

No. Dok: 6849
Copy: 1

D1 621.816
Hid
P

**PENJADWALAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* PADA MESIN
SIFTER LINE MILL A DENGAN METODE *AGE REPLACEMENT*
DI PT INDOFOOD SUKSES MAKMUR TBK, DIVISI BOGASARI
*FLOUR MILLS***

TUGAS AKHIR

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

Jakarta

OLEH :

SYARIF HIDAYATULLAH

NIM. 1213003



**POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI
JAKARTA**

2018

DATA BUKU PERPUSTAKAAN	
Tgl Terima	14/10/22
No Induk Buku	913/110/SB/TA/22

SUMBANGAN ALUMNI

**POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI**

LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL LAPORAN TUGAS AKHIR :

**“PENJADWALAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* PADA
MESIN *SIFTER LINE MILL A* DENGAN METODE *AGE
REPLACEMENT* DI PT INDOFOOD SUKSES MAKMUR TBK,
DIVISI BOGASARI *FLOUR MILLS*”**

DISUSUN OLEH :

NAMA : SYARIF HIDAYATULLAH

NIM : 1213003

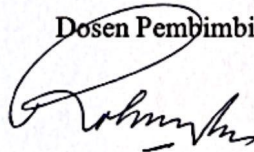
PROGRAM STUDI : D-IV TEKNIK INDUSTRI OTOMOTIF

Tugas akhir ini telah diperiksa dan disetujui untuk memenuhi salah satu persyaratan akademisi dalam Program Diploma IV Teknik Industri Otomotif di Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI

Menyetujui,

Jakarta, Agustus 2018

Dosen Pembimbing



Ir. Mohammad Rachmatullah, MBA

NIP : 195504071984031004

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL TUGAS AKHIR :

“PENJADWALAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* PADA MESIN *SIFTER LINE MILL A* DENGAN METODE *AGE REPLACEMENT* DI PT INDOFOOD SUKSES MAKMUR TBK, DIVISI BOGASARI *FLOUR MILLS*”

DISUSUN OLEH :

NAMA : SYARIF HIDAYATULLAH

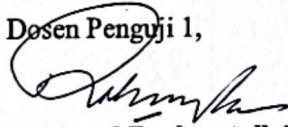
NIM : 1213003

PROGRAM STUDI : D-IV TEKNIK INDUSTRI OTOMOTIF

Telah Diuji oleh Tim Sidang Ujian Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta pada Hari Rabu Tanggal 01 September 2018.

Jakarta, September 2018

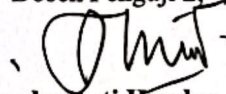
Dosen Penguji 1,



Ir. Mohammad Rachmatullah, MBA

NIP : 195504071984031004

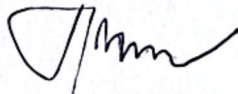
Dosen Penguji 2,



Dr. Hendrastuti Hendro, SMI, MT

NIP : 195410301989032001

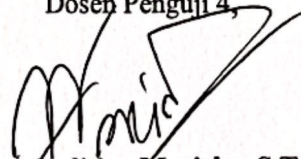
Dosen Penguji 3,



Dr. Ir. Hasan Sudrajat, MM. MH

NIP : 195804091979031002

Dosen Penguji 4,



Dewi Auditiva Marizka, S.T, M.T

NIP : 197503182001122003



LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR

Nama : Syarif Hidayatullah
 NIM : 1213003
 Judul TA : Pencadangan Maintenance pada mesin SIFTER MillA Dengan Metode AGE REPLACEMENT di PT Indofood Sukses Makmur Tbk. divisi Bogasari Jakarta
 Pembimbing : Ir. Mohammad Rachmatullah MBA
 Asisten Pembimbing : _____

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
13/11-2017	BAB I	BAB I "PENDAHULUAN" koreksi penulisan (Revisi)	
13/11-2017	BAB II	BAB II "LANDASAKI TEORI" koreksi Tentang Teori dan penulisan. (revisi)	
16/01-2018	BAB I	BAB I Perbaikan koreksi penulisan ACC.	
22/01-2018	BAB II	BAB II perbaikan koreksi ACC.	
08/2-2018	BAB III	BAB III "METODOLOGI PENELITIAN" ACC.	
17/05-2018	BAB IV	BAB IV "PENYIMPULAN DAN PENGELOHAN DATA" koreksi isi data. dan penulisan.	
25/05-2018	BAB IV		
09/08-2018	BAB IV	Koreksi isi pengolahan data.	
24/08-2018	BAB V	Koreksi analisa dan pembahasan	
24/08-2018	BAB IV	Koreksi kesimpulan dan Sara.	

Mengetahui,
Ka Prodi

Muhammad Agus. S.T.M.T
 NIP : 1970 08292002121001

Pembimbing

Ir. Mohammad Rachmatullah MBA
 NIP : 1955 04071984031004

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Syarif Hidayatullah

Nim : 1213003

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

“PENJADWALAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* PADA MESIN *SIFTER LINE MILL A* DENGAN METODE *AGE REPLACEMENT* DI PT INDOFOOD SUKSES MAKMUR TBK, DIVISI BOGASARI *FLOUR MILLS*”

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

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

Jakarta, September 2018

Yan:  an
Syarif Hidayatullah

ABSTRAK

PT Indofood Sukses Makmur, divisi Bogasari *Flour Mills* merupakan perusahaan yang memproduksi berbagai produk tepung terigu. PT Indofood Sukses Makmur, divisi Bogasari *Flour Mills* menggunakan jam kerja selama 7 jam per hari. Sistem produksi yang diterapkan adalah sistem produksi, dimana produksi yang dilakukan sesuai dengan permintaan distributor dan depo wilayah. Mesin yang ada pada PT Indofood Sukses Makmur, divisi Bogasari *Flour Mills* dipelihara dengan program *corrective maintenance*. Program pemeliharaan tersebut tidak tepat karena kerusakan mesin masih sering terjadi khususnya pada mesin *Sifter*. Mesin tersebut memiliki frekuensi kerusakan terbanyak dalam periode Januari 2016 sampai Desember 2016 jika dibandingkan dengan mesin *Sifter* lainnya, yaitu sebanyak 5 kali kerusakan komponen, diperlukan program pemeliharaan yang lebih tepat dari yang sebelumnya untuk meminimasi waktu kerusakan mesin dan meningkatkan keandalan (*reliability*) mesin. Pemeliharaan yang diusulkan adalah *preventive maintenance* dengan menggunakan model *age replacement*, yaitu komponen mesin kritis diganti dengan yang baru untuk mencegah terjadinya kerusakan. komponen *bearing* pada saat tindakan *corrective maintenance* memiliki keandalan sebesar 46,6% dan setelah dilakukannya tindakan *preventive maintenance* memiliki keandalan sebesar 91,4%. Nilai keandalan komponen *bearing* berdasarkan persentase tersebut meningkat sebesar $(91,4\% - 46,6\% = 44,8\%)$ sehingga nilai peningkatan keandalannya adalah sebesar 44,8%. Hal tersebut dikarenakan sebelum adanya kerusakan pada komponen *bearing*, pada saat *Mean Time To Failure (MTTF)*, yaitu 86.746,9 menit, pada komponen *bearing* dilakukan penggantian komponen pada saat 67.500 menit atau 47 hari kerja berdasarkan model *age replacement*, sehingga pada saat MTTF tersebut yang seharusnya komponen telah rusak dan hanya memiliki keandalan 46,6% tidak mengalami kerusakan, dan keandalan dapat dipertahankan pada nilai 91,4%. Komponen mesin kritis untuk mesin *Sifter* adalah *bearing*. Komponen *bearing* memiliki interval penjadwalan penggantian komponen selama 67.500 menit, atau 47 hari sekali.

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

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirobilalamin, Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahuwataalla yang telah memberikan berkah dan rahmatnya, sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan Tugas Akhir (TA) ini dengan judul **“PENJADWALAN MAINTENANCE PADA MESIN SIFTER MILL A DENGAN METODE AGE REPLACEMENT DI PT INDOFOOD SUKSES MAKMUR TBK, DIVISI BOGASARI FLOUR MILLS”**. Penulisan laporan Tugas Akhir ini merupakan pemenuhan salah satu persyaratan akademisi untuk menyelesaikan Program Studi D-IV Teknik Industri Otomotif di Politeknik STMI Jakarta d.h. Sekolah Tinggi Manajemen Industri (STMI) Kementerian Perindustrian RI.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Terutama untuk orang tua saya Ibu Tuti Alawiyah yang selalu memberikan dukungan dan kasih sayang yang tiada terhingga, saudara Siswo, saudari Halimah, Karimah Pratiwi, dan Fitri Yulia yang selalu mendukung penulis dalam setiap suasana. Ucapan terima kasih penulis sampaikan juga kepada :

1. Bapak Dr. Mustofa, S.T, M.T selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta
2. Bapak Ridzky Kramanandita, S.Kom, M.T selaku Pembantu Direktur 1 Politeknik STMI Jakarta.
3. Bapak Muhamad Agus, S.T, M.T selaku ketua jurusan Teknik Industri Otomotif.
4. Bapak Ir. Suriadi A.S., M.Com selaku dosen akademik di Politeknik STMI Jakarta yang telah memberikan ilmu-ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
5. Bapak Ir. Mohammad Rahmatullah, M.BA. selaku dosen pembimbing tugas akhir, yang telah membimbing saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

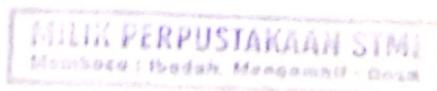
6. Bapak Reza, yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian di PT Indofood Sukses Makmur Tbk, Divisi Bogasari *Flour Mills*.
7. Bapak Roso, Bapak Nipar, selaku formen dan teknisi *maintenance mills* yang selalu memberikan pengetahuan tentang mesin *mills* dan ilmu perawatan mesin produksi.
8. Seluruh karyawan *Maintenance Mills dan Engineering & Technology* bagian perawatan dan inspeksi serta lubrikasi yang telah bersedia menjawab pertanyaan-pertanyaan penulis dan semua ilmu yang diberikan di PT Indofood Sukses Makmur Tbk, Divisi Bogasari *Flour Mills*.
9. Teman-teman Politeknik STMI Jakarta yang selalu memberikan semangat yang tidak pernah berhenti.

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

Jakarta, September 2018

Penulis

DAFTAR ISI



Halaman

Halaman Judul	
Lembar Persetujuan Dosen Pembimbing	
Lembar Bimbingan Tugas Akhir	
Lembar Pernyataan Keaslian	
Lembar Pengesahan Sidang	
Abstrak	
Kata Pengantar	i
Daftar Isi.....	ii
Daftar Tabel	vii
Daftar Gambar.....	x
Daftar Lampiran.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Pembatasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. Pemeliharaan (<i>Maintenance</i>).....	6
2.1.1. Definisi Pemeliharaan (<i>Maintenance</i>)	6
2.1.2. Tujuan Pemeliharaan	6
2.1.3. Kegiatan-Kegiatan Pemeliharaan	7
2.1.4. Jenis Pemeliharaan.....	9
2.1.5. <i>Preventive Maintenance</i>	11
2.2. Pengertian <i>Downtime</i>	14
2.3. Ketersediaan (<i>Availability</i>).....	17

2.4. Keandalan (<i>Reliability</i>).....	17
2.4.1. Definisi Keandalan (<i>Reliability</i>).....	17
2.4.2. Fungsi Keandalan (<i>Reliability Function</i>).....	20
2.5. Keterawatan (<i>Maintainability</i>)	20
2.5.1. <i>Mean Time To Failure (MTTF)</i>	20
2.5.2. <i>Mean Time To Repair (MTTR)</i>	21
2.6. Kerusakan	21
2.6.1. Karakteristik Kerusakan	21
2.6.2. Distribusi–Distribusi Kerusakan.....	23
2.6.3. Identifikasi Distribusi dan Perhitungan Parameter Distribusi	30
2.7. Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Optimal Dengan Minimasi <i>Downtime</i>	35
2.7.1. <i>Age Replacement</i>	35
2.8. Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Tanpa dan Dengan Tindakan <i>Preventive Maintenance</i>	37

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Studi Pendahuluan.....	43
3.2. Perumusan Masalah.....	44
3.3. Tujuan Penelitian dan Pembatasan Masalah	45
3.4. Landasan Teori	45
3.5. Pengumpulan Data.....	45
3.6. Pengolahan Data	46
3.7. Analisis dan Pembahasan	48
3.8. Kesimpulan dan Saran.....	48

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan Data.....	49
4.1.1. Sejarah Perusahaan	49
4.1.2. Visi, Misi, dan Motto Perusahaan.....	52
4.1.3. Struktur Organisasi Perusahaan.....	53

4.1.4. Tenaga Kerja dan Uraian Pekerjaan	54
4.1.5. Jam Kerja	57
4.1.6. Program Perawatan	58
4.1.7. Jenis Produk	59
4.1.8. Bahan Baku	59
4.1.9. Proses Produksi	61
4.1.9.1. Mesin <i>Sifter</i>	62
4.1.9.2. Proses Penggantian Komponen <i>Bearing</i> Mesin <i>Sifter</i>	63
4.1.9.3. Ketersediaan Komponen <i>Bearing Sifter</i>	64
4.1.9.4. Data <i>Equipment Failure</i> Mesin <i>Line Mill A</i>	65
4.2. Pengolahan Data	65
4.2.1. Menentukan Komponen Mesin yang Sering Rusak	66
4.2.2. Perhitungan Selang Waktu Antar Kerusakan dan Perbaikan (TTF) dan (TTR) <i>Bearing Sifter</i>	67
4.2.3. Perhitungan Index of Fit (IOF) TTF dan TTR Komponen <i>Bearing Sifter</i>	69
4.2.4. Pengujian Keselarasan Distribusi (<i>Goodness Of Fit</i>) TTF dan TTR Komponen <i>Bearing</i>	79
4.2.5. Perhitungan Estimasi Parameter Distribusi Terpilih	82
4.2.6. Perhitungan MTTF dan MTTR	83
4.2.7. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Kritis dengan Metode <i>Age Replacement</i>	85
4.2.8. Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Tanpa dan Dengan Adanya <i>Preventive Maintenance</i>	88

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis Penentuan Komponen Mesin yang Sering Rusak	93
5.2. Analisis Perhitungan Selang Waktu Antar Kerusakan komponen Kritis yang Sering Rusak	93
5.3. Analisis Perhitungan Index Of Fit (IOF) TTF dan TTR Komponen <i>Bearing Sifter</i>	94

5.4. Analisis Pengujian Keselarasan Distribusi Terpilih TTF dan TTR Komponen <i>Bearing</i>	95
5.5. Analisis Estimasi Parameter Distribusi Terpilih	96
5.6. Analisis Perhitungan (MTTF) dan (MTTR).....	96
5.7. Analisis Waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Bearing</i> Dengan Metode <i>Age Replacement</i>	97
5.8. Analisis Perhitungan Keandalan (Reliability) Tanpa dan Dengan Adanya <i>Preventive Maintenance</i>	97
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan.....	99
6.2. Saran	100

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel II.1.	Parameter β (<i>Shape</i>) dalam Distribusi Weibull.....	26
Tabel II.2.	Tabel Perbandingan Distribusi-Distribusi Kerusakan	29
Tabel II.3.	Tabel Perbandingan Perhitungan <i>Index Of Fit</i>	33
Tabel II.4.	Tabel Perbandingan Perhitungan Parameter Distribusi Kerusakan	35
Tabel II.5.	Tabel Perbandingan Perhitungan <i>Reliability</i> Distribusi Tanpa Dan Dengan Adanya Penggantian Pencegahan	41
Tabel III.1.	<i>State Of The Art</i>	45
Tabel IV.1.	Frekuensi Kerusakan Mesin <i>Flour Mill A</i>	66
Tabel IV.2.	Data Kerusakan Komponen Mesin <i>Sifter</i>	67
Tabel IV.3.	Penentuan Komponen Mesin Kritis <i>Sifter</i>	67
Tabel IV.4.	Data Perhitungan (TTF dan TTR) Komponen <i>Bearing Sifter</i>	69
Tabel IV.5.	Perhitungan IOF Distribusi Weibull (TTF) <i>Bearing Sifter</i>	70
Tabel IV.6.	Perhitungan IOF Distribusi Weibull (TTR) <i>Bearing Sifter</i>	71
Tabel IV.7.	Perhitungan IoF Distribusi Normal TTF Komponen <i>Bearing Sifter</i>	72
Tabel IV.8.	Perhitungan IoF Distribusi Normal TTR Komponen <i>Bearing Sifter</i>	73
Tabel IV.9.	Perhitungan IoF Distribusi Lognormal TTF Komponen <i>Bearing Sifter</i>	74
Tabel IV.10.	Perhitungan IoF Distribusi Lognormal TTR Komponen <i>Bearing Sifter</i>	75
Tabel IV.11.	Perhitungan <i>index of fit</i> (IoF) Distribusi Eksponensial TTF Komponen <i>Bearing Sifter</i>	76
Tabel IV.12.	Perhitungan <i>index of fit</i> (IoF) Distribusi Eksponensial TTR Komponen <i>Bearing Sifter</i>	78
Tabel IV.13.	Nilai <i>index of fit</i> (IoF) Komponen <i>Bearing Sifter</i>	79
Tabel IV.14.	Perhitungan untuk <i>Kolmogorov-Smirnov Test</i> (TTF).....	80

