

LAPORAN TUGAS AKHIR
PENENTUAN INTERVAL WAKTU *PREVENTIVE*
***MAINTENANCE* PADA *NAIL MAKING MACHINE* DENGAN**
MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED*
MAINTENANCE (RCM) II
(STUDI KASUS : PT. SURABAYA WIRE)



Disusun Oleh :
MUHAMMAD ARIZKI ZAINUL RAMADHAN
131020700042

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO
2018

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertandatangan dibawah ini, saya :

Nama : Muhammad Arizki Zainul Ramadhan

NIM : 131020700042

Judul Tugas Akhir : Penentuan Interval Waktu *Preventive Maintenance* Pada *Nail Making Machine* Dengan Menggunakan *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*

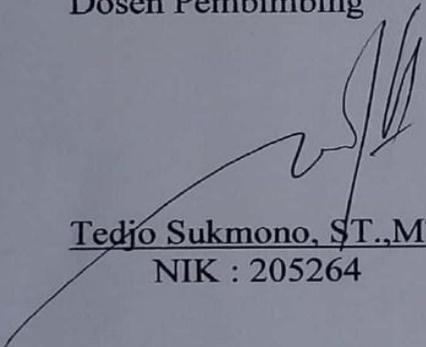
Menyatakan bahwa tugas akhir yang saya buat ini adalah benar-benar hasil karya saya sendiri dan tidak memplagiat hasil karya orang lain ataupun dibuatkan orang lain.

Apabila ternyata terbukti saya melakukan pelanggaran sebagaimana yang tersebut diatas, maka saya bersedia diberi sanksi apapun dari universitas.

Sidoarjo, 21 Februari 2018

Mengetahui
Dosen Pembimbing

Yang Menyatakan,


Tedjo Sukmono, ST.,MT
NIK : 205264



Muhammad Arizki Zainul Ramadhan
NIM : 131020700042

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENENTUAN INTERVAL WAKTU *PREVENTIVE MAINTENANCE*
PADA *NAIL MAKING MACHINE* DENGAN MENGGUNAKAN METODE
RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) II
(STUDI KASUS : PT. SURABAYA WIRE)**

Penelitian Untuk S-1

Program Studi Teknik Industri

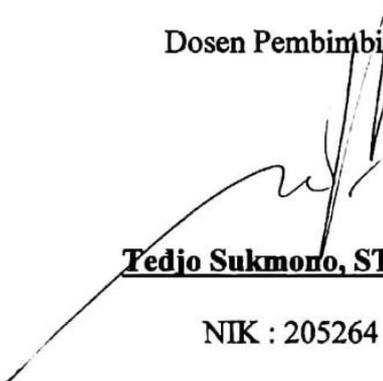
Diajukan Oleh :

Muhammad Arizki Zainul Ramadhan

NIM : 131020700042

Telah Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing



Tedjo Sukmono, ST.,MT

NIK : 205264

Tanggal 21 Februari 2018

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO
2018**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**Tugas Akhir Disusun Untuk Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana (ST)**

Di

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

**PENENTUAN INTERVAL WAKTU *PREVENTIVE MAINTENANCE*
PADA *NAIL MAKING MACHINE* DENGAN MENGGUNAKAN METODE
RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) II
(Studi Kasus : Pt. Surabaya Wire)**

Oleh :

**Muhammad Arizki Zainul Ramadhan
NIM : 131020700042**

**Tanggal Ujian : 8 Februari 2018
Periode Wisuda : April 2018**

Disetujui oleh :

**1. Tedjo Sukmono, ST., MT
NIK : 205264**

**2. Wiwik Sulistiyowati, ST., MT
NIK : 209365**

**3. Boy Isma Putra, ST., MM
NIK : 201193**

(Pembimbing)

(Penguji 1)

(Penguji 2)



Dekan Fakultas Teknik,

**Izza Anshory, ST., MT
NIK : 202239**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan Rahmat serta Hidayah-Nya, sehingga peneliti dapat menyelesaikan tugas Laporan tugas akhir ini yang berjudul “Penentuan Interval Waktu *Preventive Maintenance* Pada *Nail Making Machine* Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (Rcm) II Studi Kasus Pt. Surabaya Wire” dengan baik.

Penulis menyadari bahwa Laporan tugas akhir ini tidak akan terwujud tanpa ridho dari Allah SWT serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Izza Anshory, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
2. Atikha Sidhi Cahyana, ST., MT selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
3. Tedjo Sukmono, ST., MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dengan penuh keikhlasan dan kesabaran selama proses penyusunan proposal tugas akhir ini.
4. Dharma Setyo Nugroho, ST., MM selaku *Head Of Operational Division* PT. SURABAYA WIRE yang banyak membimbing dalam pelaksanaan dilapangan.
5. Wiwik Sulistiyowati, ST., MT dan Boy Isma Putra, ST., MM selaku dosen penguji sidang laporan tugas akhir.

Dengan adanya Laporan tugas akhir ini semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dan kerja keras yang telah dilakukan. Laporan tugas akhir ini belum mencapai kesempurnaan. Namun, semoga apa yang telah di tulis ini diusahakan bisa bermanfaat.

Sidoarjo, 21 Februari 2018

Penulis,

Muhammad Arizki Zainul Ramadhan

**Penentuan Interval Waktu *Preventive Maintenance* Pada *Nail Making Machine* Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*
(Studi Kasus di PT. Surabaya Wire)**

Nama Mahasiswa : Muhammad Arizki Zainul Ramadhan
NIM : 131020700042
Dosen Pembimbing : Tedjo Sukmono, ST., MT

ABSTRAK

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan produktivitas dan penggunaan teknologi yang tinggi berupa mesin serta fasilitas produksi maka kebutuhan akan fungsi perawatan semakin bertambah besar. Pada PT. Surabaya Wire yang memproduksi paku dan kawat adanya permasalahan yang timbul khususnya terkait dengan kerusakan pada *nail making machine*, hal tersebut mengakibatkan jam berhenti (*downtime*) dan *delay* pada proses produksi sehingga kinerja mesin menjadi kurang efektif.

Tujuan dilakukan penelitian yaitu dapat menentukan jadwal interval waktu perawatan dan mengetahui tindakan atau kegiatan perawatan yang harus dilakukan. Untuk mengatasi masalah tersebut dalam penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM) II* dengan perhitungan *Failure Modes and Effect Analyze (FMEA)*.

RCM II didefinisikan sebuah proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk perawatan mesin, sedangkan untuk FMEA diartikan sebagai metode untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan tertinggi pada setiap kerusakan mesin yang terjadi.

Dari hasil perhitungan menggunakan FMEA dan RCM II diperoleh hasil interval perawatan pada komponen *Side shaft* (stang metal) dengan interval perawatan selama 63 jam, untuk komponen *Crank shaft* (metal jalan) dengan interval perawatan selama 81 jam, dan untuk komponen *Electric motor* dengan interval perawatan selama 374 jam.

Kata Kunci : FMEA, Manajemen Perawatan, RCM II.

**Determining Interval Time Preventive Maintenance On Nail
Making Machine Using Reliability Centered Maintenance (RCM)
II Method
(Case Study di PT. Surabaya Wire)**

Name : Muhammad Arizki Zainul Ramadhan
NIM : 131020700042
Mentor : Tedjo Sukmono, ST., MT

ABSTRACT

With the increasing needs of productivity and the use of high technology in the form of machines and production facilities, the need for maintenance functions is growing. At PT. Surabaya Wire that produces nails and wires of problems that arise especially related to damage to nail making machine, it causes the hours to stop (downtime) and delay in the production process so that the engine performance becomes less effective.

The purpose of the research is to determine the time interval schedule of care and know the action or maintenance activities to be done. To solve the problem in this research using Reliability Centered Maintenance (RCM) II method with Failure Modes and Effect Analyze (FMEA) calculation.

RCM II defined a process used to determine what should be done for machine maintenance, whereas for FMEA it is defined as a method to identify the highest failure form on any machine malfunction.

From the calculation result using FMEA and RCM II, we got treatment interval result on side shaft component (metal handlebar) with maintenance interval for 63 hours, for crank shaft component (metal road) with maintenance interval for 81 hours, and for Electric motor component with maintenance interval for 374 hours.

Keywords: FMEA, Maintenance Management, RCM II.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.4.1 Tujuan Penelitian	2
1.4.2 Manfaat Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Manajemen Perawatan	5
2.2 Dampak Kerusakan Peralatan Dan Mesin Industri Manufaktur	5
2.3 <i>Reliability Centered Maintenance II</i> <i>Decision Worksheet</i>	6
2.3.1 <i>Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)</i>	8
2.3.1.1 <i>Severity</i>	8
2.3.1.2 <i>Occurance</i>	9
2.3.1.3 <i>Detection</i>	9
2.3.2 Penentuan Distribusi Data <i>Time to Failure</i> (TTF) Dan <i>Time to Repair</i> (TTR).....	9
2.3.3 Perhitungan <i>Mean Time to Failure</i> (MTTF) Dan <i>Mean Time to Repair</i> (MTTR)	10
2.3.4 Perhitungan Waktu Interval Perawatan	11
2.4 Jenis Pemeliharaan Mesin Industri Manufaktur.....	12
2.5 Program Pemeliharaan Mesin	12
2.5.1 Pemeliharaan Kerusakan (<i>Breakdown Maintenance</i>) ..	12
2.5.2 Pemeliharaan Pencegahan (<i>Preventive Maintenance</i>) .	13
2.5.3 Pemeliharaan Peramalan (<i>Predictive Maintenance</i>)	14

2.5.4	Pemeliharaan Perbaikan (<i>Corrective Maintenance</i>)	15
2.6	Pentingnya Program Pemeliharaan	15
2.7	Kunci Keberhasilan Program Pemeliharaan	16
2.8	Penelitian Terdahulu	16
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1	Diagram Alir Proses Penelitian	19
3.2	Tempat Penelitian	20
3.3	Waktu Penelitian	20
3.4	Tahap Pengumpulan Data	20
3.5	Teknik Pengambilan Data	20
3.6	Data Yang Diambil	20
3.7	Pengolahan Data	21
3.8	Analisa Data	21
3.9	Kesimpulan dan Saran	21
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1	Pengumpulan Data	23
4.1.1	Periode Penelitian	23
4.1.2	Data Jam Kerja	23
4.1.3	Data Komponen	23
4.1.4	Data Perbaikan Mesin	23
4.2	Pengolahan Data	26
4.2.1	Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Mesin	26
4.2.2	<i>Failure Modes and Effect Analyze</i> (FMEA)	30
4.2.3	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) <i>II Decision Worksheet</i>	35
4.2.4	Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Komponen	36
4.2.5	Perhitungan Waktu Kerusakan (TTF) dan Perhitungan Waktu Perbaikan Kerusakan (TTR)	40
4.2.6	Identifikasi Waktu Distribusi Selang Waktu Kerusakan (<i>Time To Failure</i>)	43
4.2.6.1	<i>Least Square Curve Fitting</i> Untuk <i>Time To Failure</i> (TTF)	43
4.2.6.2	Uji <i>Goodness Of Fit Test</i> Untuk <i>Time To Failure</i> (TTF)	50
4.2.6.3	<i>Least Square Curve Fitting</i> Untuk <i>Time To Repair</i> (TTR)	54
4.2.6.4	Uji <i>Goodness Of Fit Test</i> Untuk <i>Time To Repair</i> (TTR)	61
4.2.7	Perhitungan Parameter <i>Time To Failure</i> (TTF)	65
4.2.8	Perhitungan Parameter <i>Time To Repair</i> (TTR)	66
4.2.9	Perhitungan <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF) dan Perhitungan <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR)	67

4.2.10 Perhitungan <i>Reliability</i> Komponen.....	68
4.2.11 Perhitungan Interval Perawatan Komponen	69
4.3 Analisa dan Pembahasan.....	72
4.4 Rekomendasi.....	73
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN 1.....	79
LAMPIRAN 2.....	81
LAMPIRAN 3.....	82
LAMPIRAN 4.....	83

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Penelitian Terdahulu.....	17
4.1 Data Perbaikan Mesin Paku A503 Tahun 2015-2016	24
4.2 Data Perbaikan Mesin Paku B410 Tahun 2015-2016	24
4.3 Data Perbaikan Mesin Paku C603 Tahun 2015-2016	25
4.4 Data Perbaikan Mesin Paku D210 Tahun 2015-2016.....	25
4.5 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Mesin Paku A503.....	26
4.6 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Mesin Paku B410.....	27
4.7 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Mesin Paku C603.....	27
4.8 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Mesin Paku D210	28
4.9 Hasil Presentase <i>Downtime</i> Kerusakan Mesin.....	29
4.10 Kriteria dan Nilai Rangkin untuk <i>Severity</i>	30
4.11 Kriteria dan Nilai Rangkin untuk <i>Occurance</i>	31
4.12 Kriteria dan Nilai Rangkin untuk <i>Detection</i>	31
4.13 <i>Failure Modes and Effect Analyze</i> Pada Mesin Paku A503.....	32
4.14 RCM II <i>Decision Worksheet</i>	35
4.15 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Komponen <i>Side Shaft</i> (stang metal)	36
4.16 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Komponen <i>Crank Shaft</i> (metal jalan).....	37
4.17 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Komponen <i>Electric Motor</i>	37
4.18 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Komponen <i>Hummer</i>	37
4.19 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Komponen <i>Wire Cutting</i>	38
4.20 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Komponen <i>Wire Straightener</i>	38
4.21 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Komponen <i>Flywheel</i>	38
4.22 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Komponen <i>Wire Feeder</i>	38
4.23 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Komponen <i>Auto Lubricating Pump</i>	39
4.24 Hasil Perhitungan <i>Downtime</i> Kerusakan Komponen <i>Start Power</i>	39
4.25 Hasil Presentase <i>Downtime</i> Kerusakan Komponen.....	40
4.26 Hasil Perhitungan TTF dan TTR Komponen <i>Side Shaft</i> (stang metal)	41
4.27 Hasil Perhitungan TTF dan TTR Komponen <i>Crank Shaft</i> (metal jalan).....	42

4.28 Hasil Perhitungan TTF dan TTR Komponen <i>Electric Motor</i>	42
4.29 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Side Shaft</i> (stang metal) Untuk Distribusi Eksponensial	44
4.30 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Crank Shaft</i> (metal jalan) Untuk Distribusi Eksponensial	44
4.31 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Electric Motor</i> Untuk Distribusi Eksponensial	45
4.32 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Side Shaft</i> (stang metal) Untuk Distribusi Lognormal	46
4.33 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Crank Shaft</i> (metal jalan) Untuk Distribusi Lognormal	47
4.34 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Electric Motor</i> Untuk Distribusi Lognormal	47
4.35 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Side Shaft</i> (stang metal) Untuk Distribusi Weibull	48
4.36 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Crank Shaft</i> (metal jalan) Untuk Distribusi Weibull	49
4.37 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Electric Motor</i> Untuk Distribusi Weibull	50
4.38 Hasil Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Untuk TTF	50
4.39 Uji <i>Mann's</i> Pada <i>Side Shaft</i> (stang metal) Berdistribusi Weibull.....	51
4.40 Uji <i>Mann's</i> Pada <i>Crank Shaft</i> (metal jalan) Berdistribusi Weibull	53
4.41 Uji <i>Kologorov-Smirnov</i> Pada <i>Electric Motor</i> Berdistribusi Lognormal	54
4.42 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Side Shaft</i> (stang metal) Untuk Distribusi Eksponensial	54
4.43 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Crank Shaft</i> (metal jalan) Untuk Distribusi Eksponensial	55
4.44 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Electric Motor</i> Untuk Distribusi Eksponensial	56
4.45 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Side Shaft</i> (stang metal) Untuk Distribusi Lognormal	57
4.46 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Crank Shaft</i> (metal jalan) Untuk Distribusi Lognormal	58
4.47 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Electric Motor</i> Untuk Distribusi Lognormal	58
4.48 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Side Shaft</i> (stang metal) Untuk Distribusi Weibull	59
4.49 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Crank Shaft</i> (metal jalan) Untuk Distribusi Weibull	60
4.50 <i>Least Square Curve Fitting</i> Komponen <i>Electric Motor</i> Untuk Distribusi Weibull	61

4.51 Hasil Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Untuk TTR.....	61
4.52 Uji <i>Kolmogorov-Smornov</i> Pada <i>Side Shaft</i> (stang metal) Berdistribusi Lognormal	62
4.53 Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> Pada <i>Crank Shaft</i> (metal jalan) Berdistribusi Lognormal	63
4.54 Uji <i>Mann's</i> Pada <i>Electric Motor</i> Berdistribusi Weibull	65
4.55 Kegiatan Perawatan dan Interval Perawatan yang Optimal.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
3.1 Diagram Alir Proses Penelitian.....	19
4.1 Diagram Pareto Penentuan Mesin Kritis.....	30
4.2 Diagram Pareto Penentuan Komponen Kritis.....	40



BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini akan diberikan penjelasan mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan dalam penelitian yang akan diambil untuk diteliti oleh penulis.

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang ada di Indonesia saat ini berjalan dengan cepat dan semakin canggih. Sehingga dapat dirasakan dalam berbagai kegiatan dan kehidupan sehari-hari, khususnya dalam bidang industri manufaktur. Perubahan teknologi yang digunakan dapat menimbulkan perubahan dari komponen input serta output yang dihasilkan. Dengan semakin meningkatnya kebutuhan produktivitas dan penggunaan teknologi yang tinggi berupa mesin serta fasilitas produksi maka kebutuhan akan fungsi perawatan semakin bertambah besar.

Dalam usaha untuk menggunakan fasilitas produksi agar kontinuitas produksi dapat terjamin, maka perlu direncanakan kegiatan perawatan yang dapat mendukung keandalan suatu mesin. Keandalan mesin merupakan salah satu aspek yang sangat penting sehingga dapat mempengaruhi kelancaran proses produksi serta produk yang dihasilkan. Keandalan ini dapat membantu memperkirakan peluang suatu komponen mesin untuk dapat bekerja sesuai dengan tujuan yang diinginkan pada jangka waktu tertentu.

PT. Surabaya Wire adalah sebuah perusahaan dibidang manufaktur yang memproduksi paku, kawat. Permasalahan yang timbul di perusahaan tersebut khususnya terkait dengan kerusakan mesin produksi paku atau dengan kata lain *nail making machine*, hal tersebut dapat mengakibatkan jam berhenti (*downtime*) dan *delay* pada proses produksi yang mengakibatkan kinerja mesin menjadi kurang efektif dan efisien. Efektivitas dalam proses produksi perlu didukung adanya manajemen perawatan dan pemeliharaan pada mesin untuk itu diperlukan langkah-langkah yang efektif dalam pemeliharaan mesin untuk dapat menanggulangi dan mencegah masalah tersebut. Dalam pemeliharaan mesin tersebut dapat ditangani

dan diupayakan secara berkelanjutan sehingga mampu meningkatkan efektivitas dari mesin tersebut.

Untuk mengatasi masalah tersebut dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II). Perhitungan ini dapat digunakan untuk mengetahui interval waktu perawatan mesin yang telah dilaksanakan di pabrik paku dan kawat tersebut secara efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang diatas maka penulis dapat merumuskan suatu permasalahan, yaitu :

1. Bagaimana cara menentukan penjadwalan interval waktu perawatan?
2. Tindakan yang harus dilakukan dalam perawatan mesin dengan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II ?

1.3 Batasan Masalah

Diperlukan ruang lingkup atau batasan masalah dalam melakukan penelitian sehingga pembahasan dapat lebih terarah dan jelas. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data keterangan waktu kerusakan pada mesin pembuat paku.
2. Hanya membahas tentang perawatan mesin pada mesin pembuat paku.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah diatas, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan yaitu :

1. Menentukan jadwal interval waktu perawatan.
2. Memberikan tindakan dalam perawatan mesin untuk kedepannya.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Dengan melakukan penelitian ini diharapkan dapat diambil beberapa manfaat sebagai berikut :

1. Manfaat bagi mahasiswa :
 - a. Sebagai bahan perbandingan dalam menerapkan teor-teori yang diperoleh selama mengikuti perkuliahan dengan keadaan yang ada di lapangan.

- b. Dapat menambah wawasan bagi penulis yang akan datang khususnya tentang manajemen perawatan dengan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM II)
2. Manfaat bagi perusahaan :
 - a. Mampu memberikan contoh perhitungan bagi perusahaan tentang nilai efektivitas mesin.
 - b. Dapat memberikan gambaran penjadwalan perawatan mesin.
3. Manfaat bagi universitas :
 - a. Dapat dijadikan sebagai informasi dan referensi tambahan untuk penelitian selanjutnya terhadap permasalahan perawatan mesin.

