diadakan perubahan-perubahan atau perbaikan-perbaikan tertentu terhadap komponen dan mesin-mesin yang bersangkutan, agar mesin tersebut dapat bekerja kembali.

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

3. Kegiatan produksi

Kegiatan produksi ini merupakan kegiatan pemeliharaan yang sebenarnya, yaitu memperbaiki dan mereparasi mesin-mesin dan peralatan. Secara fisik, melaksanakan pekerjaan yang disarankan atau diusulkan dalam kegiatan inspeksi dan teknik (*engineering*), melaksanakan kegiatan pelayanan (*service*) dan peminyakan (*lubrication*). Kegiatan produksi ini dimaksudkan agar kegiatan pengolahan pada pabrik dapat berjalan lancar

sesuai dengan rencana, dan untuk ini diperlukan usaha-usaha perbaikan segera jika terdapat kerusakan pada peralatan.

4. Pekerjaan administrasi (*clerical work*)

Pekerjaan administrasi ini merupakan kegiatan yang berhubungan dengan pencatatan-pencatatan mengenai biaya-biaya yang terjadi dalam melakukan pekerjaan-pekerjaan pemeliharaan dan biaya-biaya yang berhubungan dengan kegiatan pemeliharaan, komponen atau *spareparts* yang dibutuhkan, *progress report* tentang apa yang telah dikerjakan, waktu dilakukannya inspeksi dan perbaikan, serta selamanya perbaikan tersebut, dan komponen atau *spareparts* yang tersedia di bagian pemeliharaan. Jadi dalam kegiatan pencatatan ini termasuk penyusunan *planning* dan *scheduling*, yaitu rencana kapan suatu mesin harus dicek atau diperiksa, diminyaki/ di *service* dan direparasi.

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

5. Pemeliharaan bangunan (*House keeping*)

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

2.2 Jenis-Jenis Pemeliharaan

Kegiatan pemeliharaan didalam perusahaan dimulai dari pemeliharaan yang ringan sampai kepada perbaikan-perbaikan yang cukup berat. Namun demikian, pada dasarnya kegiatan pemeliharaan ini merupakan kegiatan yang saling berkaitan dengan pelaksanaan proses produksi itu sendiri, sehingga antara pemeliharaan yang dilakukan dengan pelaksanaan proses produksi tidak dapat dipisahkan.

Jenis-jenis pemeliharaan ini semuanya perlu dilakukan dalam perusahaan atau pabrik, namun waktu dan jadwalnya berbeda-beda tergantung kepada kebutuhan pemeliharaan yang ada dalam perusahaan atau pabrik yang bersangkutan (Ahyari,1987). Menurut Corder (1996) dilihat dari segi pelaksanaan pekerja, pemeliharaan dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Pemeliharaan Terencana (*Planned Maintenance*)

Pemeliharaan terencana dibagi menjadi dua aktivitas, yaitu pemeliharaan pencegahan dan pemeliharaan perbaikan.

2. Pemeliharaan Tak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

Pemeliharaan tak terencana hanya ada satu jenis, yaitu pemeliharaan darurat (*Emergency Maintenance*).

Sedangkan menurut Assauri (2008), pemeliharaan dibagi menjadi dua, yaitu pemeliharaan pencegahan (*Preventive Maintenance*) dan pemeliharaan perbaikan (*Corrective Maintenance*). Berikut ini penjelasan mengenai *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*.

2.2.1 Preventive Maintenance

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

1. Kerusakan fasilitas atau peralatan produksi akan membahayakan keselamatan atau kesehatan para pekerja.
2. Kerusakan fasilitas akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan.
3. Kerusakan fasilitas tersebut akan menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi.
4. Modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut cukup besar dan mahal.

Apabila pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) dilaksanakan pada fasilitas-fasilitas atau peralatan yang termaksud dalam “*critical unit*”, maka tugas-tugas pemeliharaan (*maintenance*) dapatlah dilakukan dengan suatu perencanaan yang intensif untuk unit yang bersangkutan, sehingga rencana produksi dapat dicapai dengan jumlah hasil produksi yang lebih besar dalam waktu yang lebih singkat (Assauri, 2008).

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

1. *Routine Preventive Maintenance*

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

2. *Periodic Maintenance*

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

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

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

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

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

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

dilakukan secara terjadwal dan bertujuan untuk mengganti sebuah komponen atau sistem berdasarkan interval waktu tertentu. *On condition maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan .

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

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

1. *Subjective Monitoring*

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

2. *Objective Condition Monitoring*

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

2.2.2 *Corrective Maintenance*

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

2.3 Konsep-Konsep Pemeliharaan

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

2.3.1 Konsep Keandalan (*Reliability*)

Keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas sistem akan memiliki kinerja sesuai fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu (Ebeling, 1997). Definisi lain keandalan adalah probabilitas suatu sistem akan berfungsi secara normal ketika digunakan untuk periode waktu yang diinginkan dalam kondisi operasi yang spesifik (Dhillon, 1997).

Berdasarkan definisi diatas, maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu (Ebeling, 1997):

1. Probabilitas

Setiap elemen dalam suatu sistem akan selalu memiliki umur atau aktual hidup (berfungsi dengan baik) yang berbeda-beda, sehingga terdapat

sekelompok elemen yang memiliki rata-rata hidup tertentu. Probabilitas nilai *reliability* adalah berada antara 0-1. Dimana nilai 0 berarti keandalan sangat rendah dan komponen tidak dapat dipakai, sehingga nilai 1 menunjukkan keandalan yang tinggi.

2. Kemampuan yang diharapkan

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

3. Tujuan yang diinginkan

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

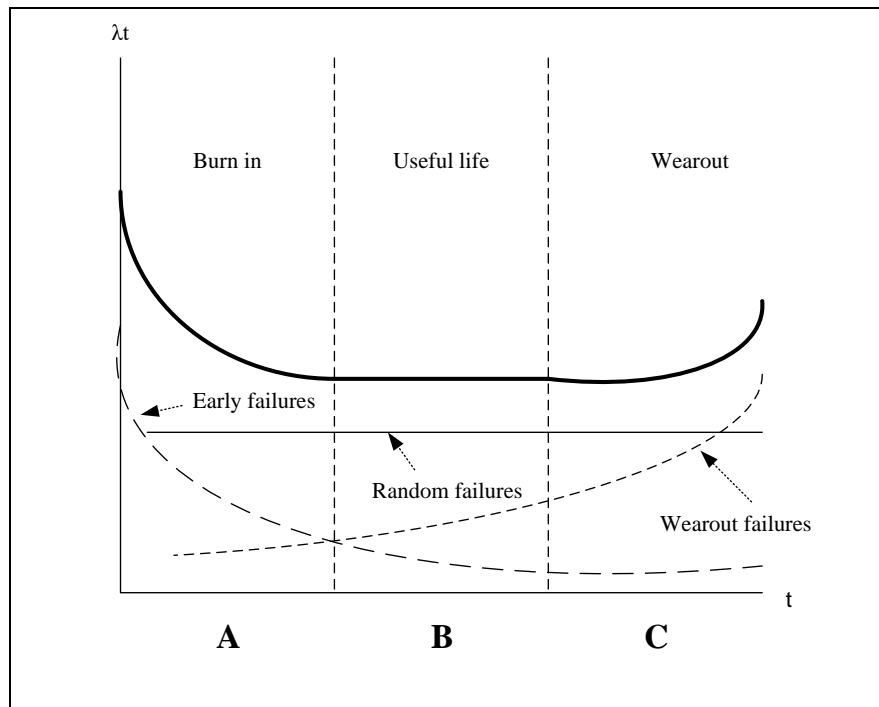
4. Waktu

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

5. Kondisi operasi

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

Menurut pengertian umum, keandalan dapat dikatakan sebagai sebuah patokan atau standar kemampuan dari suatu komponen untuk dapat berfungsi pada kondisi operasi tertentu selama selang waktu tertentu. Pengetahuan mengenai keandalan suatu sistem terlebih dahulu harus memperhatikan laju kerusakan dari suatu sistem. Laju kerusakan suatu sistem umumnya digambarkan dalam *bathtub curve* seperti terlihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 *Bathtub curve*
(Sumber : Ebeling, 1997)

Keterangan gambar *bathtub curve* :

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

2.3.2 Ketersediaan (*Availability*)

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

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

2.3.3 Keterawatan (*Maintainability*)

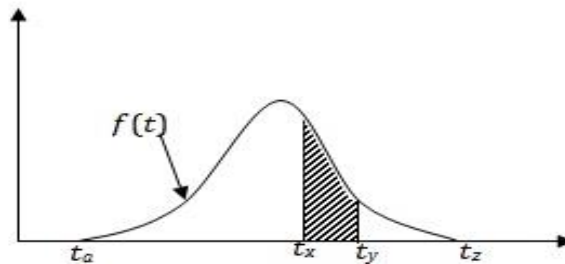
Keterawatan adalah probabilitas bahwa komponen atau sistem yang rusak akan diperbaiki ke dalam suatu kondisi tertentu dalam periode waktu tertentu sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan (Ebeling, 1997). Prosedur perawatan melibatkan perbaikan, ketersediaan sumber daya perawatan (tenaga kerja, suku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

2.4 Fungsi Kerusakan

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

2.4.1 Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

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



Gambar 2.2 Kurva Fungsi Kepadatan Probabilitas
(Sumber : Ebeling, 1997)

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

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

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

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

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

2.4.2 Fungsi Distribusi Kumulatif (*Cummulative Distribution Function*)

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

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

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

2.4.3 Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

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

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

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

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

2.4.4 Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Rate Function*)

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

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

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

2.5 Distribusi Kerusakan

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

2.5.1 Distribusi Weibull

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

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

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas

Merupakan probabilitas terjadinya kerusakan pada setiap satuan waktu.

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

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

2. Fungsi Distribusi Kumulatif

Merupakan probabilitas terjadinya kerusakan sebelum waktu t.

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

3. Fungsi Keandalan

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

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

4. Fungsi Laju Kerusakan

Merupakan gambaran laju kerusakan dalam selang waktu tertentu.

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

Keterangan: F(t): fungsi distribusi kumulatif
 f(t): fungsi kepadatan peluang
 R(t): fungsi keandalan
 $\lambda(t)$: fungsi laju kerusakan
 θ : parameter skala
 β : parameter bentuk
 t: waktu

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

Tabel 2.1 Nilai Parameter β

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

(Sumber: Ebeling, 1997)

Dimana: DFR = *Decreasing Failure Rate*
 CFR = *Constan Failure Rate*
 LFR = *Linier Failure Rate*
 IFR = *Increasing Failure Rate*

2.5.2 Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini

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

1. Fungsi kepadatan probabilitas

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

2. Fungsi Distribusi Kumulatif

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

3. Fungsi Keandalan

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

4. Fungsi Laju Kerusakan

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

Keterangan: F(t): fungsi distribusi kumulatif

f(t): fungsi kepadatan peluang

R(t): fungsi keandalan

$\lambda(t)$: fungsi laju kerusakan

t: waktu

λ : rata-rata kerusakan yang terjadi

2.5.3 Distribusi Normal

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

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas

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

2. Fungsi Distribusi Kumulatif

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

3. Fungsi Keandalan

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

4. Fungsi Laju Kerusakan

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

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

$f(t)$: fungsi kepadatan peluang

$R(t)$: fungsi keandalan

$\lambda(t)$: fungsi laju kerusakan

t : waktu

μ : nilai tengah

σ : standar deviasi

2.5.4 Distribusi Lognormal

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

1. Fungsi kepadatan Probabilitas

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

2. Fungsi Distribusi Kumulatif

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

3. Fungsi Keandalan

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

4. Fungsi Laju Kerusakan:

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

Keterangan: F(t): fungsi distribusi kumulatif

f(t) : fungsi kepadatan peluang

R(t): fungsi keandalan

$\lambda(t)$: fungsi laju kerusakan

t: waktu

t_{med} : parameter lokasi

s: parameter bentuk

2.6 Identifikasi Distribusi Kerusakan

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

2.6.1 *Index of fit*

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

dengan *curve fitting distribution* yang terpilih (*index of fit* terbesar). Perhitungan umum pada metode *least square curve fitting* yaitu:

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

dimana : i = data waktu ke- t

n = Jumlah data yang diamati.

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

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

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

b = kemiringan atau gradiennya.

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

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \text{ untuk distribusi weibull, normal dan lognormal.}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \text{ untuk distribusi eksponensial.}$$

dimana : n adalah jumlah kerusakan yang terjadi

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

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

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

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

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

1. Distribusi Eksponensial

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

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

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

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

t_i = data kerusakan ke-i

n = jumlah data kerusakan

2. Distribusi Weibull

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

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

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

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

$t_i =$ data kerusakan ke-i

$n =$ jumlah data kerusakan

$a =$ intersep

$\beta =$ parameter bentuk

$\theta =$ parameter skala

3. Distribusi Normal

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

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

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

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

$t_i =$ data kerusakan ke-i

$n =$ jumlah data kerusakan

$a =$ intersep

$Z_i =$ indeks dari tabel distribusi normal

$b =$ gradien

$\mu =$ rata-rata

$\sigma =$ standar deviasi

4. Distribusi Lognormal

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

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

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

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

$t_i =$ data kerusakan ke-i

$n =$ jumlah data kerusakan

$a =$ intersep

$Z_i =$ indeks dari tabel distribusi normal

$b =$ gradien

$t_{med} =$ nilai tengah (median)

$s =$ parameter bentuk

2.6.2 Uji Keselarasan Distribusi

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

H_0 : data kerusakan atau perbaikan menghampiri suatu distribusi tertentu.

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

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

1. Uji Bartlett untuk Distribusi Eksponensial

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

H_0 : Data berdistribusi Eksponensial.

H_1 : Data tidak berdistribusi Eksponensial.

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

Keterangan: r = jumlah kerusakan

t_i = data waktu kerusakan ke- i

B = nilai uji statistik untuk *Bartlett test*

H_0 diterima apabila nilai B jatuh dalam wilayah kritis:

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

2. Uji Mann untuk Distribusi Weibull

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

H_0 : Data berdistribusi Weibull.

H_1 : Data tidak berdistribusi Weibull.

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

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

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

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

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

t_i = data waktu kerusakan ke-i.

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

r = jumlah unit yang diamati.

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

3. Uji Kolmogorov-Smirnov untuk Distribusi Normal dan Lognormal

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

H_0 : Data berdistribusi Normal atau Lognormal.

H_1 : Data tidak berdistribusi Normal atau Lognormal.

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

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

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

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

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

\bar{t} = data waktu antar kerusakan.

s = standar deviasi.

n = banyaknya data kerusakan.

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

2.6.3 Penentuan Estimasi Parameter dengan Metode Penaksiran Kemungkinan Maksimum (*Maximum Likelihood Estimator/MLE*)

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

1. Distribusi Weibull

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

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

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

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

Dimana: r = Jumlah Kerusakan

t_i = Data waktu kerusakan ke i

t_s = Waktu kerusakan = 1

n = Jumlah unit yang diamati

2. Distribusi Eksponensial

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

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

Dimana: r = Jumlah kerusakan
 T = Total waktu pengujian

3. Distribusi Normal

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

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

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

Dimana: ti = Data waktu kerusakan ke i
 n = Jumlah unit yang diamati

4. Distribusi Lognormal

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

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

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

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

Dimana: ti = Data waktu kerusakan ke i
 n = Jumlah unit yang diamati
 t_{med} = Nilai tengah data kerusakan

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

MTTF adalah nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan (*expected value*) dari suatu distribusi kerusakan. MTTR adalah nilai tengah dari selang waktu antara perbaikan yang dihitung dari awal kerusakan hingga selesai perbaikan (Ebeling, 1997). Secara umum waktu perbaikan dapat diberlakukan sebagai variabel random karena kejadian yang berulang-ulang dapat mengakibatkan waktu

perbaikan yang berbeda-beda. Cara untuk pengukuran keandalan dan keterawatan yang paling sering digunakan adalah *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR). Berikut ini rumus-rumus untuk menghitung MTTF dan MTTR untuk distribusi Weibull, Eksponensial, Normal, dan Lognormal yang ditunjukkan pada persamaan berikut (Ebeling, 1997):

1. Distribusi Weibull

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

2. Distribusi Eksponensial

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

3. Distribusi Normal

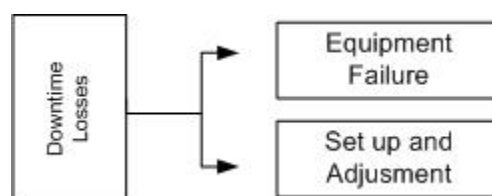
$$MTTF=MTTR=\mu$$

4. Distribusi Lognormal

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

2.8 Downtime

Menurut Nakajima (1988) *downtime* terdiri dari *equipment failure* dan *setup and adjustment*. *Equipment failure* merupakan perbaikan peralatan yang belum dijadwalkan sebelumnya dimana waktu yang terserap oleh kerugian ini terlibat dari seberapa besar waktu yang terbuang akibat kerusakan peralatan/mesin produksi. *Setup and adjustment* merupakan waktu yang terserap untuk pemasangan, penyetelan dan penyesuaian parameter mesin untuk mendapatkan spesifikasi yang diinginkan pada saat pertama kali mulai memproduksi komponen tertentu.



Gambar 2.3 Konsep *Downtime*
(Sumber : Nakajima, 1988)

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

1. *Supply Delay*

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

2. *Maintenance Delay*

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

3. *Access Time*

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

4. *Diagnosis Time*

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

5. *Repair or Replacement Time*

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

6. *Verification and Allingment Time*

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

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

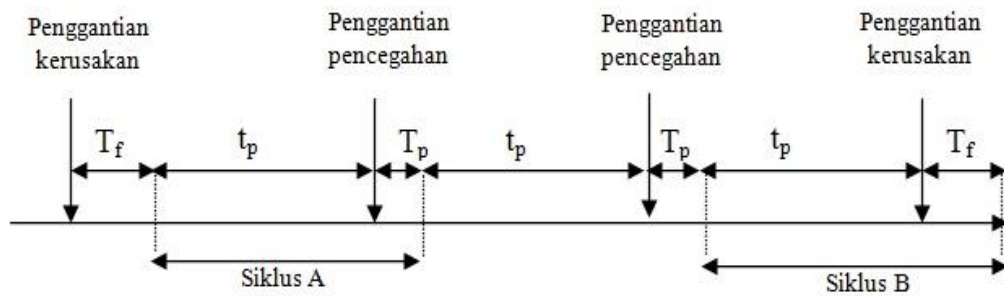
Prinsip pada manajemen pemeliharaan adalah untuk menekan periode kerusakan sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen sistem berdasarkan waktu kerusakan minimum menjadi sangat penting. Tujuan dilakukannya penggantian pencegahan adalah untuk menentukan waktu terbaik

untuk melakukan penggantian pencegahan sehingga dapat meminimasi total waktu kerusakan per unit waktu.

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

2.9.1 Model penggantian umur (*Age Replacement*)

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



Gambar 2.4 Model Penggantian Umur (*Age Replacement*)
(Sumber: Jardine, 2006)

Dari kedua model diatas, dapat terlihat bahwa dari segi efisiensi biaya penggantian, maka akan lebih efisien bila penentuan selang waktu perawatan pencegahan dilakukan dengan model penggantian umur.

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

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

Total ekspektasi *downtime* per siklus (EDS) adalah

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

Ekspektasi panjang siklus kerusakan (EPS)

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

sehingga

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

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

Dimana:

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

T_f = Waktu untuk melakukan perbaikan karena kerusakan.

T_p = Waktu untuk melakukan penggantian pencegahan.

t_p = Panjang interval waktu penggantian.

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

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

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

Tingkat keandalan suatu mesin akan berkurang seiring berjalannya waktu terlebih jika mesin tersebut tidak mendapatkan pemeliharaan pencegahan yang tepat. Model keandalan berikut ini dapat mengurangi efek dari *wearout* dan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap umur hidup sistem dengan mengasumsikan kembali ke kondisi awal setelah dilakukan tindakan perawatan pencegahan.

Bila $R(t)$ adalah keandalan sistem tanpa tindakan perawatan pencegahan, sedangkan T adalah interval waktu antara tindakan pencegahan, dan $R_m(t)$ adalah keandalan sistem kumulatif setelah tindakan perawatan pencegahan, maka:

$$\begin{aligned} R_m(t) &= R(t) && \text{untuk } 0 \leq t < T \\ R_m(t) &= R(T) R(t-T) && \text{untuk } T \leq t < 2T \end{aligned}$$

sehingga didapatkan persamaan secara umum sebagai berikut

$$\begin{aligned} R_m(t) &= R(T)^n \times R(t-nT) && \text{untuk } nT \leq t < (n+1)T \\ n &= 0, 1, 2, \dots \end{aligned}$$

Keterangan:

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

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

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

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

1. Distribusi Weibull

Nilai reliabilitas tanpa perawatan pencegahan:

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

Nilai reliabilitas dengan perawatan pencegahan:

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

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

2. Distribusi Eksponensial

Nilai reliabilitas tanpa perawatan pencegahan:

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

Nilai reliabilitas dengan perawatan pencegahan:

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

3. Distribusi Normal

Nilai reliabilitas tanpa perawatan pencegahan:

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

Nilai reliabilitas dengan perawatan pencegahan:

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

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

4. Distribusi Lognormal

Nilai reliabilitas tanpa perawatan pencegahan:

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

Nilai reliabilitas dengan perawatan pencegahan:

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

2.11 Diagram Pareto

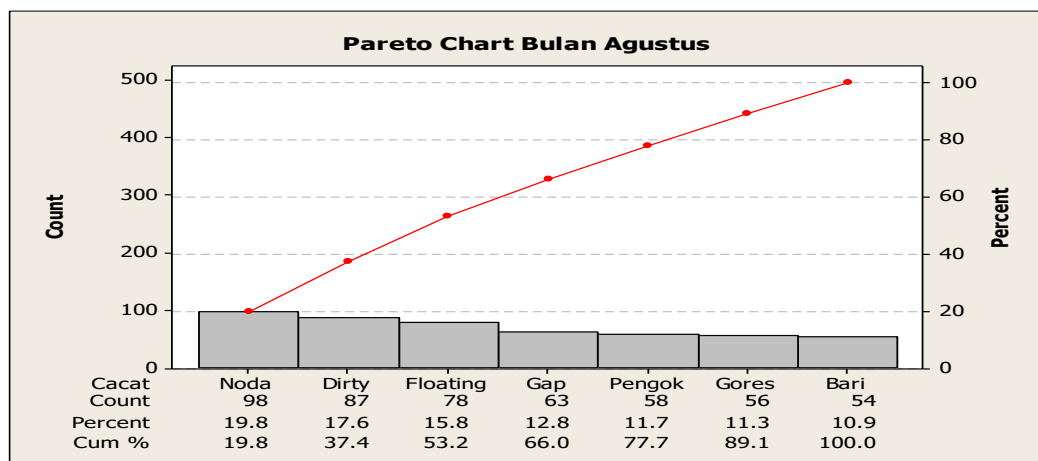
Diagram Pareto diperkenalkan oleh seorang ahli yaitu Alfredo Pareto pada tahun 1848-1923. Diagram ini merupakan suatu grafik yang mengurutkan klasifikasi suatu data dari kiri ke kanan menurut urutan ranking tertinggi sampai terendah. Klasifikasi data yang dimaksud bisa bermacam-macam seperti berdasarkan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

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

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

1. Menunjukkan masalah utama yang dominan dan perlu segera diatasi.
2. Menyatakan perbandingan masing-masing persoalan terhadap keseluruhan.
3. Menunjukkan tingkat perbaikan setelah tindakan perbaikan dilakukan pada daerah yang terbatas.
4. Menunjukkan masing-masing persoalan sebelum dan setelah perbaikan.

Berikut ini adalah contoh dari diagram Pareto:



Gambar 2.5 Diagram Pareto

(Sumber : Wigjosoebroto, 2003)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Setiap menyelesaikan suatu permasalahan dalam penelitian, diperlukan langkah-langkah yang terstruktur dan sistematis agar apa yang menjadi tujuan penelitian dapat tercapai. Oleh karena itu diperlukan suatu metodologi penelitian agar tujuan penelitian dapat tercapai. Metodologi penelitian merupakan suatu cara melakukan sesuatu dengan menggunakan pikiran secara sistematis untuk mengumpulkan, mengolah, dan menyimpulkan data dengan menggunakan metode dan teknik tertentu dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan yang dihadapi. Langkah-langkah yang terstruktur dan sistematis dalam pemecahan masalah ini antara sebagai berikut:

3.1 Jenis Data

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

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh langsung dari sumber data yang diamati dan dikumpulkan melalui *survey* lapangan dengan menggunakan teknik pengumpulan data. Pada penelitian ini tidak menggunakan data primer.

2. Data Sekunder

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

- a. Data jam kerja mesin CNC *milling*.
- b. Data waktu kerusakan mesin CNC *milling*.
- c. Data *history* tentang komponen mesin CNC *milling*.
- d. Sejarah perusahaan.
- e. Visi dan misi perusahaan.