Tabel IV.15. Perhitungan untuk <i>Kolmogorov-Smirnov Test</i> (TTR)	81
Tabel IV.16. Perhitungan MLE TTF Komponen <i>Bearing Sifter</i>	83
Tabel IV.17. Perhitungan MLE TTR Komponen <i>Bearing Sifter</i>	84
Tabel IV.18. Parameter Perhitungan MTTR dan MTTF Komponen <i>Bearing</i> .	84
Tabel IV.19. Laju Kerusakan Komponen <i>Bearing</i>	85
Tabel IV.20. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen <i>Bearing</i>	87
Tabel IV.21. Rekapitulasi Perhitungan Interval Waktu Penggantian	89
Tabel IV.22. Simulasi Perhitungan Tingkat Keandalan Komponen <i>Bearing</i> Tanpa dan Dengan Adanya <i>Preventive Maintenance</i>	90
Tabel IV.23. Rekapitulasi Perhitungan Keandalan Tanpa dan Dengan Adanya <i>Preventive Maintenance</i>	93
Tabel V.1. Data Kerusakan Komponen Mesin <i>Sifter</i>	94
Tabel V.2. Penentuan Komponen Mesin Kritis <i>Sifter</i>	95
Tabel V.3. Data Perhitungan <i>Time To Failure</i> (TTF) Komponen <i>BearingSifter</i>	96
Tabel V.4. Nilai <i>index of fit</i> (IoF) Komponen <i>Bearing Sifter</i>	97
Tabel V.5. Parameter Perhitungan MTTR dan MTTF Komponen <i>Bearing</i> .	98
Tabel V.6. Parameter Perhitungan MTTR dan MTTF Komponen <i>Bearing</i> .	99
Tabel V.7. Rekapitulasi Perhitungan Keandalan Tanpa dan Dengan Adanya <i>Preventive Maintenance</i>	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Hubungan Antara Berbagai Bentuk Pemeliharaan	9
Gambar II.2.	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> Berdasarkan <i>Six Big Losses</i>	16
Gambar II.3.	Diagram Hubungan Antara Keandalan (<i>Reliability</i>) dengan Perawatan (<i>Maintenance</i>).....	19
Gambar II.4	<i>The Bathtub Curve</i>	22
Gambar II.5.	Model Penggantian Umur (<i>Age Replacement</i>).....	37
Gambar III.1.	Diagram Alir Penelitian	42
Gambar IV.1.	Struktur Organisasi PT ISM Bogasari <i>Flour Mills</i> .Tbk.....	54
Gambar IV.2.	Struktur Organisasi Departemen <i>Maintenance</i> PT ISM Bogasari <i>Flour Mills</i> .Tbk.....	57
Gambar IV.3.	Produk yang dihasilkan PT. ISM Bogasari <i>Flour Mills</i> .Tbk .	60
Gambar IV.4.	Bahan Baku, PT ISM Bogasari <i>Flour Mills</i> , Tbk	61
Gambar IV.5.	Proses Produksi Tepung Terigu Secara Garis Besar PT ISM Bogasari <i>Flour Mills</i> Tbk.....	62
Gambar IV.6.	Mesin <i>Sifter</i> <i>Ocrim Mill A</i> , PT ISM Bogasari <i>Flour Mills</i> ,Tbk.....	63
Gambar IV.7.	Komponen <i>Bearing</i> Mesin <i>Sifter</i> yang Sering Rusak	65
Gambar V.1.	Komponen <i>Bearing Sifter</i>	95

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Data Kerusakan Komponen Kritis
Lampiran B	Prosedur Pemeliharaan (<i>Maintenance</i>)
Lampiran C	Tabel-Tabel yang Digunakan
Lampiran D	Perhitungan <i>Index Of Fit</i> , <i>Age Replacement</i> , dan Keandalan Komponen <i>Bearing Sifter</i>

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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

PT Indofood Sukses Makmur Tbk, divisi Bogasari *Flour Mills* merupakan perusahaan industri makanan yang bergerak dalam pembuatan produk tepung terigu. Produk yang dibuat merupakan produk yang dipesan oleh konsumen sehingga harus sesuai dengan spesifikasi dan standar yang telah ditetapkan. Produk tersebut akan melalui serangkaian proses dalam rantai produksi, dimana salah satu prosesnya melewati mesin *Sifter*. Mesin *Sifter* merupakan mesin ayak yang digunakan untuk proses mengayak pada penggilingan tepung terigu.

Pemeliharaan yang diterapkan pada PT Indofood Sukses Makmur Tbk, divisi Bogasari *Flour Mills* adalah pemeliharaan perbaikan (*corrective maintenance*). Pemeliharaan perbaikan merupakan kegiatan perbaikan mesin setelah mesin mengalami kegagalan dan terhenti. Tidak tepatnya program pemeliharaan yang diterapkan tersebut mengakibatkan mesin *Sifter* pada PT Indofood Sukses Makmur Tbk, divisi Bogasari *Flour Mills* mempunyai banyak waktu kegagalan mesin. Kegagalan tersebut diakibatkan oleh komponen yang mengalami kerusakan. Untuk memperbaikinya membutuhkan waktu, dan hal inilah yang merugikan perusahaan

karena proses produksi menjadi terhenti dalam waktu yang lama, kegagalan ini juga mengakibatkan rendahnya nilai keandalan dari mesin *Sifter*.

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

1.2. Perumusan Masalah

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

1. Komponen mesin *Sifter* apa yang merupakan komponen yang sering rusak pada mesin *Sifter* di PT Indofood Sukses Makmur Tbk, divisi Bogasari *Flour Mills* ?
2. Bagaimana penjadwalan penggantian komponen mesin dengan metode *age replacement* ?
3. Berapa nilai keandalan mesin *Sifter* sebelum dan sesudah adanya penjadwalan *preventive maintenance* ?

1.3. Tujuan Penelitian

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

1. Menentukan komponen mesin *Sifter* yang sering rusak dari mesin *Sifter* pada PT Indofood Sukses Makmur Tbk, divisi Bogasari *Flour Mills*.
2. Membuat penjadwalan penggantian komponen mesin *Sifter* dengan metode *age replacement*.
3. Membuat perhitungan keandalan mesin *Sifter* sebelum dan sesudah adanya penjadwalan *preventive maintenance*.

1.4. Pembatasan Masalah

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

1. Penelitian dilaksanakan di PT Indofood Sukses Makmur Tbk, divisi Bogasari *Flour Mills*.
2. Penentuan kelompok mesin yang sering rusak berdasarkan wawancara dan diskusi dengan bagian *maintenance*.
3. Kelompok mesin yang menjadi fokus utama pada penelitian ini adalah kelompok mesin *Sifter*.
4. Penelitian ini menggunakan data kerusakan komponen pada mesin *Sifter* selama periode Januari 2016 - Desember 2016.
5. Material, biaya, dan kebutuhan tenaga kerja tidak diperhitungkan.
6. Fokus pada penjadwalan penggantian komponen yang sering rusak.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

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

1.6. Sistematika Penulisan

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

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : LANDASAN TEORI

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

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Dalam bab ini diuraikan mengenai pengumpulan yang berisi tentang sejarah perusahaan, visi dan misi perusahaan, jam kerja perusahaan, hingga

struktur organisasi perusahaan serta data *equipment failure* mesin *Sifter*. Pengolahan data berisikan mengenai penentuan mesin *Sifter*, perhitungan *time to failure* dan *time to repair*, perhitungan nilai *index of fit*, pengujian *goodness of fit*, perhitungan nilai *mean time to failure* dan *mean time to repair*. Selanjutnya nilai tersebut diolah dengan metode *age replacement*, dan dihitung tingkat keandalannya.

BAB V : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

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

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Pemeliharaan (*Maintenance*)

Perawatan atau pemeliharaan (*maintenance*) adalah konsep dari semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas fasilitas/ mesin agar dapat berfungsi dengan baik seperti kondisi awalnya.

2.1.1. Definisi Pemeliharaan (*Maintenance*)

Menurut Assauri (2004), pemeliharaan (*maintenance*) dapat diartikan sebagai kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Jadi dengan adanya kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) ini, maka fasilitas peralatan pabrik dapat dipergunakan untuk produksi sesuai dengan rencana, dan tidak mengalami kerusakan selama fasilitas peralatan tersebut dipergunakan untuk proses produksi atau sebelum jangka waktu tertentu yang direncanakan tercapai.

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

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

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

2.1.2. Tujuan Pemeliharaan

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

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

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

1. Untuk memperpanjang usia penggunaan aset yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan, dan isinya.
2. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi dan mendapatkan laba investasi yang maksimum.
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran dan penyelamatan, dan lain sebagainya.
4. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

2.1.3. Kegiatan-Kegiatan Pemeliharaan

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

1. Inspeksi (*Inspection*)

Kegiatan inspeksi meliputi kegiatan pengecekan atau pemeriksaan secara berkala bangunan dan peralatan pabrik sesuai dengan rencana serta kegiatan pengecekan atau pemeriksaan terhadap peralatan yang mengalami kerusakan dan membuat laporan dari hasil pengecekan atau pemeriksaan tersebut. Maksud kegiatan inspeksi ini adalah untuk mengetahui apakah perusahaan pabrik selalu mempunyai peralatan fasilitas produksi yang baik untuk menjamin kelancaran proses produksi. Jika seandainya terdapat kerusakan maka dapat segera diadakan perbaikan yang diperlukan sesuai dengan laporan hasil inspeksi, dan berusaha untuk mencegah penyebab timbulnya kerusakan dengan melihat penyebab kerusakan yang

diperoleh dari hasil inspeksi. Oleh karena itu hasil laporan inspeksi haruslah memuat:

- a) Keadaan peralatan yang di inspeksi.
- b) Penyebab terjadinya kerusakan bila ada.
- c) Usaha penyesuaian atau perbaikan kecil yang telah dilakukan.
- d) Saran atau usul perbaikan/penggantian yang diperlukan.

2. Kegiatan Teknik (*Engineering*)

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

3. Kegiatan Produksi (*Production*)

Kegiatan produksi ini merupakan kegiatan pemeliharaan yang sebenarnya, yaitu memperbaiki dan mereparasi mesin dan peralatan. Secara fisik, melaksanakan pekerjaan yang disarankan dalam kegiatan inspeksi dan teknik, serta melaksanakan kegiatan lubrikasi. Kegiatan produksi ini dimaksudkan agar kegiatan pengolahan pabrik dapat berjalan lancar sesuai dengan rencana, sehingga diperlukan usaha perbaikan dengan segera jika terdapat kerusakan pada peralatan.

4. Pekerjaan Administrasi (*Clerical Work*)

Pekerjaan administrasi merupakan kegiatan yang berhubungan dengan pencatatan mengenai biaya yang terjadi dalam melakukan pekerjaan pemeliharaan dan biaya yang berhubungan dengan kegiatan pemeliharaan, komponen atau *spare parts* yang dibutuhkan, *progress report* tentang apa yang telah dikerjakan, waktu

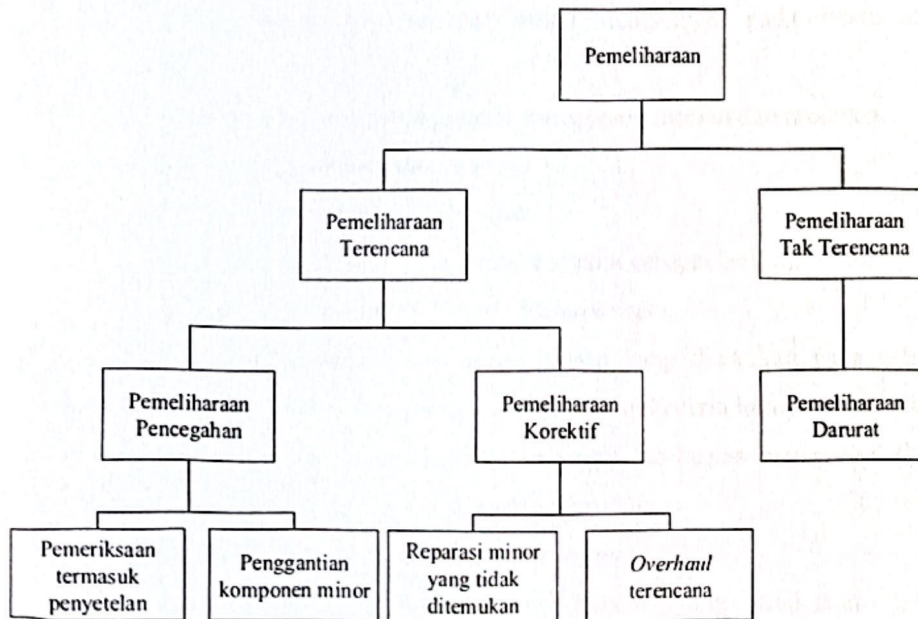
dilakukannya inspeksi dan perbaikan, serta lamanya perbaikan tersebut, dan komponen atau *spare parts* yang tersedia di bagian pemeliharaan. Jadi dalam kegiatan pencatatan ini termasuk penyusunan *planning* dan *scheduling*, yaitu rencana kapan suatu mesin harus diperiksa, dilumasi, *diservice* dan direparasi.

5. Pemeliharaan Bangunan (*Housekeeping*)

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

2.1.4. Jenis Pemeliharaan

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



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

1. Pemeliharaan Terencana (*Planned Maintenance*)

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

Keuntungan dilakukan *planned maintenance* antara lain:

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

Pemeliharaan terencana terdiri dari tiga macam, yaitu sebagai berikut:

1) Pemeliharaan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Preventive maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan pada selang waktu yang ditentukan sebelumnya, atau terhadap kriteria lain yang diuraikan dan dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan bagian-bagian lain tidak memenuhi kondisi yang bisa diterima (Corder, 1996).

2) Pemeliharaan Perbaikan (*Corrective Maintenance*)

Corrective maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian (termasuk penyetelan dan reparasi) yang telah terhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima (Corder, 1996).

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

3) *Predictive Maintenance*

Predictive Maintenance adalah pemeliharaan pencegahan yang diarahkan untuk mencegah kegagalan (*failure*) suatu sarana, dan dilaksanakan dengan memeriksa mesin-mesin tersebut pada selang waktu yang teratur dan ditentukan sebelumnya, pelaksanaan tingkat reparasi selanjutnya tergantung pada apa yang ditemukan selama pemeriksaan.

2. Pemeliharaan Tak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

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

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

2.1.5. *Preventive Maintenance*

Menurut Stephens (2004), *preventive maintenance* dapat didefinisikan sebagai kegiatan pemeliharaan yang telah ditetapkan dan terjadwal yang didesain untuk mengurangi kerusakan peralatan atau mesin, meningkatkan keandalan peralatan atau mesin, dan memperbaiki produktivitas. Keuntungan dari *preventive maintenance* termasuk peningkatan umur pemanfaatan peralatan, mengurangi pemberhentian

produksi dan keterlambatan mesin, lebih tepat dalam jadwal pengiriman, dan meningkatkan semangat kerja karyawan.

Menurut Ebeling (1997), *preventive maintenance* merupakan pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal, umumnya secara periodik, dimana sejumlah tugas pemeliharaan seperti inspeksi, perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan dan penyesuaian dilaksanakan. Tindakan perawatan pencegahan dilakukan untuk menghindari kerusakan pada suatu peralatan atau sistem.

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

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

1. Jenis *Preventive Maintenance*

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

a. *Routine Preventive Maintenance*

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

1) *Cleaning* (Pembersihan)

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

2) *Inspection* (Inspeksi)

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

3) *Lubrication* (Pelumasan)

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

4) Kegiatan pemeliharaan rutin lainnya

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

b. *Major Preventive Maintenance*

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

2. Keuntungan *Preventive Maintenance*

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

- a) Biaya pemeliharaan minimum.
- b) Pemeliharaan dapat dilakukan pada saat yang tepat.
- c) Pengurangan *downtime*.

- d) Persediaan *spare part* minimum.
- e) Lebih sedikitnya gangguan dari pemeliharaan darurat.
- f) Lebih sedikitnya peralatan atau mesin yang harus *standby*.
- g) Pengurangan jam lembur.
- h) Meningkatkan keselamatan kerja.
- i) Mengurangi polusi.

2.2 Pengertian *Downtime*

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

1. *Supply delay*

Yaitu waktu yang dibutuhkan oleh personil *maintenance* untuk memperoleh komponen atau *sparepart* yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses perbaikan.

2. *Maintenance delay*

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

3. *Access time*

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

4. *Diagnosis time*

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

5. *Repair or replacement time*

Yaitu waktu aktual yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pemulihan serta permasalahan dapat diidentifikasi dan akses ke komponen yang rusak dapat dicapai.

6. *Verification and alignment time*

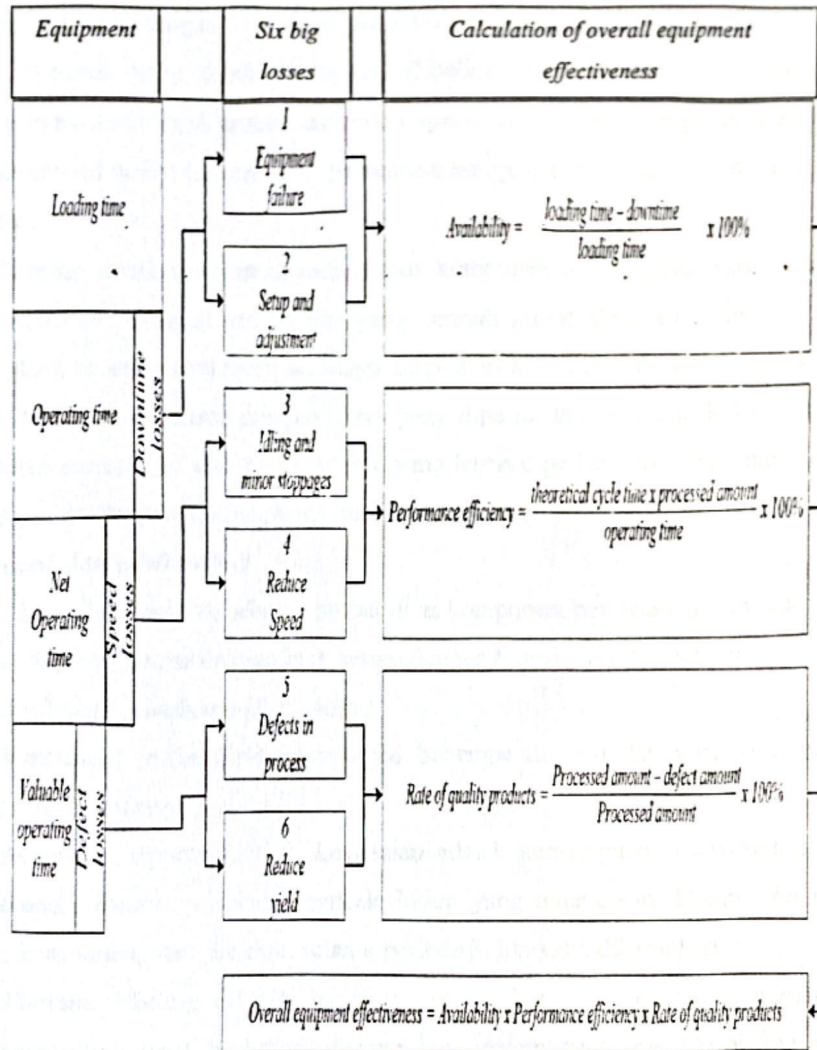
Yaitu waktu yang dibutuhkan untuk memastikan bahwa unit telah kembali pada kondisi operasi semula.