1.5 Sistematika Penulisan

Pada sistematika penulisan ini terdiri dari enam bab yang masing-masing akan diuraikan sesuai dengan tujuan tertentu. Sistematika penulisan ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dilakukan bertujuan untuk memperoleh teori-teori yang sesuai dengan permasalahan yang diteliti, sehingga dapat mencapai tujuan penulisan. Sebagai bahan untuk studi pustaka penulis menjadikan jurnal ilmiah, buku-buku literatur, dan skripsi/tugas akhir untuk mendukung teori perawatan mesin produksi.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada metodologi penelitian ini menjelaskan tentang tahap-tahap yang digunakan dalam proses penelitian yang dilakukan dalam pelaksanaan tugas akhir.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan ini berisikan data tentang objek tugas akhir yang digunakan untuk penelitian. Pengolahan data berdasarkan hasil pengumpulan data metode yang telah ditetapkan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil analisa data yang dilakukan berdasarkan tujuan yang diinginkan dan saran untuk perusahaan atau penelitian selanjutnya.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab landasan teori ini akan menjelaskan tentang definisi manajemen perawatan, perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR), biaya perawatan, dan pengertian metode *Realiability Centered Maintenance* II yang akan diambil guna mendukung atau sebagai penunjang dalam penelitian ini.

2.1 Manajemen Perawatan

Fasilitas produksi berupa peralatan dan mesin dibeli berdasarkan desain dan spesifikasi yang telah ditetapkan. Kemudian peralatan dan mesin tersebut dioperasikan guna mencapai target produksi sesuai dengan sasaran perusahaan. Setelah beroperasi beberapa waktu, maka kemungkinan akan dijumpai hal-hal seperti berikut (Baroto, 2003) :

1. Barang yang akan dihasilkan tidak sesuai dengan standar mutu yang telah ditetapkan dalam desain tersebut.
2. Jumlah barang yang dihasilkan di bawah kapasitas desain peralatan atau mesin tersebut.
3. Untuk mencapai standar mutu yang ditetapkan dan jumlah sesuai dengan desain dan adanya tambahan biaya karena perbaikan.
4. Mengancam keselamatan kerja dan lingkungan.
5. Ketidakpuasan konsumen karena adanya keterlambatan pengiriman barang.

Apabila keadaan seperti diatas telah terjadi maka disebut sebagai ketidakpastian bekerjanya sistem fasilitas produksi.

2.2 Dampak Kerusakan Peralatan dan Mesin Industri Manufaktur

Peralatan dan desain mesin industri didesain sedemikian rupa sesuai dengan jenis proses produksinya yang hendak dikerjakan. Apabila terhadap sebuah peralatan tidak diberlakukan program pemeliharaan yang tepat, maka akan terjadi kerusakan sebelum waktu yang telah ditetapkan berdasarkan desain mesin tersebut. Waktu kerusakan yang telah ditetapkan dalam desain mesin adalah pada akhir umur teknis, lamanya bervariasi untuk setiap peralatan.

Adapun dampak yang sering terjadi pada kerusakan mesin industri manufaktur, yaitu (Baroto, 2003) :

1. Fasilitas produksi yang senantiasa beroperasi, akan tetapi menghasilkan barang yang tidak sesuai dengan standar mutu yang telah ditetapkan dalam desain.
2. Barang yang dihasilkan dapat memenuhi standar mutu yang ditetapkan, tetapi jumlahnya dibawah kapasitas desain mesin tersebut.
3. Untuk mencapai standar mutu yang harus ditetapkan dan jumlahnya harus sesuai dengan desain kapasitas yang diperlukan untuk beberapa perbaikan. Hal ini mengakibatkan naiknya biaya perbaikan yang secara langsung berpengaruh pada total biaya produksi.
4. Peralatan atau mesin industri yang telah berada pada kondisi yang tidak baik untuk dioperasikan, akan tetapi dipaksakan untuk terus beroperasi yang berakibat fatal. Akibat yang ditimbulkan oleh kerusakan mesin tersebut juga mengancam keselamatan kerja atau kesehatan lingkungan karyawan yang secara langsung berhubungan dengan mesin.
5. Berbagai akibat tidak tepat sistem fasilitas produksi bekerja akan berakibat pada pengiriman barang ke konsumen. Setiap kerusakan, penyimpangan mutu atau kecelakaan, maka jumlah pengiriman akan berkurang, atau bahkan tidak dapat memenuhi kebutuhan pelanggan. Dengan semakin ketatnya persaingan, keterlambatan pengiriman akan dapat menyebabkan pelanggan mencari produk pengganti

Untuk menghindari dampak yang tidak diinginkan seperti diatas, maka program pemeliharaan harus dilaksanakan sesuai dengan desain masing-masing mesin industri yang digunakan.

2.3 *Reliability Centered Maintenance II Decision Worksheet*

Reliability Centered Maintenance adalah sebuah proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk memastikan bahwa semua asset fisik terus melakukan apa yang user ingin dilakukan dalam kondisi operasinya saat ini (Pratama dan Prasetyawan, 2014).

Dengan menggunakan RCM II *Decision Worksheet* didapatkan bahwa tindakan yang perlu dilakukan untuk penanganan kerusakan tersebut melalui *schedule restoration task* dimana perlu melakukan perawatan dan menghilangkan

hambatan-hambatan mesin untuk beroperasi serta melalui *schedule discard task* dimana perawatan memerlukan penggantian komponen yang mengalami kerusakan. RCM II *Decision Worksheet* berisikan tentang (Dhamayanti dkk, 2016):

1. Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsional

Sub sistem yang ada memiliki fungsi berbeda-beda yang mendukung kinerja satu sama lain agar mesin dapat bekerja dengan baik. Sedangkan kegagalan fungsional merupakan kegagalan yang terjadi padamesin selama waktu beroperasi. Beberapa *information reference* yaitu : F (*function*) fungsi komponen yang dianalisis, FF (*failure function*) kegagalan fungsi, dan FM (*failure mode*) penyebab kegagalan fungsi.

2. Logic Tree Analysis (LTA)

LTA ini digunakan untuk mengklasifikasikan konsekuensi modus kegagalan yang menggunakan *decision worksheet*. Modus kegagalan ini dikategorikan dalam empat mode, yaitu *Hidden Failure* (H) merupakan sebuah modus kegagalan yang tersembunyi pada saat keadaan normal oleh operator, *Safety Consequences* (S) merupakan modus kegagalan yang berhubungan dengan keselamatan operator, *Enviromental Consequences* (E) merupakan modus kegagalan yang berhubungan dengan lingkungan, *Operational Consequences* (O) merupakan modus kegagalan yang memberikan konsekuensi operasional.

3. Preventive Task Selection

Pereventive Task Selection terdiri dari tiga alternatif, yaitu *scheduled on condition task*, *scheduled restoration task*, *scheduled discard task*. Pemilihan ketiga alternatif ini berdasarkan analisis yang terdapat pada RCM *deciosion logic*. Kolom *preventive task* memiliki beberapa simbol yang menunjukkan alternatif masing-masing *task* H1, S1, O1, N1 menunjukkan bahwa *task* yang harus dilakukan yaitu *scheduled on condition task* bisa mengurangi kemungkinan *failure mode*, jika H2, S2, O2, N2 menunjukkan bahwa *task* yang harus dilakukan yaitu *scheduled restoration task* bisa untuk mencegah *failure*, sedangkan H3, S3, O3, N3 menunjukkan bahwa *task* yang harus dilakukan yaitu *scheduled discard task* bisa mencegah *failure*.

2.3.1 Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan yang mungkin menyebabkan setiap kegagalan fungsi dan untuk memastikan pengaruh kegagalan berhubungan dengan setiap bentuk kegagalan. Untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan tertinggi pada setiap *failure* atau kegagalan yang terjadi pada komponen, maka dilakukan analisis dengan menggunakan FMEA dengan beberapa tahapan yaitu (Bangun dkk, 2014) :

1. Identifikasi kegagalan (*failure*)
2. Identifikasi fungsi kegagalan mesin (*function failure*)
3. Identifikasi penyebab kegagalan (*failure mode*)
4. Identifikasi efek dari kegagalan (*failure effect*)
5. Perhitungan *severity*
6. Perhitungan *occurance*
7. Perhitungan *detection*
8. Perhitungan *Risk Priority Number* (RPN)

Rumus perhitungan pada FMEA ini yaitu (Bangun dkk, 2014) :

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.1)$$

Dengan :

$S = Severity$

$O = Occurance$

$D = Detection$

Nilai RPN menunjukkan keseriusan dari *potential failure*, semakin tinggi nilai RPN maka menunjukkan semakin bermasalah. Tidak ada angka acuan RPN untuk melakukan perbaikan. Segera lakukan perbaikan terhadap *potencial cause*, alat kontrol, dan efek yang diakibatkan.

2.3.1.1 Severity

Langkah pertama untuk menganalisa resiko yaitu suatu penilaian dari tingkat keparahan keseriusan efek yang ditimbulkan dari mode-mode kegagalan dengan nilai rangking dimulai dari nilai terendah 1 hingga nilai tertinggi 10. Penilaian didasarkan pada jenis kerusakan jika jenis kerusakan dapat menyebabkan *downtime* produksi yang semakin besar maka semakin besar pula nilai rangkingnya.

2.3.1.2 Occurance

Kejadian atau *occurance* adalah probabilitas dari frekuensi terjadinya kesalahan. Kejadian yang identik dengan kemungkinan terjadinya resiko. Dengan nilai rangking dimulai dari nilai terendah 1 hingga nilai tertinggi 10. Penilaian didasarkan pada lama waktu mesin rusak jika kerusakan mesin semakin parah dan membutuhkan waktu lama maka semakin besar pula nilai *occurance*.

2.3.1.3 Detection

Detection adalah kemungkinan untuk mendeteksi kesalahan akan terjadi atau sebelum dampak kesalahan tersebut terjadi. Deteksi identik dengan pemahaman sumber resiko atau pemahaman terhadap pengendalian proses yang diamati. Dengan nilai rangking dimulai dari nilai terendah 1 hingga nilai tertinggi 10. Penilaian didasarkan pada deteksi kerusakan jika kerusakan tidak dapat terdeteksi maka nilai deteksi semakin besar.

2.3.2 Penentuan Distribusi *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)

Proses penentuan distribusi untuk data TTF dan TTR masing-masing komponen kritis adalah dengan membuat hipotesa apakah data kerusakan mengikuti distribusi Weibull dimana distribusi tersebut berkaitan dengan laju kerusakan. Setelah menduga jenis distribusi data TTF dan TTR, maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji *goodness of fit* terhadap data TTF dan TTR yang diperoleh untuk meyakinkan apakah pola distribusi data yang diduga sudah sesuai dengan pola distribusi tertentu untuk diolah lebih lanjut untuk memperoleh parameter dari masing-masing komponen sesuai dengan distribusi yang terpilih. Perhitungan parameter untuk *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) yang berdistribusi *Weibull* ini dilakukan dengan menggunakan rumus (Sari dan Ridho, 2016) :

$$a = \bar{y} - b\bar{X} \quad (2.2)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2.3)$$

Perhitungan nilai parameter α dan β adalah sebagai berikut :

$$a = b \quad (2.4)$$

$$\beta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} \quad (2.5)$$

Dimana :

a = *intercept*

b = *slope*

α = parameter bentuk

β = parameter skala

2.3.3 Perhitungan *Mean Time to Failure* dan *Mean Time to Repair*

Perhitungan MTTF dan MTTR dengan menggunakan parameter untuk masing-masing komponen. MTTF merupakan waktu rata-rata terjadinya kerusakan dan MTTR merupakan waktu rata-rata yang diperlukan untuk melakukan perbaikan.

1. Distribusi Weibull

Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah T mengikuti distribusi Weibull dengan tiga parameter β , η , γ (Putra, 2010).

Mean time to failure dari distribusi Weibull

$$MTTF = \eta \Gamma \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right) \quad (2.6)$$

Mean time to repair dari distribusi Weibull

$$MTTR = \eta \Gamma \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right) \quad (2.7)$$

Dengan fungsi keandalannya :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.8)$$

Dimana $\Gamma(x)$ adalah fungsi gamma :

$$\Gamma(x) = \int_0^x y^{x-1} - e^{-y} \cdot dy \quad (2.9)$$

2. Distribusi Log Normal

Time to failure dari suatu komponen dikatakan memiliki distribusi lognormal bila $y = \ln T$.

Mean time to failure dari distribusi lognormal (Putra, 2010) :

$$MTTF = t_{med} \exp \left(\frac{s^2}{2} \right) \quad (2.10)$$

Dan fungsi keandalan :

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad (2.11)$$

3. Distribusi Eksponensial

Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah terdistribusi secara dengan parameter λ . *Mean time to failure* dari distribusi eksponensial (Putra, 2010) :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.12)$$

Dan fungsi keandalannya :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.13)$$

2.3.4 Perhitungan Waktu Interval Perawatan

Penentuan *maintenance task* dilakukan dengan menganalisis *information worksheet* dan *decision worksheet*. Analisis pada *information worksheet* dilakukan dengan mengamati *record failure*. Tabel *information worksheet* terdiri dari fungsi sistem, kegagalan sistem dan FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Hasil *maintenance task* yang telah ditentukan kemudian akan ditentukan interval waktu yang tepat untuk melakukan perawatan. Perhitungan interval waktu ini tergantung pada jenis *task* yang ada pada komponen. Rumus untuk menghitung interval perawatan *schedule on condition task* yaitu (Dhamayanti dkk, 2016) :

$$PM = \frac{1}{2} \times P - F \text{ interval} \quad (2.14)$$

Adapun untuk rumus yang digunakan pada *scheduled restoration task* dan *scheduled discard task* yaitu dengan dilakukan perhitungan biaya perbaikan atau penggantian kerusakan komponen. Rumus yang digunakan yaitu sebagai berikut (Dhamayanti dkk, 2016) :

$$Cf = Cr + MTTR(Co + Cw) \quad (2.15)$$

Cf = Biaya perbaikan atau penggantian karena kerusakan komponen setiap siklus perawatan

Cr = Biaya penggantian kerusakan komponen

Co = Biaya kerugian produksi (*loss revenue*)

Cw = Biaya tenaga kerja

Setelah mendapatkan nilai untuk melakukan perawatan (Cm) yaitu dengan menjumlahkan biaya *downtime* + tenaga kerja + biaya perbaikan. Jika nilai Cf dan Cm diketahui maka dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan interval waktu yang tepat untuk kegiatan *maintenance*. Rumus penentuan interval waktu pada setiap masing-masing *task* yaitu (Dhamayanti dkk, 2016) :

$$TM = \eta \times \left(\frac{Cm}{Cf(\beta-1)} \right) \frac{1}{\beta} \quad (2.16)$$

2.4 Jenis Pemeliharaan Mesin Industri Manufaktur

Beberapa kerugian yang harus ditanggung bila terjadi kerusakan pada peralatan mesin industri. Kerugian ini terutama sekali karena berkurangnya produksi, sebagai akibat mesin yang harus dimatikan, dan harus diperbaiki. Untuk perbaikan itu juga harus mengeluarkan biaya baik untuk tenaga kerja dan pergantian alat yang rusak.

Oleh karena itu pada saat menentukan desain dan spesifikasi pada mesin tersebut yaitu salah satunya yang harus diperhatikan adalah program pemeliharaannya. Pemilihan program pemeliharaan yang ditentukan oleh jenis peralatan atau mesin yang dipilih dan ditentukan oleh kualitas produk yang dihasilkan (Baroto, 2003).

Produk berkualitas tinggi atau produk dengan tingkat ketelitian yang tinggi, memerlukan program pemeliharaan terperinci bagi mesin-mesin produksinya. Itulah sebabnya, program pemeliharaan merupakan bagian yang penting dan tidak terpisahkan dari sistem produksi industri manufaktur.

2.5 Program Pemeliharaan Mesin

Sepanjang pengoperasian, sistem peralatan dan mesin industri yang diterapkan dalam program pemeliharaan kerusakan (*breakdown maintenance*), pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*), pemeliharaan peramalan (*predictive maintenance*), pemeliharaan ketika peralatan atau mesin masih dalam keadaan beroperasi biasanya disebut *productive maintenance* (Baroto, 2003).

Kerusakan sebuah peralatan mesin industri dengan program pemeliharaan pencegahan yang baik, kebanyakan sering tidak terjadi secara tiba-tiba, melainkan menunjukkan gejala yang memburuk, sebelum rusak parah (*broken*). Untuk mengamati perubahan unjuk kerja suatu mesin industri maka dilakukan pencatatan atas unjuk kerja selamanya beroperasinya peralatan mesin tersebut.

Berbagai macam jenis program pemeliharaan peralatan mesin industri dijelaskan sebagai berikut :

2.5.1 Pemeliharaan Kerusakan (*breakdown maintenance*)

Program pemeliharaan ini yang lebih tepatnya dikatakan sebagai perbaikan. Program dilakukan pada saat peralatan mesin sudah mencapai kondisi yang tidak dapat dioperasikan lagi. Beberapa keuntungan pada program ini adalah sebagai

berikut (Baroto, 2003) :

1. Mesin dapat dioperasikan pada jangka waktu yang tidak terputus-putus.
2. Petugas pemeliharaan tidak perlu bekerja selama mesin beroperasi.

Sedangkan kerugian yang didapat pada program ini adalah sebagai berikut :

1. Sekali waktu terjadi kerusakan mesin, pada saat situasi yang sedang dalam beban puncak dan dibebani target produksi.
2. Kondisi kerusakan biasanya terjadi tanpa perencanaan yang mengakibatkan banyak hal yang terburu-buru yang harus diselesaikan.
3. Akibat dari tidak terencana situasi, maka biaya akan menjadi berlipat. Terutama menyangkut pengadaan peralatan, bila harus terjadi penggantian. Dan kalau sampai terjadi begitu banyak kerusakan, maka bisa saja tenaga yang ada tidak mencukupi untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut dalam waktu yang telah ditentukan.

Pada beberapa perusahaan cara ini masih dianggap cukup memadai, karena ketika kerusakan terjadi maka seluruh kekuatan pemeliharaan akan bekerja keras. Cara ini digunakan untuk meminimasi jam mati mesin. Kondisi demikian bisa saja dilakukan dengan syarat sebagai berikut (Baroto, 2003) :

1. Menambah jumlah karyawan pada bagian pemeliharaan, sehingga jam mati mesin tidak berarut-larut.
2. Menyediakan mesin pengganti siap operasi (*back-up machinery*).
3. Mempersiapkan karyawan dari bagian produksi yang sebelumnya hanya ahli dalam mengoperasikan mesin menjadi ahli memperbaiki mesin.
4. Mengupayakan tingkat keselamatan kerja yang optimum, sehingga tidak terjadi kecelakaan selama pengoperasian dan perbaikan.

2.5.2 Pemeliharaan Pencegahan (*preventive maintenance*)

Suatu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan berdasarkan spesifikasi peralatan mesin. Kegiatan ini melibatkan hal-hal sebagai berikut (Baroto, 2003) :

1. Pemasangan dan desain yang tepat pada peralatan dan mesin.
2. Pengamatan dan kegiatan pemeliharaan yang mencegah terjadinya kerusakan secara tiba-tiba.
3. Pembongkaran dan penggantian secara terencana dan berulang untuk mempertahankan kondisi mesin sehingga memenuhi persyaratan operasi.

4. Pemeliharaan meliputi pelumasan, penambahan bahan pembantu, pengecatan dan lain-lain agar mesin dapat beroperasi kembali.

Syarat dalam tercapainya program pemeliharaan pencegahan mesin adalah sebagai berikut :

1. Spesifikasi dan desain peralatan yang secara jelas dan tepat untuk menggambarkan kebutuhan program pemeliharaan.
2. Kelengkapan kartu historis masing-masing peralatan.
3. Jadwal pengamatan dan kegiatan pemeliharaan yang sesuai dengan spesifikasi peralatan dan mesin.
4. Tenaga kerja yang terampil untuk melakukan pengamatan dan pengambilan kesimpulan tentang kondisi mesin.
5. Persediaan peralatng yang memadai.
6. Dukungan perencanaan pemeliharaan terjadwal, kebutuhan tenaga kerja, kebutuhan peralatan dan berakhir pada biaya.
7. Banyak keadaan kerusakan mesin yang disebabkan oleh kesalahan atau ketidaktepatan dalam pengoperasian.
8. Bila dimungkinkan ada peralatan pengganti siap pakai, sehingga bila harus dilakukan program perawatan proses produksi tidak terganggu.

Beberapa keuntungan yang diperoleh pada program terencana adalah sebagai berikut :

1. Tenaga kerja dapat dijadwalkan untuk kegiatan sepanjang tahun.
2. Pengadaan peralatan terjadwal.
3. Jadwal produksi dapat disesuaikan dengan program pemeliharaan.

Apabila sudah diketahui bagaimana keuntungan dan kerugian dari program tersebut untuk perbaikan secara terencana. Sistem perawatan lain yang akhir-akhir ini diterapkan pada beberapa industri, terutama menggunakan mesin dengan tingkat ketepatan tinggi.

2.5.3 Pemeliharaan Peramalan (*predictive maintenance*)

Sistem ini biasa disebut sebagai program peramalan untuk perawatan mesin. Program ini merupakan bagian dari program perawatan pencegahan yang dilengkapi dengan metode analisis statistik atas data untuk kerja mesin dan peralatan yang dicatat dalam kartu historis (Baroto, 2003).