- f. Struktur organisasi dan uraian jabatan.
- g. Tenaga kerja dan jam kerja.
- h. Prosedur produksi.
- i. Jenis-jenis produk yang dihasilkan.
- j. Proses produksi.
- k. Mesin CNC *milling*.

3.2 Sumber Data

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu data sekunder yang berasal dari bagian pemeliharaan, bagian produksi, serta bagian personalia (*human resources depelovment*).

3.3 Metode Pengumpulan Data

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

1. Penelitian Lapangan (*Field Research*)

Penelitian lapangan ini dilakukan guna mencari data, mengumpulkan data ,serta mengolahnya dengan cara melakukan pengamatan secara langsung di lapangan pada PT Kreasi Presisi Metalindo. Penulis juga melakukan diskusi dengan karyawan perusahaan yang bersangkutan dengan bidang yang diamati oleh penulis dalam menyusun tugas akhir ini.

2. Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)

Dalam penyusunan tugas akhir ini, dilakukan pula penelitian kepustakaan (*library research*) guna memenuhi dasar teori penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Penelitian kepustakaan ini dilakukan dengan cara mengumpulkan dan mempelajari data–data kepustakaan baik yang diperoleh melalui buku–buku, diktat kuliah, jurnal maupun literatur

lainnya yang berhubungan dengan permasalahan yang dihadapi sehingga dapat menunjang penulis dalam menyusun tugas akhir ini.

3. Wawancara

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

3.4 Teknik Analisis

Langkah-langkah dalam metodologi pemecahan masalah ini dimulai dari studi lapangan pada perusahaan yang menjadi tempat penelitian. Langkah-langkah tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

3.4.1 Studi Lapangan

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

3.4.2 Identifikasi Masalah

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

3.4.3 Studi Pustaka

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

yang dapat dijadikan pertimbangan dan acuan bagi penelitian yang akan dilakukan.

3.4.4 Tujuan Penelitian

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

3.4.5 Pengumpulan Data

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

3.4.6 Pengolahan Data

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

1. Penentuan Komponen Kritis dari Mesin CNC *Milling*

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

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

Selang waktu antar kerusakan (*time to failure*) adalah selang waktu dari kerusakan komponen yang pertama hingga kerusakan selanjutnya terjadi.

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

3. Identifikasi Distribusi Peluang Kerusakan

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

4. Pengujian Keselarasan Distribusi

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

5. Estimasi Parameter untuk Tiap Distribusi Terpilih

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

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

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

7. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan

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

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

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

3.4.7 Analisis dan Pembahasan

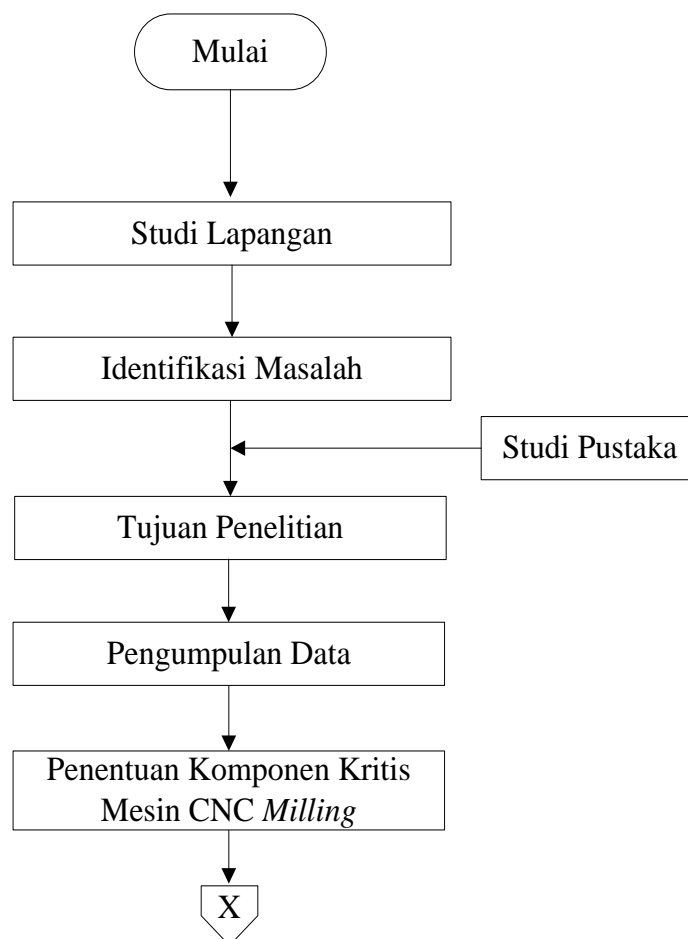
Setelah semua data diolah, kemudian dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data yang dilakukan dengan menentukan interval waktu penggantian komponen yang optimal berdasarkan kriteria waktu kerusakan minimum. Penentuan interval waktu penggantian pencegahan dihitung berdasarkan umur pakai optimal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

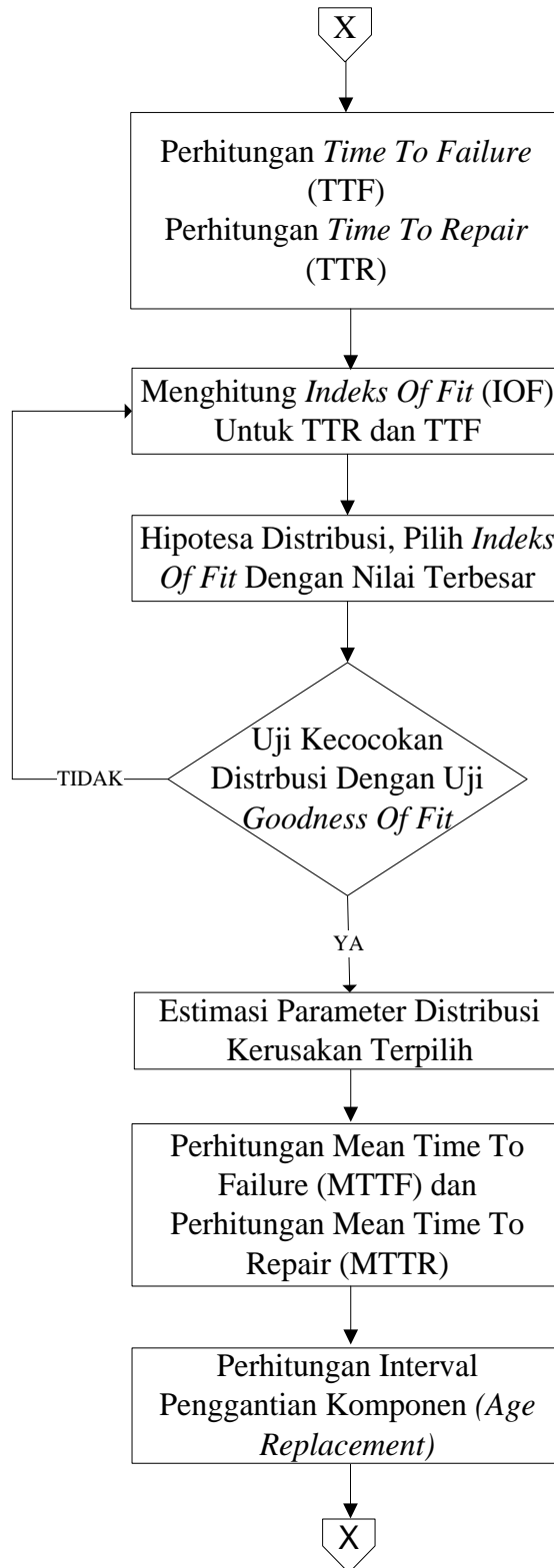
3.4.8 Kesimpulan dan Saran

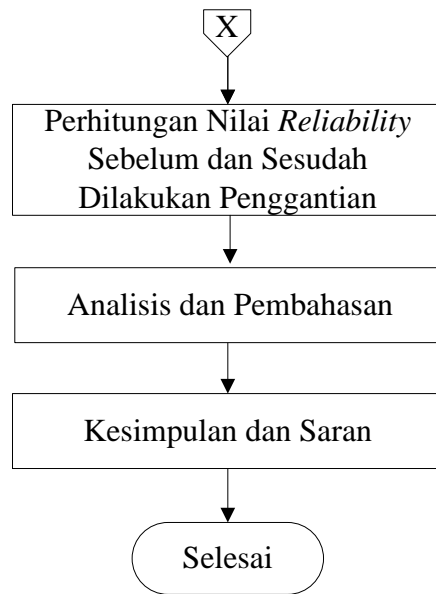
Kesimpulan diperoleh setelah memperoleh hasil pengolahan data dan analisis yang dilakukan terhadap data hasil penelitian yang telah diperoleh. Kesimpulan yang diambil sedapat mungkin harus dapat menjawab semua tujuan penelitian yang telah ditentukan sebelumnya. Kemudian atas dasar kesimpulan tersebut,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

3.5 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian menggambarkan langkah-langkah dalam pemecahan masalah. Kerangka penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar 3.1 :







Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

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

4.1.1 Sejarah Perusahaan

PT Kreasi Presisi Metalindo merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak dalam bidang pembuatan *dies, jig, fixture, welding contruction, fabrication, stamping part production*, dan permesinan. PT Kreasi Presisi Metalindo juga dapat melayani pesanan yang bersifat *job order*. PT Kreasi Presisi Metalindo merupakan perusahaan skala kecil menengah yang berdiri pada tahun 2001, dimana diawali sebagai bengkel fabrikasi (pengelasan) dan mesin bubut manual. Pada Tahun 2006 bengkel tersebut terdaftar dan memiliki izin untuk mendirikan usaha dan berubah menjadi PT Kreasi Presisi Metalindo dan memulai usaha pada mesin bubut CNC. Letak pabrik pertama PT Kreasi Presisi Metalindo pada Perkampungan Industri Kecil Blok D No.32 Penggilingan, Cakung, Jakarta Timur.

Karena semakin banyak pesanan dari konsumen, akhirnya pada Tahun 2010 PT Kreasi Presisi Metalindo dapat membuka pabrik keduanya di kawasan industri Hyundai dan berpindah lagi ke Jalan Jababeka IX B Blok P2, Jababeka I, Cikarang Utara, Bekasi. Pada *plant* kedua ini terdapat proses pabrikasi dan permesinan CNC *Lathe*. Pada tahun 2011 memulai bisnis pengelasan laser dan pemotongan api yang berbasis otomatis (CNC). Pada tahun 2015 PT Kreasi Presisi Metalindo menambah mesin bubut baru 4 poros DMG Mori yang didatangkan dari Jepang. Produk yang dibuat dalam proses fabrikasi seperti, rak, peralatan dapur, kampas rem, engsel, dan lain-lain. Produk yang dibuat dalam

proses permesinan berupa komponen-komponen, seperti *boss, spacer, plate, clip, nut, saf insert*, dan lain-lain.

Mesin-mesin yang dimiliki PT Kreasi Presisi Metalindo, yaitu mesin CNC *Lathe mill 4 axis* DMG Mori, *CNC Machining Center Microcut Challenger*, *CNC Auto Lathe Tsugami*, *CNC Lathe* Dosan, *CNC Plasma Cutting Gas*, *Laser Welding*, *Stamping Press*, *Lathe Machine SAXON*, *Milling Machine* Nantong, mesin *Welding CO2*, dan *Welding TIG*. PT Kreasi Presisi Metalindo bekerja sama dengan perusahaan besar sebagai supplier ke perusahaan dan sebagai *subcontractor* untuk memenuhi permintaan. Berikut ini adalah list konsumen PT Kreasi Presisi Metalindo, yaitu:

1. PT Aisin Indonesia
2. PT Musashi Auto Part Indonesia
3. PT Caterpillar Indonesia
4. PT Showa Indonesia Manufacturing
5. PT Sankei Dharma Indonesia
6. PT KAO Indonesia
7. PT KSB Indonesia
8. PT Bukaka Forging Industries
9. PT Torishima Guna Indonesia
10. PT Federal Nittan Industries
11. PT Sugity Creatives

4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan

PT Kreasi Presisi Metalindo dalam menjalankan kegiatan operasionalnya memiliki dasar-dasar nilai yang terkandung dalam visi dan misi perusahaan. Visi dan misi perusahaan ini berguna untuk membantu karyawan dalam bekerja sesuai dengan tujuan perusahaan dan memotivasi karyawan untuk dapat terus meningkatkan kinerjanya baik secara kualitas maupun secara kuantitas, selain itu dengan adanya visi dan misi tercipta sebuah produktivitas yang tinggi baik perusahaan, adapun visi dan misi dari PT Kreasi Presisi Metalindo, yaitu:

1. Visi

Trusted Partner in Metalwork

2. Misi

- a. *Trusted partner for world class company in Indonesia.*
- b. *Centre of excelent solid machining product.*
- c. *Centre of solution for improvement in manufacturing industry and special machine.*
- d. *Centre of laser welding services in Indonesia.*

4.1.3 Lokasi dan Tata letak Pabrik

Lokasi kantor pusat PT Kreasi Presisi Metalindo berada di Jalan Jababeka IX B Blok P2, Jababeka I, Cikarang Utara, Bekasi. Kantor pusat merupakan tempat bidang manajemen dan sistem pemasaran PT Kreasi Presisi Metalindo. Lokasi pabrik PT Kreasi Presisi Metalindo terdapat di dua tempat, yaitu :

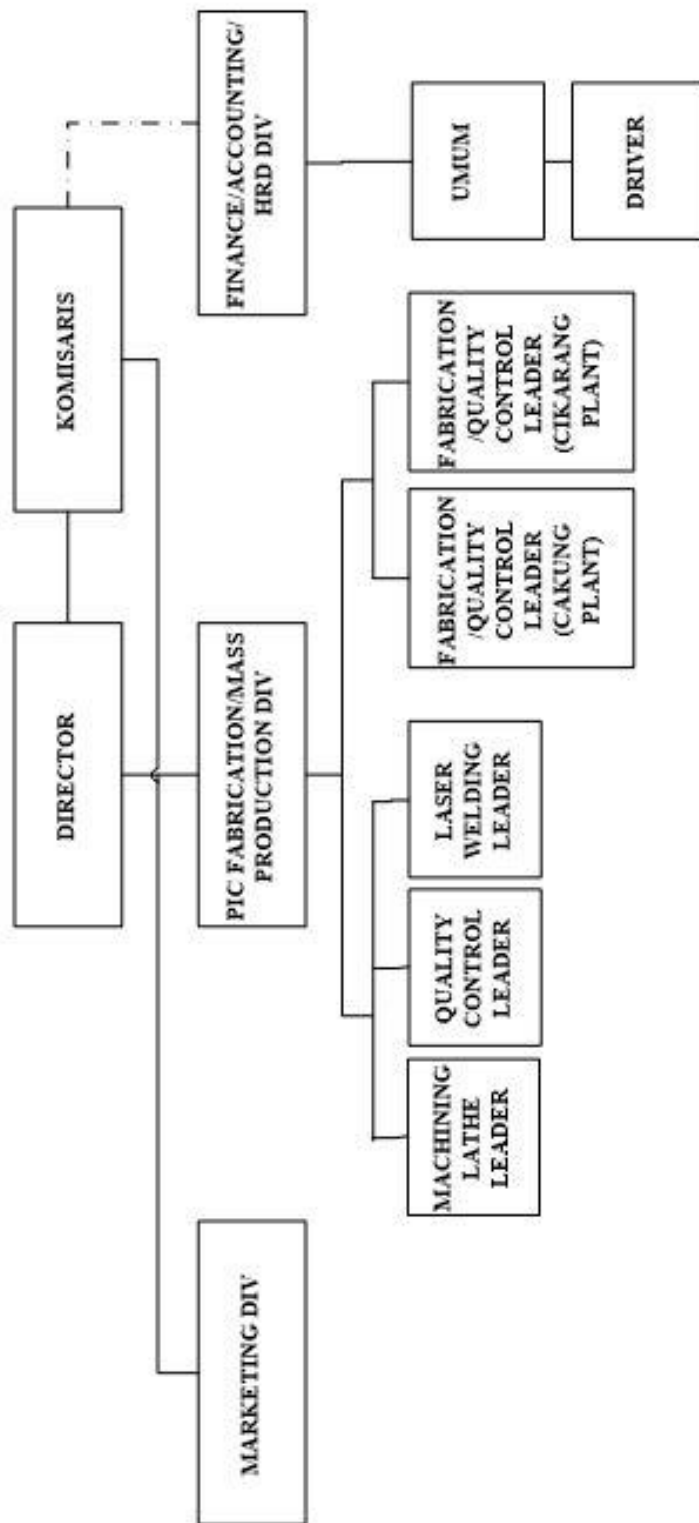
1. Perkampungan Industri Kecil Blok D No.32 Penggilingan, Cakung, Jakarta Timur.
2. Jalan Jababeka IX B Blok P2, Jababeka I, Cikarang Utara, Bekasi.

Gambar tata letak pabrik dapat dilihat pada lampiran A.

4.1.4 Struktur Organisasi Perusahaan dan Uraian Jabatan

4.1.4.1 Struktur Organisasi Perusahaan

Struktur organisasi yang dianut perusahaan ini adalah struktur organisasi garis dan staff dimana asas komando dipertahankan, tetapi dalam kelancaran tugas pemimpin dibantu oleh para staff, dimana staff berperan memberi masukan, bantuan pikiran, saran, dan informasi yang dibutuhkan. Struktur organisasi memiliki peranan penting dalam menentukan dan mempelancar jalannya roda perusahaan. Pendistribusian tugas, wewenang, dan tanggung jawab serta hubungan satu sama lain dapat digambarkan pada struktur organisasi. Setiap perusahaan yang mempunyai tujuan tertentu akan berusaha semaksimal mungkin untuk membuat hubungan kerja sama baik dan harmonis. Struktur organisasi PT Kreasi Presisi Metalindo terlihat pada gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1 Struktur Organisasi PT Kreasi Presisi Metalindo
(Sumber: PT Kreasi Presisi Metalindo)

Pengorganisasian melalui pembagian tugas ke beberapa divisi maka akan tercipta kinerja yang lebih efektif karena setiap bagian akan bertanggung jawab secara langsung pada tugasnya masing-masing. Struktur organisasi yang baik akan memudahkan pelaksanaan tugas pada masing-masing bagian serta memudahkan pendelegasian wewenang dari atasan kepada bawahannya dan secara tidak langsung dapat menciptakan hubungan yang erat antara atasan dengan bawahannya. Pada kegiatan operasionalnya, PT Kreasi Presisi Metalindo dijalankan oleh beberapa kepala-kepala divisi yang mempunyai tugas yang berbeda-beda namun setiap divisi tersebut merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan. Dalam menetapkan perencanaan untuk mencapai tujuan, diperlukan susunan atau struktur yang baik sehingga diketahui dengan jelas fungsi dan tugas masing-masing dari setiap divisi dari PT Kreasi Presisi Metalindo.

4.1.4.2 Uraian Jabatan

Adapun untuk penjelasan struktur organisasi dari PT Kreasi Presisi Metalindo, penulis mencoba untuk menjelaskan secara garis besarnya saja tugas-tugas dari masing-masing divisi berdasarkan struktur organisasi di atas.

Tugas secara umum dari masing-masing divisi PT Kreasi Presisi Metalindo adalah sebagai berikut:

1. Komisaris

Uraian tugas komisaris, yaitu:

- a. Memberi nasehat kepada direktur dalam melaksanakan pengurusan perusahaan.
- b. Melakukan pengawasan terhadap jalannya usaha pada perusahaan.
- c. Bertindak sebagai wakil pemegang saham.
- d. Melakukan pelaksanaan dari setiap kebijakan yang telah dikeluarkan.

2. Direktur

Uraian tugas direktur, yaitu:

- a. Memberikan instruksi/perintah kepada bawahannya.
- b. Mengkoordinir setiap divisi untuk melaksanakan tugas dengan benar.

- c. Mempelajari semua laporan-laporan yang diberikan oleh masing-masing divisi dan mempunyai hak untuk mengoreksi.
 - d. Menetapkan tujuan perusahaan bersama divisi dan staf.
 - e. Memimpin, mengawasi, dan memberikan pengarahan sekretaris perusahaan atas tugas dan tanggung jawab sekretaris.
 - f. Mengkoordinir tugas-tugas yang didelegasikan kepada setiap divisi, serta memelihara hubungan kerja sama diantara divisi.
3. Manajer Divisi Pemasaran

Uraian tugas manajer divisi pemasaran, yaitu:

- a. Merencanakan strategi dan jadwal pemasaran sesuai dengan kebutuhan pasar dan kemampuan bagian produksi.
- b. Menganalisis bagaimana selera konsumen.
- c. Melakukan koordinasi antar divisi dalam hal jumlah permintaan konsumen dan biaya.
- d. Merencanakan ide pemasaran yang menarik perhatian konsumen.

4. Manajer Divisi Fabrikasi dan Produksi

Uraian tugas manajer divisi fabrikasi dan produksi, yaitu:

- a. Merencanakan jadwal permintaan produk sesuai dengan jadwal pemasaran produk yang dilakukan oleh divisi pemasaran.
- b. Memimpin, menata, mengatur dan mengkoordinasikan seluruh kegiatan produksi yang ada dalam perusahaan.
- c. Mengawasi jalannya proses produksi.
- d. Melakukan control terhadap produk yang sudah jadi apakah cacat atau tidak.
- e. Melakukan evaluasi secara berkala terhadap proses produksi di perusahaan.
- f. Merencanakan dan melakukan penjadwalan pembelian material dari *supplier* dan pengiriman produk ke konsumen.
- g. Merencanakan perbaikan mesin atau peralatan.
- h. Membuat laporan bulanan akan keadaan mesin atau peralatan.
- i. Memeriksa dan mengevaluasi dokumen pelengkap pengiriman barang

hasil produksi.

- j. Mendorong tercapainya kesehatan dan keselamatan kerja para karyawan.

5. *Machining Lathe Leader*

Uraian tugas *machining lathe leader*, yaitu:

- a. Mengawasi dan memberi instruksi kepada operator.
- b. Membantu dan menggantikan operator dalam menjalankan mesin.
- c. Menerima laporan dari kepala bagian produksi.
- d. Membuat laporan kepada kepala bagian produksi.

6. *Quality Control Leader*

Uraian tugas *quality control leader*, yaitu:

- a. Melakukan proses *quality control* secara langsung dilapangan serta menjaga mutu produk agar tidak menyimpang dari mutu standar yang telah ditetapkan perusahaan.
- b. Menetapkan dan mempertahankan sasaran dan standar timnya dalam melakukan pengecekan kualitas.
- c. Membuat laporan kepada kepala bagian produksi.

7. *laser welding leader*

Uraian tugas *laser welding leader*, yaitu:

- a. Mengawasi dan memberi instruksi kepada operator.
- b. Membantu dan menggantikan operator dalam menjalankan mesin.
- c. Menerima laporan dari kepala bagian produksi.
- d. Membuat laporan kepada kepala bagian produksi.

8. *Fabrication and Quality Control Leader*

Uraian tugas *fabrication and quality control leader*, yaitu:

- a. Mengawasi dan memberi instruksi kepada operator.
- b. Membantu dan menggantikan operator dalam menjalankan mesin.
- c. Menerima laporan dari kepala bagian produksi.
- d. Membuat laporan kepada kepala bagian produksi.
- e. Melakukan proses *quality control* secara langsung dilapangan serta

menjaga mutu produk agar tidak menyimpang dari mutu standar yang telah ditetapkan perusahaan.

9. Manajer Divisi Keuangan, administrasi, dan Personalia

Uraian tugas manajer divisi keuangan, administrasi, dan personalia, yaitu:

- a. Mengatur pekerjaan *internal* dan *eksternal* audit keuangan.
- b. Mengarahkan sistem pembukuan dan membuat laporan keuangan.
- c. Membantu direktur merumuskan kebijaksanaan dalam bidang keuangan perusahaan.
- d. Mengurus kebutuhan administrasi dan pengawasan dan menyusun anggaran keuangan setiap bulan.
- e. Membayarkan pajak yang ditanggung oleh perusahaan.
- f. Merencanakan dan mengendalikan urusan kepegawaian di dalam perusahaan.
- g. Memeriksa dan mengevaluasi dokumen pelengkap mengenai laporan administrasi perusahaan.
- h. Menyetujui atau memberikan izin dalam melaksanakan perekrutan serta training perusahaan.

10. Umum

Uraian tugas karyawan bagian umum, yaitu:

- a. Mengurus kebutuhan karyawan, perawatan bangunan pabrik, sarana dan prasarana, keamanan dan lain-lain.
- b. Mengurus transportasi pengiriman ke konsumen dan pengambilan material dari *supplier*.