7. *Repair time*

Merupakan suatu waktu yang termasuk dalam *downtime*, akan tetapi hanya mulai dari *access time* sampai dengan *verification and alignment time*.

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

Gambar II.2. pada *downtime* terdapat dua kerugian, yaitu *equipment failure* dan *setup and adjustment*.



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

2.3 Ketersediaan (*Availability*)

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

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

2.4 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan adalah sebagai probabilitas komponen, peralatan, mesin, atau sistem tetap beroperasi dengan baik sesuai dengan fungsi yang diharapkan.

2.4.1. Definisi Keandalan (*Reliability*)

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

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

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

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

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

1. Pemodelan keandalan

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

2. Optimisasi dan analisis keandalan

Analisis keandalan dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu:

a. Kualitatif (kesuksesan operasi atau kinerja dan ketiadaan kerusakan).

Bertujuan untuk memverifikasi berbagai mode kerusakan dan yang menyebabkan kontribusi terhadap ketidakandalan peralatan.

b. Kuantitatif (*reliability modelling*). Menggunakan data kerusakan bersama dengan model matematik yang sesuai untuk mengevaluasi keandalan peralatan.

3. Rekayasa keandalan

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

4. Ilmu keandalan

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

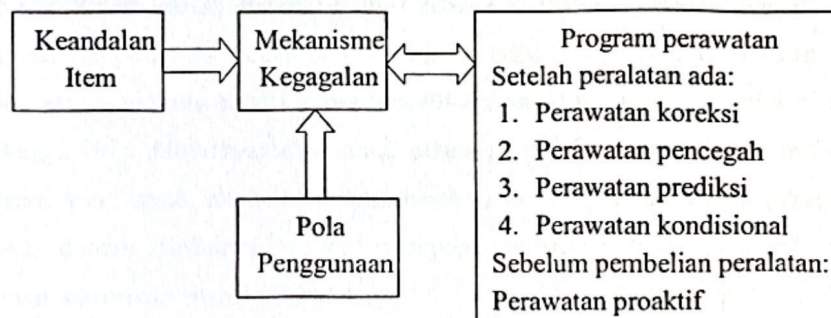
5. Teknologi keandalan

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

6. Manajemen keandalan

Manajemen keandalan menguraikan berbagai isu manajemen dalam konteks mengelola desain, pembuatan, dan atau operasi peralatan yang mampu diandalkan. Penekanannya adalah sudut pandang bisnis, karena ketidakandalan dapat memiliki konsekuensi negatif pada keseluruhan kinerja bisnis (atau risiko pembongkaran).

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



Gambar II.3. Diagram Hubungan Antara Keandalan (*Reliability*) dengan Perawatan (*Maintenance*)

(Sumber: Ansori, 2013)

2.4.2. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

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

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

Dimana x adalah variabel acak yang menyatakan waktu kegagalan dan $F(t)$ menggambarkan kemungkinan sistem rusak setelah beroperasi selama t satuan waktu atau disebut juga distribusi kerusakan sistem. $F(t)$ disebut juga sebagai fungsi ketidakandalan, dan $R(t)$ adalah fungsi keandalan. Secara matematis, keandalan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - F(t) \dots \dots \dots (2.1) \\ &= 1 - P(x \leq t) \end{aligned}$$

2.5. Keterawatan (*Maintainability*)

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

2.5.1. Mean Time To Failure (MTTF)

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

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

2.5.2. Mean Time To Repair (MTTR)

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

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

Dimana λ = laju perbaikan

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

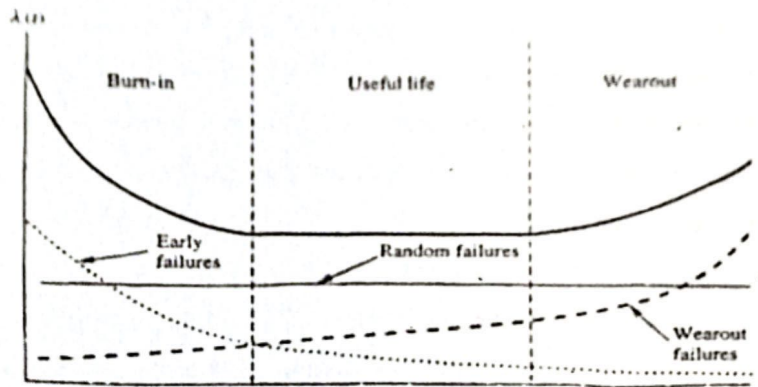
Dimana: t_{med} adalah nilai tengah waktu perbaikan s adalah standar deviasi.

2.6 Kerusakan

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

2.6.1. Karakteristik Kerusakan

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



Gambar II.4. *The Bathtub Curve*

(Sumber: Ebeling, 1997)

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

1. Kerusakan Awal (*Early Failures*)

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

2. Kerusakan Acak (*Random Failures*)

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

3. Keausan (*Wearout Failures*)

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

2.6.2. Distribusi-Distribusi Kerusakan

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

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

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

- a) Fungsi kepadatan probabilitas/ *Probability Density Function (PDF)* merupakan probabilitas terjadinya kerusakan pada setiap satuan waktu.

- b) Fungsi distribusi kumulatif/ *Cummulative Distribution Function (CDF)* merupakan probabilitas terjadinya kerusakan.
- c) Fungsi keandalan (*reliability function*) merupakan probabilitas suatu alat/ komponen dapat berfungsi.
- d) Fungsi laju kerusakan (*hazard rate function*) merupakan gambaran laju kerusakan dalam selang waktu tertentu.

1. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial memiliki laju kerusakan yang tetap terhadap waktu. Atau dengan kata lain, bahwa probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Kerusakan yang terjadi secara acak biasanya akan mengikuti distribusi ini. Distribusi ini merupakan distribusi termudah untuk menganalisa kerusakan secara statistik (Ebeling, 1997).

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

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

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

Dimana $t > 0, \lambda > 0$

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

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

- c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan probabilitas distribusi yang paling berguna dalam perhitungan keandalan. Distribusi ini banyak digunakan dalam analisa keandalan terutama untuk menghitung umur komponen karena kemampuannya dapat mencakup ketiga fase kerusakan yang mungkin terjadi pada distribusi kerusakan mesin. Distribusi Weibull banyak digunakan dalam bentuk dua parameter, yaitu

θ = parameter skala (*scale*), parameter ini menggambarkan sebaran data pada distribusi Weibull.

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

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

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

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

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

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

c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

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

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

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

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

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

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

f. Variansi (*variance*)

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

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

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

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

(Sumber: Ebeling, 1997)

3. Distribusi Normal

Distribusi normal telah sukses diterapkan untuk memodelkan fenomena keausan dan kelelahan. Karena hubungannya dengan distribusi lognormal, distribusi normal juga digunakan untuk menganalisa probabilitas lognormal. distribusi normal mempunyai tempat yang istimewa diantara semua distribusi kontinyu karena banyak

masalah yang kompleks dapat dibuat model dengan distribusi ini. Bentuk distribusi normal menyerupai lonceng sehingga memiliki nilai simetris terhadap nilai rata-rata dengan dua parameter pembentuk, yaitu μ (nilai tengah) dan σ (standar deviasi).

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

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

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

Dimana $-\infty < t < \infty$

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

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

c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

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

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

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

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

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

4. Distribusi Lognormal

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

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

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

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

Dimana $t \geq 0$

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

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

c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

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

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

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

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

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

f. Variansi (*variance*)

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

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

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

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

(Sumber: Ebeling, 1997)

2.6.3. Identifikasi Distribusi dan Perhitungan Parameter Distribusi

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

1. Identifikasi Distribusi

Identifikasi awal dilakukan dengan metode *least-squares curve fitting*. Dalam mengidentifikasi kerusakan atau perbaikan suatu komponen digunakan *index of fit (r)* yang merupakan ukuran hubungan linear antar peubah x dan y dengan *curve fitting distribution* yang terpilih (dengan *index of fit* terbesar).

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

$y = a + bx$ dimana :

a = menyatakan intersepsi atau perpotongan dengan sumbu tegak.

b = kemiringan atau gradiennya, yang dinyatakan sebagai berikut:

Untuk distribusi eksponensial

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

Sedangkan, untuk distribusi Weibull, normal dan lognormal

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

dimana : (n) adalah jumlah kerusakan yang terjadi

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

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

Dimana : i = data waktu ke- t

n = jumlah kerusakan yang terjadi untuk data kerusakan

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

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

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

a. Distribusi Eksponensial

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

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

t_i = data waktu kerusakan ke- i

b. Distribusi Weibull

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

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

t_i = data waktu kerusakan ke- i

c. Distribusi Normal

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

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

t_i = data waktu kerusakan ke- i

d. Distribusi Lognormal

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

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

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

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

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

(Sumber: Ebeling, 1997)

2. Metode *Maximum Likelihood Estimator (MLE)*

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

a. Distribusi Eksponensial

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

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

Dimana:

r = jumlah kerusakan

λ = nilai rata-rata parameter kerusakan

T = waktu

b. Distribusi Weibull

Untuk distribusi weibull, perhitungan estimasi parameter bentuk (β) dengan MLE diperoleh dengan menggunakan formula sebagai berikut:

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

Nilai dugaan parameter bagi β diperoleh melalui pendekatan iterasi metode Newton-Raphson. Rumus pada halaman selanjutnya dibutuhkan untuk mendapatkan estimasi parameter β .

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

Dimana:

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

Perhitungan estimasi awal untuk parameter bentuk (β) dapat diperoleh dari metode *least-squares curve fitting* distribusi Weibull. Selanjutnya perhitungan estimasi parameter skala (θ) dengan MLE diperoleh dengan menggunakan formula sebagai berikut:

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

c. Distribusi Normal

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

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

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

d. Distribusi Lognormal

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

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

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

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

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

Tabel II.4. Tabel Perbandingan Perhitungan Parameter Distribusi Kerusakan

Parameter Distribusi		
Distribusi Eksponensial	Distribusi Normal	Distribusi Lognormal
$\hat{\lambda} = \frac{r}{T}$	$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$ $\hat{\sigma}^2 = \frac{(n-1)\hat{s}^2}{n}$	$\hat{t}_{med} = e^{\hat{\mu}}$ $\hat{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \hat{\mu})^2}{n}}$
Parameter Distribusi Distribusi Weibull		
$g(\beta) = \frac{\sum_{i=1}^r t_i^\beta \ln t_i}{\sum_{i=1}^r t_i^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \ln t_i = 0$		
$\hat{\theta} = \left\{ \frac{1}{r} \left[\sum_{i=1}^r t_i^\beta \right] \right\}^{1/\beta}$		

(Sumber: Ebeling, 1997)

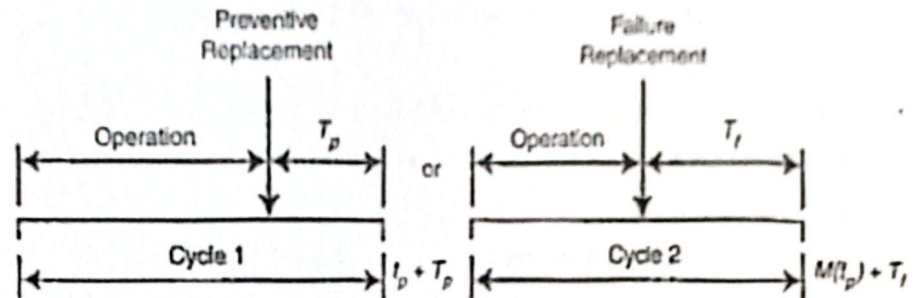
2.7. Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Optimal dengan Minimasi *Downtime*

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

2.7.1. *Age Replacement*

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

1. Siklus pertama ditentukan oleh komponen yang telah mencapai umur penggantian (t_p) sesuai dengan yang telah direncanakan atau siklus pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian pencegahan (*preventive replacement*).
2. Siklus kedua ditentukan oleh komponen yang telah mengalami kerusakan sebelum mencapai waktu penggantian yang telah ditetapkan sebelumnya atau siklus kerusakan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian kerusakan (*failure replacement*).



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

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

Total ekspektasi *downtime* per siklus

$$D(t_p) \text{ ----- (2.57)}$$

Ekspektasi panjang siklus

Total ekspektasi *downtime* per siklus

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

Ekspektasi panjang siklus (EPS)

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

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

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

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

Dimana:

T_f = Waktu untuk melakukan perbaikan karena kerusakan komponen.

T_p = Waktu untuk melakukan penggantian pencegahan.

t_p = Panjang interval waktu antara tindakan pencegahan.

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

$t_p + T_p$ = Panjang siklus pencegahan

$M(t_p)$ = ekspektasi panjang siklus kerusakan

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

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

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

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

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

Sehingga didapatkan persamaan secara umum sebagai berikut:

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

Untuk

$$nT \leq (n+1)T$$

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

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

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

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

Berikut ini terdapat model keandalan untuk masing-masing distribusi:

1. Distribusi Eksponensial

a. Tanpa tindakan pencegahan:

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

Disini tidak dibutuhkan pergantian pencegahan karena laju kerusakannya konstan.

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

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

$$Rm(t) = (e^{-\lambda nt})e^{-\lambda t}e^{\lambda nt} = e^{-\lambda t} = R(t) \dots\dots\dots (2.62)$$

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

Keterangan:

- t = waktu dilakukan perhitungan keandalan
- n = frekuensi perawatan pencegahan yang dilakukan
- T = tp = interval waktu penggantian pencegahan kerusakan atau MTTF
- Rm(t) = keandalan (*reliability*) dari sistem dengan perawatan pencegahan
- R(t) = keandalan sistem tanpa perawatan pencegahan
- R(T) = peluang dari keandalan hingga perawatan pencegahan pertama
- R(t-nT) = probabilitas keandalan untuk waktu t-nT perawatan *preventive* terakhir.

2. Distribusi Weibull

a. Tanpa tindakan pencegahan:

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

b. Dengan tindakan pencegahan:

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

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

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

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

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

3. Distribusi Normal

a. Tanpa tindakan pencegahan:

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

b. Dengan tindakan pencegahan :

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

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

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

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

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

4. Distribusi Lognormal

a. Tanpa tindakan pencegahan:

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

b. Dengan tindakan pencegahan:

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

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

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

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

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

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

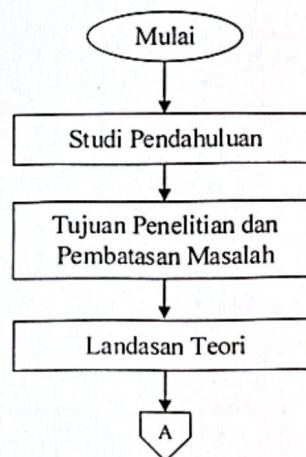
No.	Distribusi	$R(t)$	$Rm(t) = R(T)^n \times R(t - nT)$
1	Eksponensial	$R(t) = e^{-\lambda t}$	$Rm(t) = R(t)$
2	Weibull	$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right)$	$R(T) = \exp\left(-\left(\frac{T}{\theta}\right)^\beta\right)$ $R(t - nT) = \exp\left(-\left(\frac{t - nT}{\theta}\right)^\beta\right)$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

(Sumber: Ebeling, 1997)

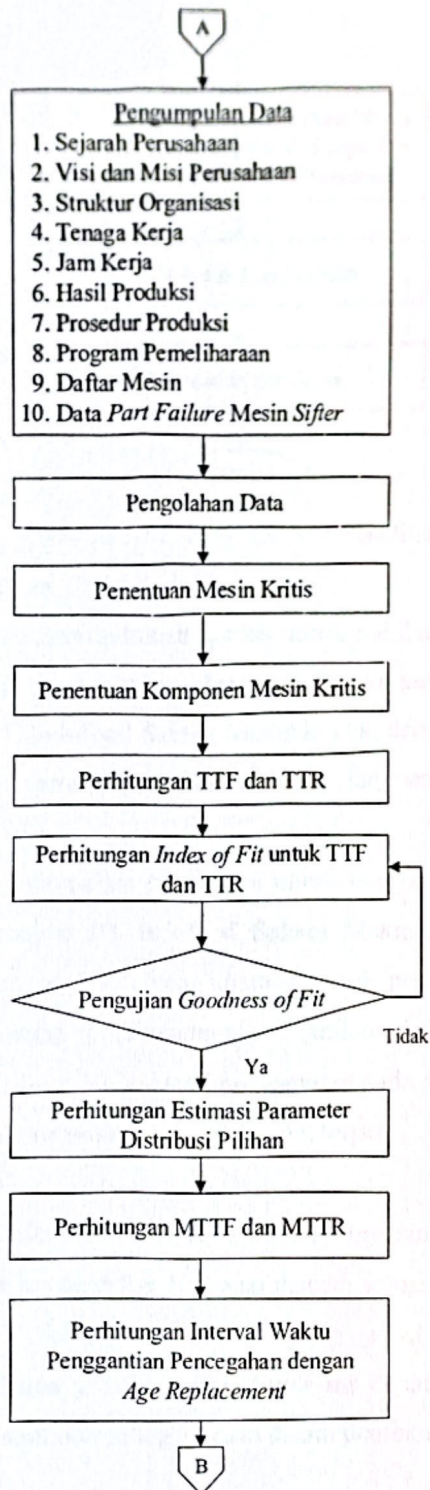
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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

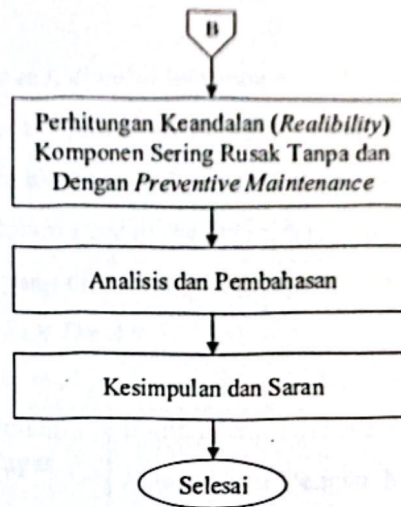
Dalam bab ini, akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian agar penelitian ini dapat lebih terarah dan terstruktur. Langkah-langkah ini bertujuan agar memudahkan dalam menganalisa permasalahan yang terjadi dan penyebab permasalahan tersebut, mengolahnya secara sistematis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



Gambar III.1. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)



Gambar III.1. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)



Gambar III.1. Diagram Alir Penelitian

3.1. Studi Pendahuluan

Maksud dari studi pendahuluan adalah untuk melihat permasalahan dengan lebih jelas. Hal ini perlu dilakukan mengingat bahwa penelitian yang dilakukan adalah meneliti di PT Indofood Sukses Makmur Tbk, divisi Bogasari *Flour Mills* Terdapat dua langkah yang perlu dilakukan untuk studi pendahuluan, yaitu:

1. Studi Lapangan

Studi lapangan merupakan suatu cara untuk mengamati permasalahan yang terjadi di lingkungan PT Indofood Sukses Makmur Tbk, divisi Bogasari *Flour Mills*. Permasalahan yang diamati untuk penelitian ini berada pada bagian pemeliharaan (*maintenance*) PT Indofood Sukses Makmur Tbk, divisi Bogasari *Flour Mills*. Hasil pengamatan pada studi lapangan ini dapat digunakan untuk menemukan masalah yang terjadi.