Program ini sangat membantu terutama untuk peralatan mesin dengan ketelitian dan resiko yang tinggi serta berakibat fatal bila sewaktu-waktu terjadi kerusakan. Biasanya mesin yang tergolong dalam program *predictive maintenance* seperti mesin utama yang tidak mempunyai pengganti (*stand-by machinery*), sehingga apabila terjadi kerusakan pada mesin tersebut maka akan memberhentikan kegiatan produksinya.

Meskipun telah dilakukan program pemeliharaan pencegahan dengan berjalannya waktu maka mesin-mesin mengalami keausan. Keausan akan berakibat menurunnya unjuk kerja yang ada. Penurunan unjuk kerja ditunjukkan dengan gejala yang sama dengan ketidaktepatan bekerjanya sistem fasilitas produksi. Untuk menanggulangi ketidaktepatan ini maka dilakukan perbaikan yang biasa disebut dengan *de-bottlenecking*, dan dinyatakan sebagai tindakan koreksi.

2.5.4 Pemeliharaan Perbaikan (*corrective maintenance*)

Agar peralatan dan mesin kembali mendekati kondisi spesifik yang ditetapkan pada desain perlu diadakan pemeliharaan perbaikan. Dapat berupa penambahan peralatan ataupun pergantian peralatan. Setelah diperhitungkan biaya investasi, maka dampak yang perlu dihadapi adalah adanya perubahan yang terjadi pada sistem. Bagaimanapun penjadwalan yang dilakukan, suatu ketika akan dihadapi keadaan suatu mesin atau peralatan harus menjalani program pemeliharaan (Baroto, 2003).

Pemeliharaan dan pencegahan harus dilakukan dalam keadaan mesin tetap hidup, hal ini disebabkan karena untuk menghindari menghabiskan dan menghindari biaya yang lebih banyak terutama energi.

2.6 Pentingnya Program Pemeliharaan

Hal terpenting adalah program pemeliharaan mesin atau peralatan, untuk tercapainya hal-hal seperti berikut (Baroto, 2003):

1. Agar tercapai pengoperasian pada tingkat kapasitas penuh, sehingga tercapai tingkat profit yang memadai untuk seluruh unit di dalam perusahaan.
2. Tercapainya ke ekonomisan dalam pengoperasian pabrik, maka harus memenuhi persyaratan dan pemeliharaan seperti berikut :
 - a. Tercapainya tujuan pada tingkat kapasitas desain.
 - b. Pemeliharaan secara berkesinambungan.

- c. Tercapainya efisiensi.

Kebanyakan perusahaan mempunyai target operasi berkesinambungan pada 24 x 330 jam per tahun. Sedangkan untuk 35 harinya adalah untuk program pemeliharaan terencana yang biasa disebut perbaikan tahunan.

2.7 Kunci Keberhasilan Program Pemeliharaan

Kebanyakan berbagai program pemeliharaan yang berhasil adalah yg memperhatikan faktor-faktor berikut (Baroto, 2003) :

1. Pengorganisasian dan sistem yang baik untuk kelompok operasi dan pemeliharaan.
2. Pengendalian operasi dari segi teknis dan organisasi.
3. Pengendalian program pemeliharaan.
4. Pengendalian keselamatan kerja.
5. Pengendalian sediaan dan sistem pembelian.
6. Pengendalian dari segi tenaga kerja.
7. Pengendalian biaya produksi dan biaya pemeliharaan.

Macam-macam pemeliharaan yang ada merupakan suatu pilihan bagi pemilik peralatan dan mesin industri. Dan bergantung pada tingkat efektifitas serta tingkat ketelitian dan kualitas produk yang dihasilkan.

Masing-masing jenis peralatan dan mesin memiliki spesifikasi dan tidak dapat diabaikan begitu saja, karena jika program pemeliharaan yang digunakan tidak tepat maka akan berakibat fatal. Sebagai akibat langsung ditentukannya suatu pemeliharaan terhadap peralatan atau mesin industri adalah aspek biaya.

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai metode *Reliability Centered Maintenance II* yang telah dilakukan sebelumnya, baik penelitian dilakukan oleh ahli metode RCM II maupun penelitian yang dilakukan untuk tesis ataupun tugas akhir.

Agar dalam penelitian ini tidak terjadi penyimpangan dan penyalinan ulang maka perlu ditampilkan posisi penelitian terdahulu, berikut ini adalah tampilan posisi penelitian terdahulu dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.

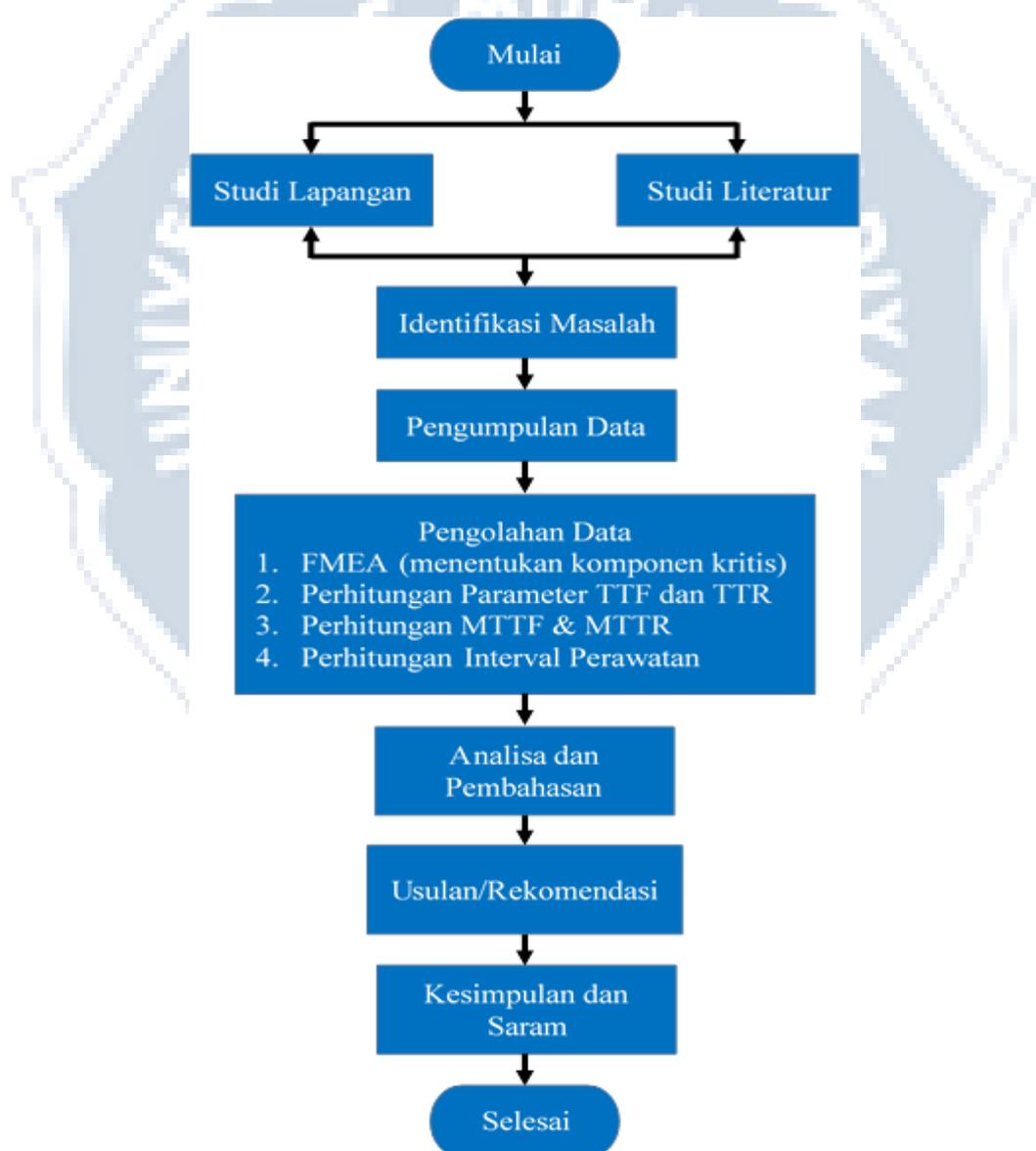
No.	Tahun	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	2011	Amal Witonohadi	Usulan Perbaikan Sistem Perawatan Mesin dengan Pendekatan <i>Computerized Maintenance Management System</i> (CMMS)	Dari ke-32 mesin terdapat 5 mesin yang termasuk mesin kritis maka dengan menggunakan perhitungan OEE didapatkan hasil penjadwalan perawatan yang mudah dan efisien dengan dukungan <i>maintenance information systems</i> .
2.	2014	Andina Nur Sarah	Usulan Kebijakan Perawatan Lokomotif Jenis CC201 dengan Menggunakan Metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> di PT. KAI Dipo Bandung	Berdasarkan penerapan metode RCM diketahui bahwa jumlah kebijakan perawatan yang termasuk kedalam <i>Time directed</i> sebanyak 1 <i>task</i> , <i>Condition directed</i> sebanyak 22 <i>task</i> , <i>Failure finding</i> sebanyak 5 <i>task</i> , <i>Run to failure</i> sebanyak 2 <i>task</i> .
3.	2017	Muhamad Arizki Zainul Ramadhan	Penentuan Interval Waktu <i>Preventive Maintenance</i> pada <i>Nail Making Machine</i> dengan Menggunakan Metode <i>Reliability Centered Maintenance II</i>	Dari hasil perhitungan menggunakan FMEA dan RCM II diperoleh hasil interval perawatan pada komponen <i>Side shaft</i> (stang metal) dengan interval perawatan selama 63 jam, untuk komponen <i>Crank shaft</i> (metal jalan) dengan interval perawatan selama 81 jam, dan untuk komponen <i>Electric motor</i> dengan interval perawatan selama 374 jam.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian ini menjelaskan tentang tahap-tahap yang akan dilakukan dari awal hingga akhir yang digunakan dalam proses penelitian. Adapun langkah-langkah tersebut akan dijelaskan dibawah ini.

3.1 Diagram Alir Proses Penelitian

Dalam diagram alir proses penelitian ini akan digambarkan dalam bentuk *flowchart* untuk memudahkan dalam proses penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian

3.2 Tempat Penelitian

Pada tempat penelitian ini penulis memilih di perusahaan paku dan kawat yaitu PT. Surabaya Wire untuk area yang akan diteliti oleh penulis yaitu pada lini produksi.

3.3 Waktu Penelitian

Untuk waktu penelitian itu sendiri penulis melakukan penelitian selama \pm 5 bulan.

3.4 Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data ini penulis terlebih dahulu melakukan observasi pada area kerja tersebut agar mendapatkan informasi secara detail mengenai pokok permasalahan yang ada.

3.5 Teknik Pengambilan Data

Adapun beberapa teknik yang diambil oleh penulis yaitu :

1. Melakukan wawancara atau mengadakan komunikasi langsung dengan kepala bagian produksi tentang hal-hal yang berhubungan dengan obyek yang diteliti atau dengan karyawan yang terlibat langsung didalam perusahaan tersebut dengan menanyakan hal-hal yang berhubungan poses produksi , data kerusakan bulanan pada mesin produksi paku.
2. Dokumentasi data yang diperoleh dengan mempelajari dokumen-dokumen perusahaan yang berhubungan dengan permasalahan dalam penelitian ini. Data yang diperoleh berhubungan dengan data kerusakan setiap bulan pada mesin produksi paku dan lain-lain.

3.6 Data Yang Diambil

Data yang diambil dalam penelitian ini dimulai pada bulan Januari 2015 sampai Desember 2016. Untuk data primer terdiri dari :

1. Jumlah waktu yang dilakukan oleh mesin saat melakukan proses produksi.
2. Kerusakan mesin dan waktu yang dibutuhkan untuk memperbaikinya.

Untuk data sekunder terdiri dari :

1. Profil perusahaan
2. Prosedur peralatan yang dilakukan dan prosedur dari *set-up* mesin.

3.7 Pengolahan Data

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari perusahaan, selanjutnya penulis melakukan pengolahan data dan perhitungan untuk menunjang penelitian tersebut. Pengolahan data yang dilakukan sebagai berikut:

1. Perhitungan *Failure Modes and Effect Analyze* (FMEA)
2. Perhitungan Parameter TTF dan TTR
3. Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF)
4. Perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR)
5. Perhitungan Interval Waktu Perawatan

3.8 Analisa Data

Setelah pengolahan data dilakukan, maka tahap selanjutnya yaitu menganalisa terhadap hasil perhitungan MTTF, MTTR, dan Interval Waktu Perawatan mesin.

3.9 Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir penelitian adalah membuat kesimpulan dari hasil penelitian berdasarkan tujuan yang ingin dicapai.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pengumpulan data dan pengolahan data. Dimana pengumpulan data tersebut terdiri dari data primer dan data sekunder.

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Periode Penelitian

Lamanya periode yang diambil untuk penelitian selama 2 (dua) tahun yang dimulai pada bulan Januari 2015 sampai dengan Desember 2016 yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan interval perawatan.

4.1.2 Data Jam Kerja

Di PT. Surabaya Wire memiliki sistem tenaga kerja non shift yang memiliki 7½ jam kerja, yang mana 5 hari kerja 6 jam aktif bekerja, dan ½ jam kerja untuk istirahat. Sedangkan 1 hari kerja 5 jam aktif bekerja dan tidak ada jam istirahat.

4.1.3 Data Komponen

Dalam penelitian ini data yang diambil adalah data dari mesin paku jenis A503. Dari jenis mesin paku tersebut memiliki komponen diantaranya yaitu :

1. *Wire straightener*
2. *Wire cutting*
3. *Wire feeder*
4. *Hammer*
5. *Crank shaft* (metal jalan)
6. *Side shaft* (stang metal)
7. *Flywheel* (roda gila)
8. *Electric motor*
9. *Start power*
10. *Auto lubricating pump* (pompa pelumasan otomatis)

4.1.4 Data Perbaikan Mesin

Selain komponen mesin terdapat juga data perbaikan mesin dari mesin paku A503, mesin paku B410, mesin paku C603, dan mesin paku D210. Data yang diambil dimulai pada bulan Januari 2015 sampai dengan bulan Desember 2016. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 sampai dengan tabel 4.4.

Tabel 4.1 Data Perbaikan Mesin Paku A503 Tahun 2015-2016.

Mesin Paku A503			
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)
1	20 Mei 2015	8:35	10:40
2	10 Juni 2015	9:03	11:00
3	15 Juni 2015	8:57	10:35
4	8 September 2015	14:22	14:30
5	8 September 2015	14:12	14:30
6	19 September 2015	9:28	11:30
7	7 Oktober 2015	12:48	14:15
8	10 Oktober 2015	10:32	13:44
9	29 Oktober 2015	10:54	13:22
10	23 November 2015	12:42	14:20
11	16 Desember 2015	11:43	13:45
12	22 Desember 2015	11:24	13:24
13	23 Januari 2016	13:19	14:25
14	26 Januari 2016	13:22	14:20
15	22 Februari 2016	8:03	9:30
16	24 Maret 2016	11:17	13:21
17	29 Maret 2016	9:10	11:12
18	1 April 2016	7:33	9:33
19	21 April 2016	7:44	9:44
20	28 April 2016	7:53	9:55
21	16 Mei 2016	7:32	9:40
22	9 Juni 2016	11:38	13:50
23	23 Juni 2016	7:27	9:55
24	10 Agustus 2016	7:40	9:50
25	19 Agustus 2016	13:41	14:25
26	16 Desember 2016	14:11	14:30

Sumber Data : PT. Surabaya Wire

Tabel 4.2 Data Perbaikan Mesin Paku B410 Tahun 2015-2016.

Mesin Paku B410			
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)
1	5 Mei 2015	12:08	14:00
2	5 Mei 2015	12:08	14:35
3	7 Oktober 2015	13:01	14:22
4	18 November 2015	13:58	14:26
5	12 Desember 2015	9:49	11:35
6	4 Februari 2016	13:30	14:19
7	24 Maret 2016	11:10	13:22
8	26 Maret 2016	11:10	13:15
9	25 April 2016	12:49	14:01
10	27 April 2016	7:50	9:44
11	22 Juni 2016	7:26	9:35

Tabel 4.2 Data Perbaikan Mesin Paku B410 Tahun 2015-2016 (lanjutan...).

12	19 Agustus 2016	13:40	14:18
13	23 September 2016	8:13	10:25
14	3 Oktober 2016	13:56	14:21
15	22 November 2016	9:00	11:00

Sumber Data : PT. Surabaya Wire

Tabel 4.3 Data Perbaikan Mesin Paku C603 Tahun 2015-2016.

Mesin Paku C603			
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)
1	27 Mei 2015	13:42	14:22
2	13 Juni 2015	12:43	13:43
3	27 Agustus 2015	12:57	13:57
4	8 September 2015	14:19	14:30
5	28 September 2015	9:50	11:55
6	7 Oktober 2015	12:53	13:53
7	21 Oktober 2015	10:43	12:43
8	8 Januari 2016	13:59	14:16
9	15 Januari 2016	12:04	13:21
10	30 Januari 2016	13:27	14:08
11	26 Februari 2016	7:31	9:25
12	7 Maret 2015	11:22	13:22
13	10 Maret 2016	13:00	14:11
14	11 Maret 2016	11:31	13:25
15	19 Maret 2016	9:15	11:15
16	21 Maret 2016	8:08	10:27
17	21 Maret 2016	8:26	10:56
18	29 Maret 2016	8:01	10:32
19	13 Mei 2016	11:35	13:22
20	24 Mei 2016	11:02	13:10
21	7 Juni 2016	7:48	9:50
22	13 Agustus 2016	7:26	9:54
23	23 Agustus 2016	12:33	13:30

Sumber Data : PT. Surabaya Wire

Tabel 4.4 Data Perbaikan Mesin Paku D210 Tahun 2015-2016.

Mesin Paku D210			
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)
1	8 Mei 2015	12:27	13:52
2	22 Mei 2015	10:29	12:22
3	26 Mei 2015	9:35	11:44
4	27 Agustus 2015	12:45	13:33
5	8 September 2015	14:23	14:30
6	8 September 2015	13:56	14:19
7	5 April 2016	10:34	12:34
8	6 April 2016	10:21	12:55
9	10 Mei 2016	9:32	11:27

Tabel 4.4 Data Perbaikan Mesin Paku D210 Tahun 2015-2016 (lanjutan...).

10	31 Mei 2016	13:37	14:18
11	13 Juni 2016	7:35	9:39
12	12 Agustus 2016	11:04	13:00
13	26 Agustus 2016	12:37	13:27
14	1 Oktober 2016	8:49	10:21
15	28 Oktober 2016	13:48	14:10
16	9 November 2016	13:50	14:27

Sumber Data : PT. Surabaya Wire

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Perhitungan *Downtime* Kerusakan Mesin

Dari data kerusakan mesin diatas dapat diketahui total *downtime* masing-masing mesin dari bulan Januari 2015 sampai dengan Desember 2016, rumus yang digunakan yaitu (waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan). Dengan contoh perhitungan pada tanggal 20 Mei 2015 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 10:40 – 8:35 = 2.1 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Mesin Paku A503.

Mesin Paku A503				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	20 Mei 2015	8:35	10:40	2.1
2	10 Juni 2015	9:03	11:00	1.9
3	15 Juni 2015	8:57	10:35	1.6
4	8 September 2015	14:22	14:30	0.1
5	8 September 2015	14:12	14:30	0.3
6	19 September 2015	9:28	11:30	2.0
7	7 Oktober 2015	12:48	14:15	1.4
8	10 Oktober 2015	10:32	13:44	3.2
9	29 Oktober 2015	10:54	13:22	2.5
10	23 November 2015	12:42	14:20	1.6
11	16 Desember 2015	11:43	13:45	2.0
12	22 Desember 2015	11:24	13:24	2.0
13	23 Januari 2016	13:19	14:25	1.1
14	26 Januari 2016	13:22	14:20	1.0
15	22 Februari 2016	8:03	9:30	1.4
16	24 Maret 2016	11:17	13:21	2.1
17	29 Maret 2016	9:10	11:12	2.0
18	1 April 2016	7:33	9:33	2.0
19	21 April 2016	7:44	9:44	2.0
20	28 April 2016	7:53	9:55	2.0
21	16 Mei 2016	7:32	9:40	2.1

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Mesin Paku A503 (lanjutan...).

22	9 Juni 2016	11:38	13:50	2.2
23	23 Juni 2016	7:27	9:55	2.5
24	10 Agustus 2016	7:40	9:50	2.2
25	19 Agustus 2016	13:41	14:25	0.7
26	16 Desember 2016	14:11	14:30	0.3
<i>Total Downtime</i>				44

Selanjutnya yaitu menghitung *downtime* kerusakan mesin paku B410 dengan menggunakan perhitungan manual, contohnya pada tanggal 5 Mei 2015 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 14:00 – 12:08 = 1.9 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Mesin Paku B410.