4.1.5 Tenaga Kerja dan Jam Kerja

4.1.5.1 Tenaga Kerja

Dalam menjalankan perusahaan, PT Kreasi Presisi Metalindo memiliki karyawan pada saat ini berjumlah 23 orang, yang terdiri tenaga kerja pria dan wanita dengan tingkat pendidikan SMU dan sarjana. Jumlah karyawan yang dimiliki oleh PT Kreasi Presisi Metalindo dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.1 Jumlah Karyawan PT Kreasi Presisi Metalindo

No.	Posisi Karyawan	Jumlah Karyawan (orang)
	<i>Marketing</i>	1
	<i>Fabrication and Mass Production</i>	17
	<i>Finance, Accounting, and Human Resource Development</i>	2
	(keamanan)	3
		23

(Sumber : PT Kreasi Presisi Metalindo)

4.1.5.2 Jam Kerja

Dalam kegiatan operasional kegiatan, PT Kreasi Presisi Metalindo telah menetapkan jam operasional untuk bekerja. Jam operasional kerja di PT Kreasi Presisi Metalindo dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.2 Jam Kerja PT Kreasi Presisi Metalindo

No	Hari	Jam	Keterangan
1	Senin-Kamis	08.00-08.05	<i>Meeting Awal</i>
		08.05-12.00	Kerja
		12.00-13.00	Istirahat
		13.00-16.50	Kerja
		16.50-17.00	<i>Cleaning</i>
2	Jumat	08.00-08.05	<i>Meeting Awal</i>
		08.05-11.50	Kerja
		11.50-13.00	Istirahat
		13.00-17.00	Kerja
		17.00-17.10	<i>Cleaning</i>

(Sumber : PT Kreasi Presisi Metalindo)

4.1.6 Prosedur Produksi

Pada PT Kreasi Presisi Metalindo dalam memenuhi permintaan konsumen selalu mengutamakan kecepatan, ketepatan dan kualitas. Oleh karena itu PT Kreasi Presisi Metalindo harus memiliki prosedur produksi untuk memenuhi permintaan konsumen. Berikut prosedur produksi PT Kreasi Kreasi Metalindo:

1. Konsumen memberikan data mengenai jenis produk dan jumlah produk yang akan dibuat beserta waktu pengiriman kebagian pemasaran.
2. Pada bagian pemasaran memberikan *Planning Order (PO)*, ke bagian produksi untuk diproduksi sesuai pesanan.
3. Bagian produksi melakukan produksi sesuai PO.
4. Lalu bagian produksi menyerahkan perintah kerja pengiriman ke bagian umum untuk menyiapkan surat jalan dan transportasinya.
5. Konsumen melakukan pembayaran ke bagian *Accounting, Finance and Human Resource Development*.

4.1.7 Jenis-Jenis Produk

Jenis- jenis produk *plate* yang diproduksi dengan menggunakan mesin *CNC Milling* di PT Kreasi Presisi Metalindo dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Jenis-Jenis Produk *Plate*

No	Nama Produk	No	Nama Produk
1	<i>Plate 087-3441/HE</i>	9	<i>Plate 1218729/HE</i>
2	<i>Plate 087-5841/HE</i>	10	<i>Plate 1780834/HE</i>
3	<i>Plate 178-0712/HE</i>	11	<i>Plate 2941656/HE</i>
4	<i>Plate 2373169/HE</i>	12	<i>Plate 1780833/HE</i>
5	<i>Plate 3241067/HE</i>	13	<i>Plate 1218710/HE</i>
6	<i>Plate 1211760/HE</i>	14	<i>Plate 7Y8741/HE</i>
7	<i>Plate 7Y4138/HE</i>	15	<i>Plate 7Y2436/HE</i>
8	<i>Plate 2371217/HE</i>	16	<i>Plate 9R4581</i>

(Sumber : PT Kreasi Presisi Metalindo)

Adapun dalam penelitian ini hanya mengamati mesin yang digunakan dalam produksi *plate*. Produk *plate* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.2 Produk *Plate*
(Sumber : PT Kreasi Presisi Metalindo)

4.1.8 Proses Produksi

Proses Produksi merupakan kegiatan untuk menciptakan atau menambah kegunaan suatu barang dengan menggunakan faktor-faktor yang ada seperti, tenaga kerja, mesin, bahan baku, dan modal agar lebih bermanfaat bagi kebutuhan manusia. Proses produksi pada pembuatan *plate* dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Cutting*

Pada proses ini, bahan baku yang masih utuh berupa lembaran plat dipotong menggunakan mesin CNC Plasma *Cutting Gas* sesuai spesifikasi yang telah ditentukan.

2. *Facing*

Proses ini merupakan proses meratakan seluruh permukaan material menggunakan mesin CNC *Milling* agar sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Tujuan dari proses ini adalah agar permukaan material menjadi rata (halus).

3. *Centre Drill*

Proses ini merupakan mencari titik tengah untuk dilubangi dengan program yang telah diatur terlebih dahulu pada mesin CNC *Milling*.

4. *Drilling*

Proses ini merupakan proses melubangi material. Setiap produk ada dua lubang yang dilubangi pada bagian kiri dan kanan material.

5. *Camper*

Proses ini merupakan proses merapikan ujung pada bagian kedua lubang yang bertujuan untuk menghilangkan bari pada kedua lubang tersebut sebelum dilakukan proses *tapping*. Bari adalah sisa-sisa hasil proses *drilling* yang bersifat tajam pada kedua ujung lubang.

6. *Tapping*

Proses ini merupakan lanjutan dari proses melubangi, dimana dua lubang tersebut di buat ulirnya. Ulir tersebut berfungsi untuk memasukan baut.

4.1.9 **Mesin CNC *Milling***

Mesin perkakas CNC adalah mesin perkakas yang dalam pengoperasiannya merupakan proses penyatan benda kerja oleh pahat dibantu dengan kontrol numerik komputer atau CNC (*Control Numeric Computer*). Untuk menggerakkan pahat pada mesin perkakas CNC disepakati menggunakan sistem kordinat. Sistem kordinat pada mesin CNC *milling* adalah sistem koordinat dengan tiga sumbu/*axis*, yaitu sumbu X, Y, dan Z. Sumbu X didefinisikan sebagai sumbu yang bergerak horizontal, sumbu Y didefinisikan sebagai sumbu yang bergerak melintang, dan sumbu Z didefinisikan sebagai sumbu yang bergerak vertikal. *Milling process* adalah sebuah proses permesinan dimana alat potong atau *cutting tool* berputar pada *spindle* dan benda kerja bergerak kearah memanjang dan melintang sejauh pemotongan yang diinginkan. Biasanya mesin ini digunakan untuk membuat benda kerja dengan bentuk dasar balok. Adapun mesin CNC *milling* yang digunakan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.3 Mesin CNC *Milling* di PT Kreasi Presisi Metalindo
(Sumber : PT Kreasi Presisi Metalindo)

4.2 Pengolahan Data

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

9. Penentuan Komponen Kritis dari Mesin CNC *Milling*.
10. Perhitungan *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR) pada komponen.
11. Identifikasi Distribusi Peluang Kerusakan.
12. Pengujian Keselarasan Distribusi.
13. Estimasi Parameter untuk Tiap Distribusi Terpilih.
14. Perhitungan Waktu Rata-Rata Antar Kerusakan (MTTF) dan Waktu Rata-Rata Perbaikan (MTTR).
15. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan.
16. Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Komponen Kondisi Sebelum dan Sesudah Penggantian Pencegahan.

4.2.1 Penentuan Komponen Kritis Mesin CNC *Milling*

Suatu komponen dikatakan sebagai komponen kritis apabila termasuk ke dalam kriteria yang memiliki waktu kerusakan terbesar, laju kerusakan meningkat, serta berpengaruh terhadap keberlangsungan proses produksi atau suatu

komponen dari mesin yang berkontribusi terhadap frekuensi *breakdown* terbanyak dalam kurun waktu tertentu. Data komponen yang mengalami kerusakan pada mesin CNC *milling* dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Frekuensi Kerusakan Komponen Mesin CNC *Milling*

No	Nama Komponen	Tanggal	<i>Breakdown Time</i> (<i>menit</i>)
1	<i>Hydraulic Hose</i>	14/02/2014	85
		20/05/2014	90
		22/10/2014	100
		24/03/2015	110
		04/06/2015	75
		14/09/2015	100
		21/12/2015	80
2	<i>Bearing</i>	20/01/2014	380
		09/06/2014	350
		10/02/2015	340
		15/12/2015	380
3	<i>Auto Tool Change</i>	01/04/2014	420
		18/11/2014	390
		04/03/2015	420
		22/10/2015	400
4	<i>Protective Glass</i>	28/08/2015	210
5	<i>Timing Belt</i>	02/10/2015	240

(Sumber : PT Kreasi Presisi Metalindo)

Pada tabel diatas dapat dilihat frekuensi kerusakan tiap komponen pada mesin CNC *milling*, yaitu *hydraulic hose*, *bearing*, *auto tool change*, *protective glass*, dan *timing belt*. Pada tabel diatas akan dibuat diagram pareto untuk menentukan komponen kritis dari mesin CNC *milling* berdasarkan waktu kerusakan yang terbesar. Berdasarkan tabel diatas maka untuk memudahkan untuk menentukan komponen kritis dibuat suatu tabel persentase total waktu kerusakan setiap komponen dan frekuensi kerusakan komponen kritis mesin CNC *milling* dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 Persentase Waktu Kerusakan Komponen Kritis Mesin CNC *Milling*

No	Nama Komponen	<i>Breakdown Time</i> (menit)	Persentase	Frekuensi Kerusakan
1	<i>Hydraulic Hose</i>	640	15,35%	7
2	<i>Bearing</i>	1450	34,77%	4
3	<i>Auto Tool Change</i>	1630	39,09%	4
4	<i>Protective Glass</i>	210	5,04%	1
5	<i>Timming Belt</i>	240	5,76%	1
Total		4170	100%	17

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

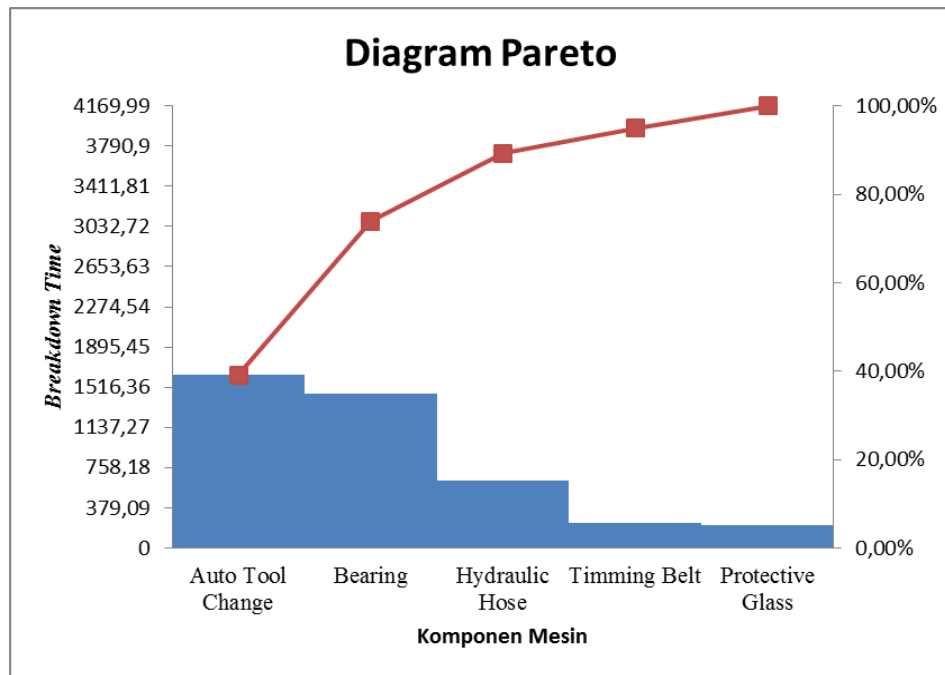
Berdasarkan pada tabel 4.5 kita dapat menentukan persentase waktu kerusakan komponen pada mesin CNC *milling*. persentase komponen-komponen mesin CNC *milling* tersebut kemudian diurutkan dari mulai yang terbesar sampai yang terkecil. Kemudian persentase komponen-komponen mesin CNC *milling* yang mengalami kerusakan tersebut dikumulatifkan berdasarkan persentase yang telah diurutkan terlebih dahulu. Tujuannya adalah untuk dapat menentukan komponen mesin CNC *milling* yang memiliki waktu kerusakan terbesar sampai yang terkecil. Berdasarkan tabel diatas, dapat ditentukan persentase kumulatif komponen mesin CNC *milling* yang mengalami kerusakan yang dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 4.6 Penentuan Komponen Kritis Mesin CNC *Milling*

No	Nama Komponen	<i>Breakdown Time</i> (menit)	Persentase	Persentase Kumulatif
1	<i>Auto Tool Change</i>	1630	39,09%	39,09%
2	<i>Bearing</i>	1450	34,77%	73,86%
3	<i>Hydraulic Hose</i>	640	15,35%	89,21%
4	<i>Timming Belt</i>	240	5,76%	94,96%
5	<i>Protective Glass</i>	210	5,04%	100,00%
Total		4170	100,00%	

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel diatas maka dapat dibuat diagram pareto komponen mesin CNC *milling* yang mengalami kerusakan. Diagram pareto untuk komponen pada mesin CNC *milling* ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.4 Diagram Pareto Komponen Kritis Mesin CNC Milling
(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel 4.6 dan gambar 4.4 diatas, maka dapat diketahui terdapat 3 komponen kritis, yaitu komponen *hydraulic hose*, *bearing*, dan *auto tool change*. *Auto tool change* adalah komponen dengan persentase terbesar. Dari persentase waktu kerusakan tersebut komponen yang memiliki nilai persentase terbesar, yaitu *auto tool change* dengan 39,09%, *bearing* dengan 34,77%, dan *hydraulic hose* dengan 15,35%. Maka dari itu, ketiga komponen ini dinyatakan sebagai komponen kritis terpilih untuk selanjutnya dijadikan objek penelitian.

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

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

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

1. Komponen *Hydraulic Hose*

Berdasarkan data yang diperoleh dari PT Kreasi Presisi Metalindo, perhitungan selang waktu antar kerusakan (TTF) dan selang waktu antar perbaikan (TTR) untuk komponen *hydraulic hose* dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.7 Data Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Hydraulic Hose*

NO	Tanggal	<i>Breakdown Time</i>	Selang Waktu Antar Kerusakan/TTF (Jam)	Selang Waktu Antar Perbaikan/TTR (Jam)
1	14/02/2014	13.05-14.30	0	1,4167
2	20/05/2014	09.30-11.00	500,0000	1,5000
3	22/10/2014	15.10-16.50	867,1667	1,6667
4	24/03/2015	08.50-10.40	833,0000	1,8333
5	04/06/2015	11.45-12.00	385,0833	1,2500
6	14/09/2015	09.00-10.40	509,0000	1,6667
7	21/12/2015	13.20-15.00	545,6667	1,3333
Total			3639,9167	10,6667

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Jam kerja mesin adalah 8 jam/hari dengan hari kerja mesin 5 hari/minggu. Libur pada hari sabtu, minggu, serta hari libur nasional.
- Perhitungan selang waktu antar kerusakan didapat dari selang waktu dari kerusakan komponen yang pertama hingga kerusakan selanjutnya terjadi. Sebagai contoh, yaitu selang waktu dari pukul 14.30 (14/02/2014) sampai pukul 09.30 (20/05/2014) adalah 500 jam. Untuk perhitungan selang waktu antar kerusakan yang lainnya perhitungannya sama dengan langkah-langkah diatas.
- Perhitungan selang waktu antar perbaikan didapat dari lamanya waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemeriksaan, perbaikan, ataupun penggantian komponen yang mengalami kerusakan hingga mesin

tersebut dapat beroperasi. Sebagai contoh, yaitu pada tanggal 14/02/2014 dilihat dari selisih waktu dari pukul 13.05 sampai 14.30 adalah 1,4167 jam. Untuk perhitungan selang waktu antar perbaikan yang lainnya perhitungannya sama dengan langkah-langkah diatas.

2. Komponen *Bearing*

Berdasarkan data yang diperoleh dari PT Kreasi Presisi Metalindo, perhitungan selang waktu antar kerusakan (TTF) dan selang waktu antar perbaikan (TTR) untuk komponen *bearing* dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.8 Data Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Bearing*

NO	Tanggal	<i>Breakdown Time</i>	Selang Waktu Antar Kerusakan/ TTF (Jam)	Selang Waktu Antar Perbaikan/TTR (Jam)
1	20/01/2014	08.35-14.55	0	6,3333
2	09/06/2014	11.00-16.50	741,0833	5,8333
3	10/02/2015	09.20-15.00	1337,5000	5,6667
4	15/12/2015	10.00-16.20	1636,0000	6,3333
Total			3714,5833	24,1667

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

3. Komponen *Auto Tool Change*

Berdasarkan data yang diperoleh dari PT Kreasi Presisi Metalindo, perhitungan selang waktu antar kerusakan dan selang waktu antar perbaikan untuk komponen *auto tool change* dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 4.9 Data Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Auto Tool Change*

NO	Tanggal	<i>Breakdown Time</i>	Selang Waktu Antar Kerusakan/ TTF (Jam)	Selang Waktu Antar Perbaikan/TTR (Jam)
1	01/04/2014	08.45-15.45	0	7,0000
2	18/11/2014	10.30-17.00	1235,7500	6,5000
3	04/03/2015	09.20-16.20	569,3333	7,0000

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Tabel 4.9 Data Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Auto Tool Change*
(lanjutan)

NO	Tanggal	<i>Breakdown Time</i>	Selang Waktu Antar Kerusakan/TTF (Jam)	Selang Waktu Antar Perbaikan/TTR (Jam)
4	22/10/2015	10.00-16.40	1210,6667	6,6667
Total			3015,7500	27,1667

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

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

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

4.2.3.1 Perhitungan *Index of Fit* (IoF) TTF Komponen *Hydraulic Hose*

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

1. Distribusi Weibull

Tabel 4.10 Perhitungan IoF Distribusi Weibull TTF Komponen *Hydraulic Hose*

i	t_i (jam)	$x_i = \ln t_i$	$F(t_i)$	y_i	$x_i y_i$	$(x_i)^2$	$(y_i)^2$
1	385,0833	5,9535	0,1094	-2,1556	-12,8334	35,4437	4,6467
2	500,0000	6,2146	0,2656	-1,1753	-7,3038	38,6214	1,3813
3	509,0000	6,2324	0,4219	-0,6015	-3,7491	38,8434	0,3619
4	545,6667	6,3020	0,5781	-0,1473	-0,9282	39,7153	0,0217
5	833,0000	6,7250	0,7344	0,2819	1,8959	45,2261	0,0795
6	867,1667	6,7652	0,8906	0,7943	5,3739	45,7684	0,6310
Total		38,1928	3,0000	-3,0035	-17,5447	243,6182	7,1219

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- a. Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar. Kemudian data TTF yang bernilai 0 dihilangkan, sehingga jumlahnya menjadi 6 data.
- b. Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = \ln(t_i) = \ln(385,0833) = 5,9535$
- c. Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

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

Contoh perhitungan:

$i = 1$

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

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

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

Berdasarkan tabel 4.10, untuk menghitung parameter bentuk, *intersep*, parameter skala, dan *index of fit* dari distribusi weibull sebagai berikut:

- a. Parameter Bentuk

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

$$\beta = b = \frac{\{[6 \times (-17,5447)] - [38,1928 \times (-3,0035)]\}}{\{[6 \times 243,6182] - [38,1928]^2\}} = 3,1266$$

- b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[-3,0035 - (3,1266 \times 38,1928)]}{6} = -20,4028$$

- c. Parameter Skala

$$\theta = e^{\frac{-\alpha}{b}} = e^{\frac{20,4028}{3,1266}} = 682,3674$$

- d. *Index of Fit* (IoF)

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

$$r = \frac{\{(6x-17,5447)-(38,1928 x (-3,0055))\}}{\sqrt{\{(6x 243,6182)-(38,1928)^2\}x \{(6 x 7,1219)-(-3,0055)^2\}}}$$

$$r = 0,9358$$

2. Distribusi Normal

Tabel 4.11 Perhitungan IoF Distribusi Normal TTF Komponen *Hydraulic Hose*

i	t _i (jam)	x _i =t _i	F(t _i)	y _i =z _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	385,0833	385,0833	0,1094	-1,2300	-473,6525	148289,1736	1,5129
2	500,0000	500,0000	0,2656	-0,6300	-315,0000	250000,0000	0,3969
3	509,0000	509,0000	0,4219	-0,2000	-101,8000	259081,0000	0,0400
4	545,6667	545,6667	0,5781	0,2000	109,1333	297752,1111	0,0400
5	833,0000	833,0000	0,7344	0,6300	524,7900	693889,0000	0,3969
6	867,1667	867,1667	0,8906	1,2300	1066,6150	751978,0278	1,5129
Total		3639,9167	3,0000	0,0000	810,0858	2400989,3125	3,8996

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar. Kemudian data TTF yang bernilai 0 dihilangkan, sehingga jumlahnya menjadi 6 data.
- Nilai x_i, diperoleh dengan x_i = t_i
- Nilai F(t_i), diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

dimana: n = jumlah data = 6

Contoh perhitungan:

$$i = 1$$

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

- Nilai y_i diperoleh dari konversi nilai F(t_i) ke tabel Z (Tabel Distribusi Normal).

Berdasarkan tabel 4.11, untuk menghitung *gradien*, *intersep*, standar deviasi, rata-rata kerusakan, dan *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{\{[6 \times (810,0858)] - [3639,9167 \times 0]\}}{\{[6 \times 2400989,3125] - [3639,9167]^2\}} = 0,0042$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[0 - (0,0042 \times 3639,9167)]}{6} = -2,5487$$

c. *Standar Deviasi*

$$\sigma = \frac{1}{b} = \frac{1}{0,0042} = 238,0288$$

d. *Rata-rata kerusakan*

$$\mu = -\alpha \sigma = -(-2,5487 \times 238,0288) = 606,6528$$

e. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(6 \times 810,0858) - (3639,9167 \times 0)\}}{\sqrt{\{(6 \times 2400989,3125) - (3639,9167)^2\} \times \{(6 \times 3,8996) - (0)^2\}}}$$

$$r = 0,9342$$

3. *Distribusi Lognormal*

Tabel 4.12 Perhitungan IoF Distribusi lognormal TTF Komponen *Hydraulic Hose*

i	t _i (jam)	x _i =ln t _i	F(t _i)	y _i =z _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	385,0833	5,9535	0,1094	-1,2300	-7,3228	35,4437	1,5129
2	500,0000	6,2146	0,2656	-0,6300	-3,9152	38,6214	0,3969
3	509,0000	6,2324	0,4219	-0,2000	-1,2465	38,8434	0,0400
4	545,6667	6,3020	0,5781	0,2000	1,2604	39,7153	0,0400
5	833,0000	6,7250	0,7344	0,6300	4,2368	45,2261	0,3969
6	867,1667	6,7652	0,8906	1,2300	8,3212	45,7684	1,5129
Total		38,1928	3,0000	0,0000	1,3340	243,6182	3,8996

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar. Kemudian data TTF yang bernilai 0 dihilangkan, sehingga jumlahnya menjadi 6 data.
- Nilai x_i, diperoleh dengan x_i= ln (t_i) = ln(385,0833) = 5,9535
- Nilai F(t_i), diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

dimana: n = jumlah data = 6

Contoh perhitungan:

i= 1

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

- Nilai y_i diperoleh dari konversi nilai F(t_i) ke tabel Z (Tabel Distribusi Normal).