2. Studi Literatur

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

a. *State of The Art*

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

Tabel III.1. *State Of The Art*

No.	Pengarang	Judul	Metode
1	Yunita Endah (2012) Tugas Akhir	Usulan Penjadwalan <i>Preventive Maintenance</i> Dengan Model <i>Age Replacement</i> Untuk Meningkatkan Keandalan Mesin <i>CNC Milling</i> Pada PT Aristo Satria Mandiri Indonesia	<input type="checkbox"/> <i>Age Replacement</i>
2	Karima Pratiwi (2013) Tugas Akhir	Usulan Penerapan <i>Preventive Maintenance</i> Penggantian Komponen Heater Nozzle Mesin Injeksi Plastik Dengan Metode <i>Age Replacement</i> Pada Seksi <i>Plastic Injection</i> Di PT AHM	<input type="checkbox"/> <i>Age Replacement</i>

3.2. Perumusan Masalah

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

3.3. Tujuan Penelitian dan Pembatasan Masalah

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

3.4. Landasan Teori

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

3.5. Pengumpulan Data

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

1. Penelitian Lapangan (*Field Research*)

Penelitian lapangan ini dilakukan guna mencari data dan mengumpulkan data di PT Indofood Sukses Makmur Tbk, divisi Bogasari *Flour Mills*, khususnya pada bagian pemeliharaan (*maintenance*).

2. Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)

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

3. Wawancara

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

masalah yang sedang dihadapi, terutama tentang pemeliharaan, data yang dikumpulkan pada tahap pengumpulan data, yaitu:

- a) Sejarah perusahaan
- b) Visi, misi, dan motto perusahaan
- c) Struktur organisasi
- d) Tenaga kerja
- e) Jam kerja
- f) Program pemeliharaan
- g) Hasil produksi
- h) Prosedur produksi
- i) Daftar mesin
- j) Data *equipment failure* mesin *Sifter*

3.6. Pengolahan Data

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

1. Penentuan Mesin Sering Rusak

Penentuan mesin sering rusak dilakukan terhadap kelompok mesin *Sifter* PT Indofood Sukses Makmur Tbk, divisi Bogasari *Flour Mills*. Dari data frekuensi kerusakan mesin *Sifter*, dipilihlah mesin *Sifter* yang memiliki frekuensi kerusakan terbesar.

2. Penentuan Komponen Mesin Sering Rusak

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

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

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

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

4. Perhitungan *Index of Fit*

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

5. Perhitungan *Goodness of Fit Test*

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

6. Perhitungan Estimasi Parameter Distribusi Pilihan

Perhitungan ini menggunakan metode *maximum likelihood estimator* untuk mendapatkan estimasi parameter yang akurat.

7. Perhitungan *Mean Time To Failure (MTTF)* dan *Mean Time To Repair (MTTR)*

Mean Time To Failure (MTTF) merupakan nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan (*expected value*) dari suatu distribusi kerusakan. Sedangkan *Mean Time To Repair (MTTR)* merupakan rata-rata waktu perbaikan dari suatu komponen mengikuti distribusi kerusakan tertentu. Perhitungan MTTF dan MTTR dari masing-masing komponen menggunakan parameter distribusi kerusakan yang telah dihitung sebelumnya.

8. Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan *Age Replacement*.

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui waktu penggantian komponen mesin sering rusak dengan menggunakan model *age replacement* dengan kriteria minimasi nilai *equipment failure*.

9. Perhitungan keandalan (*reliability*) komponen sering rusak tanpa dan dengan *Preventive Maintenance*.

Perhitungan keandalan (*reliability*) dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan nilai keandalan komponen sebelum dan sesudah dilakukan *preventive maintenance*.

3.7. Analisis dan Pembahasan

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

1. Analisis penentuan mesin *Sifter* yang sering rusak.
2. Analisis penentuan komponen yang sering rusak.
3. Analisis perhitungan *Time To Failure (TTF)* dan *Time To Repair (TTR)*.
4. Analisis identifikasi distribusi (*index of fit*).
5. Analisis kesesuaian distribusi (*goodness of fit*).
6. Analisis perhitungan *Mean Time To Failure (MTTF)* dan *Mean Time To Repair (MTTR)*.
7. Analisis perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan *age replacement*.
8. Analisis perhitungan keandalan (*reliability*) komponen yang sering rusak tanpa dan dengan adanya *preventive maintenance*.

3.8. Kesimpulan dan Saran

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

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan Data

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

4.1.1. Sejarah Perusahaan

PT Indofood Sukses Makmur, Tbk Bogasari *Flour Mills* didirikan oleh “Empat Sekawan”, yaitu : Soedono Salim, Sudwikatmono, Djoehar Soetanto dan Ibrahim Risjad pada tanggal 7 Agustus 1970. Pendirian pabrik ini di latar belakang salah satunya agar terpenuhinya kebutuhan tepung terigu dan peningkatan gizi masyarakat Indonesia. Dimulai sejak 7 Agustus 1970, selama satu tahun proses konstruksi dan pembangunan pabrik, sesuai dengan keputusan notaris, terbentuklah perusahaan tepung terigu pertama di Indonesia dengan nama PT. Bogasari *Flour Mills*, dengan bentuk perusahaan adalah perseroan terbatas.

Tanggal 29 November 1971, merupakan peristiwa yang menandai fase baru dalam sejarah pangan Indonesia. Kehadiran Bogasari sebagai produsen tepung terigu pertama dan terbesar di Indonesia membuka peluang diversifikasi pangan bagi masyarakat Indonesia yang masih sangat bergantung pada beras. Pabrik Bogasari melakukan proses produksi penggilingan gandum pertama kali berlokasi di wilayah Cilincing, Tanjung Priok, Jakarta Utara yang diresmikan oleh Presiden RI pada saat itu (Soeharto) yang mempunyai luas area 33 Hektar. Industri utama dari perusahaan ini adalah proses pengolahan atau penggilingan biji gandum menjadi tepung terigu, dengan kapasitas awal 650 ton gandum. Pabrik Bogasari yang kedua didirikan pada tanggal 10 Juli 1972, berlokasi di jalan Nilam Timur No.16 kawasan Tanjung Perak, Surabaya, Jawa Timur dengan luas 3,3 Hektar untuk memenuhi tingkat permintaan pasar. Sejak Januari 1977, Bogasari melengkapi organisasi dengan divisi tekstil yang memproduksi kantong terigu di Citeureup, Bogor.

PT. ISM Bogasari *Flour Mills* juga memiliki tiga divisi penunjang lainnya yang mempunyai peran sebagai penunjang produksi dari PT ISM Bogasari *Flour Mills* yang memproduksi tepung terigu. Pada tanggal 10 Januari 1977 Bogasari melengkapi organisasi dengan divisi tekstil yang memproduksi kantong terigu di citeureup, bogor, jawa barat. Divisi ini didirikan guna memenuhi kebutuhan kemasan tepung untuk dua Pabrik Bogasari Jakarta dan Surabaya dengan kapasitas produksi kantong *blacu (cotton bag)* dan *Polypropylene bag (PP Bag)* sebesar lebih dari 4,5 juta kantong per tahun. Pada tahun yang sama Bogasari membangun divisi maritim guna menjamin kelancaran pengadaan dan pengangkutan gandum yang di import dari mancanegara. PT ISM Bogasari *Flour Mills* juga mendirikan divisi pasta sekitar desember 1991.

Pengoperasian pabrik pasta dimulai sejak tahun 1991, pendirian pabrik pasta ini dilakukan untuk lebih meningkatkan daya saing dan juga untuk menciptakan penganekaragaman makanan. Divisi pasta berproduksi menghasilkan produk berupa *Long* pasta dan *Short* pasta, seperti contohnya adalah *sphagetti* dan *macaroni* dengan merek dagang Bogasari adalah *La Fonte* dan *Del Monte*. Produksi maksimal yang bisa dihasilkan dari Pabrik pasta ini adalah sekitar 60.000 mt pasta setiap tahun. Produk pasta ini telah menjangkau pasar mancanegara kurang lebih 80%, sedang sisanya untuk memenuhi kebutuhan pasar dalam negeri.

Pada tanggal 28 Juli 1992 PT. Bogasari *Flour Mills* diakuisisi oleh PT. Indocement Tunggal Prakarsa, sehingga sejak saat itu PT. Bogasari *Flour Mills* berubah nama menjadi PT Indocement Tunggal Prakarsa Bogasari *Flour Mills*, dengan menjadi divisi makanan dari perusahaan semen itu. Seiring dengan kebijakan yang dikeluarkan pemerintah yang mengakibatkan lahirnya banyak industri penggilingan tepung terigu baru, dan melihat pasar yang semakin bersaing, pada tanggal 30 Juni 1995 PT Indocement Tunggal Prakarsa Bogasari *Flour Mills* pun diakuisisi kembali oleh PT. Indofood Sukses Makmur, yang kemudian merubah kembali nama pabrik tepung ini menjadi PT. Indofood Sukses Makmur, Tbk. Bogasari *Flour Mills* yang berlaku sampai saat ini.

PT. ISM Bogasari *Flour Mills* sejak awal berdiri merupakan industri yang murni untuk proses penggilingan tepung terigu saja, dan ini terjadi sampai tahun 1998. Produk tepung yang dihasilkan saat itu langsung dikuasai oleh pemerintah begitu pula dengan pemasarannya, hal tersebut tidak memberikan kebebasan untuk dapat menggiling dan langsung memasarkan sendiri hasil produknya. Keadaan ini berdampak pada pengendalian mutu tepung yang juga ditentukan oleh pemerintah. PT ISM Bogasari *Flour Mills* setelah itu terbebas dari penguasaan pemerintah sehingga dapat mengembangkan produksinya secara leluasa. PT ISM Bogasari *Flour Mills* saat ini menjadi pabrik penghasil tepung terigu terbesar di dunia dalam satu lokasi produksi, dengan kapasitas produksi tepung terigu sebesar 3,6 juta metrik ton per tahun dari kapasitas giling sebanyak 4,7 juta metrik ton gandum per tahun atau sekitar 16 ribu metrik ton per hari. Ini semua didukung dengan semua fasilitas alat pengolahan modern, dari kapasitas tampung dari 140 buah *silo* gandum yang dapat menampung 400.000 metrik ton dan dengan 15 bangunan produksi (*mill*).

Kapasitas penggilingan awal dengan dua fasilitas penggilingan yaitu mill A dan mill B adalah 650 ton gandum per hari. Tahun pertama, total produksi yang dihasilkan pabrik di Jakarta mencapai 200.000 ton tepung terigu. Tahun 1973, Bogasari Jakarta mengoperasikan fasilitas penggilingan baru yaitu mill C. Mill D dan E mulai dioperasikan pada tahun 1975, mill F dan G mulai beroperasi pada tahun 1978, mill H, I, J beroperasi pada tahun 1983, lalu mill K dan L beroperasi pada tahun 1992 serta yang terakhir adalah mill M, N, dan O yang mulai beroperasi pada tahun 1996.

PT. ISM Bogasari *Flour Mills* selain menghasilkan tepung terigu juga menghasilkan produk sampingan, seperti produk dari sisa hasil olahan penggilingan gandum dari proses produksi tersebut. Hasil produk sampingan (*by product*) tersebut berupa *bran*, *pollard*, *pellet*, dan *Industrial Flour*. *Bran*, digunakan untuk pakan ternak, sedang tepung industri umumnya dimanfaatkan untuk perekat di industri kayu lapis dan juga sebagai makanan ikan dan udang. Produk sampingan ini dapat menghasilkan sebanyak 110 metrik ton hasil produksi tiap jam. Bahan baku (*raw material*) yang ada di PT. ISM Bogasari *Flour Mills*

dapat dipakai dan diolah menjadi produk, baik produk utama (tepung terigu) maupun hasil produk sampingnya secara maksimal. Tanggal 19 September 1999, untuk pertama kalinya PT. ISM Bogasari *Flour Mills* mengekspor tepung terigu ke Singapura dengan kiriman sebanyak 860 karung tepung terigu (21,5 metrik ton) dan sejak itulah PT. ISM Bogasari *Flour Mills* terus bertambah aktif dalam melakukan pemasaran produknya, khususnya untuk memenuhi kebutuhan ekspor.

Negara yang menjadi konsumen tetap produk PT. ISM Bogasari *Flour Mills* itu antara lain Jepang, Singapura, Malaysia dan beberapa negara lainnya. Tanggal 1 Desember 1996, PT. ISM Bogasari *Flour Mills* memperoleh sertifikat ISO 9002 dari SGS internasional (Inggris) dan SUCOFINDO yang terbatas pada manajemen mutu, produksi dan instalasi serta mencakup *Contact review, Control Document, Purchasing, Process Control, Handling Storage, Packing and Delivery* serta *Training and Internal Quality Audits*.

4.1.2. Visi, Misi, dan Motto Perusahaan

PT. ISM Bogasari *Flour Mills* mempunyai visi dan misi perusahaan yang terus menerus dibina serta dikembangkan sehingga menjadi kekuatan untuk perusahaan ini. Adapun visi dan misi perusahaan adalah sebagai berikut:

1. Visi Perusahaan

Industri pangan berbasis produk pertanian dan jasa terkait yang bertaraf dunia.

2. Misi Perusahaan

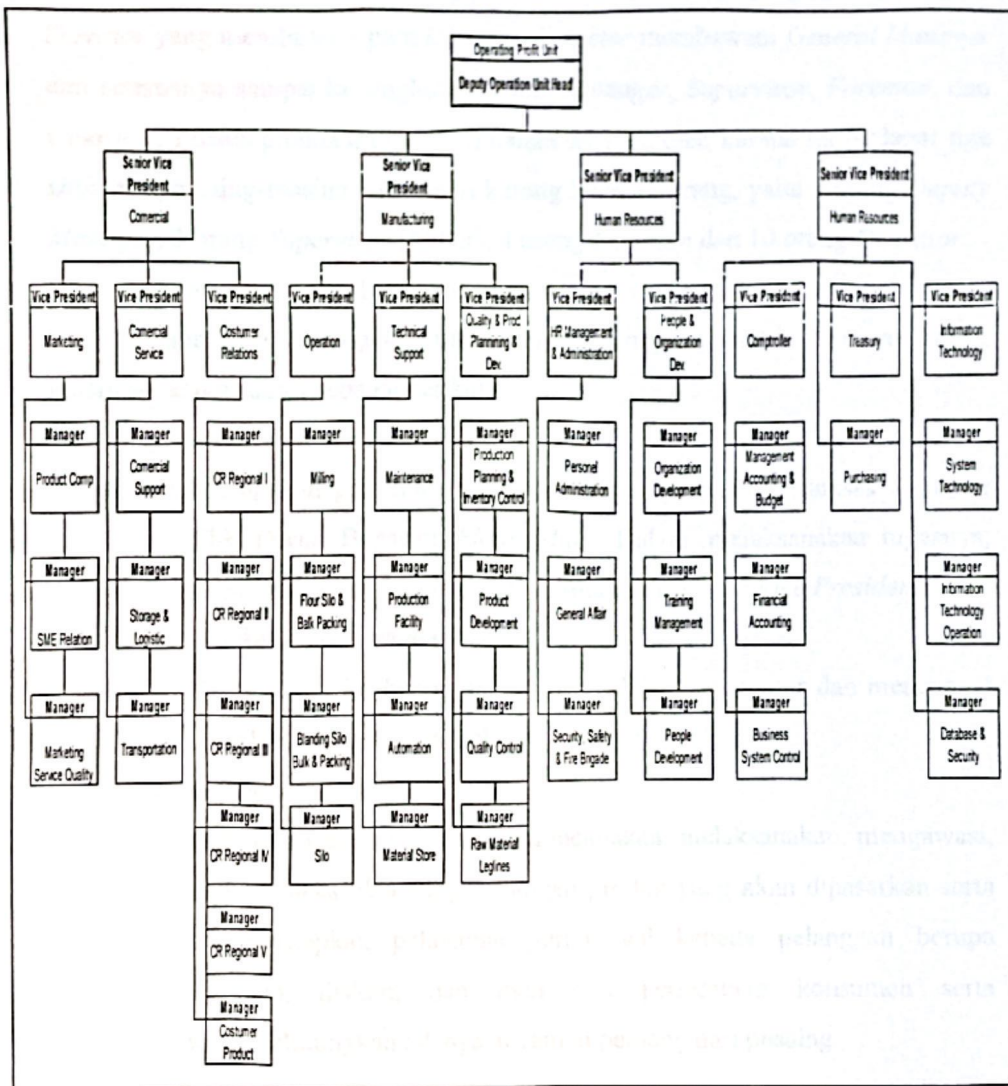
- a) Memproduksi, mendistribusi, dan menjual pangan, bahan pangan serta pakan yang bermutu dan bernilai tambah yang berbasis produk pertanian, guna meningkatkan kesejahteraan dan kemakmuran pelanggan, mitra usaha, masyarakat dan pemegang saham.
- b) Menyediakan atau menjual produk dan jasa terkait, antara lain : kemasan, angkutan curah serta penyimpanan dan pengemasan biji-bijian.