Mesin Paku B410				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	5 Mei 2015	12:08	14:00	1.9
2	5 Mei 2015	12:08	14:35	2.4
3	7 Oktober 2015	13:01	14:22	1.3
4	18 November 2015	13:58	14:26	0.5
5	12 Desember 2015	9:49	11:35	1.8
6	4 Februari 2016	13:30	14:19	0.8
7	24 Maret 2016	11:10	13:22	2.2
8	26 Maret 2016	11:10	13:15	2.1
9	25 April 2016	12:49	14:01	1.2
10	27 April 2016	7:50	9:44	1.9
11	22 Juni 2016	7:26	9:35	2.1
12	19 Agustus 2016	13:40	14:18	0.6
13	23 September 2016	8:13	10:25	2.2
14	3 Oktober 2016	13:56	14:21	0.4
15	22 November 2016	9:00	11:00	2.0
<i>Total Downtime</i>				23

Selanjutnya yaitu menghitung *downtime* kerusakan mesin paku B410 dengan menggunakan perhitungan manual, contohnya pada tanggal 27 Mei 2015 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 14:22 – 13:42 = 0.7 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Mesin Paku C603.

Mesin Paku C603				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	27 Mei 2015	13:42	14:22	0.7
2	13 Juni 2015	12:43	13:43	1.0

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Mesin Paku C603 (lanjutan...).

3	27 Agustus 2015	12:57	13:57	1.0
4	8 September 2015	14:19	14:30	0.2
5	28 September 2015	9:50	11:55	2.1
6	7 Oktober 2015	12:53	13:53	1.0
7	21 Oktober 2015	10:43	12:43	2.0
8	8 Januari 2016	13:59	14:16	0.3
9	15 Januari 2016	12:04	13:21	1.3
10	30 Januari 2016	13:27	14:08	0.7
11	26 Februari 2016	7:31	9:25	1.2
12	7 Maret 2015	11:22	13:22	1.9
13	10 Maret 2016	13:00	14:11	2.5
14	11 Maret 2016	11:31	13:25	2.0
15	19 Maret 2016	9:15	11:15	2.3
16	21 Maret 2016	8:08	10:27	1.9
17	21 Maret 2016	8:26	10:56	2.0
18	29 Maret 2016	8:01	10:32	2.5
19	13 Mei 2016	11:35	13:22	1.8
20	24 Mei 2016	11:02	13:10	2.1
21	7 Juni 2016	7:48	9:50	2.0
22	13 Agustus 2016	7:26	9:54	2.5
23	23 Agustus 2016	12:33	13:30	0.9
<i>Total Downtime</i>				35

Selanjutnya yaitu menghitung *downtime* kerusakan mesin paku B410 dengan menggunakan perhitungan manual, contohnya pada tanggal 8 Mei 2015 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 13:52 – 12:27 = 1.4 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Mesin Paku D210.

Mesin Paku D210				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	8 Mei 2015	12:27	13:52	1.4
2	22 Mei 2015	10:29	12:22	1.9
3	26 Mei 2015	9:35	11:44	2.1
4	27 Agustus 2015	12:45	13:33	0.8
5	8 September 2015	14:23	14:30	0.1
6	8 September 2015	13:56	14:19	0.4
7	5 April 2016	10:34	12:34	2.0
8	6 April 2016	10:21	12:55	2.6
9	10 Mei 2016	9:32	11:27	1.9
10	31 Mei 2016	13:37	14:18	0.7
11	13 Juni 2016	7:35	9:39	2.1
12	12 Agustus 2016	11:04	13:00	1.9
13	26 Agustus 2016	12:37	13:27	0.8

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Mesin Paku D210 (lanjutan...).

14	1 Oktober 2016	8:49	10:21	1.5
15	28 Oktober 2016	13:48	14:10	0.4
16	9 November 2016	13:50	14:27	0.6
Total <i>Downtime</i>				21

Untuk mengetahui penentuan mesin yang banyak mengalami kerusakan dapat diketahui menggunakan perhitungan pada masing-masing mesin dengan presentase *downtime* kerusakan mesin yang paling tinggi. Adapun penjelasan perhitungan presentase *downtime* kerusakan mesin adalah sebagai berikut :

$$\% \text{ Downtime} = \frac{\text{Downtime Mesin}}{\sum \text{Downtime}} \times 100\%$$

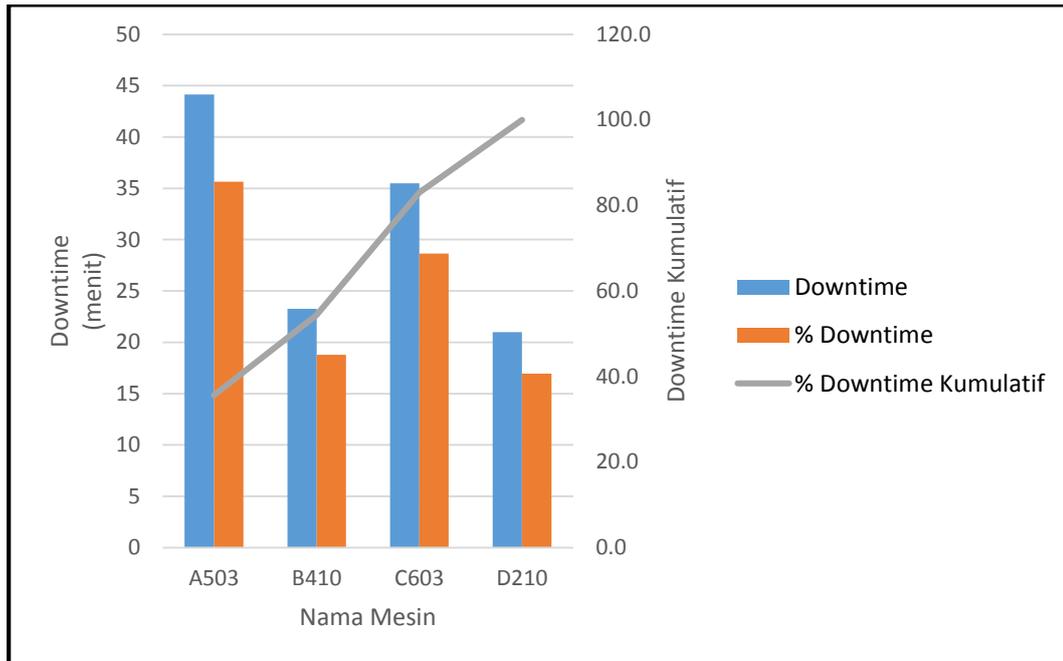
Perhitungan presentase *downtime* kerusakan untuk mesin paku A503 adalah sebagai berikut :

$$\% \text{ Downtime} = \frac{44}{124} \times 100\% = 35.6\%$$

Penentuan mesin kritis dapat dilakukan dengan melihat presentase *downtime* mesin yang mendekati 40%. Dapat dilihat bahwa mesin paku A503 merupakan mesin kritis karena memiliki waktu *downtime* yang mendekati 40% diantara mesin-mesin lainnya yaitu sebesar 35.6%. Berikut hasil perhitungan presentase *downtime* kerusakan mesin dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4.9 Hasil Presentase *Downtime* Kerusakan Mesin.

No	Nama Mesin	<i>Downtime</i> (jam)	% <i>Downtime</i>	% <i>Downtime</i> Kumulatif
1	A503	44	35.6	35.6
2	B410	23	18.8	54.4
3	C603	35	28.6	83.0
4	D210	21	17.0	100
Jumlah		124	100	



Gambar 4.1 Diagram Pareto Penentuan Mesin Kritis

Dari diagram diatas, hasil tersebut selanjutnya akan diolah untuk menentukan komponen kritis dengan menggunakan perhitungan FMEA.

4.2.2 Failure Modes and Effect Analyze (FMEA)

Dalam perhitungan ini menggunakan nilai rating yang mana menggambarkan kerusakan-kerusakan yang terjadi pada mesin saat proses produksi. Berikut ini nilai rating yang digunakan untuk menghitung total *Risk Priority Number* (RPN) diantaranya yaitu *severity*, *occurance*, dan *detection*.

Tabel 4.10 Kriteria dan Nilai Rangkings untuk *Severity*.

Efek	Kriteria : <i>Severity</i> untuk <i>Failure Mode Effect Analyze</i> (FMEA)	Rangking
Proses produksi berhenti	- mesin rusak parah - tidak tersedianya komponen pengganti	10
Proses produksi berjalan dengan sangat lambat	- mesin rusak cukup parah - tidak tersedianya komponen pengganti	9
Proses produksi berjalan dengan lambat	- mesin rusak cukup parah - komponen atau sparepart tersedia	8
Proses produksi berjalan dengan sedikit tersendat	- mesin rusak cukup parah - mesin dapat beroperasi secara manual	7
Proses produksi berjalan cukup lancar	- mesin rusak ringan - mesin dapat beroperasi secara manual	6
Proses produksi berjalan lancar	- mesin rusak ringan - rusak pada settingan mesin	5
Proses produksi berjalan dengan bantuan operator	- mesin rusak ringan	4
Proses produksi sedikit terganggu	- mesin rusak ringan - menunggu komponen atau sparepart	3
Proses produksi tetap berjalan	- mesin error - salah settingan	2
Proses produksi tidak terganggu	- mesin kotor	1

Tabel 4.11 Kriteria dan Nilai Rangkaing untuk *Occurance*.

<i>Probability Of Failure</i>	<i>Failure Rates</i>	Rangking
Sangat tinggi	Setiap hari rusak	10
Kerusakan hampir tidak dapat dihindari	Setiap 2 hari sekali rusak	9
Tinggi	Setiap 3 hari sekali rusak	8
Kerusakan terulang kali terjadi	Setiap 4 hari sekali rusak	7
Sedang	Setiap 5 hari sekali rusak	6
Kerusakan sesekali terjadi	Setiap 6 hari sekali rusak	5
	Setiap seminggu sekali rusak	4
Rendah	Setiap 2 minggu sekali rusak	3
Relatif sedikit kerusakannya	Setiap 3 minggu sekali rusak	2
Rendah	Setiap sebulan sekali	1

Tabel 4.12 Kriteria dan Nilai Rangkaing untuk *Detection*.

Deteksi	<i>Criteria Likelihood Of Detection</i>	Rangking
Sepenuhnya tidak pasti	- Alat atau informasi tidak dapat mendeteksi penyebab kerusakan	10
Sangat jarang	- Sangat jarang kemungkinannya alat atau informasi mendeteksi penyebab kerusakan - Alat untuk mendeteksi kerusakan mengalami keausan dan didalam alat tersebut ada komponen rusak	9
Jarang	- Jarang kemungkinannya alat atau informasi untuk mendeteksi penyebab kerusakan	8
Sangat rendah	- Kemampuan alat atau informasi untuk mendeteksi kerusakan sangat rendah	7
Rendah	- Alat atau informasi untuk mendeteksi kerusakan rendah	6
Cukup	- Alat atau informasi untuk mendeteksi kerusakan cukup untuk mendeteksi penyebab kerusakan	5
Cukup tinggi	- Alat atau informasi cukup tinggi kemungkinannya dalam mendeteksi penyebab kerusakan	4
Tinggi	- Alat atau informasi tinggi kemungkinannya dalam mendeteksi penyebab kerusakan	3
Sangat tinggi	- Alat atau informasi sangat tinggi dapat mendeteksi penyebab kerusakan	2
Hampir pasti	- Operator produksi dalam memberikan laporan kerusakan sama dengan apa yang terjadi di lapangan	1

Berdasarkan analisis melalui FMEA maka didapat nilai *Risk Priority Number* (RPN) masing-masing komponen yang didapatkan dari penentuan nilai rating *severity*, *occurance* dan *detection*. Berikut contoh hasil perhitungan nilai RPN yang diambil dari komponen *wire straightener* pada mesin paku A503.

Dimana :

S = *severity* dengan nilai rangking 1-10

O = *occurance* dengan nilai rangking 1-10

D = *detection* dengan nilai rangking 1-10

$$RPN = S \times O \times D$$

$$= 3 \times 1 \times 6 = 18$$

Tabel 4.13 *Failure Modes and Effect Analyze* Pada Mesin Paku A503.

FMEA Worksheet			SISTEM : OPERASI MESIN PAJU A503						
			SUBSISTEM : MESIN PAKU A503						
Part/process	Function	Potential Failure Mode	Potential Effect Of Failure	Sev (1-10)	Potential Cause Of Failure	Occ (1-10)	Current Controls	Det (1-10)	RPN
Wire straightener	Pelurus kawat	Bearing longgar	Pelurus kawat tidak bekerja dengan baik	3	Usia pemakaian bearing telah habis	1	Pengecekan bearing secara berkala	6	18
			Bentuk paku tidak lurus	4	Penggantian komponen bearing kurang tepat	2	Pengecekan wire straightener secara rutin	8	64
		Bearing macet	Panjang dimensi paku tidak sesuai standar	3	Penggantian komponen bearing tidak sesuai usia pakai	1	Pengecekan bearing secara berkala	7	21
TOTAL RPN									103
Wire cutting	Pemotong kawat	Pisau pemotong tumpul	Bentuk ujung paku tidak lancip	3	Pengoperasian komponen cutting yang sudah lama	3	Pengecekan terhadap hasil output	3	27
		Pisau pemotong aus	Wire cutting macet (ganti baru)	3	Waktu pemberian pelumasan tidak sesuai jadwal	1	Pengecakan pada pelumasan secara rutin	1	3
			Bagian komponen lain seperti gear box rusak	4	Beban kerja komponen cutting yang berlebihan	5	Pengecekan pada wire cutting secara rutin	5	100
TOTAL RPN									130

Tabel 4.13 *Failure Modes and Effect Analyze* Pada Mesin Paku A503 (lanjutan...).

<i>Wire feeder</i>	Pengumpan kawat	Pengumpan kawat aus (pelumas habis)	Bagian komponen lain seperti stang metal rusak	4	Waktu pemberian pelumasan tidak sesuai jadwal	3	Mengontrol pelumasan	1	12
		Putaran sayap metal kurang sempurna	Pengumpan kawat tidak bekerja dengan baik	2	Daya putaran stang metal yang tidak beraturan	2	Pengecekan komponen baut pada sayap metal	2	8
		Stang metal longgar	Pengumpan kawat tidak bekerja sesuai fungsinya	2	Komponen baut patah / hilang	1	Pengecekan komponen baut pada stang metal	4	8
TOTAL RPN									28
<i>Hummer</i>	Pembentuk kepala paku	Sambungan <i>hummer</i> dan Metal jalan patah	<i>Hummer</i> tidak dapat bekerja sesuai fungsinya	2	Usia pemakaian komponen metal jalan yang telah lama	6	Mengontrol kinerja metal jalan	7	84
		<i>Hummer</i> aus (pelumas habis)	<i>Hummer</i> tidak dapat bekerja (macet)	4	Kelalaian operator produksi	1	Mengontrol pelumasan	3	12
		Stang metal longgar	Tidak dapat membentuk kepala paku dengan sempurna	3	Baut pengencang lepas	2	Mengontrol komponen baut	9	54
TOTAL RPN									150
<i>Crank shaft</i> (metal jalan)	Penggerak <i>hummer</i> dan sayap metal dan mengatur kecepatan komponen	<i>Bearing</i> longgar	Suara mesin berisik	8	Beban kerja dan pengoperasian yang sudah lama	5	Mengontrol komponen bearing	8	320
		Sambungan lengan patah	Metal jalan tidak bekerja sesuai fungsinya	9	Beban kerja dan pengoperasian yang sudah lama	3	Mengontrol pemakaian usia metal jalan	7	189
		Pelumas bearing habis	Metal jalan macet	8	Kelalaian operator	1	Mengontrol pelumasan	4	32
TOTAL RPN									541
<i>Side shaft</i> (stang metal)	Penggerak dari <i>crank shaft</i> ke <i>wire cutting</i> dan <i>wire feeder</i>	Sambungan stang metal patah	Proses jalannya produksi macet (berhenti)	9	Beban kerja karena pengumpan kawat aus	5	Mengontrol sambungan stang metal	8	360
		Beban <i>wire feeder</i> aus	Sayap metal menjadi rusak	9	Kelalaian operator	6	Mengontrol <i>wire feeder</i>	7	378
		Sayap metal longgar	Pergerakan stang metal tidak beraturan	5	Baut pengencang lepas	2	Mengontrol komponen baut	5	50
TOTAL RPN									788
<i>Flywheel</i> (roda gila)	Komponen pembantu untuk mempertahankan putaran mesin	Baut pengencang longgar	Putaran roda gila tidak beraturan	5	Karena usia pakai baut sudah lama	2	Mengontrol komponen baut	6	60
		<i>Fanbelt</i> longgar	Putaran <i>flywheel</i> melambat	3	Usia pakai <i>fanbelt</i> telah habis	1	Mengontrol penggunaan <i>fanbelt</i>	2	6
		Sambungan <i>flywheel</i> patah	Proses produksi berhenti	3	Beban kerja dan usia <i>flywheel</i> yang sudah lama	4	Mengontrol komponen baut	1	12
TOTAL RPN									78

Tabel 4.13 *Failure Modes and Effect Analyze* Pada Mesin Paku A503 (lanjutan...).

<i>Electric motor</i>	Sumber daya utama mesin	Panas atau <i>overheating</i>	Komponen mesin tidak dapat beroperasi	8	Beban tidak normal, <i>fan</i> rusak, <i>body</i> motor kotor	5	Mengontrol kebersihan dan arus listrik	7	280
TOTAL RPN									280
<i>Start power</i>	Tombol power pada mesin	Tombol <i>start</i> macet	Mesin tidak dapat dihidupkan	1	Karena tombol kotor atau usia pakai kabel yang sudah habis	3	Menngontrol kebersihan dan usia pakai komponen kabel	2	6
TOTAL RPN									6
<i>Auto lubricating pump</i> (cpv,pa,pb,pd,pl)	Pompa pelumasan otomatis	Selang pompa kotor	Pelumasan tidak dapat berjalan dengan baik	1	Kelalaian operator mesin	1	Mengontrol kondisi selang	3	3
		Selang pompa bocor	Pelumasan tidak merata	8	Umur pakai selang yang telah habis	2	Mengontrol kelayakan pemakaian selang	1	16
TOTAL RPN									19

Dapat diketahui dari tabel *Failure Modes and Effect Analyze* (FMEA) bahwa nilai total RPN yang tertinggi terdapat pada tiga komponen yaitu *Side shaft* (stang metal) dengan nilai RPN sebesar 788, *Crank shaft* (metal jalan) dengan RPN sebesar 541, dan *Electric motor* dengan RPN sebesar 280. Dari hasil perhitungan FMEA tersebut selanjutnya akan dilakukan tindakan perawatan menggunakan RCM II.

4.2.3 Reliability Centered Maintenance (RCM) II Decision Worksheet

Reliability Centered Maintenance (RCM) II Decision Worksheet digunakan untuk mencari jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure mode*.

Kerusakan pada mesin paku A503 menyebabkan produksi akan terhenti yang akan mempengaruhi target sehingga akan mengakibatkan kerugian terhadap perusahaan. Pada tabel 4.14 menampilkan RCM II *decision worksheet* pada komponen kritis.

Tabel 4.14 RCM II *Decision Worksheet*.

RCM II <i>Decision Worksheet</i>			SISTEM : SISTEM OPERASI MESIN PAKU A503			Facilitator :		Date :
			SUBSISTEM : MESIN PAKU A503			Auditor :		Year :
No	Komponen	Function	Potential Failure Mode	Potential Effect Of Failure	Potential Cause Of Failure	Konsekuensi kegagalan	Tindakan yang Diberikan	Tindakan Perawatan yang Dilakukan
1	Side shaft (stang metal)	Penggerak dari crank shaft ke wire cutting dan wire feeder	Sambungan stang metal patah	Proses jalannya produksi macet (berhenti)	Beban kerja karena pengumpan kawat aus	Operasional konsekuensi	Dilakukan pemeriksaan dan pendeteksian potensi kegagalan	Penggantian komponen
			Beban wire feeder aus	Sayap metal menjadi rusak	Kelalaian operator	Operasional konsekuensi	Dilakukan pemeriksaan dan pendeteksian potensi kegagalan	Pemulihan kondisi komponen
			Sayap metal longgar	Pergerakan stang metal tidak beraturan	Baut pengencang lepas	Operasional konsekuensi	Dilakukan pemeriksaan dan pendeteksian potensi kegagalan	Pemulihan kondisi komponen
2	Crank shaft (metal jalan)	Penggerak hummer dan sayap metal dan mengatur kecepatan komponen	Bearing longgar	Suara mesin berisik	Beban kerja dan pengoperasian yang sudah lama	Operasional konsekuensi	Dilakukan pemeriksaan dan pendeteksian potensi kegagalan	Penggantian komponen
			Sambungan lengan patah	Metal jalan tidak bekerja sesuai fungsinya	Beban kerja dan pengoperasian yang sudah lama	Operasional konsekuensi	Dilakukan pemeriksaan dan pendeteksian potensi kegagalan	Penggantian komponen
			Pelumas bearing habis	Metal jalan macet	Kelalaian operator	Operasional konsekuensi	Dilakukan pemeriksaan dan pendeteksian potensi kegagalan	Pemulihan kondisi komponen
3	Electric motor	Sumber daya utama mesin	Panas atau <i>overheating</i>	Komponen mesin tidak dapat beroperasi	Beban tidak normal, fan rusak, body motor kotor	Operasional konsekuensi	Dilakukan pemeriksaan dan pendeteksian potensi kegagalan	Pemulihan kondisi komponen

Pada tabel RCM II *Decision Worksheet* diatas dimana pada perawatan mesin paku A503 untuk komponen *Side shaft* (stang metal) pada kerusakan sambungan stang metal patah harus dilakukan pemeriksaan dengan penggantian komponen, untuk kerusakan beban *wire feeder* aus hanya dilakukan pemeriksaan

dan pemulihan komponen saja, dan untuk kerusakan sayap metal longgar dilakukan pemulihan kondisi komponen. Untuk komponen *Crank shaft* (metal jalan) pada kerusakan *bearing* longgar harus dilakukan perawatan penggantian pada komponen, untuk kerusakan sambungan lengan patah dilakukan perawatan penggantian komponen, dan kerusakan pelumas *bearing* habis dilakukan pemulihan kondisi komponen. Dan untuk komponen *Electric motor* dengan kerusakan panas atau *overheating* harus dilakukan perawatan pemulihan pada kondisi komponen.