Berdasarkan tabel 4.12, untuk menghitung *gradien*, *intersep*, standar deviasi, parameter, dan *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{\{[6x (1,3340)] - [38,1928 x 0]\}}{\{[6 x 243,6182] - [38,1928]^2\}} = 2,6503$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[0 - (2,6503 x 38,1928)]}{6} = -16,8702$$

c. *Standar Deviasi*

$$s = \frac{1}{b} = \frac{1}{2,6503} = 0,3773$$

d. *Parameter*

$$t_{med} = e^{-s\alpha} = e^{-(0,3773)(-16,8702)} = 581,4150$$

e. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(6x1,3340)-(38,1928 x (0))\}}{\sqrt{\{(6x243,6182)-(38,1928)^2\}x \{(6 x 3,8996)-(0)^2\}}}$$

$$r = 0,9522$$

4. Distribusi Eksponensial

Tabel 4.13 Perhitungan IoF Distribusi Eksponensial TTF Komponen *Hydraulic*

Hose

i	t _i (jam)	x _i =t _i	F(t _i)	y _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	385,0833	385,0833	0,1094	0,1158	44,6049	148289,1736	0,0134

2	500,0000	500,0000	0,2656	0,3087	154,3677	250000,0000	0,0953
3	509,0000	509,0000	0,4219	0,5480	278,9143	259081,0000	0,3003
4	545,6667	545,6667	0,5781	0,8630	470,9356	297752,1111	0,7448
5	833,0000	833,0000	0,7344	1,3257	1104,2829	693889,0000	1,7574
6	867,1667	867,1667	0,8906	2,2130	1919,0164	751978,0278	4,8972
Total		3639,9167	3,0000	5,3742	3972,1217	2400989,3125	7,8085

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar. Kemudian data TTF yang bernilai 0 dihilangkan, sehingga jumlahnya menjadi 6 data.
- Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = t_i$
- Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

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

Contoh perhitungan:

$i = 1$

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

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

$$y_i = \ln\left(\frac{1}{1-0,1094}\right) = -0,1158$$

Berdasarkan tabel 4.13, untuk menghitung *gradien* dan *index of fit* dari distribusi eksponensial sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{3972,1217}{2400989,3125} = 0,0017$$

b. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(6 \times 3972,1217) - (3639,9167 \times (5,3742))\}}{\sqrt{\{(6 \times 2400989,312) - (3639,9167)^2\} \times \{(6 \times 7,8085) - (5,3742)^2\}}}$$

$$r = 0,9367$$

4.2.3.2 Perhitungan *Index of Fit (IoF)* TTR Komponen *Hydraulic Hose*

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

1. Distribusi Weibull

Tabel 4.14 Perhitungan IoF Distribusi Weibull TTR Komponen *Hydraulic Hose*

i	t _i (jam)	x _i =ln t _i	F(t _i)	y _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	1,2500	0,2231	0,0946	-2,3089	-0,5152	0,0498	5,3309
2	1,3333	0,2877	0,2297	-1,3432	-0,3864	0,0828	1,8041
3	1,4167	0,3483	0,3649	-0,7898	-0,2751	0,1213	0,6238
4	1,5000	0,4055	0,5000	-0,3665	-0,1486	0,1644	0,1343
5	1,6667	0,5108	0,6351	0,0082	0,0042	0,2609	0,0001
6	1,6667	0,5108	0,7703	0,3858	0,1971	0,2609	0,1489

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Tabel 4.14 Perhitungan IoF Distribusi Weibull TTR Komponen *Hydraulic Hose*

(lanjutan)

i	t _i (jam)	x _i =ln t _i	F(t _i)	y _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
7	1,8333	0,6061	0,9054	0,8579	0,5200	0,3674	0,7360
Total		2,8924	3,5000	-3,5565	-0,6041	1,3076	8,7781

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

- Kolom t_i pada tabel diatas diperoleh dari data TTR yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar. Jumlah data menjadi 7 data.
- Nilai x_i, diperoleh dengan x_i = ln (t_i) = ln(1,250) = 0,2231
- Nilai F(t_i), diperoleh dengan menggunakan rumus: $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

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

Contoh perhitungan:

$i = 1$

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

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

$$y_i = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1-0,0946} \right) \right) = -2,3089$$

Berdasarkan tabel 4.14, untuk menghitung parameter bentuk, *intersep*, parameter skala, dan *index of fit* dari distribusi weibull sebagai berikut:

a. Parameter Bentuk

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

$$\beta = b = \frac{\{[7 \times (-0,6041)] - [2,8924 \times (-3,5565)]\}}{\{[7 \times 1,3076] - [2,8924]^2\}} = 7,6977$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[-3,5565 - (7,6977 \times 2,8924)]}{7} = -3,6888$$

c. Parameter Skala

$$\theta = e^{\frac{-\alpha}{b}} = e^{\frac{3,6888}{7,6977}} = 1,6148$$

d. *Index of Fit* (IoF)

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

$$r = \frac{\{(7x-0,6041)-(2,8924 x (-3,5565))\}}{\sqrt{\{(7x 1,3076)-(2,8924)^2\}x \{(7 x 8,7781)-(-3,5565)^2\}}}$$

$$r = 0,9776$$

2. Distribusi Normal

Tabel 4.15 Perhitungan IoF Distribusi Normal TTR Komponen *Hydraulic Hose*

i	t _i (jam)	x _i =t _i	F(t _i)	y _i =z _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	1,2500	1,2500	0,0946	-1,3100	-1,6375	1,5625	1,7161
2	1,3333	1,3333	0,2297	-0,7400	-0,9867	1,7778	0,5476
3	1,4167	1,4167	0,3649	-0,3500	-0,4958	2,0069	0,1225
4	1,5000	1,5000	0,5000	0,0000	0,0000	2,2500	0,0000
5	1,6667	1,6667	0,6351	0,3500	0,5833	2,7778	0,1225
6	1,6667	1,6667	0,7703	0,7400	1,2333	2,7778	0,5476
7	1,8333	1,8333	0,9054	1,3100	2,4017	3,3611	1,7161
Total		10,6667	3,5000	0,0000	1,0983	16,5139	4,7724

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

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

dimana: n = jumlah data = 7

Contoh perhitungan:

i = 1

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

d. Nilai y_i diperoleh dari konversi nilai $F(t_i)$ ke tabel Z (Tabel Distribusi Normal).

Berdasarkan tabel 4.15, untuk menghitung *gradien*, *intersep*, standar deviasi, rata-rata kerusakan, dan *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{\{[7x (1,0983)] - [10,6667 x 0]\}}{\{[7x 16,5139] - [10,6667]^2\}} = 4,2256$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[0 - (4,2256 x 10,6667)]}{7} = -6,4391$$

c. *Standar Deviasi*

$$\sigma = \frac{1}{b} = \frac{1}{4,2256} = 0,2367$$

d. *Rata-rata kerusakan*

$$\mu = -\alpha \sigma = -(-6,4391 x 0,2367) = 1,5238$$

e. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(7x1,0983)-(10,6667 x (0))\}}{\sqrt{\{(7x16,5139)-(10,6667)^2\}x \{(6 x 4,7724)-(0)^2\}}}$$

$$r = 0,9862$$

3. Distribusi Lognormal

Tabel 4.16 Perhitungan IoF Distribusi lognormal TTR Komponen *Hydraulic Hose*

i	t _i (jam)	x _i =ln t _i	F(t _i)	y _i =z _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	1,2500	0,2231	0,0946	-1,3100	-0,2923	0,0498	1,7161
2	1,3333	0,2877	0,2297	-0,7400	-0,2129	0,0828	0,5476
3	1,4167	0,3483	0,3649	-0,3500	-0,1219	0,1213	0,1225
4	1,5000	0,4055	0,5000	0,0000	0,0000	0,1644	0,0000
5	1,6667	0,5108	0,6351	0,3500	0,1788	0,2609	0,1225
6	1,6667	0,5108	0,7703	0,7400	0,3780	0,2609	0,5476
7	1,8333	0,6061	0,9054	1,3100	0,7940	0,3674	1,7161
Total		2,8924	3,5000	0,0000	0,7237	1,3076	4,7724

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

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

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

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

dimana: n = jumlah data = 7

Contoh perhitungan:

i= 1

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

d. Nilai y_i diperoleh dari konversi nilai F(t_i) ke tabel Z (Tabel Distribusi Normal).

Berdasarkan tabel 4.16, untuk menghitung *gradien*, *intersep*, standar deviasi, parameter, dan *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{\{[7 \times 0,7237] - [2,8924 \times 0]\}}{\{[7 \times 1,3076] - [2,8924]^2\}} = 6,4370$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[0 - (6,4370 \times 2,8924)]}{7} = -2,6597$$

c. *Standar Deviasi*

$$s = \frac{1}{b} = \frac{1}{6,4370} = 0,1554$$

d. *Parameter*

$$t_{\text{med}} = e^{-s\alpha} = e^{-(0,1554)(-2,6597)} = 1,5116$$

e. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(7 \times 0,7237) - (2,8924 \times 0)\}}{\sqrt{\{(7 \times 1,3076) - (2,8924)^2\} \times \{(7 \times 4,7724) - (0)^2\}}}$$

$$r = 0,9880$$

4. *Distribusi Ekspensial*

Tabel 4.17 Perhitungan IoF Distribusi Ekspensial TTR Komponen *Hydraulic*

Hose

i	t_i (jam)	x_i=t_i	F(t_i)	y_i	x_iy_i	(x_i)²	(y_i)²
1	1,2500	1,2500	0,0946	0,0994	0,1242	1,5625	0,0099
2	1,3333	1,3333	0,2297	0,2610	0,3480	1,7778	0,0681

3	1,4167	1,4167	0,3649	0,4539	0,6430	2,0069	0,2060
4	1,5000	1,5000	0,5000	0,6931	1,0397	2,2500	0,4805
5	1,6667	1,6667	0,6351	1,0082	1,6804	2,7778	1,0165
6	1,6667	1,6667	0,7703	1,4709	2,4514	2,7778	2,1634
7	1,8333	1,8333	0,9054	2,3582	4,3233	3,3611	5,5609
Total		10,6667	3,5000	6,3447	10,6101	16,5139	9,5053

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan:

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

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

Contoh perhitungan:

$i = 1$

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

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

$$y_i = \ln\left(\frac{1}{1 - 0,0946}\right) = - 0,0994$$

Berdasarkan tabel 4.17, untuk menghitung *gradien* dan *index of fit* dari distribusi eksponensial sebagai berikut:

- Gradien*

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

$$b = \frac{10,6101}{16,5139} = 0,6425$$

- Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(7 \times 10,61010) - (10,6667 \times 6,3477)\}}{\sqrt{\{(7 \times 16,5139) - (10,6667)^2\} \times \{(7 \times 9,5053) - (6,3477)^2\}}}$$

$$r = 0,9536$$

Perhitungan Iof TTF dan TTR untuk komponen kritis *bearing* dan *auto tool change* dapat dilihat pada lampiran C.

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

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

4.2.4.1 Pemilihan Distribusi TTF dan TTR *Hydraulic Hose*

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

Tabel 4.18 Nilai IoF TTF dan TTR Komponen *Hydraulic Hose*

<i>Time to Failure (TTF)</i>		<i>Time to Repair (TTR)</i>	
Jenis Distribusi	<i>Index of Fit</i>	Jenis Distribusi	<i>Index of Fit</i>
Weibull	0,9358	Weibull	0,9776
Normal	0,9342	Normal	0,9862
Lognormal	0,9522	Lognormal	0,9880
Eksponensial	0,9367	Eksponensial	0,9536

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

4.2.4.2 Pemilihan Distribusi TTF dan TTR *Bearing*

Berdasarkan hasil perhitungan, terlihat bahwa distribusi yang sesuai untuk komponen ini adalah distribusi normal untuk selang waktu kerusakan dan distribusi weibull selang waktu perbaikan.

Tabel 4.19 Nilai IoF TTF dan TTR Komponen *Bearing*

<i>Time to Failure (TTF)</i>		<i>Time to Repair (TTR)</i>	
Jenis Distribusi	<i>Index of Fit</i>	Jenis Distribusi	<i>Index of Fit</i>
Weibull	0,9813	Weibull	0,9356
Normal	0,9820	Normal	0,9262
Lognormal	0,9621	Lognormal	0,9277
Ekspensial	0,9325	Ekspensial	0,8660

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

4.2.4.3 Pemilihan Distribusi TTF dan TTR *Auto Tool Change*

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

Tabel 4.20 Nilai IoF TTF dan TTR Komponen *Auto Tool Change*

<i>Time to Failure (TTF)</i>		<i>Time to Repair (TTR)</i>	
Jenis Distribusi	<i>Index of Fit</i>	Jenis Distribusi	<i>Index of Fit</i>
Weibull	0,9141	Weibull	0,9503
Normal	0,8821	Normal	0,9358
Lognormal	0,8774	Lognormal	0,9365
Ekspensial	0,7838	Ekspensial	0,8640

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

4.2.5 Pengujian Keselarasan Distribusi Terpilih

Uji keselarasan ini dilakukan untuk mengetahui apakah distribusi yang dipergunakan sesuai apa tidak. Apabila Berdasarkan uji tersebut tidak memenuhi kecocokkan, maka diambil distribusi dengan nilai (r) terbesar kedua, dan seterusnya. Pengujian yang dilakukan masing-masing distribusi antara lain: *Mann's test* untuk distribusi Weibull, *Bartlett's test* untuk distribusi Ekspensial, dan *Kolmogorov-Smirnov test* untuk distribusi Normal dan Lognormal.

4.2.5.1 Pengujian Keselarasan TTF Komponen *Hydraulic Hose*

Berdasarkan perhitungan *index of fit* terbesar TTF dari komponen *hydraulic hose* menunjukkan bahwa distribusi yang terpilih adalah distribusi lognormal. Maka dari itu uji keselarasan yang terpilih adalah uji *Kolmogorov-Smirnov test*. Hasil perhitungan uji keselarasan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.21 Perhitungan Uji Keselarasan TTF Komponen *Hydraulic Hose*

I	t_i	$(t_i - \bar{t})^2$	$z = (t_i - \bar{t})/s$	(z_i)	D_1	D_2
1	385,0833	49093,0187	-1,1283	0,1296	0,1296	0,0371
2	500,0000	11374,8150	-0,5431	0,2935	0,1269	0,0398
3	509,0000	9536,0650	-0,4973	0,3095	-0,0238	0,1905
4	545,6667	3719,3057	-0,3106	0,3781	-0,1219	0,2886
5	833,0000	51233,0650	1,1526	0,8755	0,2088	-0,0421
6	867,1667	67867,4863	1,3266	0,9077	0,0743	0,0923
Total	3639,9167	192823,7558	Max		0,2088	0,2886

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah :

H_0 : Data berdistribusi Lognormal.

H_1 : Data tidak berdistribusi Lognormal.

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

Taraf nyata = $\alpha = 0,05$

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{3639,9176}{6} = 606,6582$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1} = s = \sqrt{\frac{192823,7558}{6-1}} = 196,3791$$

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

$$D_1 = \max \left\{ \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} = 0,2088$$

dimana :

$$D_2 = \max \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) \right\} = 0,2886$$

Nilai Zi diperoleh dari tabel normal atau formula *normsdist* pada microsoft excel.

$$D_n = \max(D_1, D_2) = 0,2886$$

Nilai $D_{erit(6,0,05)} = 0,519$ (Diperoleh dari Tabel *Kolmogorov-Smirnov*)

Kesimpulan: Karena $D_n(0,2886) < D_{erit}(0,519)$ maka H_0 diterima yang berarti dsitribusi TTF untuk komponen ini adalah distribusi lognormal.

4.2.5.2 Pengujian Keselarasan TTR Komponen *Hydraulic Hose*

Berdasarkan perhitungan *index of fit* terbesar TTR dari komponen *hydraulic hose* menunjukkan bahwa distribusi yang terpilih adalah distribusi lognormal. Maka dari itu uji keselarasan yang terpilih adalah uji *Kolmogorov-Smirnov test*. Hasil perhitungan uji keselarasan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.22 Perhitungan Uji Keselarasan TTR Komponen *Hydraulic Hose*

i	t_i	$(t_i - \bar{t})^2$	$z = (t_i - \bar{t})/s$	(z_i)	D_1	D_2
1	1,2500	0,0750	-1,3155	0,0942	0,0942	0,0487
2	1,3333	0,0363	-0,9152	0,1801	0,0372	0,1057
3	1,4167	0,0115	-0,5148	0,3034	0,0176	0,1252
4	1,5000	0,0006	-0,1144	0,4545	0,0259	0,1170
5	1,6667	0,0204	0,6864	0,7538	0,1823	-0,0395
6	1,6667	0,0204	0,6864	0,7538	0,0395	0,1034
7	1,8333	0,0958	1,4871	0,9315	0,0744	0,0685
Total	10,6667	0,2599	Max		0,1823	0,1252

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah :

H_0 : Data berdistribusi Lognormal.

H_1 : Data tidak berdistribusi Lognormal.

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

Taraf nyata = $\alpha = 0,05$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{10,6667}{7} = 1,5238$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1} = s = \sqrt{\frac{0,2599}{7-1}} = 0,2081$$

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

$$D_1 = \max \left\{ \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} = 0,1823$$

dimana :

$$D_2 = \max \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) \right\} = 0,1252$$

Nilai Zi diperoleh dari tabel normal atau formula *normsdist* pada microsoft excel.

$$D_n = \max(D_1, D_2) = 0,1823$$

Nilai $D_{erit(6,0,05)} = 0,483$ (Diperoleh dari Tabel *Kolmogorov-Smirnov*)

Kesimpulan: Karena $D_n(0,1823) < D_{erit}(0,483)$ maka H_0 diterima yang berarti distribusi TTR untuk komponen ini adalah distribusi lognormal.

Pengujian keselarasan distribusi TTF dan TTR untuk komponen *bearing* dan *auto tool change* terdapat pada lampiran C.

4.2.6 Perhitungan Estimasi Parameter Setiap Distribusi Terpilih

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

4.2.6.1 Perhitungan Estimasi Parameter Komponen *Hydraulic Hose*

1. Estimasi Parameter untuk TTF

Berdasarkan hasil pengujian keselarasan, didapat bahwa distribusi selang waktu kerusakan yang terpilih untuk komponen ini adalah distribusi lognormal. Berikut ini merupakan perhitungan MLE untuk TTF komponen *hydraulic hose*:

Tabel 4.23 Perhitungan MLE TTF Komponen *Hydraulic Hose*

i	t_i	$\ln t_i$	$\ln t_i/n$	$(\ln t_i - \mu)^2$
1	385,0833	5,9535	0,9922	0,1697
2	500,0000	6,2146	1,0358	0,0228
3	509,0000	6,2324	1,0387	0,0177

4	545,6667	6,3020	1,0503	0,0040
5	833,0000	6,7250	1,1208	0,1293
6	867,1667	6,7652	1,1275	0,1598
Total	3639,9167	38,1928	6,3655	0,5033

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

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

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} = \frac{38,1928}{6} = 6,3655$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,5033}{6}} = 0,2896$$

$$t_{med} = e^{\mu} = e^{6,3655} = 581,415$$

Berdasarkan hasil perhitungan estimasi parameter komponen *hydraulic hose*, dapat dilihat perbandingan parameter antara metode LSCF dengan MLE sebagai berikut.

Tabel 4.24 Nilai Parameter Komponen *Hydraulic Hose* (TTF)

Komponen	Distribusi	Parameter LSCF	Parameter MLE
<i>Hydraulic Hose</i>	Lognormal	s = 0,3773	s = 0,2896
		t _{med} = 581,4150	t _{med} = 581,4150

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Pada tabel diatas bahwa perbandingan parameter LSCF dan MLE untuk parameter s pada distribusi lognormal mengalami perubahan dari 0,3773 menjadi 0,2896. Berdasarkan nilai parameter diatas maka dapat ditentukan nilai laju kerusakan tiap waktu kerusakan komponen. Nilai laju kerusakan komponen *hydraulic hose* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.25 Nilai Laju Kerusakan Komponen *Hydraulic Hose*

t _i	f(t)	F(t)	R(t)	λ(t)
385,0833	0,0378	0,0774	0,9226	0,0409
500,0000	0,0331	0,3012	0,6988	0,0474
509,0000	0,0328	0,3230	0,6770	0,0485
545,6667	0,0317	0,4133	0,5867	0,0541
833,0000	0,0257	0,8928	0,1072	0,2394

867,1667	0,0252	0,9162	0,0838	0,3004
----------	--------	--------	--------	--------

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Contoh perhitungan dapat dilihat dibawah ini (t = 385,0833):

5. fungsi kepadatan probabilitas

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

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14 \times (385,0833) \times 0,2896}} e^{\left[-\frac{1}{2(0,2896)^2} \left(\frac{\ln 385,0833}{581,415} \right)^2 \right]} = 0,0378$$

6. fungsi distribusi kumulatif

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

$$F(t) = \text{normsdist} \left[\frac{1}{0,2896} \ln \left(\frac{385,0833}{581,415} \right) \right] = 0,0774$$

Nilai $F(t)$ diperoleh dari tabel normal atau formula *normsdist* pada microsof excel.

7. fungsi keandalan

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

$$R(t) = 1 - \text{normsdist} \left[\frac{1}{0,2896} \ln \left(\frac{385,0833}{581,415} \right) \right] = 0,9226$$

8. fungsi laju kerusakan: $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = 0,0378/0,9226 = 0,0409$

2. Estimasi Parameter untuk TTR

Berdasarkan hasil pengujian keselarasan, didapat bahwa distribusi selang waktu perbaikan yang terpilih untuk komponen ini adalah distribusi lognormal. Berikut ini merupakan perhitungan MLE untuk TTR komponen *hydraulic hose*:

Tabel 4.26 Perhitungan MLE TTR Komponen *Hydraulic Hose*

i	t _i	ln t _i	ln t _i /n	(ln t _i - μ) ²
1	1,2500	0,2231	0,0319	0,0361
2	1,3333	0,2877	0,0411	0,0158

3	1,4167	0,3483	0,0498	0,0042
4	1,5000	0,4055	0,0579	0,0001
5	1,6667	0,5108	0,0730	0,0095
6	1,6667	0,5108	0,0730	0,0095
7	1,8333	0,6061	0,0866	0,0372
Total	10,6667	2,8924	0,4132	0,1124

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

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

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} = \frac{2,8924}{7} = 0,4132$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,1124}{7}} = 0,1267$$

$$t_{med} = e^{\mu} = e^{0,4132} = 1,5116$$

Berdasarkan hasil perhitungan estimasi parameter komponen *hydraulic hose*, dapat dilihat perbandingan parameter antara metode LSCF dengan MLE sebagai berikut.

Tabel 4.27 Nilai Parameter Komponen *Hydraulic Hose* (TTR)

Komponen	Distribusi	Parameter LSCF	Parameter MLE
<i>Hydraulic Hose</i>	Lognormal	s= 0,1554	s= 0,1267
		t _{med} = 1,5116	t _{med} = 1,5116

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Pada tabel diatas bahwa parameter LSCF dan MLE untuk parameter s pada distribusi lognormal mengalami perubahan dari 0,1554 menjadi 0,1267.

4.2.6.2 Perhitungan Estimasi Parameter Komponen *Bearing*

1. Estimasi Parameter untuk TTF

Berdasarkan hasil pengujian keselarasan, didapat bahwa distribusi selang waktu kerusakan yang terpilih untuk komponen ini adalah distribusi normal. Berikut ini merupakan perhitungan MLE untuk TTF komponen *bearing*:

Tabel 4.28 Perhitungan MLE TTF Komponen *Bearing*

i	t _i	t _i /n	(t _i -t) ²
---	----------------	-------------------	----------------------------------

1	741,0833	247,0278	247119,4568
2	1337,5000	445,8333	9861,5934
3	1636,0000	545,3333	158249,2600
Total	3714,5833	1238,1944	415230,3102

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

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

$$\mu = t = \frac{\sum_{i=1}^n ti}{n} = \frac{3714,5833}{3} = 1238,1994$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (ti-\mu)^2}{n-1} \text{ atau } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ti-\mu)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{415230,3102}{3-1}} = 455,6481$$

Berdasarkan hasil perhitungan estimasi parameter komponen *bearing*, dapat dilihat perbandingan parameter antara metode LSCF dengan MLE sebagai berikut.

Tabel 4.29 Nilai Parameter Komponen *Bearing* (TTF)

Komponen	Distribusi	Parameter LSCF	Parameter MLE
<i>Bearing</i>	Normal	$\mu = 1238,1944$	$\mu = 1238,1944$
		$\sigma = 565,8386$	$\sigma = 455,6481$

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Pada tabel diatas, parameter LSCF dan MLE untuk parameter σ pada distribusi normal mengalami perubahan dari 565,8386 menjadi 455,6481. Berdasarkan nilai parameter diatas maka dapat ditentukan nilai laju kerusakan tiap waktu kerusakan komponen. Nilai laju kerusakan komponen *bearing* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.30 Nilai Laju Kerusakan Komponen *Bearing*

t_i	$f(t)$	$F(t)$	$R(t)$	$\lambda(t)$
741,0833	0,0103	0,1376	0,8624	0,0120
1337,5000	0,0183	0,5863	0,4137	0,0441
1636,0000	0,0128	0,8087	0,1913	0,0667

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Contoh perhitungan dapat dilihat dibawah ini ($t = 741,0833$):

a. fungsi kepadatan probabilitas

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

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14 \times 455,6481}} e^{-\left[\frac{1}{2(455,6481)^2}(741,0833-1238,1994)^2\right]} = 0,0103$$

b. fungsi distribusi kumulatif

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

$$F(t) = \text{normsdist}\left[\left(\frac{741,0833 - 1238,1994}{455,6481}\right)\right] = 0,1376$$

Nilai $F(t)$ diperoleh dari tabel normal atau formula *normsdist* pada microsoft excel.

c. fungsi keandalan

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

$$R(t) = 1 - 0,1376 = 0,8624$$

d. fungsi laju kerusakan: $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = 0,0103/0,8624 = 0,0120$

2. Estimasi Parameter untuk TTR

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

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

Tabel 4.31 Perhitungan MLE TTR Komponen *Bearing*

i	Perkiraan β	t_i	t_i^β	$\ln t_i$	$t_i^\beta \ln t_i$
1	24,8643	5,6667	5,382E+18	1,7346	9,33608E+18
2	24,8643	5,8333	1,107E+19	1,76359	1,95156E+19
3	24,8643	6,3333	8,551E+19	1,84583	1,5784E+20
4	24,8643	6,3333	8,551E+19	1,84583	1,5784E+20
Total		24,1667	1,875E+20	7,18984	3,44532E+20

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

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

β = diperoleh dari perkiraan

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

$$g(\beta) = \frac{(3,44532E + 20) + (4 - 4)1^{24,8643} \ln 1}{(1,875E + 20) + (4 - 4)1^{24,8643}} - \frac{1}{24,8643} - \frac{1}{4} 7,1898 = 0,0001 \text{ (sudah mendekati 0)}$$

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

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

$$= \left\{ \frac{1}{4} [(1,875 + 20) + (4 - 4)1^{24,8643}] \right\}^{\frac{1}{24,8643}} = 6,1820$$

Berdasarkan hasil perhitungan estimasi parameter komponen *bearing*, dapat dilihat perbandingan parameter antara metode LSCF dengan MLE sebagai berikut.