- c) Memperkuat daya saing dengan menerapkan teknologi yang tepat, melakukan diversifikasi produk dan jasa serta mengembangkan sumber daya manusia seutuhnya.

3.Motto : Turut Membangun Gizi Bangsa

4.1.3. Struktur Organisasi Perusahaan

Berikut adalah gambaran tentang struktur organisasi PT. Indofood Sukses Makmur Tbk. Divisi Bogasari *Flour Mills*



(Gambar IV. 01 Struktur Organisasi PT ISM Bogasari *Flour Mills*.Tbk)

PT. Indofood Sukses Makmur Tbk, divisi Bogasari Flour Mills menggunakan sistem organisasi fungsional yang terpusat, dimana setiap fungsi bertanggungjawab kepada atasannya masing-masing. Adapun struktur organisasi fungsional ini dibagi atas 4 fungsi besar yaitu produksi, pemasaran, serta keuangan dan administrasi. Kewenangan tertinggi berada pada OPU (*Operating Profit Unit*) yang terdiri dari wakil-wakil *shareholder* yang dibantu oleh beberapa *Deputy OPU Head*. Jabatan tertinggi dalam direktorat dipegang oleh *Managing Director* yang membawahi para *Director*, *Director* membawahi *General Manager* dan seterusnya sampai ke tingkat *Assistant Manager*, *Supervisor*, *Foreman*, dan *Operator*. Proses produksi dilakukan dalam 24 jam, oleh karena itu terdapat tiga *shift* yang masing-masing terdiri dari kurang lebih 18 orang, yaitu 1 orang *Deputy Manager*, 3 orang *Supervisor (Miller)*, 4 orang *Foreman* dan 10 orang *Operator*.

4.1.4. Tenaga Kerja dan Uraian Pekerjaan

Berikut *Job Description* uraian tugas, tanggung jawab dan wewenang masing-masing fungsi sebagai berikut:

1) *Deputy OPU Head*

Merupakan pimpinan tertinggi divisi PT.Indofood Sukses Makmur Tbk Divisi Bogasari Flour Mills. Dalam melaksanakan tugasnya, *Deputy operation Unit Head* dibantu oleh *Senior Vice President*.

2) *Marketing Department*

Departemen ini bertanggung jawab dalam mengatur dan menangani masalah pemasaran produk.

3) *Commercial*

Bidang ini bertugas untuk merencanakan, melaksanakan, mengawasi, mengevaluasi dan pengembangan produk yang akan dipasarkan serta mempersiapkan pelayanan purna jual kepada pelanggan berupa promosi, diskon, dan mensurvei permintaan konsumen serta memperhitungkan adanya ancaman peluang dari pesaing.

4) *Operation Department*

Bagian ini bertanggung jawab dalam mengatur proses produksi, pergudangan, dan menjamin bahan yang digunakan untuk proses produksi.

5) *Technical Support Department*

Bagian ini bertanggung jawab dalam hal pengendalian kualitas perencanaan produksi, dan perbaikan produk. Bagian ini juga bertanggung jawab dalam menangani stok gandum, bahan fortifikasi, dan bahan penunjang lainnya yang tersedia.

6) *Human Resource Management & Administration Department*

Bagian ini bertanggung jawab dalam hal penanganan upah dan kompensasi yang diberikan untuk karyawan. Selain itu bagian ini juga mengatur masalah penerimaan karyawan baru dan menjamin keamanan pekerja, seperti dengan menyediakan tempat khusus untuk kendaraan yang diawasi oleh petugas *security*.

7) *Quality, Production Planning and Development Department*

Bagian ini bertanggung jawab dalam hal pengendalian kualitas, perencanaan produksi, dan pengembangan produk. Bagian ini juga bertanggungjawab dalam menangani stok gandum, bahan fortifikasi, dan bahan penunjang lainnya yang tersedia.

8) *Human Resources*

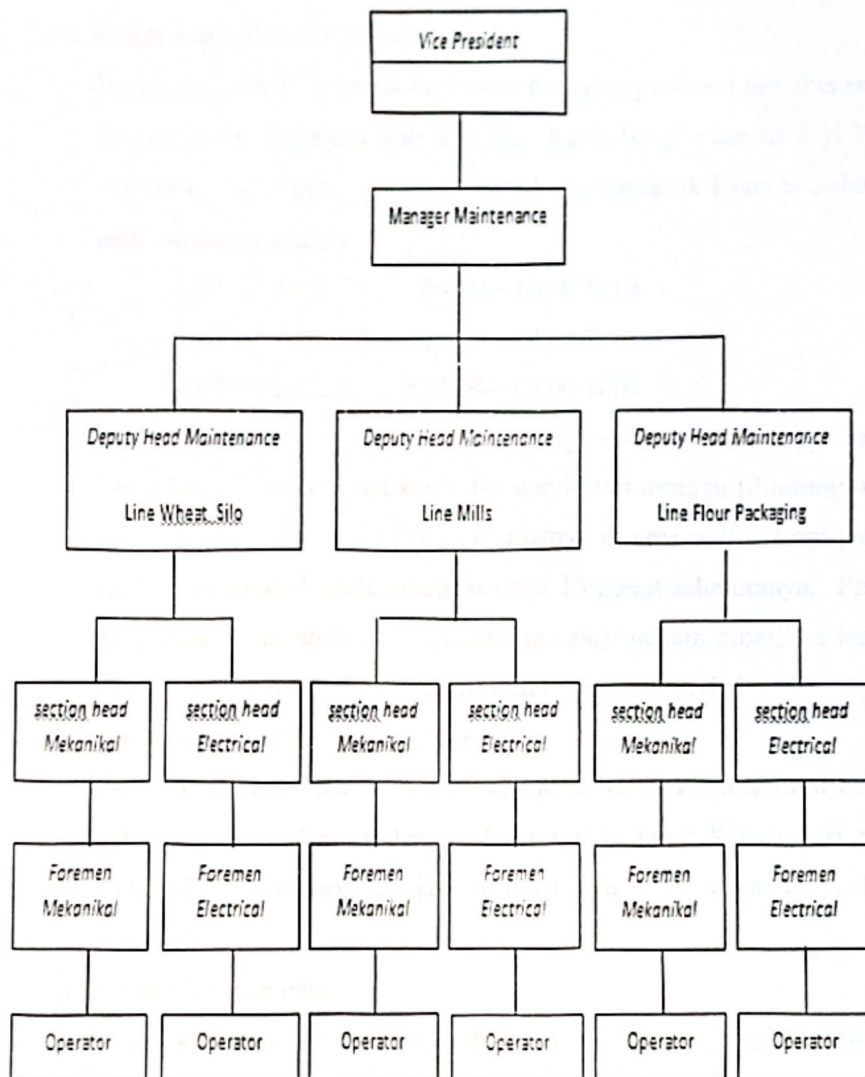
Bidang ini mengatur mengenai sumber daya manusia, mulai dari perencanaan, penarikan, penempatan, pengembangan, kompensasi serta pemutusan hubungan kerja.

9) *Information Technology Department*; Bagian ini bertanggung jawab dalam penggunaan sistem perusahaan berbasis pada teknologi, baik dalam kegiatan produksi maupun perkantoran.

10) *Finance*

Bidang ini melaksanakan pekerjaan yang berkaitan dengan pencatatan, pengendalian, dan pengawasan arus masuk dan keluar keuangan perusahaan baik jangka pendek maupun jangka panjang.

Struktur organisasi departement *maintenance* yang ada di PT. ISM Bogasari *Flour Mills* merupakan departementasi fungsional, karena PT. ISM Bogasari *Flour Mills* memiliki beberapa departement sesuai dengan fungsinya. Struktur organisasi departement *maintenance* disajikan dalam Gambar IV.02



(Gambar IV. 02 Struktur Organisasi Departemen *Maintenance* PT ISM Bogasari *Flour Mills*.Tbk)

4.1.5. Jam Kerja

PT. ISM Bogasari *Flour Mills* dalam usaha meningkatkan kapasitas produksi untuk memenuhi permintaan konsumen, penentuan waktu kerja dibedakan antara bagian produksi dan bagian kantor untuk itu diberlakukan 3 jenis jam kerja yaitu:

1. Waktu Kerja Bergilir (*Shift*)

Waktu kerja bergilir untuk karyawan dibagian produksi berjalan selama 24 jam penuh termasuk hari minggu. Kerja bergilir terdiri dari 3 *shift* dengan tiap *shift* menggunakan 8 jam kerja termasuk 1 jam istirahat dan pembagiannya adalah:

- a) *Shift* pagi : 08.00 – 16.00 WIB
- b) *Shift* sore : 16.00 – 24.00 WIB
- c) *Shift* malam : 24.00 – 08.00 WIB

Shift ini akan mengalami pertukaran *shift* selama satu minggu sekali. Lama kerja selama 6 hari kerja dan untuk hari minggu (dihitung waktu lembur) pabrik tetap beroperasi khususnya di area *mills*. Bagi pekerja *shift* harus sudah berada ditempat kerja 15 menit sebelumnya. Pekerja yang melaksanakan tugas *shift* sore dan *shift* malam diberikan insentif yang besarnya ditetapkan dengan surat keputusan direksi.

2. Waktu Kerja Tidak Bergilir (*Non-Shift*)

Waktu kerja tidak bergilir (*non-shift*) atau waktu kerja normal berlaku untuk karyawan kantor dengan lama waktu kerja 9 jam dari pukul 08.00-17.00 termasuk satu jam istirahat selama lima hari kerja dalam seminggu.

3. Waktu Kerja Lembur

Waktu kerja tambahan di luar jam kerja seharusnya yang diberlakukan pada keadaan mendesak atau perintah lembur dari atasan dengan diberlakukan upah lembur sesuai ketentuan perusahaan. Hari minggu termasuk waktu lembur khusus untuk karyawan bagian produksi.

4.1.6. Program Perawatan

Perawatan fasilitas dan peralatan industri pada PT Indofood Sukses Makmur Tbk, divisi Bogasari *Flour Mills* yang merupakan sumber daya pendukung kontinuitas proses, membutuhkan suatu penanganan khusus, sehingga konsep manajemen perlu diterapkan dalam melakukan aktivitas ini. Manajemen perawatan industri adalah upaya pengaturan aktivitas untuk menjaga kontinuitas produksi, sehingga dapat menghasilkan produk yang berkualitas dan memiliki daya saing, melalui perawatan fasilitas industri. Manajemen perawatan industri perlu dilakukan untuk meminimasi *Downtime*, sehingga aktivitas proses transformasi bahan baku menjadi produk dapat berjalan dengan baik, secara umum manajemen perawatan industri memiliki tujuan diantaranya:

1. Mengatasi segala permasalahan, yang berkenaan dengan kontinuitas aktivitas produksi.
2. Memperpanjang umur pengoperasian peralatan dan fasilitas industri.
3. Meminimasi *Downtime*, yaitu waktu selama proses produksi terhenti.
4. Meningkatkan efisiensi sumber daya produksi.
5. Meningkatkan profesional personil *maintenance*.
6. Meningkatkan nilai tambah produk, sehingga perusahaan dapat bersaing di pasar global.
7. Membantu para pengambil keputusan, sehingga dapat memilih solusi optimal terhadap kebijakan perawatan.

4.1.7. Jenis Produk

Produk yang dihasilkan oleh PT. Indofood Sukses Makmur Tbk, Bogasari *Flour Mills* Jakarta dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu : tepung terigu, pasta, dan *by product* (*bran, pollard, pellet*) serta menghasilkan tepung industri.



(Gambar IV. 03 Produk yang dihasilkan PT. ISM Bogasari *Flour Mills*.Tbk)

4.1.8. Bahan Baku

Gandum yang merupakan bahan baku dalam pembuatan tepung terigu di PT. Indofood Sukses Makmur Tbk, Bogasari *Flour Mills* dilakukan dengan impor. Gandum yang digunakan masih impor karena tanaman gandum kurang cocok bila ditanam di Indonesia sehingga mutu atau kualitas gandum masih kurang baik bila dibandingkan dengan gandum yang berasal dari luar negeri dan kuantitasnya pun masih sangat kurang untuk mencukupi kebutuhan pengolahan tepung terigu. Dalam hal ini yang bertindak sebagai pengimpor adalah Badan Urusan Logistik (BULOG) dan Bogasari hanya berkewajiban mengambil dari negara asal, menerima, menyimpan dan memprosesnya menjadi tepung terigu.

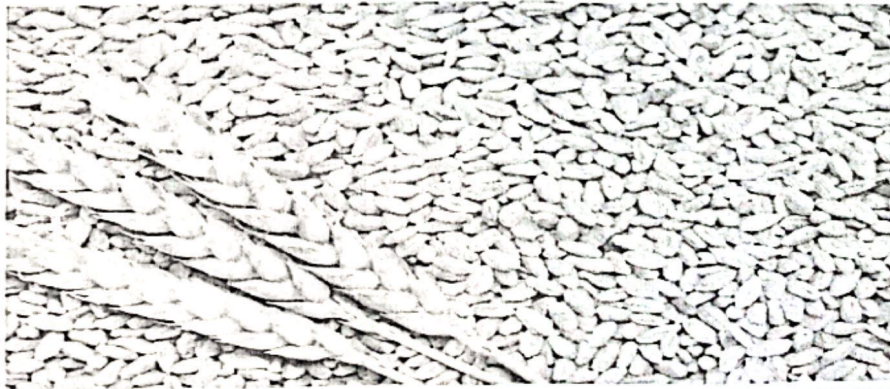
Gandum didatangkan dari beberapa negara diantaranya Amerika, Canada, Australia dan negara lainnya, seperti India, China, Arab Saudi. Gandum yang berasal dari negara-negara maju biasanya sudah dilengkapi dengan *Certificate of Analyze* (COA) dan laporan pemeriksaan yang akan diterima secara teratur. Gandum yang telah dibeli dan disimpan di dalam silo tidak akan terlalu lama karena jenis gandum dan jumlahnya sesuai dengan perkiraan untuk menghasilkan tepung untuk sejumlah permintaan pasar. Gandum di impor dengan menggunakan kapal dalam bentuk curah. Penggunaan kapal besar mutlak diperlukan untuk

mempermudah pengisian dan pengeluaran gandum dari kapal. Karena alasan itu maka PT. ISM Bogasari *Flour Mills* memilih lokasi pabrik di daerah pelabuhan.

Kelancaran pengangkutan dan pengadaan bahan baku menjadi tanggung jawab divisi maritim Bogasari. Pengangkutan gandum dilakukan dengan kapal perusahaan, kapal sewaan ataupun kapal dari negara asal gandum.

Pembelian biji gandum biasanya dilakukan untuk menjamin ketersediaan gandum selama tiga sampai enam bulan, apabila *moisture* gandum cukup rendah dan kondisi penyimpanannya di silo gandum cukup baik maka daya simpan biji gandum dapat lebih lama. Gandum yang datang di dermaga Bogasari, akan diambil sampelnya dan dianalisis terlebih dahulu sebanyak tiga kali oleh QC (*Quality Control*) agar didapat data yang akurat.

Hasil analisis masih didapatkan adanya kutu, maka akan dilakukan fumigasi di dalam kapal. Fumigasi merupakan perlakuan terhadap komoditi yang diberi gas beracun pada ruang kedap udara dengan suhu dan waktu tertentu agar serangga yang terdapat dalam gandum hilang. Gandum yang dinyatakan dalam kondisi baik, maka dapat dilakukan pembongkaran gandum dari kapal untuk dimasukkan ke dalam *wheat silo* dengan memperhatikan jenis gandum dan kadar protein gandum, hal ini dilakukan untuk memudahkan pengambilan dan penggunaan gandum yang akan diolah.



(Gambar IV. 04 Bahan Baku, PT ISM Bogasari *Flour Mills*, Tbk)

4.1.9. Proses Produksi

Proses pengolahan tepung terigu adalah suatu proses pengolahan yang mengubah biji gandum menjadi tepung atau yang dikenal dengan tepung terigu sesuai dengan standar mutu atau spesifikasi yang telah ditetapkan. Proses pengolahan gandum menjadi tepung terigu dilakukan di unit pengolahan (*mill*). Tahap pengolahan tepung terigu di PT. ISM Bogasari *Flour Mills*, Tbk terbagi menjadi tiga tahapan yaitu *cleaning* (pembersihan), *dampening* (penambahan air) dan *milling* (penggilingan). Setiap tahapnya memiliki tujuan yang berbeda, namun pada intinya semua tahapan dilakukan dalam upaya untuk mendapatkan tepung terigu sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan.