4.2.4 Perhitungan *Downtime* Kerusakan Komponen

Perhitungan *downtime* kerusakan komponen sama dengan *downtime* kerusakan mesin namun disini hanya diambil komponen dari mesin paku A503 karena memiliki nilai *downtime* kerusakan mesin terbesar.

Dari data kerusakan mesin diatas dapat diketahui total *downtime* masing-masing komponen dari bulan Januari 2015 sampai dengan Desember 2016, rumus yang digunakan yaitu (waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan). Dengan contoh perhitungan pada tanggal 20 Mei 2015 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 10:40 – 8:35 = 2.1 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.15 dibawah ini.

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Komponen *Side Shaft* (stang metal).

<i>Side shaft</i> (stang metal)				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	20 Mei 2015	8:35	10:40	2.1
2	8 September 2015	14:12	14:30	0.3
3	19 September 2015	9:28	11:30	2.0
4	23 November 2015	12:42	14:20	1.6
5	16 Desember 2015	11:43	13:45	2.0
6	22 Desember 2015	11:24	13:24	2.0
7	29 Maret 2016	9:10	11:12	2.0
Total <i>Downtime</i>				12

Selanjutnya yaitu menghitung *downtime* kerusakan komponen *Crank shaft* (metal jalan) dengan menggunakan perhitungan manual, contohnya pada tanggal 8 September 2015 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 14:30 – 14:22 = 0.1 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.16 dibawah ini.

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Komponen *Crank Shaft* (metal jalan).

<i>Crank shaft</i> (metal jalan)				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	8 September 2015	14:22	14:30	0.1
2	10 Oktober 2015	10:32	13:44	3.2
3	23 Januari 2016	13:19	14:25	1.1
4	21 April 2016	7:44	9:44	2.0
5	9 Juni 2016	11:38	13:50	2.2
Total <i>Downtime</i>				9

Selanjutnya yaitu menghitung *downtime* kerusakan komponen *Electric motor* dengan menggunakan perhitungan manual, contohnya pada tanggal 22 Februari 2016 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 9:30 – 8:03 = 1.4 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.17 dibawah ini.

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Komponen *Electric Motor*.

<i>Electric motor</i>				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	22 Februari 2016	8:03	9:30	1.4
2	28 April 2016	7:53	9:55	2.0
3	10 Agustus 2016	7:40	9:50	2.2
Total <i>Downtime</i>				6

Selanjutnya yaitu menghitung *downtime* kerusakan komponen *Hummer* dengan menggunakan perhitungan manual, contohnya pada tanggal 10 Juni 2015 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 11:00 – 9:03 = 1.9 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.18 dibawah ini.

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Komponen *Hummer*.

<i>Hummer</i>				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	10 Juni 2015	9:03	11:00	1.9
2	26 Januari 2016	13:22	14:20	1.0
Total <i>Downtime</i>				3

Selanjutnya yaitu menghitung *downtime* kerusakan komponen *Wire cutting* dengan menggunakan perhitungan manual, contohnya pada tanggal 15 Juni 2015 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 10:35 – 8:57 = 1.6 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.19 dibawah ini.

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Komponen *Wire Cutting*.

<i>Wire cutting</i>				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	15 Juni 2015	8:57	10:35	1.6
Total <i>Downtime</i>				2

Selanjutnya yaitu menghitung *downtime* kerusakan komponen *Wire straightener* dengan menggunakan perhitungan manual, contohnya pada tanggal 7 Oktober 2015 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 14:15 – 12:48 = 1.4 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.20 dibawah ini.

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Komponen *Wire Straightener*.

<i>Wire straightener</i>				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	7 Oktober 2015	12:48	14:15	1.4
Total <i>Downtime</i>				1.4

Selanjutnya yaitu menghitung *downtime* kerusakan komponen *Flywheel* dengan menggunakan perhitungan manual, contohnya pada tanggal 29 Oktober 2015 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 13:22 – 10:54 = 2.5 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.21 dibawah ini.

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Komponen *Flywheel*.

<i>Flywheel</i>				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	29 Oktober 2015	10:54	13:22	2.5
Total <i>Downtime</i>				2.5

Selanjutnya yaitu menghitung *downtime* kerusakan komponen *Wire feeder* dengan menggunakan perhitungan manual, contohnya pada tanggal 24 Maret 2016 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 13:21 – 11:17 = 2.1 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.22 dibawah ini.

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Komponen *Wire Feeder*.

<i>Wire feeder</i>				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	24 Maret 2016	11:17	13:21	2.1
Total <i>Downtime</i>				2.1

Selanjutnya yaitu menghitung *downtime* kerusakan komponen *Auto lubricating pump* dengan menggunakan perhitungan manual, contohnya pada tanggal 1 April 2016 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 9:33 – 7:33 = 2.0 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.23 dibawah ini.

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Komponen *Auto Lubricating Pump*.

<i>Auto lubricating pump</i>				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	1 April 2016	7:33	9:33	2.0
Total <i>Downtime</i>				2

Selanjutnya yaitu menghitung *downtime* kerusakan komponen *Start power* dengan menggunakan perhitungan manual, contohnya pada tanggal 23 Juni 2016 yaitu waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan = 9:55 – 7:27 = 2.5 jam, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.24 dibawah ini.

Tabel 4.24 Hasil Perhitungan *Downtime* Kerusakan Komponen *Start Power*.

<i>Start power</i>				
No	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)	Total jumlah jam perbaikan (jam)
1	23 Juni 2016	7:27	9:55	2.5
Total <i>Downtime</i>				2.5

Untuk mengetahui penentuan komponen yang banyak mengalami kerusakan dapat diketahui menggunakan perhitungan pada masing-masing komponen dengan presentase *downtime* kerusakan komponen yang paling tinggi. Adapun penjelasan perhitungan presentase *downtime* kerusakan komponen adalah sebagai berikut :

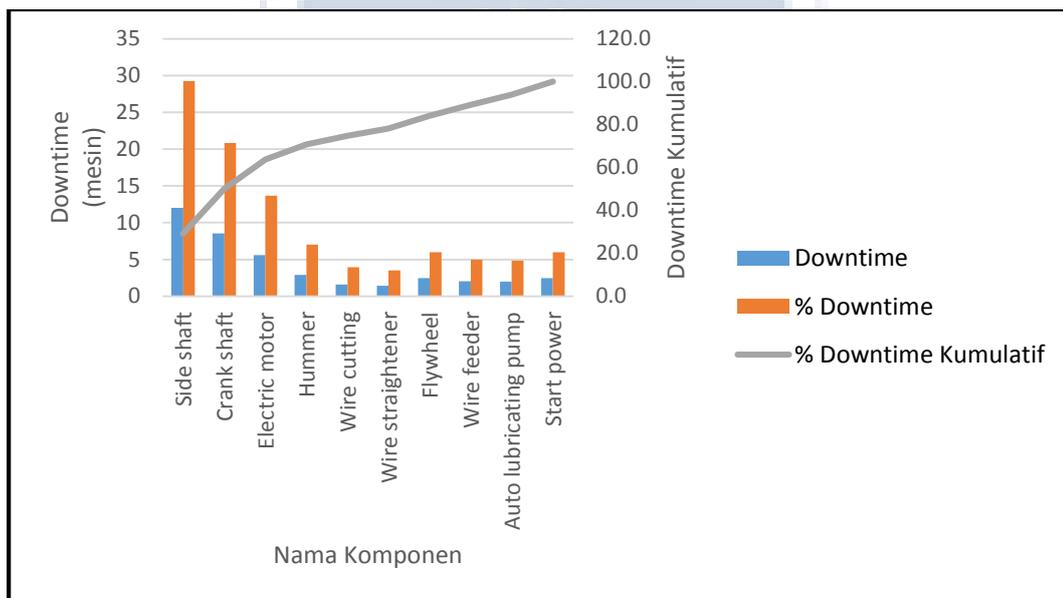
Perhitungan presentase *downtime* kerusakan untuk komponen *Side shaft* (stang metal) adalah sebagai berikut :

$$\% \text{ Downtime} = \frac{12}{41} \times 100\% = 29.3\%$$

Dapat dilihat bahwa komponen *side shaft* (stang metal) merupakan komponen kritis karena memiliki waktu *downtime* terbesar diantara komponen lainnya yaitu sebesar 29.3%. Berikut hasil perhitungan presentase *downtime* kerusakan komponen dapat dilihat pada tabel 4.25 dibawah ini.

Tabel 4.25 Hasil Presentase *Downtime* Kerusakan Komponen.

No	Nama Komponen	Downtime	% Downtime	% Downtime Kumulatif
1	<i>Side shaft</i>	12	29.3	29.3
2	<i>Crank shaft</i>	9	20.8	50.1
3	<i>Electric motor</i>	6	13.7	63.8
4	<i>Hummer</i>	3	7.0	70.8
5	<i>Wire cutting</i>	2	3.9	74.7
6	<i>Wire straightener</i>	1	3.5	78.2
7	<i>Flywheel</i>	2	6.0	84.2
8	<i>Wire feeder</i>	2	5.0	89.2
9	<i>Auto lubricating pump</i>	2	4.8	94.0
10	<i>Start power</i>	2	6.0	100
Jumlah		41	100	



Gambar 4.2 Diagram Pareto Penentuan Komponen Kritis

Dari diagram pareto diatas, dapat dilihat bahwa komponen *Side shaft* (stang metal), *Crank shaft* (metal jalan), *Electric motor* merupakan komponen kritis karena memiliki waktu *downtime* terbesar.

4.2.5 Perhitungan Waktu Kerusakan (TTF) dan Perhitungan Waktu Perbaikan Kerusakan (TTR)

Pada tahap ini waktu perbaikan kerusakan merupakan selang waktu dari proses terjadinya kerusakan hingga diperbaiki sampai terjadinya kerusakan kembali. Untuk perhitungan selang waktu kerusakan (*Time to Failure*) untuk jadwal kerusakan *Side shaft* (stang metal) pada tanggal 20 Mei 2015 sampai dengan 8 September 2015 adalah :

- a. Tanggal 20 Mei 2015, Interval antara kerusakan akhir pada jam 10.40 sampai dengan jam akhir kerja jam 14.30 adalah 3.20 jam. Apabila kerusakan akhir terjadi sebelum pukul 11.30 maka dikurang $\frac{1}{2}$ jam yaitu jam istirahat mesin dan pekerja.
- b. Tanggal 8 September 2015, terjadi kerusakan pada jam 14.12 maka antara jam 7.00 sampai 14.12 terdapat selang 6.42 jam. Apabila kerusakan terjadi sesudah pukul 11.30 maka dikurangi $\frac{1}{2}$ jam yaitu jam istirahat mesin dan pekerja.
- c. Antara tanggal 20 Mei 2015 sampai dengan 8 September 2015, banyaknya hari kerja 89 hari kerja atau sama dengan 89 hari kerja x $7\frac{1}{2}$ jam kerja/hari = 630 jam.
- d. Maka selang waktu antar kerusakan pada tanggal 20 Mei 2015 sampai dengan 8 September 2015 adalah $630 + 3.20 + 6.42 = 639.62$ jam.

Tabel 4.26 Hasil Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Side shaft* (stang metal).

<i>Side shaft</i> (stang metal)								
No	Tanggal	Jam Awal Kerusakan	Jam Akhir Kerusakan	TTR (jam)	Waktu Akhir Kerusakan - Waktu Akhir Rusak (jam)	Waktu Awal Kerusakan - Waktu Akhir Rusak (jam)	Hari (jam)	TTF (jam)
1	5/20/2015	8:35	10:40	2.07	-	-	-	-
2	9/8/2015	14:12	14:30	0.28	3.20	6.42	630	639.62
3	9/19/2015	9:28	11:30	2.02	0	2.28	70	72.28
4	11/23/2015	12:42	14:20	1.62	2.30	5.12	380	387.42
5	12/16/2015	11:43	13:45	2.02	0.17	4.13	150	154.30
6	12/22/2015	11:24	13:24	1.98	0.75	4.24	42.5	47.49
7	3/29/2016	9:10	11:12	2.02	1.06	2.10	557.5	560.66

Selanjutnya untuk perhitungan selang waktu kerusakan (*Time to Failure*) untuk jadwal kerusakan *Crank shaft* (metal jalan) pada tanggal 8 September 2015 sampai dengan 10 Oktober 2015 adalah :

- a. Tanggal 8 September 2015, Interval antara kerusakan akhir pada jam 14.30 sampai dengan jam akhir kerja jam 14.30 adalah 0 jam. Apabila kerusakan akhir terjadi sebelum pukul 11.30 maka dikurang $\frac{1}{2}$ jam yaitu jam istirahat mesin dan pekerja.
- b. Tanggal 10 Oktober 2015, terjadi kerusakan pada jam 10.32 maka antara jam 7.00 sampai 14.12 terdapat selang 3.32 jam. Apabila kerusakan terjadi sesudah pukul 11.30 maka dikurangi $\frac{1}{2}$ jam yaitu jam istirahat mesin dan pekerja.

- c. Antara tanggal 8 September 2015 sampai dengan 10 Oktober 2015, banyaknya hari kerja 30 hari kerja atau sama dengan 30 hari kerja x 7½ jam kerja/hari = 197.5 jam.
- d. Maka selang waktu antar kerusakan pada tanggal 8 September 2015 sampai dengan 10 Oktober 2015 adalah $197.5 + 0 + 3.32 = 200.82$ jam.

Tabel 4.27 Hasil Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Crank shaft* (metal jalan).

<i>Crank shaft</i> (metal jalan)								
No	Tanggal	Jam Awal Kerusakan	Jam Akhir Kerusakan	TTR (jam)	Waktu Akhir Kerusakan - Waktu Akhir Rusak (jam)	Waktu Awal Kerusakan - Waktu Akhir Rusak (jam)	Hari (jam)	TTF (jam)
1	9/8/2015	14:22	14:30	0.12	-	-	-	-
2	10/10/2015	10:32	13:44	3.18	0	3.32	197.5	200.82
3	1/23/2016	13:19	14:25	1.08	0.77	5.49	612.5	618.76
4	4/21/2016	7:44	9:44	1.98	0.08	0.73	522.5	523.31
5	6/9/2016	11:38	13:50	2.18	4.16	4.08	290	298.24

Selanjutnya untuk perhitungan selang waktu kerusakan (*Time to Failure*) untuk jadwal kerusakan *Electric motor* pada tanggal 22 Februari 2016 sampai dengan 28 April 2016 adalah :

- a. Tanggal 22 Februari 2016, Interval antara kerusakan akhir pada jam 9.30 sampai dengan jam akhir kerja jam 14.30 adalah 1.43 jam. Apabila kerusakan akhir terjadi sebelum pukul 11.30 maka dikurang ½ jam yaitu jam istirahat mesin dan pekerja.
- b. Tanggal 28 April 2016, terjadi kerusakan pada jam 7.53 maka antara jam 7.00 sampai 7.53 terdapat selang 0.88 jam. Apabila kerusakan terjadi sesudah pukul 11.30 maka dikurangi ½ jam yaitu jam istirahat mesin dan pekerja.
- c. Antara tanggal 22 Februari 2016 sampai dengan 28 April 2015, banyaknya hari kerja 53 hari kerja atau sama dengan 53 hari kerja x 7½ jam kerja/hari = 397.5 jam.
- d. Maka selang waktu antar kerusakan pada tanggal 22 Februari 2015 sampai dengan 28 Oktober 2016 adalah $397.5 + 4.30 + 0.88 = 402.68$ jam.

Tabel 4.28 Hasil Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Electric motor*.

<i>Electric motor</i>								
No	Tanggal	Jam Awal Kerusakan	Jam Akhir Kerusakan	TTR (jam)	Waktu Akhir Kerusakan - Waktu Akhir Rusak (jam)	Waktu Awal Kerusakan - Waktu Akhir Rusak (jam)	Hari (jam)	TTF (jam)
1	2/22/2016	8:03	9:30	1.43	-	-	-	-

Tabel 4.28 Hasil Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Electric motor* (lanjutan...).

2	4/28/2016	7:53	9:55	2.02	4.30	0.88	397.5	402.68
3	8/10/2016	7:40	9:50	2.15	4.05	0.67	520	524.72

4.2.6 Identifikasi Distribusi Untuk Selang Waktu Kerusakan (*Time To Failure*)

Untuk dapat menentukan distribusi yang sesuai untuk data waktu kerusakan (*Time to Failure*), maka dilakukan perhitungan *index of fit* dari tiap distribusi tersebut. Dan pemilihan distribusi didasarkan pada nilai *index of fit* yang terbesar dari masing-masing komponen. Pengidentifikasi distribusi ini meliputi distribusi Eksponential, distribusi Lognormal, dan distribusi Weibull.

4.2.6.1 Least Square Curve Fitting Untuk *Time to Failure* (TTF)

Langkah-langkah perhitungan *least square curve fitting* untuk tiap-tiap distribusi adalah sebagai berikut :

1. Distribusi Eksponential

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *side shaft* (stang metal) pada distribusi eksponential dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$xi = ti$$

$$F(ti) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{6 + 0.4} = 0.11$$

$$yi = \ln \left[\frac{1}{1 - F(ti)} \right] = -0.12$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n xiyi - (\sum_{i=1}^n xi)(\sum_{i=1}^n yi)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2][n \sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2]}}$$

$$= \frac{6(-2605.44) - (1861.77)(-5.37)}{[6 \cdot 904835.8 - (3466187.5)][6 \cdot 7.80 - (28.88)]}$$

$$= \frac{-5634.94}{5930.75} = -0.95$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *side shaft* (stang metal) sebesar -0.95 pada distribusi eksponential, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.29.

Tabel 4.29 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Side shaft* (stang metal) Untuk Distribusi Eksponential.

<i>Side shaft</i> (stang metal)							
i	ti (jam)	xi = ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi^2	yi^2
1	47.49	47.49	0.11	-0.12	-5.50	2255.30	0.01
2	72.28	72.28	0.27	-0.31	-22.32	5224.40	0.10
3	154.3	154.3	0.42	-0.55	-84.55	23808.49	0.30
4	387.42	387.42	0.58	-0.86	-334.36	150094.26	0.74
5	560.66	560.66	0.73	-1.33	-743.25	314339.64	1.76
6	639.62	639.62	0.89	-2.21	-1415.46	409113.74	4.90
Total	1861.77	1861.77		-5.37	-2605.44	904835.82	7.81
<i>Index of fit</i>				-0.95			

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *crank shaft* (metal jalan) pada distribusi eksponential dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$xi = ti$$

$$F(ti) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{4 + 0.4} = 0.16$$

$$yi = \ln \left[\frac{1}{1 - F(ti)} \right] = -0.17$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n xi yi - (\sum_{i=1}^n xi)(\sum_{i=1}^n yi)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2][n \sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2]}}$$

$$= \frac{4(-1815.55) - (1641.13)(-3.45)}{[4 \cdot 785993.06 - (2693307.7)][4 \cdot 4.55 - (11.90)]}$$

$$= \frac{-1600.31}{1684.98} = -0.95$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *crank shaft* (metal jalan) sebesar -0.95 pada distribusi eksponential, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.30.

Tabel 4.30 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Crank shaft* (metal jalan) Untuk Distribusi Eksponential.

<i>Crank shaft</i> (metal jalan)							
i	ti (jam)	xi = ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi^2	yi^2
1	200.82	200.82	0.16	-0.17	-34.80	40328.67	0.03
2	298.24	298.24	0.39	-0.49	-145.65	88947.10	0.24
3	523.31	523.31	0.61	-0.95	-497.66	273853.36	0.90
4	618.76	618.76	0.84	-1.84	-1137.45	382863.94	3.38
Total	1641.13	1641.13		-3.45	-1815.55	785993.06	4.55
<i>Index of fit</i>				-0.95			

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *electric motor* pada distribusi eksponensial dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$x_i = t_i$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{2 + 0.4} = 0.29$$

$$y_i = \ln \left[\frac{1}{1 - F(t_i)} \right] = -0.34$$

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

$$= \frac{2(-785.43) - (927.52)(-1.58)}{[2 \cdot 437578.9 - (860293.35)][2 \cdot 1.64 - (2.48)]}$$

$$= \frac{-114.66}{107.67} = -1.06$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *electric motor* sebesar -1.06 pada distribusi eksponensial, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.31.