Tabel 4.32 Nilai Parameter Komponen *Bearing* (TTR)

Komponen	Distribusi	Parameter LSCF	Parameter MLE
<i>Bearing</i>	Weibull	$\beta = 16,5158$	$\beta = 24,8643$
		$\theta = 6,2114$	$\theta = 6,1820$

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Pada tabel diatas, parameter LSCF dan MLE untuk parameter β pada distribusi weibull mengalami perubahan dari 16,5158 menjadi 24,8643 dan parameter θ mengalami perubahan dari 6,2114 menjadi 6,1820.

4.2.6.3 Perhitungan Estimasi Parameter Komponen *Auto Tool Change*

1. Estimasi Parameter untuk TTF

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

Berikut ini merupakan perhitungan MLE untuk TTF komponen *auto tool change*:

Tabel 4.33 Perhitungan MLE TTF Komponen *Auto Tool Change*

i	Perkiraan β	t_i	t_i^β	$\ln t_i$	$t_i^\beta \ln t_i$
1	4,1671	569,3333	3,033E+11	6,3445	1,92435E+12
2	4,1671	1210,6667	7,035E+12	7,0989	4,99418E+13
3	4,1671	1235,7500	7,663E+12	7,1194	5,45544E+13
Total		3015,7500	1,5E+13	20,5628	1,06421E+14

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

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

β = diperoleh dari perkiraan

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

$$g(\beta) = -0,0001 \text{ (mendekati 0)}$$

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

$$\theta = \left\{ \frac{1}{r} \left[\sum_{i=1}^r t_i^\beta + (n-r)t_s^\beta \right] \right\}^{\frac{1}{\beta}} = 1115,4344$$

Berdasarkan hasil perhitungan estimasi parameter komponen *auto tool change*, dapat dilihat perbandingan parameter antara metode LSCF dengan MLE sebagai berikut.

Tabel 4.34 Nilai Parameter Komponen *Auto Tool Change* (TTF)

Komponen	Distribusi	Parameter LSCF	Parameter MLE
<i>Auto Tool Change</i>	Weibull	$\beta = 1,9991$	$\beta = 4,1671$
		$\theta = 1192,4246$	$\theta = 1115,4344$

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Pada tabel diatas, parameter LSCF dan MLE untuk parameter β pada distribusi weibull mengalami perubahan dari 1,9991 menjadi 4,1671 dan parameter θ mengalami perubahan dari 1192,4246 menjadi 1115,4344. Berdasarkan nilai parameter diatas maka dapat ditentukan nilai laju kerusakan tiap

waktu kerusakan komponen. Nilai laju kerusakan komponen *auto tool change* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.35 Nilai Laju Kerusakan Komponen *Auto Tool Change*

t_i	λ(t)
569,3333	0,0004
1210,6667	0,0048
1235,7500	0,0052

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Contoh perhitungan nilai laju kerusakan (t = 569,3333)

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

$$\lambda(t) = \left(\frac{4,1671}{1115,4344}\right) \left(\frac{569,3333}{1115,4344}\right)^{4,1671-1} = 0,0004$$

2. Estimasi Parameter untuk TTR

Berdasarkan hasil pengujian keselarasan, didapat bahwa distribusi selang waktu perbaikan yang terpilih untuk komponen ini adalah distribusi weibull. Berikut ini merupakan perhitungan MLE untuk TTR komponen *auto tool change*:

Tabel 4.36 Perhitungan MLE TTR Komponen *Auto Tool Change*

i	Perkiraan β	t_i	t_i^β	ln t_i	t_i^β ln t_i
1	39,1999	6,5000	7,347E+31	1,8718	1,37525E+32
2	39,1999	6,6667	1,982E+32	1,8971	3,76041E+32
3	39,1999	7,0000	1,342E+33	1,9459	2,61145E+33
4	39,1999	7,0000	1,342E+33	1,9459	2,61145E+33
Total		27,1667	2,956E+33	7,6607	5,73646E+33

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

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

β = diperoleh dari perkiraan

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

$$g(\beta) = 0,0001 \text{ (mendekati 0)}$$

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

$$\theta = \left\{ \frac{1}{r} \left[\sum_{i=1}^r ti^\beta + (n - r)t_s^\beta \right] \right\}^{\frac{1}{\beta}} = 6,8942$$

Berdasarkan hasil perhitungan estimasi parameter komponen *auto tool change*, dapat dilihat perbandingan parameter antara metode LSCF dengan MLE sebagai berikut.

Tabel 4.37 Nilai Parameter Komponen *Auto Tool Change* (TTR)

Komponen	Distribusi	Parameter LSCF	Parameter MLE
<i>Auto Tool Change</i>	Weibull	$\beta = 25,9140$	$\beta = 39,1999$
		$\theta = 6,9145$	$\theta = 6,8942$

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Pada tabel diatas, parameter LSCF dan MLE untuk parameter β pada distribusi weibull mengalami perubahan dari 25,9140 menjadi 39,1999 dan parameter θ mengalami perubahan dari 6,9145 menjadi 6,8942.

4.2.7 Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF)

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

4.2.7.1 Perhitungan MTTF Komponen *Hydraulic Hose*

Pada komponen *hydraulic hose* distribusi yang terpilih adalah distribusi lognormal.

Diketahui:

$$s = 0,2896$$

$$t_{med} = 581,4150$$

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

$$MTTF = 581,4150 \exp(0,2896^2/2) = 606,3206$$

4.2.7.2 Perhitungan MTTF Komponen *Bearing*

Pada komponen *bearing* distribusi yang terpilih adalah distribusi normal.

Diketahui:

$$\mu = 1238,1944$$

$$MTTF = \mu$$

$$MTTF = 1238,1944$$

4.2.7.3 Perhitungan MTTF Komponen *Auto Tool Change*

Pada komponen *auto tool change* distribusi yang terpilih adalah distribusi weibull.

Diketahui:

$$\beta = 4,1671$$

$$\theta = 1115,4344$$

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

$$MTTF = 1115,4344(1 + 1/4,1671)$$

$$MTTF = 1115,4344 \times (0,90852)$$

$$MTTF = 1013,3945$$

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

4.2.8 Perhitungan *Mean Time To Repair (MTTR)*

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

4.2.8.1 Perhitungan MTTR Komponen *Hydraulic Hose*

Pada komponen *hydraulic hose* distribusi yang terpilih adalah distribusi lognormal.

Diketahui:

$$s = 0,1267$$

$$t_{med} = 1,5116$$

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

$$MTTR = 1,5116 \exp(0,1267^2/2) = 1,5238$$

4.2.8.2 Perhitungan MTTR Komponen *Bearing*

Pada komponen *bearing* distribusi yang terpilih adalah distribusi weibull.

Diketahui:

$$\beta = 24,8643$$

$$\theta = 6,1820$$

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

$$MTTR = 6,1820(1+1/24,8643)$$

$$MTTR = 6,1820 \times (0,97844)$$

$$MTTR = 6,0487$$

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

4.2.8.3 Perhitungan MTTR Komponen *Auto Tool Change*

Pada komponen *auto tool change* distribusi yang terpilih adalah distribusi weibull.

Diketahui:

$$\beta = 39,1999$$

$$\theta = 6,8942$$

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

$$MTTR = 6,8942(1+1/39,1999)$$

$$MTTR = 6,8942 \times (0,98884)$$

$$MTTR = 6,8173$$

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

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

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

Setelah dilakukan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan, maka kita bisa mengetahui jadwal waktu penggantian pencegahan komponen kritis.

4.2.9.1 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen

Hydraulic Hose

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan komponen *hydraulic hose* dengan distribusi TTF adalah distribusi lognormal dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Diketahui:

t atau $\mu = 6,3655$

$t_{med} = 581,4150$

$s = 0,2896$

MTTF = 606,3206

MTTR = 1,5238

Tabel 4.38 Perhitungan Interval waktu Penggantian Pencegahan Komponen

Hydraulic Hose

t_p (jam)	R (t_p)	F (t_p)	M (t_p)	$T_p * R$ (t_p)	$T_f * F$ (t_p)	$(t_p + T_p) * R$ (t_p)	$(M(t_p) + T_f) * F(t_p)$	D (t_p)
100	1,0000	6,09819E-10	9,94264E+11	1,52383	9,29262E-10	101,5238327	606,3206172	0,00215278
200	0,99989	0,00011	5291074,06528	1,52366	0,00017	201,50074	606,32079	0,00188635
300	0,98883	0,01117	54281,94092	1,50681	0,01702	298,15586	606,33764	0,00168474
400	0,90170	0,09830	6167,89339	1,37404	0,14980	362,05295	606,47041	0,00157336
500	0,69877	0,30123	2012,78321	1,06480	0,45903	350,44733	606,77965	0,00159192
600	0,45675	0,54325	1116,08943	0,69600	0,82783	274,74330	607,14845	0,00172791
700	0,26081	0,73919	820,24612	0,39743	1,12641	182,96196	607,44702	0,00192790
800	0,13525	0,86475	701,15428	0,20610	1,31773	108,40901	607,63835	0,00212812
900	0,06571	0,93429	648,96136	0,10013	1,42371	59,23565	607,74432	0,00228468
1000	0,03058	0,96942	625,44724	0,04660	1,47723	30,62732	607,79785	0,00238686
400	0,90170	0,09830	6167,89339	1,37404	0,14980	362,05295	606,47041	0,00157336
410	0,88610	0,11390	5323,12450	1,35026	0,17357	364,64997	606,49419	0,00156911
420	0,86924	0,13076	4637,07331	1,32458	0,19925	366,40748	606,51987	0,00156623
430	0,85120	0,14880	4074,69263	1,29708	0,22675	367,31241	606,54737	0,00156474
440	0,83203	0,16797	3609,66743	1,26787	0,25596	367,36049	606,57658	0,00156461

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Tabel 4.38 Perhitungan Interval waktu Penggantian Pencegahan Komponen

Hydraulic Hose (lanjutan)

t_p (jam)	R (t_p)	F (t_p)	M (t_p)	$T_p * R$ (t_p)	$T_f * F$ (t_p)	$(t_p + T_p) * R$ (t_p)	$(M(t_p) + T_f) * F(t_p)$	D (t_p)
450	0,81182	0,18818	3222,02273	1,23708	0,28676	366,55602	606,60737	0,00156585
441	0,83005	0,16995	3567,70549	1,26486	0,25897	367,31826	606,57959	0,00156467
442	0,82807	0,17193	3526,49650	1,26184	0,26200	367,26751	606,58261	0,00156475
443	0,82607	0,17393	3486,02383	1,25879	0,26504	367,20825	606,58566	0,00156484
444	0,82406	0,17594	3446,27127	1,25574	0,26810	367,14048	606,58871	0,00156495
445	0,82205	0,17795	3407,22307	1,25266	0,27117	367,06423	606,59179	0,00156506
446	0,82002	0,17998	3368,86383	1,24958	0,27426	366,97949	606,59487	0,00156519
447	0,81799	0,18201	3331,17859	1,24647	0,27736	366,88629	606,59798	0,00156534
448	0,81594	0,18406	3294,15275	1,24336	0,28048	366,78463	606,60109	0,00156550
449	0,81388	0,18612	3257,77208	1,24022	0,28361	366,67454	606,60423	0,00156567

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Contoh Perhitungan:

Misalkan $t_p = 400$ jam

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

$$R(t_p) = 1 - \Phi ((1/0,2896) \ln(400/581,4150))$$

$$R(t_p) = 0,90170$$

$$F(t_p) = 1 - R(t_p) = 1 - 0,90170 = 0,09830$$

$$M(t_p) = MTTF/F(t_p) = 606,3206/0,09830 = 6167,89339$$

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

$$D(t_p) = \frac{1,37404 + 0,14980}{362,05295 + 606,47041} = 0,00157336$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel diatas diperoleh t_p untuk total *downtime* minimum komponen *hydraulic hose* yaitu $t_p = 440$ jam. Adapun perhitungan *availability* penggantian pencegahan sebagai berikut:

$$A(t_p) = 1 - D(t_p)$$

$$A(t_p) = 1 - 0,00157336 = 0,99842664 = 99,84\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan *availability* penggantian pencegahan diperoleh peluang 99,84% komponen *hydraulic hose* beroperasi sesuai dengan fungsinya pada jangka waktu tertentu.

4.2.9.2 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen

Bearing

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan komponen *bearing* dengan distribusi TTF adalah distribusi normal yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Diketahui:

$$\mu = 1238,1944$$

$$\sigma = 455,6481$$

$$MTTF = 1238,1994$$

$$MTTR = 6,0487$$

Tabel 4.39 Perhitungan Interval waktu Penggantian Pencegahan Komponen

Bearing

t_p (jam)	R (t_p)	F (t_p)	M (t_p)	$T_p * R$ (t_p)	$T_f * F$ (t_p)	$(t_p + T_p) * R$ (t_p)	$(M(t_p) + T_f) * F(t_p)$	D (t_p)
100	0,99375	0,00625	198258,08029	6,01094	0,03778	105,38641	1238,23222	0,00450181
200	0,98865	0,01135	109107,59319	5,98008	0,06864	203,71040	1238,26309	0,00419475
300	0,98025	0,01975	62707,57179	5,92929	0,11944	300,00563	1238,31388	0,00393203
400	0,96708	0,03292	37616,76368	5,84962	0,19910	392,68321	1238,39354	0,00370842
500	0,94739	0,05261	23537,29934	5,73052	0,31820	479,42771	1238,51264	0,00352091
600	0,91934	0,08066	15350,34139	5,56082	0,48790	557,16341	1238,68235	0,00336817
700	0,88123	0,11877	10425,22647	5,33032	0,71840	622,19197	1238,91285	0,00325007
800	0,83190	0,16810	7365,75809	5,03192	1,01680	670,55078	1239,21124	0,00316726
900	0,77103	0,22897	5407,55758	4,66372	1,38500	698,58639	1239,57945	0,00312085
1000	0,69943	0,30057	4119,47761	4,23065	1,81807	703,65991	1240,01251	0,00311201
1100	0,61917	0,38083	3251,27379	3,74516	2,30356	684,82816	1240,49800	0,00314166
1001	0,69867	0,30133	4109,03087	4,22603	1,82269	703,58979	1240,01714	0,00311211
1002	0,69790	0,30210	4098,62514	4,22140	1,82732	703,51725	1240,02176	0,00311222
1003	0,69713	0,30287	4088,26022	4,21677	1,83195	703,44231	1240,02640	0,00311233
950	0,73647	0,26353	4698,45561	4,45469	1,59403	704,09908	1239,78848	0,00311166
970	0,72194	0,27806	4452,89859	4,36678	1,68194	704,64391	1239,87638	0,00311065
990	0,70702	0,29298	4226,24113	4,27658	1,77214	704,22865	1239,96658	0,00311117

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Tabel 4.39 Perhitungan Interval waktu Penggantian Pencegahan Komponen

Bearing (lanjutan)

t_p (jam)	R (t_p)	F (t_p)	M (t_p)	$T_p * R$ (t_p)	$T_f * F$ (t_p)	$(t_p + T_p) * R$ (t_p)	$(M(t_p) + T_f) * F(t_p)$	D (t_p)
----------------	-------------	-------------	-------------	---------------------	---------------------	-----------------------------	---------------------------	-------------

971	0,72120	0,27880	4441,13127	4,36233	1,68639	704,64599	1239,88084	0,00311064
972	0,72046	0,27954	4429,41094	4,35787	1,69086	704,64566	1239,88530	0,00311063
973	0,71972	0,28028	4417,73739	4,35340	1,69532	704,64294	1239,88977	0,00311063
974	0,71898	0,28102	4406,11041	4,34892	1,69980	704,63781	1239,89424	0,00311063
975	0,71824	0,28176	4394,52978	4,34444	1,70428	704,63028	1239,89872	0,003110635
976	0,71750	0,28250	4382,99529	4,33996	1,70876	704,62034	1239,90321	0,003110644

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Contoh Perhitungan:

Misalkan $t_p = 1100$ jam

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

$$R(t_p) = 1 - \Phi((1100 - 1238,1944)/455,6481)$$

$$R(t_p) = 0,61917$$

$$F(t_p) = 1 - R(t_p) = 1 - 0,61917 = 0,38083$$

$$M(t_p) = \text{MTTF}/F(t_p) = 1238,1944/0,38083 = 3251,27379$$

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

$$D(t_p) = \frac{3,74516 + 2,30356}{684,82816 + 1240,49800} = 0,00314166$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel diatas diperoleh t_p untuk total *downtime* minimum komponen *bearing* yaitu $t_p = 974$ jam. Adapun perhitungan *availability* penggantian pencegahan sebagai berikut:

$$A(t_p) = 1 - D(t_p)$$

$$A(t_p) = 1 - 0,00314166 = 0,99685834 = 99,68\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan *availability* penggantian pencegahan diperoleh peluang 99,68% komponen *bearing* beroperasi sesuai dengan fungsinya pada jangka waktu tertentu.

4.2.9.3 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen *Auto Tool Change*

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan komponen *auto tool change* dengan distribusi TTF adalah distribusi weibull dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Diketahui:

$$\beta = 4,1671$$

$$\theta = 1115,4344$$

$$MTTF = 1013,3945$$

$$MTTR = 6,8173$$

Tabel 4.40 Perhitungan Interval waktu Penggantian Pencegahan Komponen *Auto*

Tool Change

t_p (jam)	$R(t_p)$	$F(t_p)$	$M(t_p)$	$T_p * R(t_p)$	$T_f * F(t_p)$	$(t_p + T_p) * R(t_p)$	$(M(t_p) + T_f) * F(t_p)$	$D(t_p)$
100	0,99996	4,317E-05	23474260,12701	6,81701	0,00029	106,81270	1013,39475	0,00608576
200	0,99922	0,00078	1307160,28472	6,81202	0,00529	206,65697	1013,39974	0,00558770
300	0,99581	0,00419	241703,30564	6,78873	0,02858	305,53091	1013,42303	0,00516872
400	0,98616	0,01384	73242,02060	6,72298	0,09433	401,18849	1013,48878	0,00481899
500	0,96531	0,03469	29211,18148	6,58080	0,23651	489,23480	1013,63096	0,00453621
600	0,92730	0,07270	13939,12711	6,32168	0,49563	562,70082	1013,89008	0,00432408
700	0,86633	0,13367	7581,57101	5,90607	0,91124	612,34022	1014,30569	0,00419102
800	0,77857	0,22143	4576,51909	5,30773	1,50958	628,16096	1014,90403	0,00414914
900	0,66438	0,33562	3019,45984	4,52928	2,28803	602,47028	1015,68248	0,00421302
1000	0,53031	0,46969	2157,56122	3,61526	3,20205	533,92084	1016,59650	0,00439680
801	0,77755	0,22245	4555,60779	5,30080	1,51651	628,11844	1014,91096	0,00414923
810	0,76828	0,23172	4373,38584	5,23761	1,57970	627,54562	1014,97415	0,00415052
820	0,75773	0,24227	4182,92059	5,16568	1,65163	626,50462	1015,04608	0,00415297
790	0,78858	0,21142	4793,32453	5,37601	1,44130	628,35589	1014,83575	0,00414882
791	0,78759	0,21241	4770,99821	5,36926	1,44805	628,35515	1014,84250	0,00414881
792	0,78660	0,21340	4748,81837	5,36250	1,45481	628,35027	1014,84926	0,00414880
793	0,78561	0,21439	4726,78388	5,35572	1,46159	628,34122	1014,85604	0,00414881
794	0,78461	0,21539	4704,89361	5,34892	1,46839	628,32801	1014,86284	0,00414882

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Contoh Perhitungan:

Misalkan $t_p = 792$ jam

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

$$R(t_p) = \exp \left(- \frac{792}{1115,4344} \right)^{4,1671} = 0,78660$$

$$F(t_p) = 1 - R(t_p) = 1 - 0,78660 = 0,21340$$

$$M(t_p) = \text{MTTF}/F(t_p) = 1013,3945/0,21340 = 4748,81837$$

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

$$D(t_p) = \frac{5,36250 + 1,45481}{628,35027 + 1014,8926} = 0,00414880$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel diatas diperoleh t_p untuk total *downtime* minimum komponen *bearing* yaitu $t_p = 792$ jam. Adapun perhitungan *availability* penggantian pencegahan sebagai berikut:

$$A(t_p) = 1 - D(t_p)$$

$$A(t_p) = 1 - 0,00414880 = 0,9958512 = 99,58\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan *availability* penggantian pencegahan diperoleh peluang 99,58% komponen *auto tool change* beroperasi sesuai dengan fungsinya pada jangka waktu tertentu.

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

Tabel 4.41 Waktu Penjadwalan Komponen Kritis

No	Komponen	T_p (Waktu Perbaikan)	t_p (Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis)
1	<i>Hydraulic Hose</i>	1 jam 31 menit	440 jam
2	<i>Bearing</i>	6 jam 3 menit	974 jam
3	<i>Auto Tool Change</i>	6 jam 49 menit	792 jam

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

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

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

1. Perhitungan Keandalan Komponen *Hydraulic Hose*

Perhitungan keandalan sebelum dan sesudah penggantian pencegahan komponen *hydraulic hose* dengan distribusi TTF adalah distribusi lognormal yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Diketahui:

$$t_{med} = 581,4150$$

$$s = 0,2896$$

$$MTTF = 606,3206$$

$$t_p = 440 \text{ jam}$$

Tabel 4.42 Perhitungan Keandalan Komponen *Hydraulic Hose*

t_p (jam)	F (t_p)	R (t_p)	n	R(t_p -nT)
0	0	1	0	1
200	0,0001146	0,9999	0	0,9999
250	0,0018	0,9982	0	0,9982
330	0,0253	0,9747	0	0,9747
440	0,1680	0,8320	1	1
650	0,6499	0,3501	1	0,9998
750	0,8103	0,1897	1	0,9850
800	0,8647	0,1353	1	0,9510
880	0,9238	0,0762	2	1
1100	0,9861	0,0139	2	0,9996
1200	0,9938	0,0062	2	0,9804
1290	0,9970	0,0030	2	0,8861
1320	0,9977	0,0023	3	1
1650	0,9998	0,0002	3	0,9747

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Contoh Perhitungan:

Misalkan $t_p = 1650$ jam

Nilai reliabilitas tanpa perawatan pencegahan:

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

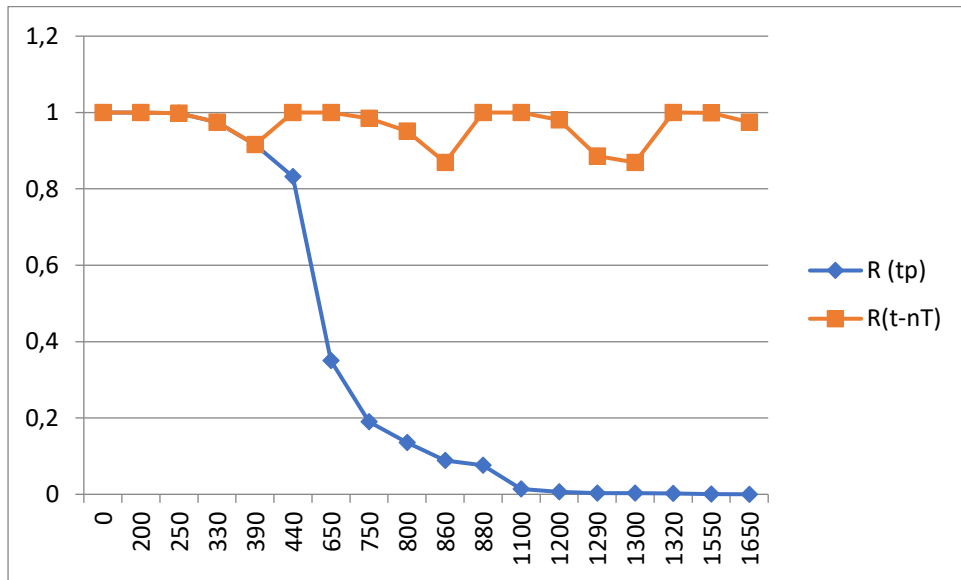
$$R(t) = 1 - \Phi \left[\frac{1}{0,2896} \ln \left(\frac{1650}{581,415} \right) \right] = 0,0002$$

Nilai reliabilitas dengan perawatan pencegahan:

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

$$R(t - nT) = 1 - \Phi \left[\frac{1}{0,2896} \ln \left(\frac{1650 - (3)440}{581,415} \right) \right] = 0,9747$$