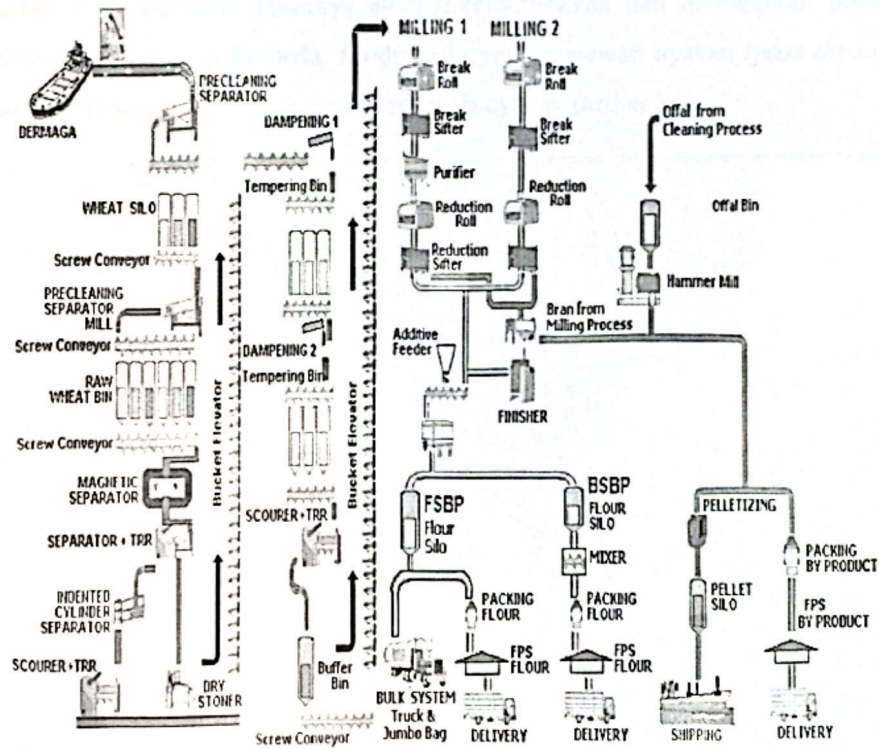


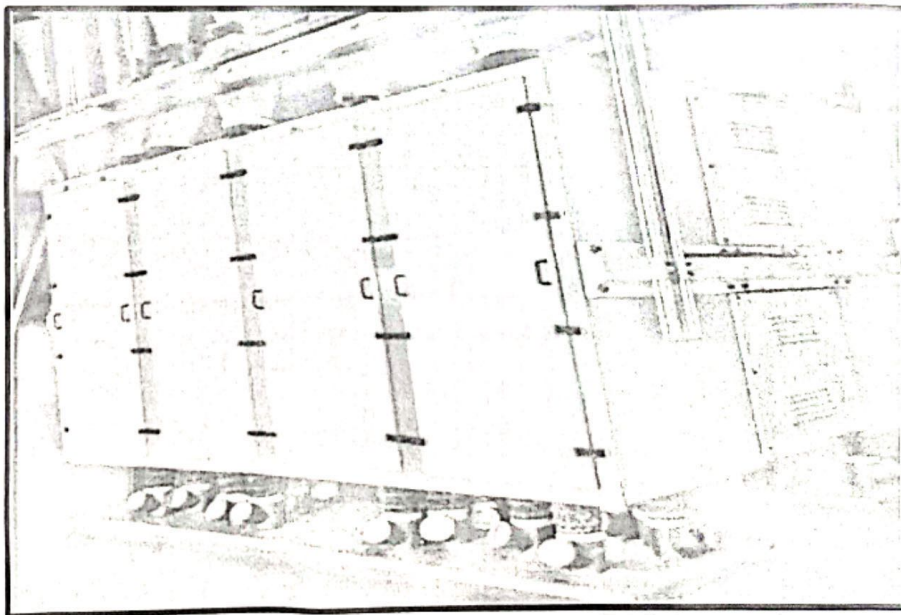
Diagram alir produksi

(Gambar IV. 05 Proses Produksi Tepung Terigu Secara Garis Besar PT ISM Bogasari *Flour Mills*)

4.1.9.1. Mesin Sifter

Sifter berfungsi untuk memisahkan, dan mengumpulkan besaran dan kualitas produk yang sama, dengan cara pengayakan sehingga dapat dikelompokkan dan dikirim ke tempat yang sama. Fungsi utama mesin *sifter* adalah memisahkan tepung, bran, dan semolina berdasarkan ukuran atau disebut pula *grading*. *Sifter* terdiri dari ayakan-ayakan disusun secara vertikal pada masing-masing blok. Satu mesin *sifter* terdapat delapan pintu atau blok yang masing-masing memiliki *inlet* dan *outlet* yang berbeda.

Prinsip kerja mesin *sifter* adalah produk yang berasal dari *roller mill* akan di ayak dengan gerakan yang dihasilkan oleh batang eksentrik (*counter weight*) yang digerakkan oleh motor dan melewati beberapa susunan lapisan ayakan dengan ukuran yang berbeda. Hasilnya akan dikelompokkan dan dikeluarkan melalui beberapa *outlet* yang berbeda. Produk ada yang melewati ayakan (*pass through*) dan ada sebagian yang tidak dapat melewati ayakan (*tailing*).



(Gambar IV. 06 Mesin Sifter Ocrim Mill A, PT ISM Bogasari Flour Mills, Tbk)

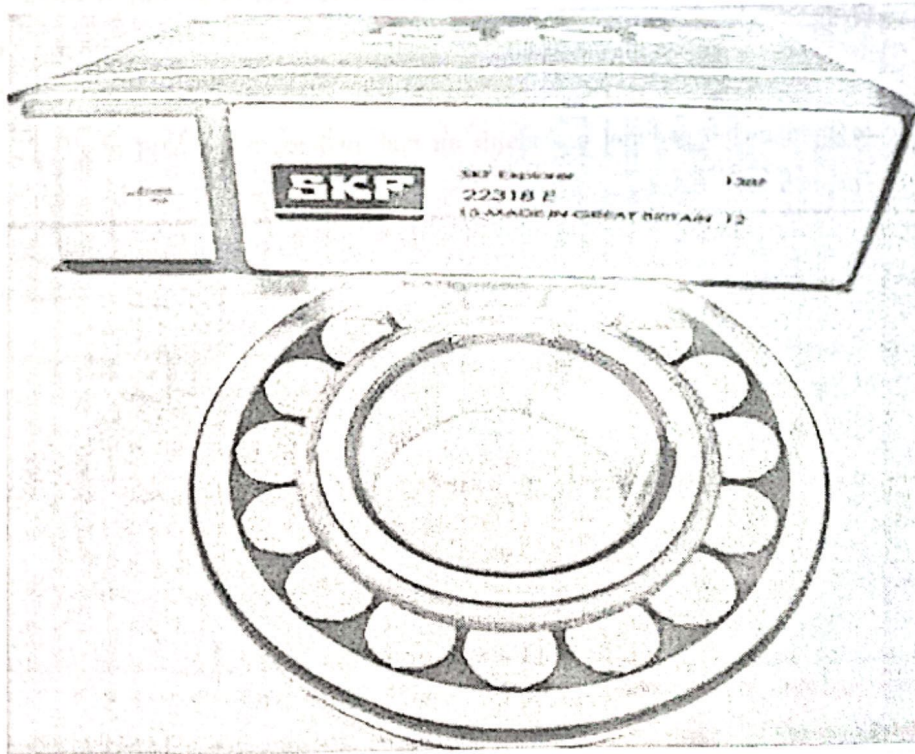
4.1.9.2. Proses Penggantian Komponen *Bearing* Mesin Sifter

Bantalan atau dengan nama lain *bearing* merupakan salah satu komponen yang memiliki peran sebagai penyangga Pada *shaft* ketika dijalankan agar dapat berputar dengan baik dan sempurna. Komponen yang satu ini terletak pada *Shaft* dan *Housing*. Seperti komponen lainnya, *bearing* juga memiliki jangka waktu pemakaian, tanda-tanda komponen ini harus diganti dapat dikenali jika terdengar suara dengung, getaran yang kasar dan meningkatnya suhu pada *housing bearing*. Penggantian *bearing* tentunya mengharuskan mengeluarkan biaya yang mahal dan waktu untuk mengerjakannya, langkah-langkah yang harus dipahami mengenai cara penggantian *bearing* adalah sebagai berikut ini :

1. Menyiapkan komponen *bearing* pengganti dan menyiapkan peralatan yang diperlukan untuk proses pembongkaran dan pemasangan *bearing*.
2. Pasang pengunci penahan bandul (*counter weight*) supaya pada saat proses pembongkaran dan pemasangan *bearing*, bandul (*counter weight*) tidak bergerak dan sekaligus untuk pengaman pada saat *bearing* dilepas dari *shaft* tidak anjlok dan tidak merubah posisi *center*.
3. Lepas semua baut-baut pengikat pada *housing bearing*.
4. Pasang *traker* pada *housing bearing* dan lakukan pembongkaran *housing bearing* hingga *bearing* terlepas dari *shaft* lalu keluarkan *bearing* yang rusak dari *housing bearing*.
5. Bersihkan *housing bearing* dari *greas* yang menghitam dan ukur diameter dalam *housing bearing* untuk memastikan *housing bearing* masih standar atau tidak.
6. Pasang kembali *housing bearing* dan baut-baut penguncinya, lumasi *housing bearing* dengan *greas*, pasang *bearing* baru lalu *press* dengan *hidrolik bearing* hingga masuk dengan merata dan pasang tutup *housing bearing*.
7. Lepas pengunci penahan bandul dan kencangkan semua baut-baut pada *housing bearing* dan rapihkan semua peralatan kerja.
8. Selanjutnya, lakukan pengetesan mesin yang telah selesai proses perbaikan *bearing* dan pastikan mesin siap untuk beroperasi kembali.

4.1.9.3. Ketersediaan Komponen *Bearing Sifter*

PT ISM Bogasari *Flour Mills* memiliki gudang *spare part store* yang sangat lengkap untuk segala kebutuhan komponen mesin produksi dari persediaan mesin cadangan hingga komponen mesin lainnya. Gudang *material store* dikembangkan dengan sistem seperti *supermarket* setiap komponen memiliki *nomor item*, dan bisa dilihat ketersediaannya melalui program SAP terintegrasi untuk memudahkan pelayanan dan pengambilan barang atau komponen mesin, untuk komponen mesin yang kritis tentunya sangat diperhatikan ketersediaannya, untuk menunjang kebutuhan mendesak (*breakdown*) yang menyebabkan terhentinya proses produksi. Ketersediaan Komponen *bearing sifter* pada gudang *material store* di PT ISM Bogasari *Flour Mills* menjadi suatu keharusan, dikarenakan mesin *sifter* adalah mesin kritis tipe pertama, apabila mesin ini mengalami kerusakan, maka proses produksi terhenti.



(Gambar IV. 07 Komponen *Bearing* Mesin *Sifter* yang Sering Rusak)

4.1.9.4. Data *Equipment Failure* Mesin Mill A

Tabel IV.01. Tabel Frekuensi Kerusakan Mesin *Line Mill A*

NO	NAMA MESIN	FREKUENSI KERUSAKAN	PERSENTASE (%)
1	PnuematicFan Conveying	2	13%
2	Rotary Valve	3	19%
3	Sifter	8	50%
4	Blower Transfer	3	19%
Total		16	100%

(Sumber : PT ISM Bogasari *Flour Mills*,Tbk)

Berdasarkan dari pengumpulan data pada sub bab 4.1.9.4 dari data *equipment failure* mesin frekuensi kerusakan terbesar ada pada mesin *Sifter*, yaitu sebanyak 8 kali kerusakan pada saat proses produksi selama tahun 2016.

4.2. Pengolahan Data

Pada proses pengolahan data ini dijelaskan langkah dalam mengolah data terhadap data yang telah diambil dari tahap pengumpulan data dengan metode yang dipilih untuk menyelesaikan permasalahan dengan baik dan terencana. Adapun langkah dalam pengolahan data sebagai berikut:

1. Menentukan Komponen Mesin yang Sering Rusak
2. Perhitungan Selang Waktu Antar Kerusakan dan Perbaikan (TTF) dan (TTR) *bearing*
3. Perhitungan *Index Of Fit* (IOF) TTF Komponen *Bearing Sifter*
4. Pengujian Keselarasan Distribusi TTF dan TTR Komponen *Bearing*
5. Perhitungan Estimasi Parameter untuk Distribusi Terpilih
6. Perhitungan (MTTF) dan (MTTR) Antar Kerusakan
7. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Kritis dengan Metode *Age Replacement*
8. Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Tanpa dan Dengan Adanya *Preventive Maintenance*.

4.2.1. Menentukan Komponen Mesin yang Sering Rusak

Berikut ini adalah data komponen mesin *Sifter* yang mengalami kerusakan pada periode januari sampai dengan desember tahun 2016.

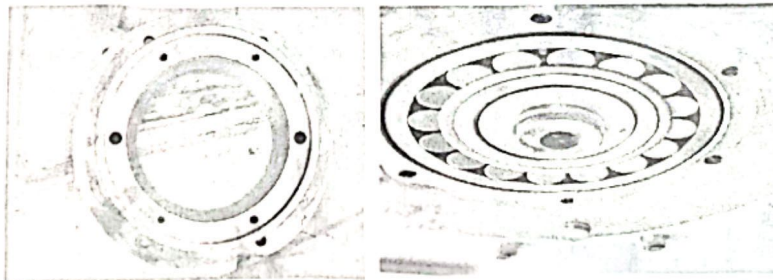
Tabel IV.02. Data Kerusakan Komponen Mesin *Sifter*

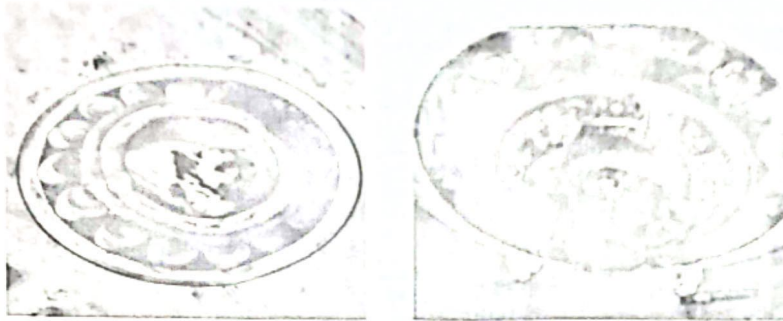
No	Nama Komponen	Frekuensi Kerusakan	Persentase (%)
1	Motor Listrik	1	12,5%
2	V-belt	2	25,0%
3	Bearing	5	62,5%
Total		8	100,0%

(sumber : Hasil Pengolahan Data)

Hasil dari pengolahan data di atas terlihat bahwa untuk kerusakan yang disebabkan motor listrik 1 kali kerusakan, untuk kerusakan yang disebabkan oleh *v-belt* sebanyak 2 kali kerusakan, dan untuk kerusakan *bearing* sebanyak 5 kali kerusakan, dari ketiga komponen kritis yang sering rusak ini, maka komponen *bearing* yang akan kami prioritaskan untuk pengolahan data selanjutnya.

Pada Tabel IV.02. terlihat bahwa komponen yang akan menjadi prioritas dalam pengerjaan penelitian ini adalah komponen bearing tersebut dapat dilihat pada Gambar IV.08





Gambar IV.08. Komponen Mesin yang Sering Rusak

(sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berikut merupakan penjelasan tentang komponen mesin kritis yang sering rusak tersebut:

Komponen *bearing* adalah komponen yang berfungsi untuk mengurangi gesekan pada mesin atau komponen-komponen yang bergerak dan saling menekan antara satu dengan yang lainnya. *Bearing* digunakan untuk menahan/menyangga komponen-komponen yang bergerak. *Bearing* pada mesin *Sifter* terletak pada *shaft* yang merupakan suatu kesatuan bersama dengan *housing bearing* untuk menggerakkan bandul eksentrik mesin *Sifter*.

4.2.2 Perhitungan Selang Waktu Antar Kerusakan dan Perbaikan (TTF) dan (TTR) *Bearing Sifter*

Perhitungan selang waktu antar kerusakan *time to failure* (TTF) dan *time to repair* (TTR) adalah perhitungan selang waktu dari kerusakan komponen yang pertama hingga kerusakan selanjutnya terjadi, Satuan waktu yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk. Dari data yang diperoleh dari PT Indofood Sukses Makmur Tbk, Divisi Bogasari *Flour Mills*, perhitungan antar selang waktu kerusakan (TTF) dan perbaikan (TTR) untuk komponen *Bearing Sifter* dapat dilihat pada Tabel IV.03.

Tabel IV.03. Data Perhitungan (TTF dan TTR) Komponen *Bearing Sifter*

No	Tanggal	Jam Mulai Kerusakan	Tanggal	Jam Selesai Perbaikan	Time To Failure (Menit)	Time To Repair (Menit)
1	23 - 03 - 2016	08:00	23 - 03 - 2016	10:32	69.120	152
2	30 - 05 - 2016	13:00	30 - 05 - 2016	15:56	71.150	176
3	14 - 08 - 2016	13:20	14 - 08 - 2016	16:40	89.130	200
4	21 - 10 - 2016	13:00	21 - 10 - 2016	16:42	96.160	222
5	28 - 12 - 2016	14:00	28 - 12 - 2016	17:54	108.130	234

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berikut merupakan penjabaran dari perhitungan pada tabel diatas:

a. Perhitungan *Time To Failure (TTF)*

Contoh selang waktu antara kerusakan No.1, kerusakan pertama di asumsikan mulai dihitung dari tanggal 01-01-2016 sampai dengan tanggal 23-03-2016, pada jam 08:00 terjadi kerusakan. Selang waktu mulai dari tanggal 01-01-2016 sampai dengan 23-03-2016 adalah 48 hari kerja. Jam kerja mesin adalah 24 jam, atau 1.440 menit dalam satu hari. Jadi total waktu yang dibutuhkan adalah (48×1.440) menit = 69.120 menit. Jadi interval waktu kerusakan (TTF) adalah 69.120 menit. Untuk perhitungan selang waktu TTF selanjutnya dihitung menggunakan cara ini.

b. Perhitungan *Time To Repair (TTR)*

Contoh selang waktu perbaikan pertama, kerusakan terjadi pada tanggal 23-03-2016 mulai jam 08.00 dan selesai perbaikan jam 10.32 pada hari yang sama. Selang waktu dari waktu mulai perbaikan sampai pada waktu selesai perbaikan adalah sebesar 152 menit. Untuk perhitungan selang waktu TTR selanjutnya dihitung dengan menggunakan cara ini.