Tabel 4.31 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Electric motor* Untuk Distribusi Eksponensial.

<i>Electric motor</i>							
i	t _i (jam)	x _i = t _i	F(t _i)	y _i	x _i * y _i	x _i ²	y _i ²
1	402.8	402.8	0.29	-0.34	-138.90	162247.84	0.12
2	524.72	524.72	0.71	-1.23	-646.53	275331.08	1.52
Total	927.52	927.52		-1.58	-785.43	437578.92	1.64
<i>Index of fit</i>				-1.06			

2. Distribusi Lognormal

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *side shaft* (stang metal) pada distribusi lognormal dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$x_i = \ln t_i$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{6 + 0.4} = 0.11$$

$$y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] = -1.23$$

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

$$= \frac{6(4.67) - (31.93)(0)}{[6 \cdot 175.93 - (1019.49)][6 \cdot 3.90 - (0)]}$$

$$= \frac{28.02}{29.02} = 0.97$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *side shaft* (stang metal) sebesar 0.97 pada distribusi lognormal, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.32.

Tabel 4.32 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Side shaft* (stang metal) Untuk Distribusi Lognormal.

Side shaft (stang metal)							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi^2	yi^2
1	47.49	3.86	0.11	-1.23	-4.75	14.90	1.51
2	72.28	4.28	0.27	-0.63	-2.70	18.32	0.40
3	154.3	5.04	0.42	-0.20	-1.01	25.39	0.04
4	387.42	5.96	0.58	0.20	1.19	35.52	0.04
5	560.66	6.33	0.73	0.63	3.99	40.06	0.40
6	639.62	6.46	0.89	1.23	7.95	41.74	1.51
Total	1861.77	31.93			4.67	175.93	3.90
<i>Index of fit</i>					0.97		

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *crank shaft* (metal jalan) pada distribusi lognormal dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$xi = \ln ti$$

$$F(ti) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{4 + 0.4} = 0.16$$

$$yi = Zi = \Phi^{-1}[F(ti)] = -1.00$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n xi yi - (\sum_{i=1}^n xi)(\sum_{i=1}^n yi)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2][n \sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2]}}$$

$$= \frac{4(1.29) - (23.69)(0)}{[4 \cdot 141.09 - (561.13)][4 \cdot 2.18 - (0)]}$$

$$= \frac{5.16}{5.27} = 0.98$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *crank shaft* (metal jalan) sebesar 0.98 pada distribusi lognormal, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.33.

Tabel 4.33 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Crank shaft* (metal jalan) Untuk Distribusi Lognormal.

<i>Crank shaft</i> (metal jalan)							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi^2	yi^2
1	200.82	5.30	0.16	-1.00	-5.30	28.12	1.00
2	298.24	5.70	0.39	-0.30	-1.71	32.47	0.09
3	523.31	6.26	0.61	0.30	1.88	39.19	0.09
4	618.76	6.43	0.84	1.00	6.43	41.32	1.00
Total	1641.13	23.69			1.29	141.09	2.18
<i>Index of fit</i>				0.98			

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *electric motor* pada distribusi lognormal dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$xi = \ln ti$$

$$F(ti) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{2 + 0.4} = 0.29$$

$$yi = Zi = \Phi^{-1}[F(ti)] = -0.55$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n xiyi - (\sum_{i=1}^n xi)(\sum_{i=1}^n yi)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2][n \sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2]}}$$

$$= \frac{2(0.15) - (12.26)(0)}{[2 \cdot 75.20 - (150.34)][2 \cdot 0.61 - (0)]}$$

$$= \frac{0.28}{0.29} = 0.97$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *electric motor* sebesar 0.97 pada distribusi lognormal, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.34.

Tabel 4.34 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Electric motor* Untuk Distribusi Lognormal.

<i>Electric motor</i>							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi^2	yi^2
1	402.8	6.00	0.29	-0.55	-3.30	35.98	0.30
2	524.72	6.26	0.71	0.55	3.44	39.22	0.30
Total	927.52	12.26			0.15	75.20	0.61
<i>Index of fit</i>				0.97			

3. Distrusi *Weibull*

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *side shaft* (stang metal) pada distribusi *weibull* dengan

menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$x_i = \ln t_i$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{6 + 0.4} = 0.11$$

$$y_i = \ln \left[-\ln \left[\frac{1}{1 - F(t_i)} \right] \right] = -2.16$$

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

$$= \frac{6(-10.34) - (31.92)(-3)}{[6 \cdot 175.93 - (1019.49)][6 \cdot 7.12 - (9.02)]}$$

$$= \frac{33.72}{34.87} = 0.97$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *side shaft* (stang metal) sebesar 0.97 pada distribusi *weibull*, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.35.

Tabel 4.35 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Side shaft* (stang metal) Untuk Distribusi *Weibull*.

Side shaft (stang metal)							
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	47.49	3.86	0.11	-2.16	-8.32	14.90	4.65
2	72.28	4.28	0.27	-1.18	-5.03	18.32	1.38
3	154.3	5.04	0.42	-0.60	-3.03	25.39	0.36
4	387.42	5.96	0.58	-0.15	-0.88	35.52	0.02
5	560.66	6.33	0.73	0.28	1.78	40.06	0.08
6	639.62	6.46	0.89	0.79	5.13	41.74	0.63
Total	1861.77	31.93		-3.00	-10.35	175.93	7.12
<i>Index of fit</i>				0.97			

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *crank shaft* (metal jalan) pada distribusi *weibull* dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$x_i = \ln t_i$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{4 + 0.4} = 0.16$$

$$y_i = \ln \left[-\ln \left[\frac{1}{1 - F(t_i)} \right] \right] = -1.75$$

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

$$= \frac{4(-9.78) - (23.69)(-1.91)}{[4 \cdot 141.09 - (561.13)][4 \cdot 3.96 - (3.65)]}$$

$$= \frac{6.14}{6.22} = 0.99$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *crank shaft* (metal jalan) sebesar 0.99 pada distribusi *weibull*, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.36.

Tabel 4.36 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Crank shaft* (metal jalan) Untuk Distribusi *Weibull*.

Crank shaft (metal jalan)							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi^2	yi^2
1	200.82	5.30	0.16	-1.75	-9.29	28.12	3.07
2	298.24	5.70	0.39	-0.72	-4.08	32.47	0.51
3	523.31	6.26	0.61	-0.05	-0.31	39.19	0.00
4	618.76	6.43	0.84	0.61	3.91	41.32	0.37
Total	1641.13	23.69		-1.91	-9.78	141.09	3.96
<i>Index of fit</i>				0.99			

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *electric motor* pada distribusi *weibull* dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$x_i = \ln t_i$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{2 + 0.4} = 0.29$$

$$y_i = \ln \left[-\ln \left[\frac{1}{1 - F(t_i)} \right] \right] = -1.06$$

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

$$= \frac{2(-5.08) - (12.26)(-0.86)}{[2 \cdot 75.20 - (150.34)][2 \cdot 1.18 - (0.73)]}$$

$$= \frac{0.28}{0.33} = 0.85$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *electric motor* sebesar 0.85 pada distribusi *weibull*, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.37.

Tabel 4.37 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Electric motor* Untuk Distribusi *Weibull*.

<i>Electric motor</i>							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	Yi	xi * yi	xi^2	yi^2
1	402.8	6.00	0.29	-1.06	-6.39	35.98	1.13
2	524.72	6.26	0.71	0.21	1.31	39.22	0.04
Total	927.52	12.26		-0.86	-5.08	75.20	1.18
<i>Index of fit</i>				0.85			

Hasil perhitungan dari *least square curve fitting* untuk masing-masing distribusi pada ketiga komponen dengan *index of fit* yaitu diperoleh sebagai berikut.

Tabel 4.38 Hasil Perhitungan *Index Of Fit* untuk TTF.

<i>Index Of Fit</i>			
Nama Komponen	Distribusi Eksponential	Distribusi Lognormal	Distribusi <i>Weibull</i>
<i>Side shaft</i> (stang metal)	-0.95	0.97	0.97
<i>Crank shaft</i> (metal jalan)	-0.95	0.98	0.99
<i>Electric motor</i>	-1.06	0.97	0.85

Dengan melihat tabel diatas, maka dapat diketahui nilai *index of fit* terbesar yaitu untuk komponen *Side shaft* (stang metal) dengan Distribusi *Weibull* sebesar 0.97, komponen *Crank shaft* (metal jalan) dengan Distribusi *Weibull* sebesar 0.99, dan komponen *Electric motor* dengan Distribusi Lognormal sebesar 0.97.

4.2.6.2 Uji *Goodness Of Fit Test* Untuk *Time To Failure* (TTF)

Setelah memperoleh *index of fit* dari setiap distribusi untuk komponen *Side shaft* (stang metal), *Crank shaft* (metal jalan), dan *Electric motor*, maka harus diuji dulu kesesuaian datanya. Pengujian-pengujian yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Mann's test*, $\alpha = 0.05$ untuk menguji distribusi *weibull*.
- Kolmogorov-Smirnov test*, $\alpha = 0.05$ untuk menguji distribusi lognormal.

Langkah-langkah perhitungan uji *goodness of fit test* untuk tiap komponen adalah sebagai berikut :

- Side shaft* (stang metal) (Distribusi *Weibull*)

Nilai *index of fit* terbesar yang diperoleh oleh komponen *Side shaft* (stang metal) adalah berdasarkan distribusi *weibull*, maka uji kesesuaian yang digunakan adalah *Mann's test*.

Dimana :

H_0 : Data berdistribusi *weibull*

H_1 : Data tidak berdistribusi *weibull*

Taraf nyata $\alpha = 0.05$

Wilayah kritik : tolak H_0 bila $M > F_{erit}$

Dengan menggunakan tabel distribusi F :

Untuk $V_1 = 6, V_2 = 5, \alpha = 0.05$, maka $F_{erit} = 4.95$

$$k_1 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{6}{2} \right\rfloor = 3$$

$$k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{6-1}{2} \right\rfloor = 2.5$$

$$\ln(t_i) = \ln(47.49) = 3.861$$

$$\begin{aligned} Z_i &= \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0.5}{n+0.25} \right) \right] \\ &= \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0.5}{6+0.25} \right) \right] = -2.484 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_i &= Z_2 - Z_1 \\ &= -1.293 - (-2.484) = 1.191 \end{aligned}$$

$$\ln(t_2) - \ln(t_1) = 4.281 - 3.861 = 0.420$$

$$\frac{\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i)}{M_i} = \frac{0.420}{1.191} = 0.353$$

$$\begin{aligned} M &= \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left(\frac{\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i)}{M_i} \right)}{k_2 \sum_{i=1}^{r-1} \left(\frac{\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i)}{M_i} \right)} \\ &= \frac{(3)(13.21)}{(2.5)(13.21)} = 1.20 \end{aligned}$$

Karena $M (1.20) < F_{erit\ 0.05} (4.95)$, maka dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi *weibull*.

Tabel 4.39 Uji *Mann's* Pada *Side shaft* (stang metal) Berdistribusi *Weibull*.

Side shaft (stang metal)							
i	ti (jam)	ln(ti)	Zi	Mi	ln(ti+1) - ln(ti)	ln(ti+1) - ln(ti) / Mi	M
1	47.49	3.86	-2.48	1.19	0.42	0.35	1.20
2	72.28	4.28	-1.29	0.62	0.76	1.22	
3	154.3	5.04	-0.67	0.47	0.92	1.94	
4	387.42	5.96	-0.20	0.44	0.37	0.84	
5	560.66	6.33	0.24	0.51	0.13	0.26	
6	639.62	6.46	0.75	0.75	6.46	8.60	
k1	3					13.21	
k2	2.5						

2. *Crank shaft* (metal jalan) (Distribusi *Weibull*)

Nilai *index of fit* terbesar yang diperoleh oleh komponen *Crank shaft* (metal jalan) adalah berdasarkan distribusi *weibull*, maka uji kesesuaian yang digunakan adalah *Mann's test*.

Dimana :

H_0 : Data berdistribusi *weibull*

H_1 : Data tidak berdistribusi *weibull*

Taraf nyata $\alpha = 0.05$

Wilayah kritik : tolak H_0 bila $M > F_{\text{erit}}$

Dengan menggunakan tabel distribusi F :

Untuk $V_1 = 4$, $V_2 = 3$, $\alpha = 0.05$, maka $F_{\text{erit}} = 9.12$

$$k_1 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{4}{2} \right\rfloor = 2$$

$$k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{4-1}{2} \right\rfloor = 1.5$$

$$\text{LN}(t_i) = \text{LN}(200.82) = 5.302$$

$$\begin{aligned} Z_i &= \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0.5}{n+0.25} \right) \right] \\ &= \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0.5}{4+0.25} \right) \right] = -2.057 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_i &= Z_2 - Z_1 \\ &= -0.842 - (-2.057) = 1.215 \end{aligned}$$

$$\ln(t_2) - \ln(t_1) = 5.698 - 5.302 = 0.395$$

$$\frac{\ln(t_{i+1}) - \ln(t_1)}{M_i} = \frac{0.395}{1.215} = 0.326$$

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

$$= \frac{(2)(13.27)}{(1.5)(13.27)} = 1.33$$

Karena $M (1.33) < F_{\text{erit } 0.05} (9.12)$, maka dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi *weibull*.

Tabel 4.40 Uji *Mann's* Pada *Crank shaft* (metal jalan) Berdistribusi *Weibull*.

Crank shaft (metal jalan)							
i	ti (jam)	ln(ti)	Zi	Mi	ln(ti+1) - ln(ti)	ln(ti+1) - ln(ti) / Mi	M
1	200.82	5.30	-2.06	1.21	0.40	0.33	1.33
2	298.24	5.70	-0.84	0.73	0.56	0.77	
3	523.31	6.26	-0.11	0.65	0.17	0.26	
4	618.76	6.43	0.54	0.54	6.43	11.92	
k1	2					13.27	
k2	1.5						

3. *Electric motor* (Distribusi Lognormal)

Nilai *index of fit* terbesar yang diperoleh oleh komponen *Electric motor* adalah berdasarkan distribusi lognormal, maka uji kesesuaian yang digunakan adalah *Kolmogorov-Smirnov test*.

Dimana :

H_0 : Data berdistribusi lognormal

H_1 : Data tidak berdistribusi lognormal

Taraf nyata $\alpha = 0.05$

Wilayah kritik : tolak H_0 bila $D_n > D_{erit}$

Dengan menggunakan tabel *Kolmogorov-Smirnov test* :

Untuk $n = 2$ dan $\alpha = 0.05$, maka $D_{erit} = 0.842$

$$Z_i = \left[\frac{t_i - \bar{t}}{S} \right] = \frac{-60.96}{7432.243} = -0.01$$

$\Phi(Z_i) = 0.49601$ (menggunakan tabel *standardized normal probabilities*)

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} = 463.76$$

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n - 1} = 7432.243$$

$$D_1 = \left[\frac{i}{n} - \Phi Z_i \right] = 0.00399$$

$$D_2 = \left[\frac{(i - 1)}{n} - \Phi Z_i \right] = -0.496$$

$$D_n = \max\{D_1, D_2\} = 0.496$$

Karena $D_n (0.496) < D_{erit 0.05} (0.842)$, maka dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi lognormal.

Tabel 4.41 Uji *Kolmogorov-Smirnov* Pada *Electric motor* Berdistribusi Lognormal.

<i>Electric motor</i>										
i	ti (jam)	ln(ti)	ti - t'	(ti - t') ²	(i-1)/n	i/n	Zi	φ Zi	D1(i)	D2(i)
1	402.8	6.00	-60.96	3716.12	0	0.5	-0.01	0.496	0.004	-0.496
2	524.72	6.26	60.96	3716.12	0.5	1	0.01	0.504	0.496	-0.004
total	927.52	12.26		7432.24						
rata-rata	463.76									

4.2.6.3 Least Square Curve Fitting Untuk Time to Repair (TTR)

Langkah-langkah perhitungan *least square curve fitting* untuk tiap-tiap distribusi adalah sebagai berikut :

1. Distribusi Eksponential

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *side shaft* (stang metal) pada distribusi eksponential dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$xi = ti$$

$$F(ti) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{7 + 0.4} = 0.09$$

$$yi = \ln \left[\frac{1}{1 - F(ti)} \right] = -0.10$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n xi yi - (\sum_{i=1}^n xi)(\sum_{i=1}^n yi)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2][n \sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2]}}$$

$$= \frac{7(-12.03) - (12.01)(-6.34)}{[7 \cdot 23.15 - (144.24)][7 \cdot 9.51 - (40.25)]}$$

$$= \frac{-12.06}{21.65} = -0.557$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *side shaft* (stang metal) sebesar -0.557 pada distribusi eksponential, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.42.

Tabel 4.42 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Side shaft* (stang metal) Untuk Distribusi Eksponential.

<i>Side shaft</i> (stang metal)							
i	ti (jam)	xi = ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi ²	yi ²
1	2.07	2.07	0.09	-0.10	-0.21	4.28	0.01
2	0.28	0.28	0.23	-0.26	-0.07	0.08	0.07
3	2.02	2.02	0.36	-0.45	-0.92	4.08	0.21
4	1.62	1.62	0.50	-0.69	-1.12	2.62	0.48

Tabel 4.42 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Side shaft* (stang metal) Untuk Distribusi Eksponensial (lanjutan...).

5	2.02	2.02	0.64	-1.01	-2.04	4.08	1.02
6	1.98	1.98	0.77	-1.47	-2.91	3.92	2.16
7	2.02	2.02	0.91	-2.36	-4.76	4.08	5.56
Total	12.01	12.01		-6.34	-12.03	23.15	9.51
<i>Index of fit</i>				-0.557			

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *crank shaft* (metal jalan) pada distribusi eksponensial dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$x_i = t_i$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{5 + 0.4} = 0.13$$

$$y_i = \ln \left[\frac{1}{1 - F(t_i)} \right] = -0.14$$

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

$$= \frac{5(-8.71) - (8.54)(-4.41)}{[5 \cdot 19.97 - (72.93)][5 \cdot 6.15 - (19.44)]}$$

$$= \frac{-16.39}{17.45} = -0.939$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *crank shaft* (metal jalan) sebesar -0.939 pada distribusi eksponensial, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.43.

Tabel 4.43 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Crank shaft* (metal jalan) Untuk Distribusi Eksponensial.

<i>Crank shaft</i> (metal jalan)							
i	t _i (jam)	x _i = t _i	F(t _i)	y _i	x _i * y _i	x _i ²	y _i ²
1	0.12	0.12	0.13	-0.14	-0.02	0.01	0.02
2	3.18	3.18	0.31	-0.38	-1.20	10.11	0.14
3	1.08	1.08	0.50	-0.69	-0.75	1.17	0.48
4	1.98	1.98	0.69	-1.16	-2.29	3.92	1.34
5	2.18	2.18	0.87	-2.04	-4.45	4.75	4.17
Total	8.54	8.54		-4.41	-8.71	19.97	6.15
<i>Index of fit</i>				-0.939			

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *electric motor* pada distribusi eksponensial dengan menggunakan

perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$x_i = t_i$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{3 + 0.4} = 0.21$$

$$y_i = \ln \left[\frac{1}{1 - F(t_i)} \right] = -0.23$$

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

$$= \frac{3(-5.13) - (5.60)(-2.50)}{[3 \cdot 10.75 - (31.36)][3 \cdot 3.03 - (6.27)]}$$

$$= \frac{-1.39}{1.58} = -0.879$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *electric motor* sebesar -0.879 pada distribusi eksponential, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.44.

Tabel 4.44 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Electric motor* Untuk Distribusi Eksponential.

Electric motor							
i	t _i (jam)	x _i = t _i	F(t _i)	y _i	x _i * y _i	x _i ²	y _i ²
1	1.43	1.43	0.21	-0.23	-0.33	2.04	0.05
2	2.02	2.02	0.50	-0.69	-1.40	4.08	0.48
3	2.15	2.15	0.79	-1.58	-3.40	4.62	2.50
Total	5.6	5.6		-2.50	-5.13	10.75	3.03
<i>Index of fit</i>				-0.879			

2. Distribusi Lognormal

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *side shaft* (stang metal) pada distribusi lognormal dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$x_i = \ln t_i$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{7 + 0.4} = 0.09$$

$$y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] = -1.31$$

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

$$= \frac{7(2.79) - (1.83)(0)}{[7 \cdot 44.3 - (7.45)][7 \cdot 4.77 - (0)]}$$

$$= \frac{19.52}{27.62} = 0.707$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *side shaft* (stang metal) sebesar 0.707 pada distribusi lognormal, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.45.

Tabel 4.45 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Side shaft* (stang metal) Untuk Distribusi Lognormal.