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



Gambar 4.5 Grafik Keandalan Komponen *Hydraulic Hose*
(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

2. Perhitungan Keandalan Komponen *Bearing*

Perhitungan keandalan sebelum dan sesudah penggantian pencegahan komponen *bearing* dengan distribusi TTF adalah distribusi normal yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Diketahui:

$$\mu = 1238,1944$$

$$\sigma = 455,6481$$

$$MTTF = 1238,1994$$

$t_p = 974$ jam

Tabel 4.43 Perhitungan Keandalan Komponen *Bearing*

t_p (jam)	F (t_p)	R (t_p)	n	R($t-nT$)
0	0,0033	0,9967	0	1
200	0,0113	0,9887	0	0,9887
400	0,0329	0,9671	0	0,9671
600	0,0807	0,9193	0	0,9193
800	0,1681	0,8319	0	0,8319
974	0,2810	0,7190	1	1
1200	0,4666	0,5334	1	0,9868
1400	0,6387	0,3613	1	0,9627
1600	0,7864	0,2136	1	0,9105
1800	0,8912	0,1088	1	0,8172
1948	0,9404	0,0596	2	1
2200	0,9826	0,0174	2	0,9848
2400	0,9946	0,0054	2	0,9578
2600	0,9986	0,0014	2	0,9009
2800	0,9997	0,0003	2	0,8017
2922	0,9999	0,0001	3	1
3200	1,0000	8,33E-06	3	0,9825
3500	1,0000	3,45E-07	3	0,9263

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Contoh Perhitungan:

Misalkan $t_p = 974$ jam

Nilai reliabilitas tanpa perawatan pencegahan:

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

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{974 - 1238,1944}{455,6481}\right) = 0,7190$$

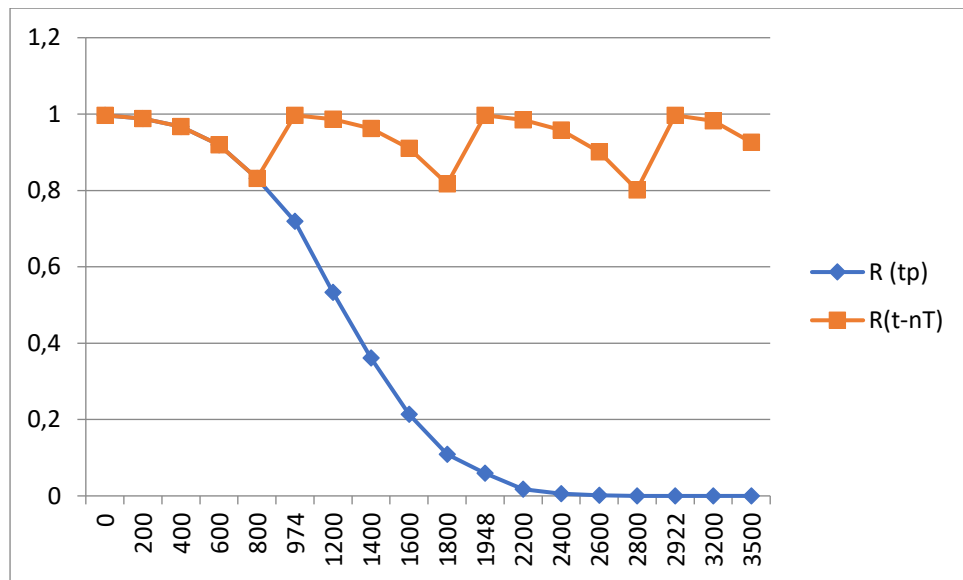
Nilai reliabilitas dengan perawatan pencegahan:

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

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

$$R(t - nT) = 1 - \Phi\left(\frac{974 - 1238,1944 - (1)974}{455,6481}\right) = 1$$

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



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

3. Perhitungan Keandalan Komponen *Auto Tool Change*

Perhitungan keandalan sebelum dan sesudah penggantian pencegahan komponen *auto tool change* dengan distribusi TTF adalah distribusi weibull yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Diketahui:

$$\beta = 4,1671$$

$$\theta = 1115,4344$$

$$MTTF = 1013,3945$$

$$t_p = 792 \text{ jam}$$

Tabel 4.44 Perhitungan Keandalan Komponen *Auto Tool Change*

t_p (jam)	$R(t_p)$	n	$R(t-nT)$
0	1,0000	0	1
198	0,9993	0	0,9993
396	0,9867	0	0,9867

594	0,9302	0	0,9302
664	0,8912	0	0,8912
792	0,7866	1	1
950	0,5992	1	0,9997
1200	0,2577	1	0,9850
1345	0,1129	1	0,9477
1400	0,0760	1	0,9233
1584	0,0134	2	1
1700	0,0031	2	0,9999
1976	2E-05	2	0,9873
2100	8,6E-07	2	0,9605
2290	2E-09	2	0,8618
2376	7,2E-11	3	1
2900	5,3E-24	3	0,9580
3000	1,5E-27	3	0,9150

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Contoh Perhitungan:

Misalkan $t_p = 792$ jam

Nilai reliabilitas tanpa perawatan pencegahan:

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

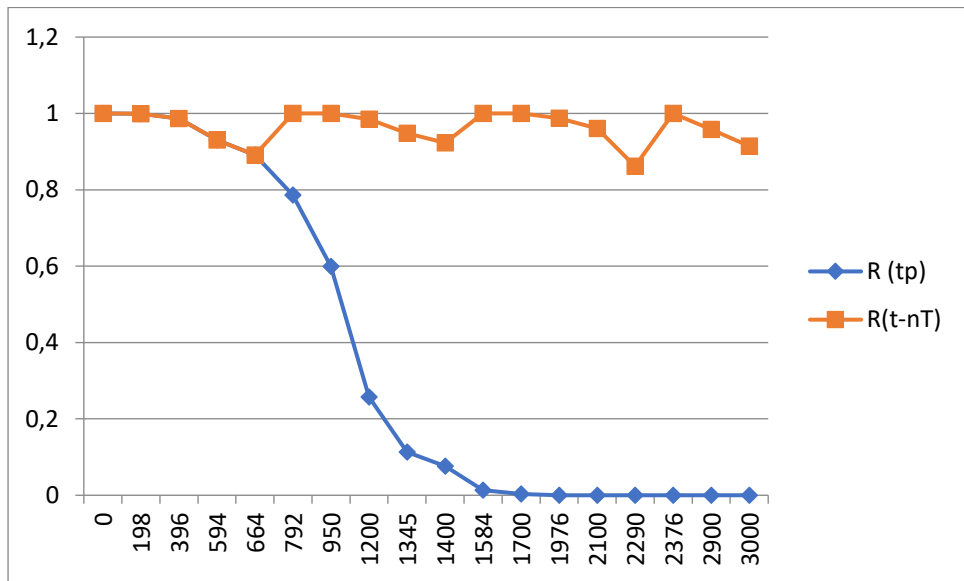
$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{792}{1115,4344} \right)^{4,1671} \right] = 0,7866$$

Nilai reliabilitas dengan perawatan pencegahan:

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

$$R(t - nT) = \exp \left[- \left(\frac{792 - (1)792}{1115,4344} \right)^{4,1671} \right] = 1$$

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



Gambar 4.7 Grafik Keandalan Komponen *Auto Tool Change*
 (Sumber : Hasil Pengolahan Data)

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN MASALAH

5.1 Analisis Penentuan Komponen Kritis

Komponen kritis adalah suatu komponen dari mesin yang berkontribusi terhadap frekuensi kerusakan terbanyak dalam kurun waktu tertentu, memiliki nilai waktu kerusakan terbesar, dan berpengaruh terhadap proses produksi. Penentuan komponen kritis ini dengan menggunakan diagram pareto untuk menentukan komponen yang menjadi komponen kritis berdasarkan total waktu kerusakan terbesar. Komponen yang menjadi objek penelitian adalah komponen apabila mengalami kerusakan, maka akan dilakukan perbaikan atau penggantian komponen yang baru.

Berdasarkan hasil pengolahan data pada tabel 4.6 dan gambar 4.4 komponen kritis mesin CNC *milling*, maka dapat ditentukan tiga komponen kritis, yaitu komponen *hydraulic hose*, *bearing*, dan *auto tool change*. Ketiga komponen tersebut dipilih berdasarkan persentase waktu kerusakan terbesar. Dari ketiga komponen tersebut komponen *auto tool change* adalah komponen yang paling memiliki persentase waktu kerusakan terbesar. Dari persentase *breakdown time* tersebut komponen yang memiliki nilai persentase tertinggi, yaitu *auto tool change* dengan 39,09%, *bearing* dengan 34,77%, dan *hydraulic hose* dengan 15,35%. Maka dari itu, ketiga komponen ini dinyatakan sebagai komponen kritis terpilih untuk selanjutnya dijadikan objek penelitian.

5.2 Analisis Perhitungan Selang Waktu Antar Kerusakan dan Selang Waktu Antar Perbaikan Komponen Kritis

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

pemeriksaan, perbaikan, ataupun penggantian komponen yang mengalami kerusakan hingga mesin tersebut dapat beroperasi.

Data selang waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan komponen ini sebagai langkah awal untuk menentukan dan mengidentifikasi pola kerusakan yang terjadi. Satuan waktu dalam perhitungan ini adalah jam. Perhitungan dilakukan dari Januari 2014 sampai Desember 2015 dengan jam kerja mesin selama 8 jam dalam satu hari. Hari kerja selama 5 hari dalam seminggu, dari hari senin sampai hari jumat. Selang waktu antar kerusakan komponen *hydarulic hose* tercepat adalah 385,0833 jam dan terlama adalah 867,1667 jam. Selang waktu antar kerusakan komponen *bearing* tercepat adalah 741,0833 jam dan terlama adalah 1636 jam. Selang waktu antar kerusakan komponen *auto tool change* tercepat adalah 569,3333 jam dan terlama adalah 1235,75 jam. Selang waktu antar perbaikan komponen *hydarulic hose* tercepat adalah 1,25 jam dan terlama adalah 1,8333 jam. Selang waktu antar perbaikan komponen *bearing* tercepat adalah 5,6667 jam dan terlama adalah 6,3333 jam. Selang waktu antar perbaikan komponen *auto tool change* tercepat adalah 6,5 jam dan terlama adalah 7 jam.

5.3 Analisis Pemilihan Distribusi Kerusakan Komponen Kritis

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

Tabel 5.1 Ringkasan Perhitungan *Index of Fit* Komponen Kritis

Komponen	Keterangan	Distribusi Terpilih	<i>Index of Fit</i>
<i>Hydraulic Hose</i>	<i>time to failure</i>	Lognormal	0,9522
	<i>time to repair</i>	Lognormal	0,9880
<i>Bearing</i>	<i>time to failure</i>	Normal	0,9820
	<i>time to repair</i>	Weibull	0,9356

(Sumber : Analisis dan Pembahasan)

Tabel 5.1 Ringkasan Perhitungan *Index of Fit* Komponen Kritis (lanjutan)

Komponen	Keterangan	Distribusi Terpilih	<i>Index of Fit</i>
<i>Auto Tool Change</i>	<i>time to failure</i>	Weibull	0,9141
	<i>time to repair</i>	Weibull	0,9503

(Sumber : Analisis dan Pembahasan)

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

5.4 Analisis Pengujian Keselarasan Distribusi Terpilih

Setelah diketahui jenis distribusi yang sesuai dengan data kerusakan, selanjutnya dilakukan pengujian keselarasan distribusi dengan *goodness of fit* yang spesifik. Uji keselarasan ini dilakukan untuk mengetahui apakah distribusi yang dipergunakan sesuai apa tidak. Apabila berdasarkan uji tersebut tidak memenuhi kecocokkan, maka diambil distribusi dengan nilai (r) terbesar kedua, dan seterusnya. Pengujian yang dilakukan masing-masing distribusi antara lain: *Mann's test* untuk distribusi Weibull, *Bartlett's test* untuk distribusi Eksponensial, dan *Kolmogorov-Smirnov test* untuk distribusi Normal dan Lognormal. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan tingkat ketelitian 5% dan tingkat kepercayaan 95%.

Berdasarkan nilai IoF terbesar, TTF komponen *hydraulic hose* berdistribusi lognormal. Maka uji *goodness of fit* yang dilakukan adalah uji *Kolmogorov-Smirnov test*. Hasil uji untuk TTF *hydraulic* adalah $D_n(0,2886) < D_{erit}(0,519)$ maka H_0 diterima yang berarti distribusi TTF untuk komponen ini adalah distribusi lognormal. TTF komponen *bearing* berdistribusi normal. Maka uji *goodness of fit* yang dilakukan adalah uji *Kolmogorov-Smirnov test*. Hasil uji untuk TTF *bearing* adalah $D_n(0,2529) < D_{erit}(0,708)$ maka H_0 diterima yang berarti distribusi TTF untuk komponen ini adalah distribusi normal. TTF komponen *auto tool change* berdistribusi weibull. Maka uji *goodness of fit* yang dilakukan adalah uji *Mann,s*. Hasil uji untuk TTF *auto tool change* adalah $M(0,0413) < F_{erit}(19)$ maka H_0 diterima yang berarti distribusi TTF untuk komponen ini adalah distribusi weibull.

Berdasarkan nilai IoF terbesar pula, TTR komponen *hydraulic hose* berdistribusi lognormal. Maka uji *goodness of fit* yang dilakukan adalah uji *Kolmogorov-Smirnov test*. Hasil uji untuk TTR *hydraulic* adalah $D_n(0,1823) < D_{crit}(0,483)$ maka H_0 diterima yang berarti distribusi TTR untuk komponen ini adalah distribusi lognormal. TTR komponen *bearing* berdistribusi weibull. Maka uji *goodness of fit* yang dilakukan adalah uji *Mann's*. Hasil uji untuk TTR *bearing* adalah $M(0) < F_{crit}(19,25)$ maka H_0 diterima yang berarti distribusi TTR untuk komponen ini adalah distribusi weibull. TTR komponen *auto tool change* berdistribusi weibull. Maka uji *goodness of fit* yang dilakukan adalah uji *Mann's*. Hasil uji untuk TTR *auto tool change* adalah $M(0) < F_{crit}(19,25)$ maka H_0 diterima yang berarti distribusi TTR untuk komponen ini adalah distribusi weibull.

5.5 Analisis Estimasi Parameter

Perhitungan ini bertujuan untuk menggambarkan keadaan optimal data secara lebih akurat. Metode yang digunakan dalam penaksiran parameter ini adalah penaksiran kemungkinan terbesar atau *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Parameter yang dihitung nanti akan digunakan dalam perhitungan MTTF (*Mean Time To Failure*) dan MTTR (*Mean Time To Repair*). Maka dari itu dengan menggunakan metode MLE akan didapat nilai estimasi parameter yang lebih akurat dan dapat menggambarkan keadaan yang optimal dari setiap data, yaitu data selang waktu kerusakan dan selang waktu perbaikan. Berdasarkan pengujian keselarasan maka distribusi yang terpilih untuk perhitungan MLE adalah distribusi lognormal dengan parameter s dan t_{med} , distribusi normal dengan parameter μ dan σ , serta distribusi weibull dengan parameter β dan θ . Ringkasan hasil penaksiran parameter dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.2 Ringkasan Hasil Penaksiran Parameter

Komponen	Keterangan	Parameter MLE
----------	------------	---------------

<i>Hydraulic Hose</i>	<i>time to failure</i>	$s = 0,2896$	$t_{med} = 581,4150$
	<i>time to repair</i>	$s = 0,1267$	$t_{med} = 1,5116$
<i>Bearing</i>	<i>time to failure</i>	$\mu = 1238,1944$	$\sigma = 1,5116$
	<i>time to repair</i>	$\beta = 24,8643$	$\theta = 6,1820$
<i>Auto Tool Change</i>	<i>time to failure</i>	$\beta = 4,1671$	$\theta = 1115,4344$
	<i>time to repair</i>	$\beta = 39,1999$	$\theta = 6,8942$

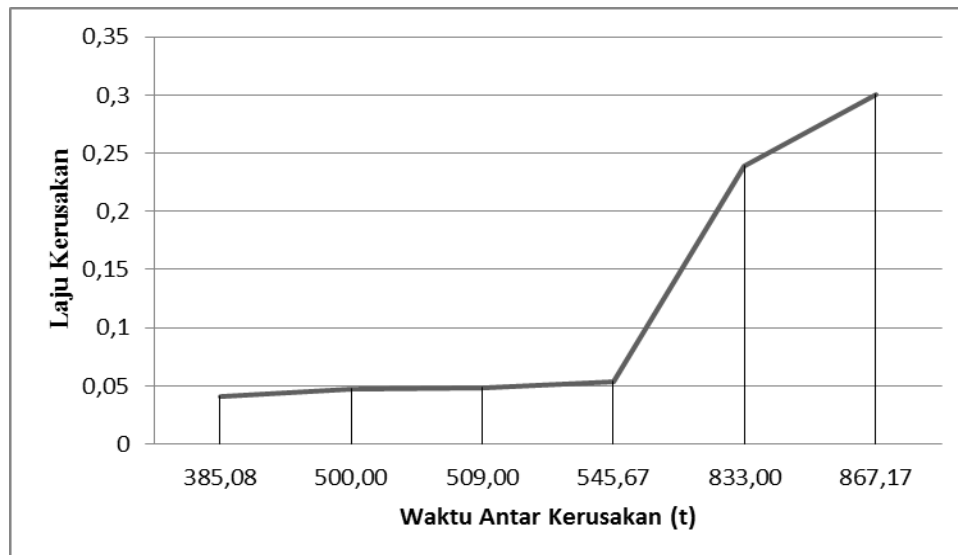
(Sumber : Analisis dan Pembahasan)

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

Nilai parameter dari setiap distribusi kerusakan yang terpilih dapat menunjukkan laju kerusakan yang terjadi untuk setiap komponen kritis pada mesin CNC *milling*. Grafik laju kerusakan untuk setiap komponen kritis pada mesin CNC *milling* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

1. Komponen *Hydarulic Hose*

Grafik laju kerusakan untuk komponen *hydraulic hose* pada mesin CNC *milling* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.



Gambar 5.1 Laju Kerusakan Komponen *Hydraulic Hose*

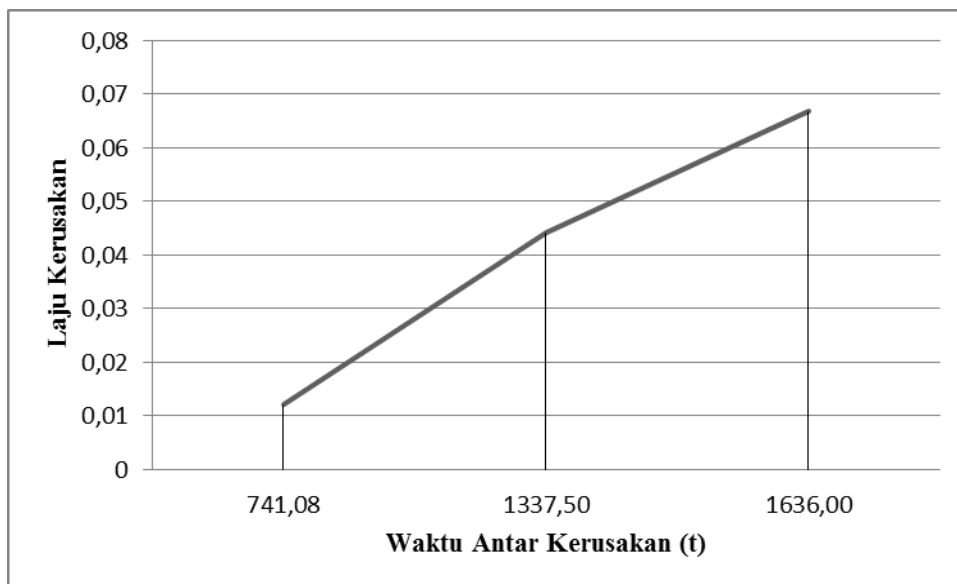
(Sumber : Analisis dan Pembahasan)

Dari gambar 5.1, bahwa sumbu x adalah waktu antar kerusakan dengan satuan waktu jam dan sumbu y adalah laju kerusakan untuk komponen pada mesin CNC

milling. Berdasarkan distribusi yang terpilih bahwa waktu antar kerusakan komponen ini berdistribusi lognormal. Gambar diatas menunjukkan laju kerusakan komponen *hydraulic hose* yang terus meningkat seiring peningkatan waktu kerusakan. Nilai laju kerusakan awal sebesar 0,04 dengan waktu antar kerusakan 385,08 jam dan laju kerusakan yang tertinggi sebesar 0,3 dengan waktu antar kerusakan 867,17 jam.

2. Komponen *Bearing*

Grafik laju kerusakan untuk komponen *bearing* pada mesin CNC *milling* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

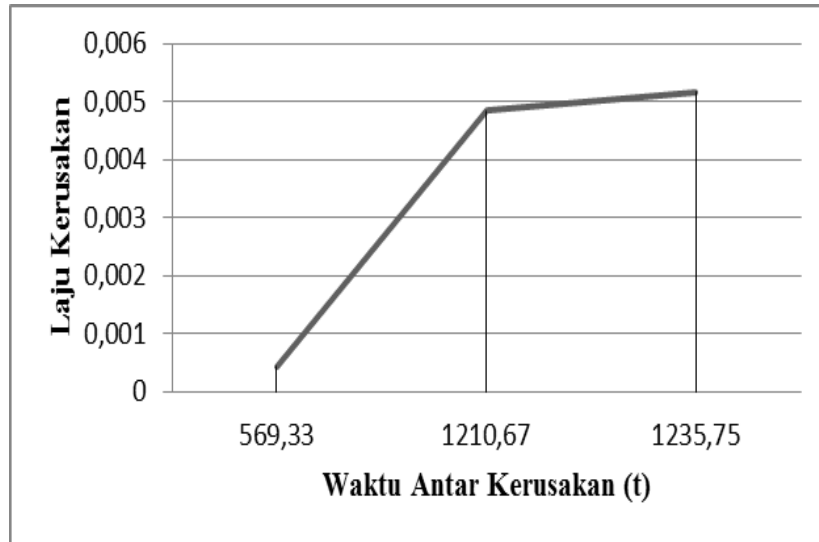


Gambar 5.2 Laju Kerusakan Komponen *Bearing*
(Sumber : Analisis dan Pembahasan)

Dari gambar 5.2, bahwa sumbu x adalah waktu antar kerusakan dengan satuan waktu jam dan sumbu y adalah laju kerusakan untuk komponen pada mesin CNC *milling*. Berdasarkan distribusi yang terpilih bahwa waktu antar kerusakan komponen ini berdistribusi normal. Gambar diatas menunjukkan laju kerusakan komponen *bearing* yang terus meningkat seiring peningkatan waktu kerusakan. Nilai laju kerusakan awal sebesar 0,011 dengan waktu antar kerusakan 741,08 jam dan laju kerusakan yang tertinggi sebesar 0,066 dengan waktu antar kerusakan 1.636 jam.

3. Komponen *Auto Tool Change*

Grafik laju kerusakan untuk komponen *auto tool change* pada mesin CNC *milling* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.



Gambar 5.3 Laju Kerusakan Komponen *Auto Tool Change*
(Sumber : Analisis dan Pembahasan)

Dari gambar 5.3, bahwa sumbu x adalah waktu antar kerusakan dengan satuan waktu jam dan sumbu y adalah laju kerusakan untuk komponen pada mesin CNC *milling*. Berdasarkan distribusi yang terpilih bahwa waktu antar kerusakan komponen ini berdistribusi weibull. Gambar diatas menunjukkan laju kerusakan komponen *auto tool change* yang terus meningkat seiring peningkatan waktu kerusakan. Nilai laju kerusakan awal sebesar 0,0004 dengan waktu antar kerusakan 569,33 jam dan laju kerusakan yang tertinggi sebesar 0,0051 dengan waktu antar kerusakan 1.235,75 jam.

5.6 Analisis Mean Time To Failure (MTTF)

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

Tabel 5.3 Ringkasan Hasil perhitungan MTTF Komponen Kritis

Komponen	Distribusi Terpilih	Nilai MTTF (jam)
<i>Hydraulic Hose</i>	Lognormal	606,3206
<i>Bearing</i>	Normal	1238,1944
<i>Auto Tool Change</i>	Weibull	1013,3945

(Sumber : Analisis dan Pembahasan)

Berdasarkan tabel 5.3, terlihat bahwa nilai ini menunjukkan waktu perkiraan kerusakan berikutnya setelah selesai diperbaiki. Pada komponen *hydraulic hose* dapat diperkirakan waktu kerusakan berikutnya akan terjadi 606,3206 jam kemudian. Pada komponen *bearing* dapat diperkirakan waktu kerusakan berikutnya akan terjadi 1238,1944 jam kemudian, serta pada komponen *auto tool change* dapat diperkirakan waktu kerusakan berikutnya akan terjadi 1013,3945 jam kemudian.