Setelah ditentukan selang antar waktu kerusakan (TTF) dan perbaikan (TTR) komponen *Bearing Sifter*, kemudian dilakukan pengidentifikasian distribusi dari data waktu kerusakan dan data waktu perbaikan yang dimiliki, dilakukan dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*, distribusi dipilih berdasarkan *Index of Fit (r)* terbesar yang mendekati 1 atau -1. Jadi

distribusi yang digunakan adalah distribusi Weibull, Normal, Lognormal, dan Eksponensial.

4.2.3. Perhitungan *Index Of Fit (IOF)* TTF dan TTR Komponen *Bearing Sifter*

Sifter

Perhitungan mengenai pemilihan distribusi TTF yang sesuai untuk komponen *Bearing Sifter* dapat dilihat pada Tabel IV.04. sebagai berikut:

a) Distribusi Weibull

Tabel IV.04. Perhitungan IOF Distribusi Weibull (TTF) Komponen *Bearing Sifter*

I	ti	Xi= Ln ti	F(ti)	Yi	Xi.Yi	Xi^2	Yi^2
1	69.120	11,144	0,130	-1,974	-22,003	124,180	3,898
2	71.150	11,173	0,315	-0,973	-10,867	124,826	0,946
3	89.130	11,398	0,500	-0,367	-4,177	129,911	0,134
4	96.160	11,474	0,685	0,145	1,661	131,647	0,021
5	108.130	11,591	0,870	0,714	8,281	134,353	0,510
Total	433.690	56,779	2,500	-2,454	-27,105	644,917	5,510

(Sumber: Hasil Pengolahan Data)

Keterangan :

- 1) Kolom ti pada Tabel IV.04. diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- 2) Nilai Xi diperoleh dengan $X_i = \ln(t_i) = \ln(69.120) = 11,144$
- 3) Nilai F (ti) diperoleh dengan menggunakan rumus,

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

Dimana : n = jumlah data = 5

Contoh perhitungan:

$$i = 1$$

$$F(t_i) = \frac{1-0,3}{5+0,4} = 0,130$$

- 4) Nilai Yi diperoleh dari rumus

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

$$y_i = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-0,130}\right)\right) = -1,974$$

Berdasarkan Tabel IV.04. untuk menghitung *index of fit* dari distribusi weibull sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times (-27,105)) - (56,779 \times (-2,454))}{\sqrt{[5 \times 644,917 - (56,779)^2][5 \times 5,510 - (-2,454)^2]}}$$

$$r = 0,9715$$

Tabel IV.05. Perhitungan IOF Distribusi Weibull (TTR) Komponen *Bearing Sifter*

I	ti	Xi= Ln ti	F(ti)	Yi	Xi.Yi	Xi^2	Yi^2
1	152	5,024	0,130	-1,974	-9,919	25,239	3,898
2	176	5,170	0,315	-0,973	-5,029	26,734	0,946
3	200	5,298	0,500	-0,367	-1,942	28,072	0,134
4	222	5,403	0,685	0,145	0,782	29,189	0,021
5	234	5,455	0,870	0,714	3,898	29,761	0,510
Total	984	26,351	2,500	-2,454	-12,211	138,995	5,510

(Sumber: Hasil Pengolahan Data)

Keterangan :

- 1) Kolom ti pada Tabel IV.05. diperoleh dari data TTR yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- 2) Nilai Xi diperoleh dengan $Xi = \ln(ti) = \ln(152) = 5,024$
- 3) Nilai F (ti) diperoleh dengan menggunakan rumus,

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

Dimana : n = jumlah data = 5

Contoh perhitungan:

$$i = 1$$

$$F(ti) = \frac{1-0,3}{4+0,4} = 0,130$$

- 4) Nilai Yi diperoleh dari rumus

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

$$y_i = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1-0,159} \right) \right) = -1,974$$

Berdasarkan Tabel IV.05. untuk menghitung *index of fit* dari (TTR) distribusi weibull sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5x - 12,211) - (26,351x - 2,454)}{\sqrt{[5x138,995 - (26,351)^2][5x5,510 - (-2,454)^2]}}$$

$$r = 1,004722773$$

b) Distribusi Normal

Tabel IV.06. Perhitungan IOF Distribusi Normal TTF Komponen *Bearing Sifter*

I	ti	Xi=ti	F(ti)	Yi=f [F(ti)]	Xi.Yi	Xi^2	Yi^2
1	69.120	69.120	0,13	-1,13	-77.977,29	4.777.574.400,00	1,27
2	71.150	71.150	0,31	-0,48	-34.311,96	5.062.322.500,00	0,23
3	89.130	89.130	0,50	0,00	0,00	7.944.156.900,00	0,00
4	96.160	96.160	0,69	0,48	46.372,99	9.246.745.600,00	0,23
5	108.130	108.130	0,87	1,13	121.986,17	11.692.096.900,00	1,27
Total	433.690	433.690	2,50	0,00	56.069,91	38.722.896.300,00	3,01

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan :

- 1) Kolom ti pada Tabel IV.06. diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- 2) Nilai xi, diperoleh dengan $X_i = t_i = 69.120$
- 3) Nilai F (ti), diperoleh dengan menggunakan rumus

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

dimana : n = jumlah data = 5

Contoh perhitungan :

$$i = 1$$

$$F(ti) = \frac{1-0,3}{5+0,4} = 0,13$$

- 4) Nilai Y_i , diperoleh dari fungsi Ms. Excel NORMSINV (0,13) = -1,13
 Berdasarkan Tabel IV.06. untuk menghitung *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times 56.069,91) - (433.690 \times 0,00)}{\sqrt{[5 \times 38.722.896.300 - (433.690)^2][5 \times 3,01 - (0,00)^2]}}$$

$$r = 0,1642$$

Tabel IV.07. Perhitungan IOF Distribusi Normal TTR Komponen *Bearing Sifter*

I	ti	Xi = ti	F(ti)	Yi=f [F(ti)]	Xi.Yi	Xi^2	Yi^2
1	152	152	0,130	-1,128	-171,478	23104	1,273
2	176	176	0,315	-0,482	-84,876	30976	0,233
3	200	200	0,500	0,000	0,000	40000	0,000
4	222	222	0,685	0,482	107,059	49284	0,233
5	234	234	0,870	1,128	263,986	54756	1,273
Total	984	984	2,500	0,000	114,691	198120	3,011

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan :

- 1) Kolom t_i pada Tabel IV.07. diperoleh dari data TTR yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- 2) Nilai x_i , diperoleh dengan $x_i = t_i = 152$
- 3) Nilai $F(t_i)$, diperoleh dengan menggunakan rumus

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

dimana : n = jumlah data = 5

Contoh perhitungan :

$$I = 1$$

$$F(t_i) = \frac{1-0,3}{4+0,4} = 0,130$$

- 4) Nilai Y_i , diperoleh dari fungsi Ms. Excel NORMSINV (0,130) = -1,128

Berdasarkan Tabel IV.07. untuk menghitung *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times 114,691) - (984 \times 0,000)}{\sqrt{[5 \times 198120 - (984)^2][5 \times 3,011 - (0,000)^2]}}$$

$$r = 0,9887318$$

c) Distribusi Lognormal

Tabel IV.08. Perhitungan IOF Distribusi Lognormal TTF Komponen *Bearing Sifter*

I	ti	Xi=ln ti	F(ti)	Yi=f [F(ti)]	Xi.Yi	Xi^2	Yi^2
1	69.120	11,144	0,130	-1,128	-12,572	124,180	1,273
2	71.150	11,173	0,315	-0,482	-5,388	124,826	0,233
3	89.130	11,398	0,500	0,000	0,000	129,911	0,000
4	96.160	11,474	0,685	0,482	5,533	131,647	0,233
5	108.130	11,591	0,870	1,128	13,076	134,353	1,273
Total	433.690	56,779	2,500	0,000	0,650	644,917	3,011

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan :

- 1) Kolom ti, pada Tabel IV.08. diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- 2) Nilai xi, diperoleh dengan $xi = \ln (69.120) = 11,144$
- 3) Nilai F(ti), diperoleh dengan menggunakan rumus

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

dimana : n = jumlah data = 5

Contoh Perhitungan :

$$I = 1$$

$$F(ti) = \frac{1-0,3}{5+0,4} = 0,130$$

- 4) Nilai yi, diperoleh dari fungsi Microsoft Excel NORMSINV (-1,128)

Berdasarkan tabel IV.08. untuk menghitung *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times 0,650) - (56,779 \times 0,000)}{\sqrt{[5 \times 644,917 - (56,779)^2][5 \times 3,011 - (0,000)^2]}}$$

$$r = 0,9802$$

Tabel IV.09. Perhitungan IOF Distribusi Lognormal TTR Komponen Bearing Sifter

I	ti	Xi=ln ti	F(ti)	Yi=f [F(ti)]	Xi.Yi	Xi^2	Yi^2
1	152	5,024	0,130	-1,128	-5,668	25,239	1,273
2	176	5,170	0,315	-0,482	-2,493	26,734	0,233
3	200	5,298	0,500	0,000	0,000	28,072	0,000
4	222	5,403	0,685	0,482	2,605	29,189	0,233
5	234	5,455	0,870	1,128	6,154	29,761	1,273
Total	984	26,351	2,500	0,000	0,599	138,995	3,011

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan :

- 1) Kolom ti, pada Tabel IV.09. diperoleh dari data TTR yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- 2) Nilai xi, diperoleh dengan $xi = \ln (152) = 5,024$
- 3) Nilai F(ti), diperoleh dengan menggunakan rumus

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

dimana : n = jumlah data = 5

Contoh Perhitungan :

$$I = 1$$

$$F(ti) = \frac{1-0,3}{4+0,4} = 0.130$$

- 4) Nilai yi, diperoleh dari fungsi Microsoft Excel NORMSINV (0,130) = -1,128

Berdasarkan Tabel IV.09. untuk menghitung *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times 0,599) - (26,351 \times 0,000)}{\sqrt{[5 \times 138,995 - (26,351)^2][5 \times 3,011 - (0,000)^2]}}$$

$$r = 0,996675031$$

d) Distribusi Eksponensial

Tabel IV.10. Perhitungan IOF Distribusi Eksponensial TTF Komponen *Bearing Sifter*

I	ti	Xi=ti	F(ti)	Yi	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	69.120	69.120	0,13	0,14	9.596,38	4.777.574.400,00	0,02
2	71.150	71.150	0,31	0,38	26.899,41	5.062.322.500,00	0,14
3	89.130	89.130	0,50	0,69	61.780,21	7.944.156.900,00	0,48
4	96.160	96.160	0,69	1,16	111.138,91	9.246.745.600,00	1,34
5	108.130	108.130	0,87	2,04	220.917,58	11.692.096.900,00	4,17
Total	433.690	433.690	2,50	4,41	430.332,48	38.722.896.300,00	6,15

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan :

- 1) Kolom ti, pada Tabel IV.10. diperoleh dari data TTF yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- 2) Nilai xi, diperoleh dengan xi = ti
- 3) Nilai F(ti), diperoleh dengan menggunakan rumus

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

dimana : n = jumlah data = 5

Contoh Perhitungan :

$$i = 1$$

$$F(ti) = \frac{1-0,3}{5+0,4} = 0,13$$

- 4) Nilai Yi, diperoleh dari rumus :

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

$$y_i = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1 - 0,13} \right) \right) = 0,14$$

Berdasarkan Tabel IV.10. untuk menghitung *index of fit* dari distribusi eksponensial sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times 430.332,48) - (433.690 \times 4,41)}{\sqrt{[5 \times 38.722.896.300 - (433.690)^2][5 \times 6,15 - (4,41)^2]}}$$

$$r = 1,4532$$

Tabel IV.11. Perhitungan IOF Distribusi Eksponensial TTR Komponen *Bearing Sifter*

I	ti	Xi=ti	F(ti)	Yi	Xi.Yi	Xi2	Yi2
1	152	152	0,130	0,139	21,103	23104	0,019
2	176	176	0,315	0,378	66,540	30976	0,143
3	200	200	0,500	0,693	138,629	40000	0,480
4	222	222	0,685	1,156	256,581	49284	1,336
5	234	234	0,870	2,043	478,079	54756	4,174
Total	984	984	2,500	4,409	960,933	198120	6,153

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Keterangan :

- 1) Kolom ti, pada Tabel IV.11. diperoleh dari data TTR yang telah diurutkan dari nilai yang terkecil sampai nilai yang terbesar.
- 2) Nilai xi, diperoleh dengan $x_i = t_i = 152$
- 3) Nilai F(ti), diperoleh dengan menggunakan rumus

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

dimana : n = jumlah data = 5

Contoh Perhitungan :

$$i = 1$$

$$F(t_i) = \frac{1-0,3}{4+0,4} = 0,130$$

4) Nilai Y_i , diperoleh dari rumus :

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

$$y_i = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1-0,130} \right) \right) = 0,139$$

Berdasarkan Tabel IV.11. untuk menghitung *index of fit* dari distribusi eksponensial sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times 960,933) - (984 \times 4,409)}{\sqrt{[5 \times 198120 - (984)^2][5 \times 6,153 - (4,409)^2]}}$$

$$r = 0,926760042$$

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

Tabel IV.12. Nilai *index of fit* (IOF) Komponen *Bearing Sifter*

No	Distribusi	TTF <i>Bearing</i>	TTR <i>Bearing</i>
1	Weibull	0,9715	1,004722773
2	Normal	0,1642	0,9887318
3	Lognormal	0,9802	0,996675031
4	Eksponensial	1,4532	0,926760042

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Perhitungan *index of fit* sebelumnya menghasilkan distribusi terpilih terhadap TTF komponen *Bearing Sifter*. Uji keselarasan ini dilakukan untuk mengetahui apakah distribusi yang dipergunakan sesuai atau tidak. Apabila berdasarkan uji tersebut tidak memenuhi kecocokan, maka diambil distribusi dengan nilai (r) terbesar kedua, dan seterusnya. Pengujian yang dilakukan masing-masing distribusi antara lain : *Manns test* untuk distribusi Weibull, *Barletts test* untuk distribusi Eksponensial, dan *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk distribusi Normal dan Lognormal.

4.2.4. Pengujian Keselarasan Distribusi (*Goodness Of Fit*) TTF dan TTR

Komponen *Bearing*

Berdasarkan perhitungan *index of fit* terbesar TTF dan TTR dari komponen *Bearing Sifter* menunjukkan bahwa distribusi yang terpilih adalah distribusi lognormal. Maka dari itu uji keselarasan yang terpilih adalah uji *Kolmogorov-Smirnov Test* dengan hipotesa sebagai berikut :

H_0 : Waktu kerusakan berdistribusi lognormal

H_1 : Waktu kerusakan tidak berdistribusi lognormal

Perhitungan untuk *Kolmogorov-Smirnov Test* (TTF) dapat dilihat pada Tabel IV.13.

Tabel IV.13. Perhitungan Uji Keselarasan Distribusi (*Goodness Of Fit*)TTF
Komponen *Bearing*

i	(i-1)/n	i/n	ti	(ti-t)2	zi=(ti-t)/s	F(zi)	D1i	D2i
1	0	0,2	69.120	310393924	-7,96839E-05	0,499968211	0,4999682	-0,299968
2	0,2	0,4	71.150	242985744	-7,05025E-05	0,499971874	0,2999719	-0,099972
3	0,4	0,6	89.130	5721664	1,08187E-05	0,500004316	0,1000043	0,0999957
4	0,6	0,8	96.160	88774084	4,26145E-05	0,500017001	-0,099983	0,299983
5	0,8	1	108.130	457617664	9,67532E-05	0,500038599	-0,299961	0,4999614
Total			433.690	1105493080				

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

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

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n ti}{n} = \frac{433.690}{5} = 86.738$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{6,02984E+11}{5-1}} = 1,20597000000$$

Untuk $i=1$:

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

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

$$(t_i - \bar{t})^2 = (69.120 - 86.738)^2 = 310.393924$$

$$Z_i = \frac{t_i - \bar{t}}{s} = \frac{69.120 - 86.738}{1,20597000000} = -14,608987$$

Nilai $F(z_i)$ diperoleh dari fungsi Microsoft Excel yaitu $\text{NORMSDIST}(-14,608987)$

$$(z_i) = 0,499968$$

$$D_{1i} = F(z_i) - \frac{i-1}{n} = 0,499968 - 0 = 0,499968$$

$$D_{2i} = \frac{i}{n} - F(z_i) = 0,2 - 0,499968 = -0,299968$$

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

$$D_{1(\max)} = 0,499968$$

$$D_{2(\max)} = -0,299968$$

7. Hasil perhitungan : $D_{\text{hitung}} = -0,299968$

8. Nilai $D_{\text{tabel}}(5;0,05) = 0,3427$

Karena $D_{\text{hitung}} (-0,299968) < D_{\text{tabel}} (0,3427)$, maka hipotesis nol (H_0) diterima dan data waktu kerusakan berdistribusi lognormal.

Perhitungan untuk *Kolmogorov-Smirnov Test* (TTR) dapat dilihat pada Tabel IV.14.