Side shaft (stang metal)							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi^2	yi^2
1	2.07	0.73	0.09	-1.31	-0.95	0.53	1.72
2	0.28	-1.27	0.23	-0.74	0.94	1.62	0.55
3	2.02	0.70	0.36	-0.35	-0.25	0.49	0.12
4	1.62	0.48	0.50	0.00	0.00	0.23	0.00
5	2.02	0.70	0.64	0.35	0.25	0.49	0.12
6	1.98	0.68	0.77	0.74	0.51	0.47	0.55
7	2.02	0.70	0.91	1.31	0.92	0.49	1.72
Total	12.01	2.73			1.42	4.33	4.77
<i>Index of fit</i>					0.707		

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *crank shaft* (metal jalan) pada distribusi lognormal dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$xi = \ln ti$$

$$F(ti) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{5 + 0.4} = 0.13$$

$$yi = Zi = \Phi^{-1}[F(ti)] = -1.31$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n xi yi - (\sum_{i=1}^n xi)(\sum_{i=1}^n yi)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2][n \sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2]}}$$

$$= \frac{5(3.05) - (0.58)(0)}{[5 \cdot 6.91 - (0.33)][5 \cdot 3.01 - (0)]}$$

$$= \frac{20.2}{22.69} = 0.890$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *crank shaft* (metal jalan) sebesar 0.890 pada distribusi lognormal, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.46.

Tabel 4.46 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Crank shaft* (metal jalan) Untuk Distribusi Lognormal.

<i>Crank shaft</i> (metal jalan)							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi^2	yi^2
1	0.12	-2.12	0.13	-1.13	2.40	4.50	1.28
2	3.18	1.16	0.31	-0.48	-0.56	1.34	0.23
3	1.08	0.08	0.50	0.00	0.00	0.01	0.00
4	1.98	0.68	0.69	0.48	0.33	0.47	0.23
5	2.18	0.78	0.87	1.13	0.88	0.61	1.28
Total	8.54	0.58			3.05	6.91	3.01
<i>Index of fit</i>				0.890			

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *electric motor* pada distribusi lognormal dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$xi = \ln ti$$

$$F(ti) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{3 + 0.4} = 0.21$$

$$yi = Zi = \Phi^{-1}[F(ti)] = -0.82$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n xi yi - (\sum_{i=1}^n xi)(\sum_{i=1}^n yi)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2][n \sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2]}}$$

$$= \frac{3(0.33) - (1.83)(0)}{[3 \cdot 1.21 - (3.34)][3 \cdot 1.34 - (0)]}$$

$$= \frac{0.99}{1.07} = 0.925$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *electric motor* sebesar 0.925 pada distribusi lognormal, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.47.

Tabel 4.47 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Electric motor* Untuk Distribusi Lognormal.

<i>Electric motor</i>							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi^2	yi^2
1	1.43	0.36	0.21	-0.82	-0.29	0.13	0.67
2	2.02	0.70	0.50	0.00	0.00	0.49	0.00
3	2.15	0.77	0.79	0.82	0.63	0.59	0.67
Total	5.6	1.83			0.33	1.21	1.34
<i>Index of fit</i>				0.925			

3. Distribusi *Weibull*

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve*

fitting komponen *side shaft* (stang metal) pada distribusi *weibull* dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$xi = \ln ti$$

$$F(ti) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{7 + 0.4} = 0.09$$

$$yi = \ln \left[-\ln \left[\frac{1}{1 - F(ti)} \right] \right] = -2.31$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n xi yi - (\sum_{i=1}^n xi)(\sum_{i=1}^n yi)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2][n \sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2]}}$$

$$= \frac{7(0.17) - (2.73)(-3.56)}{[7 \cdot 4.33 - (7.45)^2][7 \cdot 8.78 - (12.65)^2]}$$

$$= \frac{10.9}{33.40} = 0.326$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *side shaft* (stang metal) sebesar 0.326 pada distribusi *weibull*, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.48.

Tabel 4.48 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Side shaft* (stang metal) Untuk Distribusi *Weibull*.

Side shaft (stang metal)							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi ²	yi ²
1	2.07	0.73	0.09	-2.31	-1.68	0.53	5.33
2	0.28	-1.27	0.23	-1.34	1.71	1.62	1.80
3	2.02	0.70	0.36	-0.79	-0.56	0.49	0.62
4	1.62	0.48	0.50	-0.37	-0.18	0.23	0.13
5	2.02	0.70	0.64	0.01	0.01	0.49	0.00
6	1.98	0.68	0.77	0.39	0.26	0.47	0.15
7	2.02	0.70	0.91	0.86	0.60	0.49	0.74
Total	12.01	2.73		-3.56	0.17	4.33	8.78
<i>Index of fit</i>				0.326			

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *crank shaft* (metal jalan) pada distribusi *weibull* dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$xi = \ln ti$$

$$F(ti) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{5 + 0.4} = 0.13$$

$$y_i = \ln \left[-\ln \left[\frac{1}{1 - F(t_i)} \right] \right] = -1.97$$

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

$$= \frac{5(3.69) - (0.58)(-2.45)}{[5 \cdot 6.91 - (0.33)][5 \cdot 5.51 - (6.02)]}$$

$$= \frac{19.87}{27.14} = 0.732$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *crank shaft* (metal jalan) sebesar 0.732 pada distribusi *weibull*, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.49.

Tabel 4.49 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Crank shaft* (metal jalan) Untuk Distribusi *Weibull*.

Crank shaft (metal jalan)							
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	0.12	-2.12	0.13	-1.97	4.19	4.50	3.90
2	3.18	1.16	0.31	-0.97	-1.13	1.34	0.95
3	1.08	0.08	0.50	-0.37	-0.03	0.01	0.13
4	1.98	0.68	0.69	0.14	0.10	0.47	0.02
5	2.18	0.78	0.87	0.71	0.56	0.61	0.51
Total	8.54	0.58		-2.45	3.69	6.91	5.51

Selanjutnya yaitu menghitung *index of fit* dengan mengetahui *least square curve fitting* komponen *crank shaft* (metal jalan) pada distribusi *weibull* dengan menggunakan perhitungan manual, contoh perhitungan dapat dijelaskan dibawah ini.

$$x_i = \ln t_i$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} = \frac{1 - 0.3}{3 + 0.4} = 0.21$$

$$y_i = \ln \left[-\ln \left[\frac{1}{1 - F(t_i)} \right] \right] = -1.47$$

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

$$= \frac{3(-0.43) - (1.83)(-1.38)}{[3 \cdot 1.21 - (3.34)][3 \cdot 2.50 - (1.89)]}$$

$$= \frac{3.25}{1.27} = 2.54$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil *index of fit* (r) untuk komponen *electric motor* sebesar 2.54 pada distribusi *weibull*, hasil selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.50.

Tabel 4.50 *Least Square Curve Fitting* Komponen *Electric motor* Untuk Distribusi *Weibull*.

<i>Electric motor</i>							
i	ti (jam)	xi = ln ti	F(ti)	yi	xi * yi	xi^2	yi^2
1	1.43	0.36	0.21	-1.47	-0.52	0.13	2.15
2	2.02	0.70	0.50	-0.37	-0.26	0.49	0.13
3	2.15	0.77	0.79	0.46	0.35	0.59	0.21
Total	5.6	1.83		-1.38	-0.43	1.21	2.50
<i>Index of fit</i>				2.54			

Hasil perhitungan dari *least square curve fitting* untuk masing-masing distribusi pada ketiga komponen dengan *index of fit* yaitu diperoleh sebagai berikut.

Tabel 4.51 Hasil Perhitungan *Index Of Fit* untuk TTR.

<i>Index Of Fit</i>			
Nama Komponen	Distribusi Eksponential	Distribusi Lognormal	Distribusi Weibull
<i>Side shaft</i> (stang metal)	-0.557	0.707	0.326
<i>Crank shaft</i> (metal jalan)	-0.939	0.890	0.732
<i>Electric motor</i>	-0.879	0.925	2.54

Dengan melihat tabel diatas, maka dapat diketahui nilai *index of fit* terbesar yaitu untuk komponen *Side shaft* (stang metal) dengan Distribusi Lognormal sebesar 0.707, komponen *Crank shaft* (metal jalan) dengan Distribusi Lognormal sebesar 0.890, dan komponen *Electric motor* dengan Distribusi *Weibull* sebesar 2.54.

4.2.6.4 Uji *Goodness Of Fit Test* Untuk *Time To Repair* (TTR)

Setelah memperoleh *index of fit* dari setiap distribusi untuk komponen *Side shaft* (stang metal), *Crank shaft* (metal jalan), dan *Electric motor*, maka harus diuji dulu kesesuaiannya. Pengujian-pengujian yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Mann's test*, $\alpha = 0.05$ untuk menguji distribusi weibull.
- Kolmogorov-Smirnov test*, $\alpha = 0.05$ untuk menguji distribusi lognormal.

Langkah-langkah perhitungan uji *goodness of fit test* untuk tiap komponen adalah sebagai berikut :

- Side shaft* (stang metal) (Distribusi Lognormal)

Nilai *index of fit* terbesar yang diperoleh oleh komponen *Side shaft* (stang metal) adalah berdasarkan distribusi lognormal, maka uji kesesuaian yang digunakan adalah *Kolmogorov-Smirnov test*.

Dimana :

H_0 : Data berdistribusi lognormal

H_1 : Data tidak berdistribusi lognormal

Taraf nyata $\alpha = 0.05$

Wilayah kritik : tolak H_0 bila $D_n > D_{erit}$

Dengan menggunakan tabel *Kolmogorov-Smirnov test* :

Untuk $n = 7$ dan $\alpha = 0.05$, maka $D_{erit} = 0.483$

$$Z_i = \left[\frac{t_i - \bar{t}}{S} \right] = \frac{0.35}{2.54} = 0.14$$

$\phi(Z_i) = 0.563$ (menggunakan tabel *standardized normal probabilities*)

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} = 1.72$$

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n - 1} = 2.54$$

$$D_1 = \left[\frac{i}{n} - \phi Z_i \right] = -0.420$$

$$D_2 = \left[\frac{(i - 1)}{n} - \phi Z_i \right] = -0.563$$

$$D_n = \max\{D_1, D_2\} = 0.445$$

Karena $D_n (0.445) < D_{erit\ 0.05} (0.483)$, maka dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi lognormal.

Tabel 4.52 Uji *Kolmogorov-Smirnov* Pada *Side shaft* (stang metal) Berdistribusi Lognormal.

Side shaft										
I	ti (jam)	ln(ti)	ti - t'	(ti - t')^2	(i-1)/n	i/n	Zi	ϕZi	D1(i)	D2(i)
1	2.07	0.73	0.35	0.13	0	0.14	0.14	0.563	-0.420	-0.563
2	0.28	-1.27	-1.44	2.06	0.14	0.29	-0.56	0.254	0.032	-0.111
3	2.02	0.70	0.30	0.09	0.29	0.43	0.12	0.555	-0.126	-0.269
4	1.62	0.48	-0.10	0.01	0.43	0.57	-0.04	0.484	0.087	-0.055
5	2.02	0.70	0.30	0.09	0.57	0.71	0.12	0.555	0.159	0.016
6	1.98	0.68	0.26	0.07	0.71	0.86	0.10	0.547	0.310	0.167
7	2.02	0.70	0.30	0.09	0.86	1	0.12	0.555	0.445	0.302
total	12.01	2.73		2.54						
rata-rata	1.72									

2. *Crank shaft* (metal jalan) (Distribusi Lognormal)

Nilai *index of fit* terbesar yang diperoleh oleh komponen *Crank shaft* (metal jalan) adalah berdasarkan distribusi lognormal, maka uji kesesuaian yang digunakan adalah *Kolmogorov-Smirnov test*.

Dimana :

H_0 : Data berdistribusi lognormal

H_1 : Data tidak berdistribusi lognormal

Taraf nyata $\alpha = 0.05$

Wilayah kritik : tolak H_0 bila $D_n > D_{erit}$

Dengan menggunakan tabel *Kolmogorov-Smirnov test* :

Untuk $n = 5$ dan $\alpha = 0.05$, maka $D_{erit} = 0.563$

$$Z_i = \left[\frac{t_i - \bar{t}}{S} \right] = \frac{-1.59}{5.38} = -0.30$$

$\Phi(Z_i) = 0.378$ (menggunakan tabel *standardized normal probabilities*)

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} = 1.7$$

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n - 1} = 5.38$$

$$D_1 = \left[\frac{i}{n} - \Phi Z_i \right] = -0.178$$

$$D_2 = \left[\frac{(i - 1)}{n} - \Phi Z_i \right] = -0.378$$

$$D_n = \max\{D_1, D_2\} = 0.465$$

Karena $D_n (0.465) < D_{erit\ 0.05} (0.563)$, maka dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi lognormal.

Tabel 4.53 Uji *Kolmogorov-Smirnov* Pada *Crank shaft* (metal jalan) Berdistribusi Lognormal.

Crank shaft										
i	ti (jam)	ln(ti)	ti - t'	(ti - t') ²	(i-1)/n	i/n	Zi	ΦZi	D1(i)	D2(i)
1	0.12	-2.12	-1.59	2.52	0	0.20	-0.30	0.378	-0.178	-0.378
2	3.18	1.16	1.47	2.17	0.20	0.40	0.27	0.606	-0.206	-0.406
3	1.08	0.08	-0.63	0.39	0.40	0.60	-0.12	0.452	0.148	-0.052
4	1.98	0.68	0.27	0.07	0.60	0.80	0.05	0.514	0.286	0.086
5	2.18	0.78	0.47	0.22	0.80	1	0.09	0.535	0.465	0.265
total	8.54	0.58		5.38						
rata-rata	1.71									

3. *Electric motor* (Distribusi *Weibull*)

Nilai *index of fit* terbesar yang diperoleh oleh komponen *Electric motor* adalah berdasarkan distribusi *weibull*, maka uji kesesuaian yang digunakan adalah *Mann's test*.

Dimana :

H_0 : Data berdistribusi *weibull*

H_1 : Data tidak berdistribusi *weibull*

Taraf nyata $\alpha = 0.05$

Wilayah kritik : tolak H_0 bila $M > F_{\text{erit}}$

Dengan menggunakan tabel distribusi F :

Untuk $V_1 = 3$, $V_2 = 2$, $\alpha = 0.05$, maka $F_{\text{erit}} = 19.16$

$$k_1 = \left\lceil \frac{r}{2} \right\rceil = \left\lceil \frac{3}{2} \right\rceil = 1.5$$

$$k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{3-1}{2} \right\rfloor = 1$$

$$\text{LN}(t_i) = \text{LN}(1.43) = 0.36$$

$$\begin{aligned} Z_i &= \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0.5}{n+0.25} \right) \right] \\ &= \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0.5}{3+0.25} \right) \right] = -1.82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_i &= Z_2 - Z_1 \\ &= -0.48 - (-1.82) = 1.33 \end{aligned}$$

$$\ln(t_2) - \ln(t_1) = 0.70 - 0.36 = 0.35$$

$$\frac{\ln(t_{i+1}) - \ln(t_1)}{M_i} = \frac{0.35}{1.33} = 0.26$$

$$\begin{aligned} M &= \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left(\frac{\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i)}{M_i} \right)}{k_2 \sum_{i=1}^{r-1} \left(\frac{\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i)}{M_i} \right)} \\ &= \frac{(1.5)(2.32)}{(1)(2.32)} = 1.50 \end{aligned}$$

Karena $M (1.50) < F_{\text{erit } 0.05}(19.16)$, maka dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi *weibull*.

Tabel 4.54 Uji *Mann's* Pada *Electric motor* Berdistribusi *Weibull*.

<i>Electric motor</i>							
i	ti (jam)	ln(ti)	Zi	Mi	ln(ti+1) - ln(ti)	ln(ti+1) - ln(ti) / Mi	M
1	1.43	0.36	-1.82	1.33	0.35	0.26	1.50
2	2.02	0.70	-0.48	0.87	0.06	0.07	
3	2.15	0.77	0.39	0.39	0.77	1.99	
k1	1.5					2.32	
k2	1						

4.2.7 Perhitungan Parameter *Time To Failure* (TTF)

Setelah dilakukan uji *goodness of fit test*, perhitungan selanjutnya yaitu perhitungan parameter. Perhitungan parameter untuk *time to failure* pada komponen *Side shaft* (stang metal) yang berdistribusi weibull, *Crank shaft* (metal jalan) berdistribusi weibull, *Electric motor* yang berdistribusi lognormal menggunakan rumus sebagai berikut :

1. *Side shaft* (stang metal) (Distribusi *Weibull*)

Perhitungan intersep (a), gradient (b), parameter bentuk (α), dan parameter skala (β)

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

$$= \frac{6 \cdot (-10.35) - (31.93)(-3)}{6 \cdot (175,93) - 1019.49} = 0.93$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = -0.50 - 0.93(5.32) = -5.45$$

$$\alpha = b = 0.93$$

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

$$= e^{-\left(\frac{-5.45}{0.93}\right)} = 2.718^{(5.86)} = 350.5 \text{ jam}$$

2. *Crank shaft* (metal jalan) (Distribusi *Weibull*)

Perhitungan intersep (a), gradient (b), parameter bentuk (α), dan parameter skala (β)

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

$$= \frac{4 \cdot (-9.78) - (23.68)(-1.91)}{4 \cdot (141.09) - 561.13} = 1.89$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = -0.48 - 1.89(5.92) = -11.66$$

$$\alpha = b = 1.89$$

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

$$= e^{-\left(\frac{-11.66}{1.89}\right)} = 2.718^{(6.16)} = 473.13 \text{ jam}$$

3. *Electric motor* (Distribusi Lognormal)

Perhitungan intersep (a), gradient (b), parameter bentuk (s), dan parameter lokasi (t_{med})

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

$$= \frac{2 \cdot (0.15) - (12.26)(0)}{2 \cdot (75.20) - 150.34} = 5$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 0 - 5(6.13) = -30.65$$

$$s = \frac{1}{b} = \frac{1}{5} = 0.2$$

$$t_{med} = e^{-sa} = e^{-(0.2(-30.65))} = 2.718^{(6.11)} = 450.05 \text{ jam}$$

4.2.8 Perhitungan Parameter *Time To Repair* (TTR)

Perhitungan parameter untuk *time to repair* pada komponen *Side shaft* (stang metal) yang berdistribusi lognormal, *Crank shaft* (metal jalan) berdistribusi lognormal, *Electric motor* yang berdistribusi *weibull* menggunakan rumus sebagai berikut :

1. *Side shaft* (stang metal) (Distribusi Lognormal)

Perhitungan intersep (a), gradient (b), parameter bentuk (s), dan parameter lokasi (t_{med})

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

$$= \frac{7 \cdot (1.42) - (2.72)(0)}{7 \cdot (4.33) - 7.45} = 0.43$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 0 - 0.43 (0.39) = -0.17$$

$$s = \frac{1}{b} = \frac{1}{0.43} = 2.32$$

$$t_{med} = e^{-sa} = e^{-(2.32(-0.17))} = 2.718^{(0.39)} = 1.48 \text{ jam}$$

2. *Crank shaft* (metal jalan) (Distribusi Lognormal)

Perhitungan intersep (a), gradient (b), parameter bentuk (s), dan parameter lokasi (t_{med})

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

$$= \frac{5 \cdot (3.05) - (0.58)(0)}{5 \cdot (6.91) - 0.33} = 0.45$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 0 - 0.45(0.12) = -0.05$$

$$s = \frac{1}{b} = \frac{1}{0.45} = 2.22$$

$$t_{med} = e^{-sa} = e^{-(2.22(-0.05))} = 2.718^{(0.11)} = 1.12 \text{ jam}$$

3. Electric motor (Distribusi Weibull)

Perhitungan intersep (a), gradient (b), parameter bentuk (α), dan parameter skala (β)

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

$$= \frac{3 \cdot (-0.43) - (1.83)(-1.38)}{3 \cdot (1.31) - 3.34} = 11.24$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = -0.46 - 11.24(0.61) = -7.65$$

$$\alpha = b = 11.24$$

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

$$= e^{-\left(\frac{7.65}{11.24}\right)} = 2.718^{(0.68)} = 1.79 \text{ jam}$$

4.2.9 Perhitungan Mean Time To Failure (MTTF) dan Mean Time To Repair (MTTR)

Setelah dilakukan perhitungan parameter, tahap selanjutnya yaitu melakukan perhitungan Mean Time To Failure (MTTF) dan perhitungan Mean Time To Repair (MTTR) pada komponen Side shaft (stang metal), Crank shaft (metal jalan), dan Electric motor sesuai dengan distribusi masing-masing dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Side shaft (stang metal)

$$MTTF = \beta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right)$$

$$= 350.5 \Gamma \left(1 + \frac{1}{0.93} \right)$$

$$= 350.5(1.03650) = 363.29 \text{ jam}$$

$$MTTR = t_{med} \times e^{s^2/2} = 1.48 \times 2.718^{2.32^2/2} = 21.80 \text{ jam}$$

2. *Crank shaft* (metal jalan)

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \beta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) \\
 &= 473.13 \Gamma \left(1 + \frac{1}{1.89} \right) \\
 &= 473.13(0.88757) = 419.94 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$MTTR = t_{med} \times e^{s^2/2} = 1.12 \times 2.718^{2.22^2/2} = 13.10 \text{ jam}$$

3. *Electric motor*

$$MTTF = t_{med} \times e^{s^2/2} = 450.05 \times 2.718^{0.2^2/2} = 459.05 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned}
 MTTR &= \beta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) \\
 &= 1.79 \Gamma \left(1 + \frac{1}{-7.65} \right) \\
 &= 1.79(0.93) = 1.66 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

4.2.10 Perhitungan *Reliability* Komponen

Perhitungan keandalan dilakukan untuk mengetahui probabilitas kinerja dari sistem/alat untuk memenuhi fungsi yang diharapkan, berikut perhitungan keandalan komponen.