5.7 Analisis Mean Time To Repair (MTTR)

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

Tabel 5.4 Ringkasan Hasil perhitungan MTTR Komponen Kritis

Komponen	Distribusi Terpilih	Nilai MTTR (jam)
<i>Hydraulic Hose</i>	Lognormal	1,5238
<i>Bearing</i>	Weibull	6,0487
<i>Auto Tool Change</i>	Weibull	6,8173

(Sumber : Analisis dan Pembahasan)

Berdasarkan tabel 5.4, terlihat bahwa nilai ini menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki atau mengganti komponen akibat kerusakan komponen. Pada komponen *hydraulic hose* waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki atau

mengganti komponen sebesar 1,5238 jam. Pada komponen *bearing* waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki atau mengganti komponen sebesar 6,0487 jam. Pada komponen *auto tool change* waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki atau mengganti komponen sebesar 6,8173 jam.

5.8 Analisis Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Kritis

Pada tahapan ini dilakukan analisis dengan menggunakan kriteria minimasi *downtime* yang berupa usulan interval waktu penggantian pencegahan komponen kritis. Berdasarkan kenyataan bahwa pada dasarnya prinsip utama dalam manajemen pemeliharaan adalah untuk menekan periode kerusakan (*breakdown period*) sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen berdasarkan waktu kerusakan minimum menjadi sangat penting. Setelah dilakukan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan, maka kita bisa mengetahui jadwal waktu penggantian pencegahan komponen kritis. Dengan menggunakan metode *age replacement*, waktu penggantian pencegahan komponen *hydraulic hose* sebesar 440 jam atau 55 hari dengan minimum *downtime* 0,00157336 jam. Hal ini berarti selang waktu optimal penggantian komponen setelah komponen mengalami penggantian atau perbaikan adalah 440 jam atau 55 hari, dimana jam kerja mesin adalah 8 jam per hari dan hari kerja mesin 20 hari per bulan. Jika dibandingkan antara nilai MTTF dengan waktu penggantian pencegahan lebih kecil dari pada nilai MTTF (440 jam < 606,3206 jam). Berdasarkan hasil perhitungan *availability* penggantian pencegahan diperoleh peluang 99,84% komponen *hydraulic hose* beroperasi sesuai dengan fungsinya pada jangka waktu tertentu.

Waktu penggantian pencegahan komponen *bearing* sebesar 974 jam atau 121 hari 6 jam dengan minimum *downtime* 0,00314166 jam. Hal ini berarti selang waktu optimal penggantian komponen setelah komponen mengalami penggantian atau perbaikan adalah 974 jam atau 121 hari 6 jam, dimana jam kerja mesin adalah 8 jam per hari dan hari kerja mesin 20 hari per bulan. Jika dibandingkan antara nilai MTTF dengan waktu penggantian pencegahan lebih kecil dari pada nilai MTTF (974 jam < 1238,1944 jam). Berdasarkan hasil perhitungan

availability penggantian pencegahan diperoleh peluang 99,68% komponen *bearing* beroperasi sesuai dengan fungsinya pada jangka waktu tertentu. Waktu penggantian pencegahan komponen *auto tool change* sebesar 792 jam atau 99 hari dengan minimum *downtime* 0,00414880 jam. Hal ini berarti selang waktu optimal penggantian komponen setelah komponen mengalami penggantian atau perbaikan adalah 792 jam atau 99 hari, dimana jam kerja mesin adalah 8 jam per hari dan hari kerja mesin 20 hari per bulan. Jika dibandingkan antara nilai MTTF dengan waktu penggantian pencegahan lebih kecil dari pada nilai MTTF (792 jam < 1013,3945 jam). Berdasarkan hasil perhitungan *availability* penggantian pencegahan diperoleh peluang 99,58% komponen *auto tool change* beroperasi sesuai dengan fungsinya pada jangka waktu tertentu. Nilai penggantian pencegahan lebih kecil dari pada nilai MTTF dikarenakan metode penggantian pencegahan mengupayakan tindakan penggantian sebelum komponen mengalami kerusakan, sehingga mesin selalu dalam kondisi yang optimal.

5.9 Analisis Tingkat Keandalan Komponen Kritis Sebelum dan Sesudah Penggantian Pencegahan

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

1. Komponen *Hydraulic Hose*

Berdasarkan tabel 4.42 dan gambar 4.5 pada bab IV dapat diketahui bahwa nilai keandalan komponen *hydraulic hose* akan menurun seiring berjalannya waktu bila tidak dilakukan tindakan penggantian pencegahan dan nilai

keandalan komponen *hydraulic hose* akan meningkat seiring berjalannya waktu bila dilakukan tindakan penggantian pencegahan. Hal ini dapat dilihat bila penggantian komponen dilakukan pada 440 jam, maka nilai keandalan sebelum penggantian pencegahan adalah 0,8320, sedangkan nilai keandalan setelah penggantian pencegahan adalah 1. Selisih keandalan sebelum dan sesudah penggantian pencegahan adalah 0,1680.

2. Komponen *Bearing*

Berdasarkan tabel 4.43 dan gambar 4.6 pada bab IV dapat diketahui bahwa nilai keandalan komponen *bearing* akan menurun seiring berjalannya waktu bila tidak dilakukan tindakan penggantian pencegahan dan nilai keandalan komponen *bearing* akan meningkat seiring berjalannya waktu bila dilakukan tindakan penggantian pencegahan. Hal ini dapat dilihat bila penggantian komponen dilakukan pada 974 jam, maka nilai keandalan sebelum penggantian pencegahan adalah 0,7190, sedangkan nilai keandalan setelah penggantian pencegahan adalah 1. Selisih keandalan sebelum dan sesudah penggantian pencegahan adalah 0,2810.

3. Komponen *Auto Tool Change*

Berdasarkan tabel 4.44 dan gambar 4.7 pada bab IV dapat diketahui bahwa nilai keandalan komponen *auto tool change* akan menurun seiring berjalannya waktu bila tidak dilakukan tindakan penggantian pencegahan dan nilai keandalan komponen *auto tool change* akan meningkat seiring berjalannya waktu bila dilakukan tindakan penggantian pencegahan. Hal ini dapat dilihat bila penggantian komponen dilakukan pada 792 jam, maka nilai keandalan sebelum penggantian pencegahan adalah 0,7866, sedangkan nilai keandalan setelah penggantian pencegahan adalah 1. Selisih keandalan sebelum dan sesudah penggantian pencegahan adalah 0,2134.

Berdasarkan penjelasan diatas bahwa nilai keandalan sebelum penggantian pencegahan akan lebih rendah dibandingkan sesudah dengan penggantian pencegahan. Hal ini dapat dilihat dari selisih nilai keandalan sebelum dan sesudah

penggantian pencegahan. Maka dari itu dengan adanya tindakan penggantian pencegahan akan berpengaruh terhadap tingkat keandalan suatu komponen.

5.10 Penjadwalan Pemeliharaan

Setelah perhitungan interval waktu penggantian komponen kritis, maka dapat dibuat jadwal pemeliharaan komponen kritis. Penjadwalan pemeliharaan merupakan tahapan terakhir dari beberapa rangkaian analisis tindakan pemeliharaan pencegahan yang dilakukan. Penjadwalan ini merupakan usulan terhadap titik lemah sebuah komponen, dimana penjadwalan pemeliharaan akan mampu memperkirakan waktu hidup suatu komponen yang berdampak pada ketersediaan penggunaan mesin. Penjadwalan komponen *hydraulic hose* dapat dilihat pada tabel di bawah ini dengan interval waktu penggantian pencegahan sebesar 440 jam, dimana jam kerja mesin adalah 8 jam per hari. Usulan jadwal penggantian komponen *hydarulic hose* dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Jadwal Pemeliharaan Pencegahan Komponen *Hydraulic Hose*

Tanggal	Penggantian Pencegahan
19 Maret 2016	✓
4 Juni 2016	✓
27 Agustus 2016	✓

(Sumber : Analisis dan Pembahasan)

Pada jadwal diatas penggantian pencegahan dilakukan diluar dari hari kerja, yaitu di hari Sabtu dikarenakan jika dilakukan di hari kerja ada waktu yang hilang atau terbuang karena melakukan kegiatan pemeliharaan penggantian komponen.

Penjadwalan komponen *bearing* dapat dilihat pada tabel di bawah ini dengan interval waktu penggantian pencegahan sebesar 974 jam, dimana jam kerja mesin adalah 8 jam per hari. Usulan jadwal penggantian komponen *bearing* dapat dilihat pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Jadwal Pemeliharaan Pencegahan Komponen *Bearing*

Tanggal	Penggantian Pencegahan
18 Juni 2016	✓
17 Desember 2016	✓
17 Juni 2017	✓

(Sumber : Analisis dan Pembahasan)

Pada jadwal diatas penggantian pencegahan dilakukan diluar dari hari kerja, yaitu di hari Sabtu dikarenakan jika dilakukan di hari kerja ada waktu yang hilang atau terbuang karena melakukan kegiatan pemeliharaan penggantian komponen.

Penjadwalan komponen *auto tool change* dapat dilihat pada tabel di bawah ini dengan interval waktu penggantian pencegahan sebesar 792 jam, dimana jam kerja mesin adalah 8 jam per hari. Usulan jadwal penggantian komponen *auto tool change* dapat dilihat pada tabel 5.7.

Tabel 5.7 Jadwal Pemeliharaan Pencegahan Komponen *Auto Tool Change*

Tanggal	Penggantian Pencegahan
19 Maret 2016	✓
13 Agustus 2016	✓
7 Januari 2017	✓

(Sumber : Analisis dan Pembahasan)

Pada jadwal diatas penggantian pencegahan dilakukan diluar dari hari kerja, yaitu di hari Sabtu dikarenakan jika dilakukan di hari kerja ada waktu yang hilang atau terbuang karena melakukan kegiatan pemeliharaan penggantian komponen.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

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

1. Komponen kritis pada mesin CNC *milling* yang terpilih dari kelima komponen mesin CNC *milling* yang rusak adalah komponen *hydraulic hose* dengan persentase waktu kerusakan 15,35 %, komponen *bearing* dengan persentase waktu kerusakan 34,77%, dan komponen *auto tool change* dengan persentase waktu kerusakan 39,09%.
2. waktu penggantian komponen kritis mesin CNC *milling* berdasarkan umur pakai komponen (*Age Replacement*) pada komponen *hydraulic hose* adalah 55 hari, komponen *bearing* adalah 121 hari 6 jam, dan komponen *auto tool change* adalah 99 hari.
3. Berdasarkan hasil perhitungan keandalan komponen sebelum dan sesudah penggantian pencegahan, maka dapat diketahui nilai keandalan sebelum penggantian pencegahan lebih rendah dari pada nilai keandalan sesudah penggantian pencegahan. Pada komponen *hydraulic hose* bila penggantian komponen dilakukan pada 55 hari, maka nilai keandalan sebelum penggantian pecegahan adalah 0,8320, sedangkan nilai keandalan setelah penggantian pencegahan adalah 1. Pada komponen *bearing* bila penggantian komponen dilakukan pada 121 hari 6 jam, maka nilai keandalan sebelum penggantian pecegahan adalah 0,7190, sedangkan nilai keandalan setelah penggantian pencegahan adalah 1. Pada komponen *auto tool change* bila penggantian komponen dilakukan pada 99 hari, maka nilai keandalan sebelum penggantian pecegahan adalah 0,7866, sedangkan nilai keandalan setelah penggantian pencegahan adalah 1.

6.2 Saran

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

1. Sebaiknya pihak perusahaan melakukan pemeliharaan pencegahan dibandingkan pemeliharaan perbaikan dalam menangani mesin produksi yang ada, sehingga dapat meminimalkan kerusakan yang terjadi pada mesin produksi terutama pada komponen kritis.
2. Sebaiknya pihak perusahaan membuat jadwal pemeliharaan secara berkala untuk penggantian komponen, sebelum komponen tersebut mengalami kerusakan pada mesin produksi.
3. Sebaiknya pihak perusahaan melakukan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin dan berkala, serta pelatihan operator dalam hal pemeliharaan mesin produksi yang dapat mempengaruhi keandalan mesin produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahyari, Agus. 1987. *Manajemen Produksi Pengendalian Produksi Edisi Kempat*. Yogyakarta:BPFE.
- Assauri, Sofjan. 2008. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia (FE-UI).
- Corder, A.S, 1996. *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Dhillon, B.S. 1997. *Maintainability, Maintenance and Reliability for Engineers*. New York: Taylor and Francis.
- Ebeling, C.E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York: Mc Graw Hill.
- Gaspersz,Vincent. 2011. *Total Quality Management*. Jakarta: Penerbit Vinchrsto Publication.
- Heizer, Jay dan Render, Barry. 2010. *Manajemen Operasi*. Jakarta: Penerbit Salemba Empat.
- Jardine, K.S. 2006. *Maintenance Replacement Reliability Theory and Aplication*. New York : CRC Terss.
- Nakajima, S. 1988. *Introduction to Total Preventive Maintenance*. Productivity Press Inc, Portland.
- Walpole, R.E., Myres, R.H.1978. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*.New York: Mac-Milan Co Inc.
- Wigjosoebroto, Sritomo. 2003. *Pengantar Teknik & Manajemen Industri Edisi Pertama*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

LAMPIRAN D

LAMPIRAN E

5. Perkampungan Industri Kecil Blok D No.32 Penggilingan, Cakung, Jakarta Timur.

Dibawah ini merupakan tata letak pabrik:

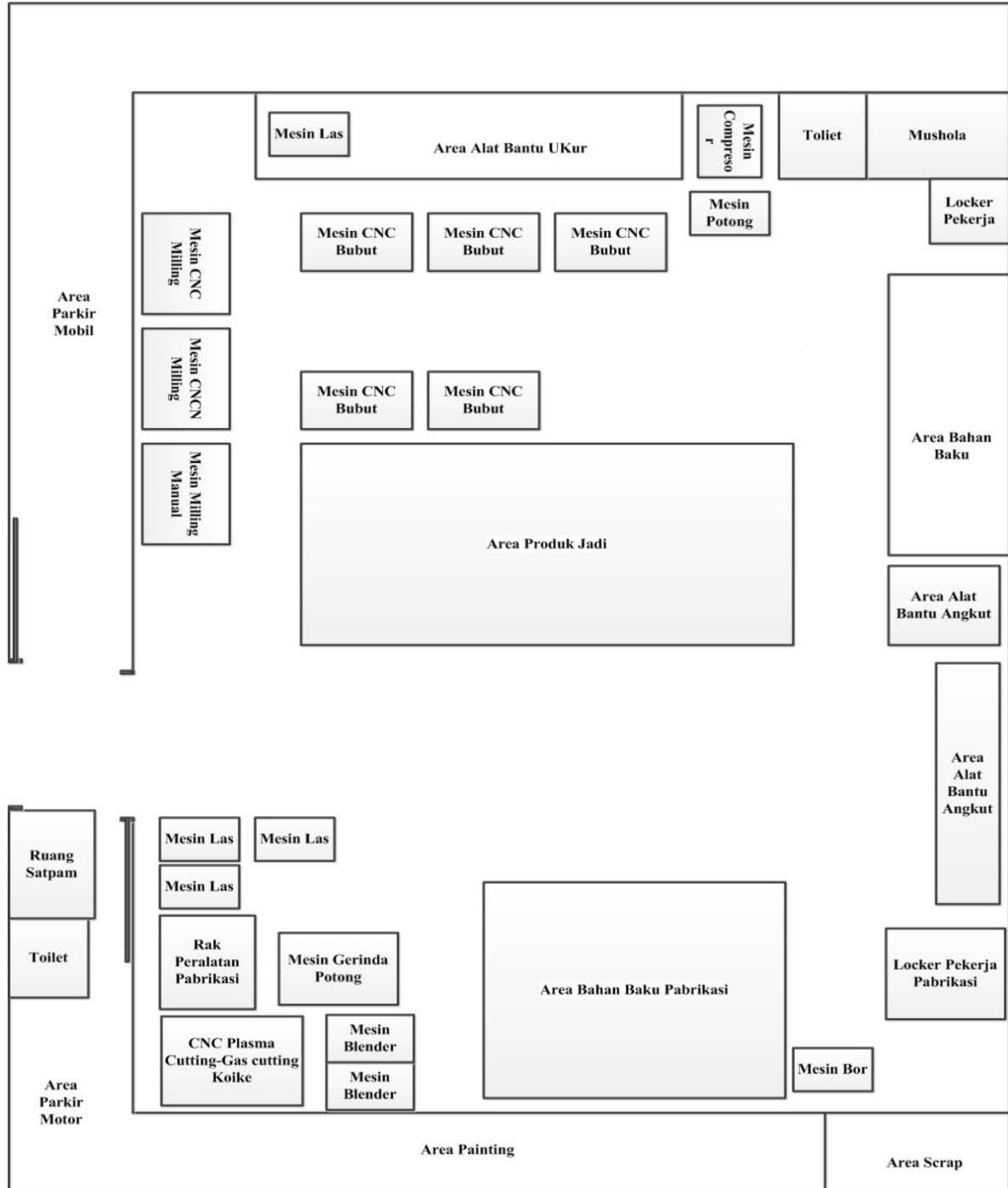


Gambar Tata Letak Pabrik PT Kreasi Presisi Metalindo *Plant 1*

(Sumber: PT Kreasi Presisi Metalindo)

6. Jalan Jababeka IX B Blok P2, Jababeka I, Cikarang Utara, Bekasi.

Dibawah ini merupakan tata letak pabrik:



Gambar Tata Letak Pabrik PT Kreasi Presisi MetalindoPlant 2

(Sumber: PT Kreasi Presisi Metalindo)

KPM		PT KREASI PRESISI METALINDO			
LAPORAN KERUSAKAN MESIN CNC MILLING MICRO CUT					
TAHUN	TANGGAL	MASALAH	PENYEBAB	TINDAKAN	BREAKDOWN TIME (MENIT)
2014	20-Jan	<i>Bearing</i>	haus/rusak	diganti	380
	14-Feb	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	85
	01-Apr	<i>ATC</i>	tidak berfungsi	diperbaiki/diganti	420
	20-Mei	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	90
	09-Jun	<i>Bearing</i>	haus/rusak	diganti	350
	22-Okt	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	100
	18-Nov	<i>ATC</i>	tidak berfungsi	diperbaiki/diganti	390

KPM		PT KREASI PRESISI METALINDO			
LAPORAN KERUSAKAN MESIN CNC MILLING MICRO CUT					
TAHUN	TANGGAL	MASALAH	PENYEBAB	TINDAKAN	WAKTU
2014	20-Jan	<i>Bearing</i>	haus/rusak	diganti	08.35-14.5
	14-Feb	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	13.05-14.3
	01-Apr	<i>ATC</i>	tidak berfungsi	diperbaiki/diganti	08.45-15.4
	20-Mei	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	09.30-11.0
	09-Jun	<i>Bearing</i>	haus/rusak	diganti	11.00-16.5
	22-Okt	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	10.00-16.4
	18-Nov	<i>ATC</i>	tidak berfungsi	diperbaiki/diganti	10.30-17.0

KPM		PT KREASI PRESISI METALINDO			
LAPORAN KERUSAKAN MESIN CNC MILLING MICRO CUT					
TAHUN	TANGGAL	MASALAH	PENYEBAB	TINDAKAN	BREAKDOWN TIME (MENIT)
2015	10-Feb	<i>Bearing</i>	haus/rusak	diganti	340
	04-Mar	<i>ATC</i>	tidak berfungsi	diperbaiki/diganti	420
	24-Mar	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	110
	04-Jun	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	75
	28-Agt	<i>Protective Glass</i>	pecah/retak	diganti	210
	14-Sep	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	100
	02-Okt	<i>Timing Belt</i>	putus	diganti	240
	22-Okt	<i>ATC</i>	tidak berfungsi	diperbaiki/diganti	400
	15-Des	<i>Bearing</i>	haus/rusak	diganti	380
21-Des	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	80	

KPM		PT KREASI PRESISI METALINDO			
LAPORAN KERUSAKAN MESIN CNC MILLING MICRO CUT					
TAHUN	TANGGAL	MASALAH	PENYEBAB	TINDAKAN	WAKTU
2015	10-Feb	<i>Bearing</i>	haus/rusak	diganti	09.20-15.
	04-Mar	<i>ATC</i>	tidak berfungsi	diperbaiki/diganti	09.20-16.
	24-Mar	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	08.50-10.
	04-Jun	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	11.45-12.
	28-Agt	<i>Protective Glass</i>	pecah/retak	diganti	13.30-17.
	14-Sep	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	09.00-10.
	02-Okt	<i>Timming Belt</i>	putus	diganti	13.00-17.
	22-Okt	<i>ATC</i>	tidak berfungsi	diperbaiki/diganti	10.00-16.
	15-Des	<i>Bearing</i>	haus/rusak	diganti	10.00-16.
	21-Des	<i>Hydraulic Hose</i>	pecah	diganti	13.20-15.

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

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

1. Distribusi Weibull

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Weibull TTF Komponen *Bearing*

i	t _i (jam)	x _i =ln t _i	F(t _i)	y _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	741,0833	6,6081	0,2059	-1,4674	-9,6968	43,6672	2,1533
2	1337,5000	7,1986	0,5000	-0,3665	-2,6384	51,8192	0,1343
3	1636,0000	7,4000	0,7941	0,4577	3,3871	54,7601	0,2095
Total		21,2067	1,5000	-1,3762	-8,9481	150,2465	2,4971

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung parameter bentuk, *intersep*, parameter skala, dan *index of fit* dari distribusi weibull sebagai berikut:

a. Parameter Bentuk

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

$$\beta = b = \frac{\{[3 \times (-8,9481)] - [21,2067 \times (-1,3762)]\}}{\{[3 \times 150,2465] - [21,2067]^2\}} = 2,3030$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[-1,3762 - (2,3030 \times 21,2067)]}{3} = -16,7383$$

c. *Parameter Skala*

$$\theta = e^{-\frac{a}{b}} = e^{\frac{16,7383}{12,3030}} = 1433,8014$$

d. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(3x-8,9481)-(21,2067 \times (-1,3762))\}}{\sqrt{\{(3x \ 150,2465)-(21,2067)^2\}x \{(3 \times 2,4971)-(-1,3762)^2\}}}$$

$$r = 0,9813$$

2. Distribusi Normal

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Normal TTF Komponen *Bearing*

i	t_i (jam)	x_i=t_i	F(t_i)	y_i=z_i	x_iy_i	(x_i)²	(y_i)²
1	741,0833	741,0833	0,2059	-0,8200	-607,6883	549204,5069	0,6724
2	1337,5000	1337,5000	0,5000	0,0000	0,0000	1788906,2500	0,0000
3	1636,0000	1636,0000	0,7941	0,8200	1341,5200	2676496,0000	0,6724
Total		3714,5833	1,5000	0,0000	733,8317	5014606,7569	1,3448

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung *gradien*, *intersep*, standar deviasi, rata-rata kerusakan, dan *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{\{[3 \times (733,8317)] - [3714,5833 \times 0]\}}{\{[3 \times 5014606,7569] - [3714,5833]^2\}} = 0,9820$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[0 - (0,9820 \times 3714,5833)]}{3} = -2,1882$$

c. *Standar Deviasi*

$$\sigma = \frac{1}{b} = \frac{1}{0,9820} = 565,8386$$

d. *Rata-rata kerusakan*

$$\mu = -\alpha \sigma = -(-1,345 \times 456,621) = 614,155$$

e. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(3 \times 733,8317) - (3714,5833 \times 0)\}}{\sqrt{\{(3 \times 5014606,7569) - (3714,5833)^2\} \times \{(3 \times 1,3448) - (0)^2\}}}$$

$$r = 0,9820$$

3. *Distribusi Lognormal*

Tabel Perhitungan IoF Distribusi lognormal TTF Komponen *Bearing*

i	t_i (jam)	x_i=ln t_i	F(t_i)	y_i=z_i	x_iy_i	(x_i)²	(y_i)²
1	741,0833	6,6081	0,2059	-0,8200	-5,4187	43,6672	0,6724
2	1337,5000	7,1986	0,5000	0,0000	0,0000	51,8192	0,0000
3	1636,0000	7,4000	0,7941	0,8200	6,0680	54,7601	0,6724
Total		21,2067	1,5000	0,0000	0,6494	150,2465	1,3448

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung *gradien*, *intersep*, standar deviasi, parameter, dan *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{\{[3 \times (0,6494)] - [21,2067 \times 0]\}}{\{[3 \times 150,2465] - [21,2067]^2\}} = 1,9168$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[0 - (1,9168 \times 21,2067)]}{3} = -13,5497$$

c. *Standar Deviasi*

$$s = \frac{1}{b} = \frac{1}{1,9168} = 0,5217$$

d. *Parameter*

$$t_{med} = e^{-s\alpha} = e^{-(0,5217)(-13,5497)} = 1174,8472$$

e. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(3 \times 0,6494) - (21,2067 \times 0)\}}{\sqrt{\{(3 \times 150,2465) - (21,2067)^2\} \times \{(5 \times 1,3448) - (0)^2\}}}$$

$$r = 0,9621$$

4. *Distribusi Eksponensial*

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Eksponensial TTF Komponen *Bearing*

i	t_i (jam)	x_i=t_i	F(t_i)	y_i	x_iy_i	(x_i)²	(y_i)²
----------	----------------------------	------------------------------------	-------------------------	----------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

1	741,0833	741,0833	0,2059	0,2305	170,8372	549204,5069	0,0531
2	1337,5000	1337,5000	0,5000	0,6931	927,0844	1788906,2500	0,4805
3	1636,0000	1636,0000	0,7941	1,5805	2585,6168	2676496,0000	2,4978
Total		3714,5833	1,5000	2,5041	3683,5384	5014606,7569	3,0314

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung *gradien* dan *index of fit* dari distribusi eksponensial sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{3683,5384}{5014606,7569} = 0,0007$$

b. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(3 \times 3683,5384) - (3714,583 \times 2,5041)\}}{\sqrt{\{(3 \times 5014606,75) - (3714,583)^2\} \times \{(3 \times 3,0314) - (2,504)^2\}}}$$

$$r = 0,9325$$

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

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

1. Distribusi Weibull

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Weibull TTR Komponen *Bearing*

i	t_i (jam)	x_i=ln t_i	F(t_i)	y_i	x_iy_i	(x_i)²	(y_i)²
1	5,6667	1,7346	0,1591	-1,7529	-3,0406	3,0088	3,0726
2	5,8333	1,7636	0,3864	-0,7167	-1,2640	3,1102	0,5137
3	6,3333	1,8458	0,6136	-0,0503	-0,0928	3,4071	0,0025

4	6,3333	1,8458	0,8409	0,6088	1,1238	3,4071	0,3707
Total		7,1898	2,0000	-1,9110	-3,2736	12,9332	3,9595

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung parameter bentuk, *intersep*, parameter skala, dan *index of fit* dari distribusi weibull sebagai berikut:

a. Parameter Bentuk

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

$$\beta = b = \frac{\{[4 \times (-3,2736)] - [7,1898 \times (-1,9110)]\}}{\{[4 \times 12,9332] - [7,1898]^2\}} = 16,5158$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[-1,9110 - (16,5158 \times 7,1898)]}{4} = -30,1644$$

c. Parameter Skala

$$\theta = e^{-\frac{a}{b}} = e^{\frac{30,1644}{16,5158}} = 6,2114$$

d. *Index of Fit* (IoF)

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

$$r = \frac{\{(4x-3,2736)-(7,1898 \times (-1,9110))\}}{\sqrt{\{(4x12,9332)-(7,1898)^2\}x\{(4 \times 3,9595)-(-1,9110)^2\}}}$$

$$r = 0,9356$$

2. Distribusi Normal

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Normal TTR Komponen *Bearing*

i	t_i (jam)	x_i=t_i	F(t_i)	y_i=z_i	x_iy_i	(x_i)²	(y_i)²
1	5,6667	5,6667	0,1591	-1,0000	-5,6667	32,1111	1,0000
2	5,8333	5,8333	0,3864	-0,2900	-1,6917	34,0278	0,0841
3	6,3333	6,3333	0,6136	0,2900	1,8367	40,1111	0,0841

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Normal TTR Komponen *Bearing* (lanjutan)

i	t_i (jam)	x_i=t_i	F(t_i)	y_i=z_i	x_iy_i	(x_i)²	(y_i)²
4	6,3333	6,3333	0,8409	1,0000	6,3333	40,1111	1,0000
Total		24,1667	2,0000	0,0000	0,8117	146,3611	2,1682

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung *gradien*, *intersep*, standar deviasi, rata-rata kerusakan, dan *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{\{[4x (0,8117)] - [24,1667 x 0]\}}{\{[4 x 146,3611] - [24,1667]^2\}} = 2,2918$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[0 - (2,2918 x 24,1667)]}{4} = -13,8461$$

c. Standar Deviasi

$$\sigma = \frac{1}{b} = \frac{1}{2,2918} = 0,4363$$

d. Rata-rata kerusakan

$$\mu = -\alpha \sigma = -(-13,8461 x 0,4363) = 6,0417$$

e. *Index of Fit* (IoF)

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

$$r = \frac{\{(4 \times 0,8117) - (24,1667 \times 0)\}}{\sqrt{\{(4 \times 146,3611) - (24,1667)^2\} \times \{(4 \times 2,1682) - (0)^2\}}}$$

$$r = 0,9262$$

3. Distribusi Lognormal

Tabel Perhitungan IoF Distribusi lognormal TTR Komponen *Bearing*

i	t _i (jam)	x _i =ln t _i	F(t _i)	y _i =z _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	5,6667	1,7346	0,1591	-1,0000	-1,7346	3,0088	1,0000
2	5,8333	1,7636	0,3864	-0,2900	-0,5114	3,1102	0,0841
3	6,3333	1,8458	0,6136	0,2900	0,5353	3,4071	0,0841
4	6,3333	1,8458	0,8409	1,0000	1,8458	3,4071	1,0000
Total		7,1898	2,0000	0,0000	0,1351	12,9332	2,1682

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung *gradien*, *intersep*, standar deviasi, parameter, dan *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut:

a. Gradien

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

$$b = \frac{\{[4 \times (0,3151)] - [7,1898 \times 0]\}}{\{[4 \times 12,9332] - [7,1898]^2\}} = 13,8153$$

b. Intersep

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

$$\alpha = \frac{[0 - (13,8153 \times 7,1898)]}{4} = -24,8324$$

c. Standar Deviasi

$$s = \frac{1}{b} = \frac{1}{13,8153} = 0,0724$$

d. Parameter

$$t_{med} = e^{-s\alpha} = e^{-(0,0724)(-24,8324)} = 6,0343$$

e. *Index of Fit* (IoF)

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

$$r = \frac{\{(4 \times 0,1351) - (7,1898 \times 0)\}}{\sqrt{\{(4 \times 12,9332) - (7,1898)^2\} \times \{(4 \times 2,1682) - (0)^2\}}}$$

$$r = 0,9277$$

4. Distribusi Ekspensial

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Ekspensial TTR Komponen *Bearing*

I	t _i (jam)	x _i =t _i	F(t _i)	y _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	5,6667	5,6667	0,1591	0,1733	0,9819	32,1111	0,0300
2	5,8333	5,8333	0,3864	0,4884	2,8487	34,0278	0,2385
3	6,3333	6,3333	0,6136	0,9510	6,0228	40,1111	0,9044
4	6,3333	6,3333	0,8409	1,8383	11,6424	40,1111	3,3793
Total		24,1667	2,0000	3,4509	21,4959	146,3611	4,5521

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung *gradien* dan *index of fit* dari distribusi ekspensial sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{21,4959}{146,3611} = 0,1469$$

b. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(4 \times 21,4959) - (24,1667 \times (3,4509))\}}{\sqrt{\{(4 \times 146,3611) - (24,1667)^2\} \times \{(4 \times 4,5521) - (3,4509)^2\}}}$$

$$r = 0,8660$$

Perhitungan *Index of Fit (IoF)* TTF Komponen *Auto Tool Change*

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

1. Distribusi Weibull

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Weibull TTF Komponen *Auto Tool Change*

i	t_i (jam)	x_i=ln t_i	F(t_i)	y_i	x_iy_i	(x_i)²	(y_i)²
1	569,3333	6,3445	0,2059	-1,4674	-9,3099	40,2522	2,1533
2	1210,6667	7,0989	0,5000	-0,3665	-2,6018	50,3948	0,1343
3	1235,7500	7,1194	0,7941	0,4577	3,2586	50,6863	0,2095
Total		20,5628	1,5000	-1,3762	-8,6531	141,3333	2,4971

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung parameter bentuk, *intersep*, parameter skala, dan *index of fit* dari distribusi weibull sebagai berikut:

a. Parameter Bentuk

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

$$\beta = b = \frac{\{[3 \times (-8,6531)] - [20,5628 \times (-1,3762)]\}}{\{[3 \times 141,3333] - [20,5628]^2\}} = 1,9991$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[-1,3762 - (1,9991 \times 20,5628)]}{3} = -14,1612$$

c. *Parameter Skala*

$$\theta = e^{-\frac{a}{b}} = e^{\frac{14,1612}{1,9991}} = 1192,4246$$

d. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{3x(-8,6531) - (20,5628 \times (-1,3762))\}}{\sqrt{\{(3 \times 141,3333) - (20,5628)^2\} \times \{(3 \times 2,4971) - (1,3762)^2\}}}$$

$$r = 0,9141$$

2. Distribusi Normal

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Normal TTF Komponen *Auto Tool Change*

i	t _i (jam)	x _i =t _i	F(t _i)	y _i =z _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	569,3333	569,3333	0,2059	-0,8200	-466,8533	324140,4444	0,6724
2	1210,6667	1210,6667	0,5000	0,0000	0,0000	1465713,7778	0,0000
3	1235,7500	1235,7500	0,7941	0,8200	1013,3150	1527078,0625	0,6724
Total		3015,7500	1,5000	0,0000	546,4617	3316932,2847	1,3448

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung *gradien*, *intersep*, standar deviasi, rata-rata kerusakan, dan *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut:

a. *Gradien*

$$b = \frac{\{[3x(546,4617)] - [3015,7500 x 0]\}}{\{[3x3316932,2847] - [3015,7500]^2\}} = 0,0019$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[0 - (0,0019x 3015,7500)]}{3} = -1,9251$$

c. *Standar Deviasi*

$$\sigma = \frac{1}{b} = \frac{1}{0,0019} = 522,1768$$

d. *Rata-rata kerusakan*

$$\mu = -\alpha\sigma = -(-1,9251 \times 522,1768) = 1005,2500$$

e. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(3x546,4617) - 3015,7500\}}{\sqrt{\{(3x3316932,2847) - (3015,7500)^2\}x \{(3x1,3448) - (0)^2\}}}$$

$$r = 0,8821$$

3. Distribusi Lognormal

Tabel Perhitungan IoF Distribusi lognormal TTF Komponen *Auto Tool Change*

i	t _i (jam)	x _i =ln t _i	F(t _i)	y _i =z _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	569,3333	6,3445	0,2059	-0,8200	-5,2025	40,2522	0,6724
2	1210,6667	7,0989	0,5000	0,0000	0,0000	50,3948	0,0000
3	1235,7500	7,1194	0,7941	0,8200	5,8379	50,6863	0,6724
Total		20,5628	1,5000	0,0000	0,6355	141,3333	1,3448

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung *gradien*, *intersep*, standar deviasi, parameter, dan *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{\{[3 \times (0,6355)] - [20,5628 \times 0]\}}{\{[3 \times 141,3333] - [20,5628]^2\}} = 1,6291$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[0 - (1,6291 \times 20,5628)]}{3} = -11,1665$$

c. *Standar Deviasi*

$$s = \frac{1}{b} = \frac{1}{1,6291} = 0,6138$$

d. *Parameter*

$$t_{\text{med}} = e^{-s\alpha} = e^{-(0,6138)(-11,1665)} = 947,9249$$

e. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(3 \times 0,6355) - (20,5628 \times 0)\}}{\sqrt{\{(3 \times 141,3333) - (20,5628)^2\} \times \{(3 \times 1,3448) - (0)^2\}}}$$

$$r = 0,8774$$

4. Distribusi Eksponensial

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Eksponensial TTF Komponen *Auto Tool Change*

i	t _i (jam)	x _i =t _i	F(t _i)	y _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	569,3333	569,3333	0,2059	0,2305	131,2448	324140,4444	0,0531
2	1210,6667	1210,6667	0,5000	0,6931	839,1702	1465713,7778	0,4805
3	1235,7500	1235,7500	0,7941	1,5805	1953,0416	1527078,0625	2,4978
Total		3015,7500	1,5000	2,5041	2923,4565	3316932,2847	3,0314

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung *gradien* dan *index of fit* dari distribusi eksponensial sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{2923,4565}{3316932,2847} = 0,0009$$

b. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(3 \times 2923,4565) - (3015,7500 \times 2,5041)\}}{\sqrt{\{(3 \times 3316932,2847) - (3015,75)^2\} \times \{(3 \times 3,0314) - (2,5041)^2\}}}$$

$$r = 0,7838$$

Perhitungan *Index of Fit (IoF)* TTR Komponen *Auto Tool Change*

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

1. Distribusi Weibull

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Weibull TTR Komponen *Auto Tool Change*

i	t _i (jam)	x _i =ln t _i	F(t _i)	y _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	6,5000	1,8718	0,1591	-1,7529	-3,2811	3,5036	3,0726
2	6,6667	1,8971	0,3864	-0,7167	-1,3597	3,5991	0,5137
3	7,0000	1,9459	0,6136	-0,0503	-0,0978	3,7866	0,0025
4	7,0000	1,9459	0,8409	0,6088	1,1847	3,7866	0,3707
Total		7,6607	2,0000	-1,9110	-3,5539	14,6758	3,9595

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung parameter bentuk, *intersep*, parameter skala, dan *index of fit* dari distribusi weibull sebagai berikut:

a. Parameter Bentuk

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

$$\beta = b = \frac{\{[4 \times (-3,5539)] - [7,6607 \times (-1,9110)]\}}{\{[4 \times 14,6758] - [7,6607]^2\}} = 25,9140$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[-1,9110 - (25,9140 \times 7,6607)]}{4} = -50,1078$$

c. Parameter Skala

$$\theta = e^{-\frac{a}{b}} = e^{\frac{50,1078}{25,9140}} = 6,9145$$

d. *Index of Fit* (IoF)

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

$$r = \frac{\{(3x-3,5539)-(7,6607 x (-1,9110))\}}{\sqrt{\{(3x 14,6758)-(7,6607)^2\}x \{(3 x 3,9595)-(-1,9110)^2\}}}$$

$$r = 0,9503$$

2. Distribusi Normal

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Normal TTR Komponen *Auto Tool Change*

I	t _i (jam)	x _i =t _i	F(t _i)	y _i =z _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	6,5000	6,5000	0,1591	-1,0000	-6,5000	42,2500	1,0000
2	6,6667	6,6667	0,3864	-0,2900	-1,9333	44,4444	0,0841
3	7,0000	7,0000	0,6136	0,2900	2,0300	49,0000	0,0841
4	7,0000	7,0000	0,8409	1,0000	7,0000	49,0000	1,0000
Total		27,1667	2,0000	0,0000	0,5967	184,6944	2,1682

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung *gradien*, *intersep*, standar deviasi, rata-rata kerusakan, dan *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut:

a. Gradien

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

$$b = \frac{\{[4 x (0,5967)] - [27,1667 x 0]\}}{\{[4 x 184,6944] - [27,1667]^2\}} = 3,1882$$

b. Intersep

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

$$\alpha = \frac{[0 - (3,1882 x 27,1667)]}{4} = -21,6126$$

c. Standar Deviasi

$$\sigma = \frac{1}{b} = \frac{1}{3,1882} = 0,3142$$

d. Rata-rata kerusakan

$$\mu = -\alpha \sigma = -(-21,6126 x 0,3142) = 6,7917$$

e. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(4 \times 0,5967) - (27,1667 \times 0)\}}{\sqrt{\{(4 \times 184,6944) - (27,1667)^2\} \times \{(4 \times 2,1682) - (0)^2\}}}$$

$$r = 0,9358$$

3. Distribusi Lognormal

Tabel Perhitungan IoF Distribusi lognormal TTR Komponen *Auto Tool Change*

i	t _i (jam)	x _i =ln t _i	F(t _i)	y _i =z _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	6,5000	1,8718	0,1591	-1,0000	-1,8718	3,5036	1,0000
2	6,6667	1,8971	0,3864	-0,2900	-0,5502	3,5991	0,0841
3	7,0000	1,9459	0,6136	0,2900	0,5643	3,7866	0,0841
4	7,0000	1,9459	0,8409	1,0000	1,9459	3,7866	1,0000
Total		7,6607	2,0000	0,0000	0,0883	14,6758	2,1682

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung *gradien*, *intersep*, standar deviasi, parameter, dan *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{\{[4 \times (0,0883)] - [7,6607 \times 0]\}}{\{[4 \times 14,6758] - [7,6607]^2\}} = 21,5446$$

b. *Intersep*

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

$$\alpha = \frac{[0 - (21,5446 \times 7,6607)]}{4} = -41,2619$$

c. Standar Deviasi

$$s = \frac{1}{b} = \frac{1}{21,5446} = 0,0464$$

d. Parameter

$$t_{med} = e^{-S\alpha} = e^{-(0,0464)(-41,2619)} = 6,7882$$

e. *Index of Fit* (IoF)

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

$$r = \frac{\{(4 \times 0,0883) - (7,6607 \times 0)\}}{\sqrt{\{(4 \times 14,6758) - (7,6607)^2\} \times \{(4 \times 2,1682) - (0)^2\}}}$$

$$r = 0,9365$$

4. Distribusi Eksponensial

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Eksponensial TTR Komponen *Auto Tool*

Change

i	t _i (jam)	x _i =t _i	F(t _i)	y _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	6,5000	6,5000	0,1591	0,1733	1,1263	42,2500	0,0300

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Tabel Perhitungan IoF Distribusi Eksponensial TTR Komponen *Auto Tool*

Change (lanjutan)

i	t _i (jam)	x _i =t _i	F(t _i)	y _i	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i) ²
1	6,5000	6,5000	0,1591	0,1733	1,1263	42,2500	0,0300
2	6,6667	6,6667	0,3864	0,4884	3,2557	44,4444	0,2385
3	7,0000	7,0000	0,6136	0,9510	6,6568	49,0000	0,9044
4	7,0000	7,0000	0,8409	1,8383	12,8680	49,0000	3,3793
Total		27,1667	2,0000	3,4509	23,9067	184,6944	4,5521

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel di atas, untuk menghitung *gradien* dan *index of fit* dari distribusi eksponensial sebagai berikut:

a. *Gradien*

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

$$b = \frac{23,9067}{184,6944} = 0,1294$$

b. *Index of Fit (IoF)*

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

$$r = \frac{\{(4 \times 23,9067) - (27,1667 \times 3,4509)\}}{\sqrt{\{(4 \times 184,6944) - (27,1667)^2\} \times \{(4 \times 4,5521) - (3,4509)^2\}}}$$

$$r = 0,8640$$

Pengujian Keselarasan TTF Komponen *Bearing*

Berdasarkan perhitungan *index of fit* terbesar TTF dari komponen *bearing* menunjukkan bahwa distribusi yang terpilih adalah distribusi normal. Maka dari itu uji keselarasan yang terpilih adalah uji *Kolmogorov-Smirnov test*. Hasil perhitungan uji keselarasan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel Perhitungan Uji Keselarasan TTF Komponen *Bearing*

i	t _i	(t _i -t) ²	z=(t _i -t)/s	(z _i)	D ₁	D ₂
1	741,0833	247119,4568	-1,0910	0,1376	0,1376	0,1957
2	1337,5000	9861,5934	0,2179	0,5863	0,2529	0,0804
3	1636,0000	158249,2600	0,8731	0,8087	0,1420	0,1913
Total	3714,5833	415230,3102	Max		0,2529	0,1957

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah :

H_0 : Data berdistribusi Normal.

H_1 : Data tidak berdistribusi Normal.

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

Taraf nyata = $\alpha = 0,05$

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} = \frac{3714,5833}{3} = 1238,1944$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1} =, s = \sqrt{\frac{415230,3102}{3-1}} = 455,6481$$

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

$$D_1 = \max \left\{ \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} = 0,2529$$

dimana :

$$D_2 = \max \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) \right\} = 0,1957$$

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

$$D_n = \max(D_1, D_2) = 0,2529$$

Nilai $D_{erit(6, 0,05)} = 0,708$ (Diperoleh dari Tabel *Kolmogorov-Smirnov*)

Kesimpulan: Karena $D_n(0,2529) < D_{erit}(0,708)$ maka H_0 diterima yang berarti dsitribusi TTF untuk komponen ini adalah distribusi normal.

Pengujian Keselarasan TTR Komponen *Bearing*

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

Tabel Perhitungan Uji Keselarasan TTR Komponen *Bearing*

i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	Z_i	M_i	$\frac{\ln t(i+1) - \ln t_i}{t_i}$	$\frac{(\ln t(i+1) - \ln t_i)}{M_i}$
1	5,6667	1,7346	-2,0781	1,2465	0,0290	0,0233
2	5,8333	1,7636	-0,8317	0,7121	0,0822	0,1155
3	6,3333	1,8458	-0,1196	0,6703	0,0000	0,0000
4	6,3333	1,8458	0,5508			

Total	24,1667	7,1898				
--------------	---------	--------	--	--	--	--

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah :

H_0 : Data berdistribusi Weibull.

H_1 : Data tidak berdistribusi Weibull.

Bila $M < F_{erit}$ maka H_0 diterima. Nilai F_{erit} diperoleh dari tabel distribusi F dengan

$F_{erit}=19,25$

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

Taraf nyata = $\alpha = 0,05$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0,5}{4+0,25} \right) \right] = -2,0781$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i = -0,8317 - (-2,0781) = 1,2465$$

$$\text{Uji statistiknya : } \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]} = \frac{2x(0)}{1x(0,0233 + 0,1155)} = 0$$

$$k_1 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor = \frac{4}{2} = 2 ; k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor = \frac{4-1}{2} = 1,5 = 1 \text{ (pembulatan ke bawah)}$$

$$v_1 = 2k_1 = 2 \times 2 = 4 \text{ dan } v_2 = 2 k_2 = 2 \times 1 = 2$$

Kesimpulan: Karena $M(0) < F_{erit}(19,25)$ maka H_0 diterima yang berarti dsitribusi TTR untuk komponen ini adalah distribusi weibull.

Pengujian Keselarasan TTF Komponen *Auto Tool Change*

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

Tabel Perhitungan Uji Keselarasan TTF Komponen *auto tool change*

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	569,3333	6,3445	-1,7894	1,3099	0,7545	0,5760
2	1210,6667	7,0989	-0,4796	0,8624	0,0205	0,0238
3	1235,7500	7,1194	0,3828			
Total	3015,7500	20,5628				

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah :

H_0 : Data berdistribusi Weibull.

H_1 : Data tidak berdistribusi Weibull.

Bila $M < F_{erit}$ maka H_0 diterima. Nilai F_{erit} diperoleh dari tabel distribusi F dengan $F_{erit}=19$

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

Taraf nyata = $\alpha = 0,05$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0,5}{3+0,25} \right) \right] = -1,7894$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i = -0,4796 - (-1,7894) = 1,3099$$

$$\text{Uji statistiknya : } \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]} = \frac{1x(0,0238)}{1x(0,5760)} = 0,0413$$

$$k_1 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor = \frac{3}{2} = 1,5 = 1 ; k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor = \frac{3-1}{2} = 1 \text{ (pembulatan ke bawah)}$$

$$v_1 = 2k_1 = 2 \times 1 = 2 \text{ dan } v_2 = 2 k_2 = 2 \times 1 = 2$$

Kesimpulan: Karena $M(0,0413) < F_{erit}(19)$ maka H_0 diterima yang berarti dsitribusi TTF untuk komponen ini adalah distribusi weibull.

Pengujian Keselarasan TTR Komponen *Auto Tool Change*

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

Tabel Perhitungan Uji Keselarasan TTR Komponen *Auto Tool Change*

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	6,5000	1,8718	-2,0781	1,2465	0,0253	0,0203
2	6,6667	1,8971	-0,8317	0,7121	0,0488	0,0685
3	7,0000	1,9459	-0,1196	0,6703	0,0000	0,0000
4	7,0000	1,9459	0,5508			
Total	27,1667	7,6607				

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Hipotesis yang digunakan untuk uji ini adalah :

H_0 : Data berdistribusi Weibull.

H_1 : Data tidak berdistribusi Weibull.

Bila $M < F_{erit}$ maka H_0 diterima. Nilai F_{erit} diperoleh dari tabel distribusi F dengan $F_{erit}=19,25$

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

Taraf nyata = $\alpha = 0,05$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0,5}{4+0,25} \right) \right] = -2,0781$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i = -0,8317 - (-2,0781) = 1,2465$$

$$\text{Uji statistiknya : } \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]} = \frac{2x(0)}{1x(0,0685 + 0,203)} = 0$$

$$k_1 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor = \frac{4}{2} = 2 ; k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor = \frac{4-1}{2} = 1,5 = 1 \text{ (pembulatan ke bawah)}$$

$$v_1 = 2k_1 = 2 \times 2 = 4 \text{ dan } v_2 = 2 k_2 = 2 \times 1 = 2$$

Kesimpulan: Karena $M(0) < F_{erit}(19,25)$ maka H_0 diterima yang berarti distribusi TTR untuk komponen ini adalah distribusi weibull.



Gambar *Hydraulic Hose*

(Sumber: PT Kreasi Presisi Metalindo)



Gambar *Bearing*

(Sumber: PT Kreasi Presisi Metalindo)



Gambar *Auto Tool Change*

(Sumber: PT Kreasi Presisi Metalindo)



Gambar *Protective Glass*

(Sumber: PT Kreasi Presisi Metalindo)



Gambar *Timing Belt*

(Sumber: PT Kreasi Presisi Metalindo)