1. *Side shaft* (stang metal)

Diketahui :

$$e = 2.718$$

$$t = 363$$

$$\mu = 0.93$$

$$\beta = 5.84$$

$$\begin{aligned}
 R(t) &= e - \left(\frac{t}{\mu} \right)^\beta \\
 &= 2.718 - \left(\frac{363}{0.93} \right)^{5.84} = 1.35
 \end{aligned}$$

2. *Crank shaft* (metal jalan)

Diketahui :

$$e = 2.718$$

$$t = 420$$

$$\mu = 1.89$$

$$\beta = 7.88$$

$$\begin{aligned} R(t) &= e - \left(\frac{t}{\mu}\right)^\beta \\ &= 2.718 - \left(\frac{420}{1.89}\right)^{7.88} = 0.38 \end{aligned}$$

3. *Electric motor*

Diketahui :

$$t = 459$$

$$s = 0.2$$

$$t_{med} = 450$$

$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - \phi \left[\frac{1}{s} \ln \left(\frac{t}{t_{med}} \right) \right] \\ &= 1 - \phi \left[\frac{1}{0.2} \ln \left(\frac{459}{450} \right) \right] \\ &= 1 - \phi [0.095] \\ &= 1 - 0.54 = 0.46 \end{aligned}$$

Diketahui *Reliability* komponen untuk *Side shaft* (stang metal) dengan $t = 363$ adalah 1.34 atau sebesar 13.4%, untuk komponen *Crank shaft* (metal jalan) dengan $t = 420$ adalah 0.38 atau sebesar 38%, dan untuk komponen *Electric motor* dengan $t = 459$ adalah 0.46 atau sebesar 46%.

4.2.11 Penentuan Interval Perawatan Komponen

Untuk menentukan interval waktu pemeriksaan komponen berdasarkan waktu produksi yang ada dilakukan dengan tahap-tahap berikut ini :

1. *Side shaft* (stang metal)

- a. Rata-rata jam kerja per bulan

Hari kerja per bulan = 26 hari

Jam kerja tiap hari = $7\frac{1}{2}$ jam

Rata-rata jam kerja per bulan = $26 \times 7\frac{1}{2} = 187.2$ jam

- b. Jumlah kerusakan

Jumlah kerusakan selama 2 tahun = 7 kali

- c. Waktu rata-rata perbaikan

$$\frac{1}{\mu} = \frac{MTTR}{\text{rata-rata jam kerja per bulan}} = \frac{21.80}{187.2} = 0.12$$

$$\mu = \frac{1}{1/\mu} = \frac{1}{0.12} = 8.33$$

- d. Waktu rata-rata pemeriksaan

Rata-rata 1 kali pemeriksaan = 45 menit = 0.75 jam

$$\frac{1}{i} = \frac{\text{rata-rata 1 kali pemeriksaan}}{\text{rata-rata jam kerja per bulan}} = \frac{0.75}{187.2} = 0.004$$

$$i = \frac{1}{1/i} = \frac{1}{0.004} = 250$$

- e. Rata-rata kerusakan

$$k = \frac{\text{jumlah kerusakan per 2 tahun}}{24} = \frac{7}{24} = 0.292$$

- f. Frekuensi pemeriksaan optimal

$$n = \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}} = \sqrt{\frac{0.292 \times 250}{8.33}} = 2.96$$

- g. Interval waktu pemeriksaan

$$t_i = \frac{\text{rata-rata jam kerja per bulan}}{n} = \frac{187.2}{2.96} = 63 \text{ jam}$$

2. *Crank shaft* (metal jalan)

- a. Rata-rata jam kerja per bulan

Hari kerja per bulan = 26 hari

Jam kerja tiap hari = 7½ jam

Rata-rata jam kerja per bulan = 26 x 7½ = 187.2 jam

- b. Jumlah kerusakan

Jumlah kerusakan selama 2 tahun = 5 kali

- c. Waktu rata-rata perbaikan

$$\frac{1}{\mu} = \frac{MTTR}{\text{rata-rata jam kerja per bulan}} = \frac{13.10}{187.2} = 0.07$$

$$\mu = \frac{1}{1/\mu} = \frac{1}{0.07} = 14.28$$

- d. Waktu rata-rata pemeriksaan

Rata-rata 1 kali pemeriksaan = 30 menit = 0.50 jam

$$\frac{1}{i} = \frac{\text{rata - rata 1 kali pemeriksaan}}{\text{rata - rata jam kerja per bulan}} = \frac{0.50}{187.2} = 0.003$$

$$i = \frac{1}{1/i} = \frac{1}{0.003} = 370$$

e. Rata-rata kerusakan

$$k = \frac{\text{jumlah kerusakan per 2 tahun}}{24} = \frac{5}{24} = 0.208$$

f. Frekuensi pemeriksaan optimal

$$n = \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}} = \sqrt{\frac{0.208 \times 370}{14.28}} = 2.32$$

g. Interval waktu pemeriksaan

$$t_i = \frac{\text{rata - rata jam kerja per bulan}}{n} = \frac{187.2}{2.32} = 81 \text{ jam}$$

3. *Electric motor*

a. Rata-rata jam kerja per bulan

Hari kerja per bulan = 26 hari

Jam kerja tiap hari = 7½ jam

Rata-rata jam kerja per bulan = 26 x 7½ = 187.2 jam

b. Jumlah kerusakan

Jumlah kerusakan selama 2 tahun = 3 kali

c. Waktu rata-rata perbaikan

$$\frac{1}{\mu} = \frac{MTRR}{\text{rata - rata jam kerja per bulan}} = \frac{1.66}{187.2} = 0.008$$

$$\mu = \frac{1}{1/\mu} = \frac{1}{0.008} = 125$$

d. Waktu rata-rata pemeriksaan

Rata-rata 1 kali pemeriksaan = 50 menit = 0.83 jam

$$\frac{1}{i} = \frac{\text{rata - rata 1 kali pemeriksaan}}{\text{rata - rata jam kerja per bulan}} = \frac{0.83}{187.2} = 0.004$$

$$i = \frac{1}{1/i} = \frac{1}{0.004} = 250$$

e. Rata-rata kerusakan

$$k = \frac{\text{jumlah kerusakan per 2 tahun}}{24} = \frac{3}{24} = 0.125$$

f. Frekuensi pemeriksaan optimal

$$n = \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}} = \sqrt{\frac{0.125 \times 250}{125}} = 0.50$$

g. Interval waktu pemeriksaan

$$t_i = \frac{\text{rata - rata jam kerja per bulan}}{n} = \frac{187.2}{0.50} = 374 \text{ jam}$$

4.3 Analisa dan Pembahasan

Dari semua hasil perhitungan menggunakan tabel *Failure Modes and Effect Analyze* (FMEA) untuk menentukan komponen kritis dari mesin paku A503 diperoleh 3 komponen kritis yaitu *Side shaft* (stang metal) dengan RPN 788, *Crank shaft* (metal jalan) dengan RPN 541, dan *Electric motor* dengan RPN 280.

Berdasarkan RCM II *decision worksheet* diperoleh bahwa tindakan yang perlu dilakukan untuk setiap komponen yang sering mengalami kerusakan dapat dilihat pada tabel 4.55 menunjukkan kegiatan perawatan yang disarankan dan interval perawatan yang optimal.

Tabel 4.55 Kegiatan Perawatan dan Interval Perawatan yang Optimal.

	Komponen Kritis	Jenis Kerusakan	Kegiatan Perawatan	Interval Perawatan (jam)
Mesin Paku A503	<i>Side shaft</i> (stang metal)	Sambungan stang metal patah	<i>Schedule Discard Task</i>	63
		Beban <i>wire feeder</i> aus	<i>Schedule Restoration Task</i>	
		Sayap metal longgar	<i>Schedule Restoration Task</i>	
	<i>Crank shaft</i> (metal jalan)	<i>Bearing</i> longgar	<i>Schedule Discard Task</i>	81
		Sambungan lengan patah	<i>Schedule Discard Task</i>	
		Pelumas bearing habis	<i>Schedule Restoration Task</i>	
<i>Electric motor</i>	Panas atau <i>overheating</i>	<i>Schedule Restoration Task</i>	374	

1. Pada komponen *Side shaft* (stang metal) dengan interval perawatan 63 jam dilakukan tindakan *scheduled restoration task* yang mana pada komponen tersebut membutuhkan tindakan perawatan secara terjadwal untuk dapat mengurangi kemacetan produksi.
2. Pada komponen *Crank shaft* (metal jalan) dengan interval perawatan 81 jam dilakukan tindakan *scheduled discard task* yang mana pada komponen tersebut membutuhkan tindakan pengecekan untuk pergantian komponen yang sesuai dengan masa usia pakai komponen untuk tetap dapat mengontrol proses produksi secara optimal.
3. Pada komponen *Electric motor* dengan interval waktu perawatan 374 jam perlu adanya tindakan *scheduled restoration task* guna mengurangi gangguang-

gangguan yang menghambat pelaksanaan produksi. Sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan efektifitas untuk meningkatkan hasil produksi paku.

4.4 Rekomendasi

Dari hasil yang sudah didapatkan maka peneliti mencoba memberi rekomendasi pada perusahaan untuk memakai metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II yang mana penentuan komponen kritis diawali dengan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) dari tabel FMEA.

Hasil yang didapatkan yaitu pemecahan masalahnya yaitu perusahaan melakukan interval perawatan mesin :

1. Pada komponen *Side shaft* (stang metal) dengan interval waktu perawatan selama 63 jam atau 8 hari guna mengetahui tingkat kerusakan komponen dengan memberikan tindakan langsung pada setiap kerusakan yang terjadi.
2. Pada komponen *Crank shaft* (metal jalan) dengan interval waktu perawatan selama 81 jam atau 11 hari guna mengetahui tingkat kerusakan komponen dengan memberikan tindakan langsung pada setiap kerusakan yang terjadi.
3. Pada komponen *Electric motor* dengan interval waktu perawatan selama 374 jam atau 50 hari guna mengetahui tingkat kerusakan komponen dengan memberikan tindakan langsung pada setiap kerusakan yang terjadi.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini penulis memberikan penjelasan tentang kesimpulan dan saran dari hasil perhitungan interval waktu *preventive maintenance*. Berikut penjelasannya.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari pengumpulan, pengolahan, dan analisa data yang ada pada bab sebelumnya. Maka didapatkan hasil kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Interval perawatan berdasarkan *RCM II Decision Worksheet* untuk komponen yang memiliki kegagalan potensial diantaranya adalah komponen *Side shaft* (stang metal) dengan interval perawatan selama 63 jam dan mengalami *breakdown* sebanyak 7 kali dalam 2 tahun, komponen *Crank shaft* (metal jalan) dengan interval perawatan selama 81 jam dan mengalami *breackdown* sebanyak 5 kali dalam 2 tahun, dan komponen *Electric motor* dengan interval perawatan selama 374 jam dan mengalami *breackdown* sebanyak 3 kali dalam 2 tahun.
2. Kegiatan yang harus dilakukan untuk mengurangi terjadinya kerusakan pada mesin paku untuk komponen *side shaft* (stang metal) dengan jenis kerusakan sambungan stang metal patah perlu adanya kegiatan perawatan dengan *scheduled discard task*, untuk jenis kerusakan beban *wire feeder* aus perlu adanya kegiatan perawatan dengan *scheduled restoration task*, jenis kerusakan sayap metal longgar perlu adanya kegiatan perawatan dengan *scheduled restoration task*. Untuk komponen *crank shaft* (metal jalan) dengan jenis kerusakan *bearing* longgar perlu adanya kegiatan perawatan dengan *scheduled discard task*, untuk jenis kerusakan sambungan lengan patah perlu adanya kegiatan perawatan dengan *scheduled discard task*, jenis kerusakan pelumas *bearing* habis perlu adanya kegiatan perawatan dengan *scheduled restoration task*. Untuk komponen *electric motor* dengan jenis kerusakan panas atau *overheating* perlu adanya kegiatan perawatan dengan *scheduled restoration task*.

5.2 Saran

Ada beberapa saran yang diberikan kepada perusahaan adalah :

1. Pihak perusahaan diharapkan mendata atau mengakses secara lengkap seluruh kerusakan yang terjadi pada mesin paku A503 sehingga dapat dibuatkan program tentang keandalan, jadwal perawatan, penggantian komponen, dan persediaan dengan tepat.
2. Untuk komponen yang masih mengalami *breakdown maintenance*, diharapkan agar melakukan tindakan perawatan pencegahan secara intensif untuk menghindari terjadinya kerusakan yang dapat mempengaruhi berhentinya proses produksi.



DAFTAR PUSTAKA

- Bangun, IrawanHarnadi, dan Rahman, ArifdanDarmawan, Zefry, (2014) "*Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi Dengan Menggunakan Metode RCM II Pada Mesin Blowing Om*", Jurnal Teknik Industri, Hal.997-1008, Universitas Brawijaya, Malang.
- Baroto, Teguh, (2003), "*PengantarTeknikIndustri*", UniversitasMuhammadiyah Malang.
- Dhamayanti, Destina Surya danAlhilman, Judi danAthari, Nurdinintya, (2016), "*Usulan Preventive Maintenance DenganMenggunakan Reliability Centered Maintenance II dan Risk Based Maintenance*", JurnalRekayasaSistemdanIndustri, Vol.3, No.2, Hal.31-37, Telkom University.
- Pratama, Ahmad Nizar, danPrasetyawan, Yudha, (2014), "*PerancanganAktivitasPemeliharaanDengan Reliability Centered Maintenance II*", JurnalTeknik, Hal.1-6, ITS, Surabaya.
- Putra, Boy Isma, (2010), "*EvaluasiManajemenPerawatanDenganMetode Reliability Centered Maintenance II*", Teknolojia Vol.5 Hal.59-66, UniversitasMuhammadiyahSidoarjo, Sidoarjo.
- Sari, Diana Puspita, danRidho, MukhammadFaizal, (2016), "*EvaluasiManajemenPerawatanDengamMetode Reliability Centered Maintenance II PadaMesin Blowing I Di Plant I PT. Pisma Putra Textile*", JurnalTeknikIndustri, Vol.XI, No.2, Hal.73-80, UniversitasDiponegoro.

LAMPIRAN 1. Data Kerusakan Mesin Tahun 2015-2016

Tabel 1.1 Data Kerusakan Mesin Tahun 2015-2016.

Data Kerusakan Mesin Tahun 2015-2016			
Type Mesin	Tanggal	Mulai (jam)	Selesai (jam)
A503	20 Mei 2015	8:35	10:40
	10 Juni 2015	9:03	11:00
	15 Juni 2015	8:57	10:35
	8 September 2015	14:22	14:30
	8 September 2015	14:12	14:30
	19 September 2015	9:28	11:30
	7 Oktober 2015	12:48	14:15
	10 Oktober 2015	10:32	13:44
	29 Oktober 2015	10:54	13:22
	23 November 2015	12:42	14:20
	16 Desember 2015	11:43	13:45
	22 Desember 2015	11:24	13:24
	23 Januari 2016	13:19	14:25
	26 Januari 2016	13:22	14:20
	22 Februari 2016	8:03	9:30
	24 Maret 2016	11:17	13:21
	29 Maret 2016	9:10	11:12
	1 April 2016	7:33	9:33
	21 April 2016	7:44	9:44
	28 April 2016	7:53	9:55
	16 Mei 2016	7:32	9:40
	9 Juni 2016	11:38	13:50
	23 Juni 2016	7:27	9:55
10 Agustus 2016	7:40	9:50	
19 Agustus 2016	13:41	14:25	
16 Desember 2016	14:11	14:30	
B410	5 Mei 2015	12:08	14:00
	5 Mei 2015	12:08	14:35
	7 Oktober 2015	13:01	14:22
	18 November 2015	13:58	14:26
	12 Desember 2015	9:49	11:35
	4 Februari 2016	13:30	14:19
	24 Maret 2016	11:10	13:22
	26 Maret 2016	11:10	13:15
	25 April 2016	12:49	14:01
	27 April 2016	7:50	9:44
	22 Juni 2016	7:26	9:35
	19 Agustus 2016	13:40	14:18
	23 September 2016	8:13	10:25
	3 Oktober 2016	13:56	14:21
	22 November 2016	9:00	11:00

Tabel 1.1 Data Kerusakan Mesin Tahun 2015-2016 (lanjutan...).

C603	27 Mei 2015	13:42	14:22
	13 Juni 2015	12:43	13:43
	27 Agustus 2015	12:57	13:57
	8 September 2015	14:19	14:30
	28 September 2015	9:50	11:55
	7 Oktober 2015	12:53	13:53
	21 Oktober 2015	10:43	12:43
	8 Januari 2016	13:59	14:16
	15 Januari 2016	12:04	13:21
	30 Januari 2016	13:27	14:08
	26 Februari 2016	7:31	9:25
	7 Maret 2015	11:22	13:22
	10 Maret 2016	13:00	14:11
	11 Maret 2016	11:31	13:25
	19 Maret 2016	9:15	11:15
	21 Maret 2016	8:08	10:27
	21 Maret 2016	8:26	10:56
	29 Maret 2016	8:01	10:32
	13 Mei 2016	11:35	13:22
	24 Mei 2016	11:02	13:10
	7 Juni 2016	7:48	9:50
	13 Agustus 2016	7:26	9:54
	23 Agustus 2016	12:33	13:30
	D210	8 Mei 2015	12:27
22 Mei 2015		10:29	12:22
26 Mei 2015		9:35	11:44
27 Agustus 2015		12:45	13:33
8 September 2015		14:23	14:30
8 September 2015		13:56	14:19
5 April 2016		10:34	12:34
6 April 2016		10:21	12:55
10 Mei 2016		9:32	11:27
31 Mei 2016		13:37	14:18
13 Juni 2016		7:35	9:39
12 Agustus 2016		11:04	13:00
26 Agustus 2016		12:37	13:27
1 Oktober 2016		8:49	10:21
28 Oktober 2016		13:48	14:10
9 November 2016		13:50	14:27

LAMPIRAN 2. Hasil Uji Distribusi Data TTF dan TTR Komponen Kritis

Tabel 2.1 Hasil Uji Distribusi Data *Time To Failure*.

Komponen Kritis	Distribusi (TTF)	Uji Distribusi	F_{tabel}	F_{hitung}	Hasil
<i>Side shaft</i>	Weibull	<i>Mann</i>	$F_{0.05,6,5} = 4.95$	1.20	H_0 Diterima
<i>Crank shaft</i>	Weibull	<i>Mann</i>	$F_{0.05,4,3} = 9.12$	1.33	H_0 Diterima
<i>Electric motor</i>	Lognormal	<i>Kolomogorov-Smirnov</i>	$F_{0.05,2} = 0.84$	0.49	H_0 Diterima

Tabel 2.2 Hasil Uji Distribusi Data *Time To Repair*.

Komponen Kritis	Distribusi (TTR)	Uji Distribusi	F_{tabel}	F_{hitung}	Hasil
<i>Side shaft</i>	Weibull	<i>Mann</i>	$F_{0.05,7,6} = 4.21$	1.17	H_0 Diterima
<i>Crank shaft</i>	Weibull	<i>Mann</i>	$F_{0.05,5,4} = 6.26$	1.25	H_0 Diterima
<i>Electric motor</i>	Weibull	<i>Mann</i>	$F_{0.05,3,2} = 19.16$	1.50	H_0 Diterima

LAMPIRAN 3. Hasil Perhitungan Parameter *Time To Failure* dan Parameter *Time To Repair*

Tabel 3.1 Hasil Perhitungan Parameter *Time To Failure*.

Komponen Kritis	Distribusi (TTF)	Keterangan	Parameter	
<i>Side shaft</i>	Weibull	TTF	$\alpha = 0.93$	$\beta = 350.5$
<i>Crank shaft</i>	Weibull	TTF	$\alpha = 1.89$	$\beta = 473.13$
<i>Electric motor</i>	Lognormal	TTF	$s = 0.2$	$t_{med} = 450.05$

Tabel 3.2 Hasil Perhitungan Parameter *Time To Repair*.

Komponen Kritis	Distribusi (TTR)	Keterangan	Parameter	
<i>Side shaft</i>	Weibull	TTR	$\alpha = 1.17$	$\beta = 135.57$
<i>Crank shaft</i>	Weibull	TTR	$\alpha = 5.39$	$\beta = 73.66$
<i>Electric motor</i>	Weibull	TTR	$\alpha = 4.67$	$\beta = 120.24$



LAMPIRAN 4. Hasil Perhitungan MTTF dan MTTR Komponen Kritis

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan MTTF dan MTTR.

Komponen Kritis	MTTF (jam)	MTTR (jam)
<i>Side shaft</i>	363.29	3.98
<i>Crank shaft</i>	419.94	3.97
<i>Electric motor</i>	459.05	1.66