Tabel IV.14. Perhitungan Uji Keselarasan Distribusi (*Goodness Of Fit*) TTR Komponen *Bearing*

i	(i-1)/n	i/n	Ti	(ti-t)^2	zi=(ti-t)/s	F(zi)	Dli	D2i
1	0	0,2	152	2007,04	-0,05018146	0,479988893	0,4799889	-0,279989
2	0,2	0,4	176	432,64	-0,023298535	0,49070607	0,2907061	-0,090706
3	0,4	0,6	200	10,24	0,00358439	0,501429962	0,10143	0,09857
4	0,6	0,8	222	635,04	0,028227071	0,511259477	-0,088741	0,2887405
5	0,8	1	234	1383,84	0,041668534	0,516618531	-0,283381	0,4833815
Total			984	4468,8				

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

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

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n ti}{n} = \frac{984}{5} = 196,8$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ti-t)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{4468,8}{5-1}} = 892,76$$

Untuk $i=1$:

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

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

$$(ti - \bar{t})^2 = (152 - 196,8)^2 = 2007,04$$

$$Zi = \frac{ti-t}{s} = \frac{152-196,8}{892,76} = 151,77956$$

Nilai $F(zi)$ diperoleh dari fungsi Microsoft Excel yaitu NORMSDIST (151,77956)

$$(zi) = -0,05018146$$

$$D_{1i} = F(Z_i) - \frac{i-1}{n} = -0,05018146 - 0 = 0,4799889$$

$$D_{2i} = \frac{i}{n} - F(Z_i) = 0,2 - 0,4799889 = -0,279989$$

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

$$D_{1(\max)} = 0,4799889$$

$$D_{2(\max)} = -0,279989$$

7. Hasil perhitungan : $D_{\text{hitung}} = -0,279989$

8. Nilai $D_{\text{tabel}}(5;0,05) = 0,3427$

Karena $D_{\text{hitung}} (-0,279989) < D_{\text{tabel}} (0,3427)$, maka hipotesis nol (H_0) diterima dan data waktu kerusakan berdistribusi lognormal.

4.2.5. Perhitungan Estimasi Parameter Distribusi Terpilih

Perhitungan ini bertujuan untuk menggambarkan keadaan optimal data secara lebih akurat. Metode ini yang digunakan dalam penaksiran parameter ini adalah penaksiran kemungkinan terbesar atau *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Parameter yang dihitung nanti akan dipergunakan dalam perhitungan MTTF (*Mean Time To Failure*). Berdasarkan hasil pengujian keselarasan didapat bahwa distribusi selang waktu kerusakan yang terpilih untuk komponen ini adalah distribusi Lognormal. Berikut ini merupakan perhitungan MLE untuk TTF dan TTR komponen *Bearing Sifter*.

Tabel IV.15. Perhitungan MLE TTF Komponen *Bearing Sifter*

I	Ti	ln ti	ln ti/n	(ln ti - μ) ²
1	69.120	11,1436	0,4822	0,0450
2	71.150	11,1725	0,4827	0,0336
3	89.130	11,3979	0,4867	0,0018
4	96.160	11,4738	0,4880	0,0139
5	108.130	11,5911	0,4900	0,0554
TOTAL		56,7789	2,4296	0,1497

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Perhitungan parameter:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{\ln ti}{n} = \frac{56,7789}{5} = 11,355$$

$$t_{med} = e^{\mu} = e^{41.35578} = 85.458$$

$$\hat{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (0.1497)^2}{5}} = 0,173$$

Tabel IV.16. Perhitungan MLE TTR Komponen *Bearing Sifter*

I	Ti	ln ti	ln ti/n	(ln ti - μ) ²
1	152	5,0239	0,3228	0,0606
2	176	5,1705	0,3286	0,0099
3	200	5,2983	0,3335	0,0008
4	222	5,4027	0,3374	0,0176
5	234	5,4553	0,3393	0,0343
TOTAL	26,3507	1,6616	0,1232	

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Perhitungan parameter:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n} = \frac{26.3507}{5} = 5,270$$

$$t_{med} = e^{\mu} = e^{5.27014} = 194,44$$

$$\hat{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (0.1232)^2}{5}} = 0,157$$

4.2.6. Perhitungan MTTF dan MTTR

Estimasi parameter telah dihasilkan dari perhitungan pada subbab 4.2.5. Setelah itu dilakukan perhitungan MTTF dan MTTR komponen *bearing* sesuai dengan parameter distribusinya. Rekapitulasi dari perhitungan MTTF dan MTTR komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel IV.17.

Tabel IV.17. Parameter Perhitungan MTTR dan MTTF Komponen *Bearing*

NO	MTTF/MTTR	DISTRIBUSI TERPILIH	PARAMETER	NILAI PARAMETER
1	MTTF	LOGNORMAL	tmed	85,458
			s	0,173
2	MTTR	LOGNORMAL	tmed	194,44
			s	0,157

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Perhitungan MTTF dan MTTR Komponen *Bearing Sifter*

1. MTTF (Distribusi Lognormal)

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= t_{med} \left(e^{s^2/2} \right) \\ &= 85,458 \left((0,173)^2/2 \right) \\ \text{MTTF} &= 86.746,9 \text{ menit} \end{aligned}$$

2. MTTR (Distribusi Lognormal)

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= t_{med} \left(e^{s^2/2} \right) \\ &= 194,44 \left((0,157)^2/2 \right) \\ \text{MTTR} &= 196,85 \text{ menit} \end{aligned}$$

Laju Kerusakan Komponen *Bearing Sifter* Komponen *bearing* memiliki data kerusakan berdistribusi lognormal. Dari distribusi tersebut, laju kerusakan komponen *bearing* dapat dilihat pada tabel IV.18. ditentukan dengan perhitungan berikut:

Tabel IV.18. Laju Kerusakan Komponen *Bearing*

No	t	f(t)	R(t)	Laju Kerusakan [λ(t)]
1	69.120	0,00172	0,88995	0,00193
2	71.150	0,00205	0,85519	0,00240
3	89.130	0,00312	0,40395	0,00772
4	96.160	0,00245	0,24765	0,00990
5	108.130	0,00116	0,08693	0,01331

(Sumber : Pengolahan Data)

Berikut merupakan contoh perhitungan (untuk t = 69.120)

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

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14 \times 0,17303179 \times 69.120}} \exp \left[-\frac{1}{2(0,173)^2} \left(\ln \frac{69.120}{85,458} \right)^2 \right]$$

$$f(t) = 0,00172$$

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

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{69.120} \ln \frac{69.120}{85,458}\right)$$

$$R(t) = 1 - \Phi(-1,2263)$$

Perhitungan $\Phi(-1,2263)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu

$$\text{NORMSDIST}(-1,2263) = 0,11005$$

$$R(t) = 1 - 0,11005 = 0,88995$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{0,00172}{0,88995} = 0,00193$$

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

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

1. Perhitungan *Age Replacement* Komponen *Bearing*

Berikut merupakan data-data yang didapat dari perhitungan sebelumnya:

- a. Data waktu kerusakan berdistribusi lognormal dengan nilai:

$$\text{MTTF} = 86.746,9 \text{ menit}$$

$$t_{med} = 85.458$$

$$s = 0,173$$

- b. Data waktu perbaikan berdistribusi Lognormal dengan nilai MTTR = 196,85 menit, sehingga $T_f = 196,85$ menit Diasumsikan $T_f = T_p = 196,85$ menit

Selanjutnya adalah mencari nilai interval waktu tindakan penggantian pencegahan dengan cara *trial and error* dari selang waktu kerusakan minimum sampai maksimum. Proses ini dapat dilihat pada Tabel IV.19.

Tabel IV.19. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Bearing.

No	tp (Menit)	1/s ln (tp/tmed)	ϕ	R(tp)	Tp*R(tp)	1-R(tp)	Tf(1- R(tp))	(tp-Tp)*R(t p)	M(tp)	M(tp)-Tf	D(tp)	Indikator
1	65000	-1.581	0.057	0.943	185.655	0.057	11.20	61,487.93	1,524,868	1,525,065	0.00133	0.000000249
2	65100	-1.573	0.058	0.942	185.454	0.058	11.40	61,515.49	1,497,953	1,498,150	0.00133	0.000000239
3	65200	-1.564	0.059	0.941	185.250	0.059	11.60	61,542.02	1,471,653	1,471,850	0.00133	0.000000230
4	65300	-1.555	0.060	0.940	185.044	0.060	11.81	61,567.50	1,445,951	1,446,148	0.00133	0.000000220
5	65400	-1.546	0.061	0.939	184.835	0.061	12.02	61,591.93	1,420,831	1,421,028	0.00133	0.000000211
6	65500	-1.537	0.062	0.938	184.624	0.062	12.23	61,615.29	1,396,279	1,396,475	0.00133	0.000000201
7	65600	-1.528	0.063	0.937	184.410	0.063	12.44	61,637.58	1,372,278	1,372,474	0.00133	0.000000192
8	65700	-1.520	0.064	0.936	184.193	0.064	12.66	61,658.80	1,348,814	1,349,011	0.00133	0.000000182
9	65800	-1.511	0.065	0.935	183.974	0.065	12.88	61,678.93	1,325,874	1,326,071	0.00133	0.000000172
10	65900	-1.502	0.067	0.933	183.753	0.067	13.10	61,697.97	1,303,443	1,303,640	0.00133	0.000000162
11	66000	-1.493	0.068	0.932	183.528	0.068	13.33	61,715.91	1,281,509	1,281,706	0.00133	0.000000152
12	66100	-1.484	0.069	0.931	183.301	0.069	13.55	61,732.74	1,260,058	1,260,255	0.00133	0.000000142
13	66200	-1.476	0.070	0.930	183.072	0.070	13.78	61,748.46	1,239,079	1,239,275	0.00133	0.000000132
14	66300	-1.467	0.071	0.929	182.840	0.071	14.01	61,763.06	1,218,558	1,218,755	0.00133	0.000000122
15	66400	-1.458	0.072	0.928	182.605	0.072	14.25	61,776.54	1,198,484	1,198,681	0.00133	0.000000112
16	66500	-1.450	0.074	0.926	182.368	0.074	14.49	61,788.88	1,178,846	1,179,043	0.00133	0.000000102
17	66600	-1.441	0.075	0.925	182.128	0.075	14.73	61,800.08	1,159,633	1,159,830	0.00133	0.000000092
18	66700	-1.432	0.076	0.924	181.885	0.076	14.97	61,810.14	1,140,834	1,141,031	0.00132	0.000000082
19	66800	-1.424	0.077	0.923	181.640	0.077	15.21	61,819.04	1,122,438	1,122,635	0.00132	0.000000071
20	66900	-1.415	0.079	0.921	181.392	0.079	15.46	61,826.79	1,104,435	1,104,632	0.00132	0.000000061
21	67000	-1.406	0.080	0.920	181.141	0.080	15.71	61,833.37	1,086,815	1,087,012	0.00132	0.000000050
22	67100	-1.398	0.081	0.919	180.888	0.081	15.97	61,838.78	1,069,570	1,069,766	0.00132	0.000000040
23	67200	-1.389	0.082	0.918	180.632	0.082	16.22	61,843.01	1,052,688	1,052,885	0.00132	0.000000029
24	67300	-1.380	0.084	0.916	180.373	0.084	16.48	61,846.06	1,036,162	1,036,359	0.00132	0.000000019
25	67400	-1.372	0.085	0.915	180.112	0.085	16.74	61,847.92	1,019,983	1,020,180	0.00132	0.000000008
26	67500	-1.363	0.086	0.914	179.848	0.086	17.01	61,848.58	1,004,141	1,004,338	0.00132	-0.000000002
27	67600	-1.355	0.088	0.912	179.581	0.088	17.27	61,848.05	988,629	988,826	0.00132	-0.000000013
28	67700	-1.346	0.089	0.911	179.311	0.089	17.54	61,846.30	973,439	973,636	0.00132	-0.000000024
29	67800	-1.338	0.090	0.910	179.039	0.090	17.81	61,843.35	958,563	958,760	0.00132	-0.000000035
30	67900	-1.329	0.092	0.908	178.764	0.092	18.09	61,839.18	943,992	944,189	0.00132	-0.000000046
31	68000	-1.321	0.093	0.907	178.486	0.093	18.37	61,833.80	929,721	929,917	0.00132	-0.000000056
32	68100	-1.312	0.095	0.905	178.206	0.095	18.65	61,827.18	915,740	915,937	0.00132	-0.000000067
33	68200	-1.304	0.096	0.904	177.923	0.096	18.93	61,819.33	902,044	902,241	0.00132	-0.000000078
34	68300	-1.295	0.098	0.902	177.637	0.098	19.22	61,810.25	888,626	888,823	0.00132	

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Dari Tabel IV.19, didapatkan hasil sebagai berikut:

- 1) *Equipment failure* minimum : $D(tp) = 0,00132$
- 2) Interval waktu penggantian : $Tp = 67500$
- 3) *Availability* : $A(tp) = 1 - D(tp) = 1 - 0,00132 = 0,99868$
- 4) Nilai indikator = -0,000000002 menunjukkan pada kolom (tp) dengan nilai 67.500 menit.

Berikut adalah perhitungannya:

$$\frac{1}{s} \ln \left(\frac{tp}{tmed} \right) = \frac{1}{0,173} \ln \left(\frac{67500}{85.458} \right) = -1,363$$

Nilai Φ didapat dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(-1,363)

$$\Phi(-1,363) = 0,086$$

$$R(tp) = 1 - 0,086 = 0,914$$

$$Tp \times R(tp) = 196,85 \times 0,914 = 179,848$$

$$1 - R(tp) = 1 - 0,914 = 0,086$$

$$Tf \times (1 - R(tp)) = 196,85 \times 0,086 = 17,01$$

$$(tp + Tp) \times R(tp) = (67500 + 196,85) \times 0,914 = 61874,9209$$

$$M(Tp) = \frac{MTTF}{1 - R(tp)} = \frac{86.746,9}{0,086} = 1008685$$

$$M(tp) + Tf = 1008685 + 196,85 = 1008882$$

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

$$= \frac{179,848 + 17,01}{61874,9209 + [1008882].[0,086]} = 0,00132$$

Sehingga, interval waktu penggantian komponen *bearing* dengan nilai indikator = -0,000000002 pada Tabel IV.19. menunjukkan pada kolom (tp) dengan nilai 67.500 menit, atau 1.125 jam atau 46,875 dibulatkan menjadi 47 hari kerja.

Tabel IV.20. Rekapitulasi Perhitungan Interval Waktu Penggantian

No.	Komponen/ Tools	Distribusi	tp (menit)	Equipment Failure	Availability
1	Bearing	Lognormal	67.500 menit atau 47 hari kerja	0,00132	0,99868

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

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

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

- a) Data waktu kerusakan berdistribusi lognormal dengan nilai:

$$MTTF = 86.746,9 \text{ menit}$$

$$t_{med} = 85.458$$

$$s^{\circ} = 0,173$$

- b) Data waktu perbaikan berdistribusi lognormal dengan nilai:

$$MTTR = 196,85 \text{ menit, sehingga } T_f = 196,85 \text{ menit}$$

- c) Dari Tabel IV.20. didapatkan nilai tp (waktu penggantian) berikut:

$$tp = T = 67.500 \text{ menit}$$

Pada Tabel IV.21. berikut diperlihatkan simulasi dari perhitungan tingkat keandalan tanpa dan dengan adanya kegiatan *preventive maintenance* dengan kelipatan waktu t sebanyak 24 jam atau 1.440 menit:

Tabel IV.21. Simulasi Perhitungan Tingkat Keandalan Komponen *Bearing* Tanpa dan Dengan Adanya *Preventive Maintenance*.

Jumlah Hari	t(menit)	R(t)	n	R(T) ⁿ	R(t-nT)	Rm(t)	1/s	f	R(T)	r(t-nt)	f
1	1440	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-23.5993	1.961E-123	-1.363	-23.5993	1.961E-123
2	2880	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-19.5933	8.8132E-86	0.086	-19.5933	8.8132E-86
3	4320	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-17.2500	5.594E-67	0.914	-17.2500	5.594E-67
4	5760	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-15.5874	4.4337E-55	0.086	-15.5874	4.4337E-55
5	7200	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-14.2978	1.1296E-46	0.914	-14.2978	1.1296E-46
6	8640	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-13.2441	2.4413E-40	0.086	-13.2441	2.4413E-40
7	10080	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-12.3532	2.341E-35	0.914	-12.3532	2.341E-35
8	11520	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-11.5815	2.5583E-31	0.086	-11.5815	2.5583E-31
9	12960	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-10.9008	5.7155E-28	0.914	-10.9008	5.7155E-28
10	14400	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-10.2918	3.835E-25	0.086	-10.2918	3.835E-25
11	15840	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-9.7410	1.0077E-22	0.914	-9.7410	1.0077E-22
12	17280	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-9.2381	1.2541E-20	0.086	-9.2381	1.2541E-20
13	18720	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-8.7755	8.504E-19	0.914	-8.7755	8.504E-19
14	20160	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-8.3472	3.4936E-17	0.086	-8.3472	3.4936E-17
15	21600	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-7.9485	9.4381E-16	0.914	-7.9485	9.4381E-16
16	23040	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-7.5755	1.7884E-14	0.086	-7.5755	1.7884E-14
17	24480	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-7.2252	2.5027E-13	0.914	-7.2252	2.5027E-13
18	25920	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-6.8948	2.6967E-12	0.086	-6.8948	2.6967E-12
19	27360	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-6.5823	2.3155E-11	0.914	-6.5823	2.3155E-11
20	28800	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-6.2859	1.6298E-10	0.086	-6.2859	1.6298E-10
21	30240	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-6.0039	9.6302E-10	0.914	-6.0039	9.6302E-10
22	31680	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-5.7351	4.8736E-09	0.086	-5.7351	4.8736E-09
23	33120	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-5.4782	2.1488E-08	0.914	-5.4782	2.1488E-08
24	34560	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-5.2322	8.3752E-08	0.086	-5.2322	8.3752E-08
25	36000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-4.9963	2.9224E-07	0.914	-4.9963	2.9224E-07
26	37440	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-4.7696	9.2293E-07	0.086	-4.7696	9.2293E-07
27	38880	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-4.5515	2.6633E-06	0.914	-4.5515	2.6633E-06
28	40320	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-4.3413	7.0817E-06	0.086	-4.3413	7.0817E-06
29	41760	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-4.1385	1.7479E-05	0.914	-4.1385	1.7479E-05
30	43200	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-3.9426	4.0305E-05	0.086	-3.9426	4.0305E-05
31	44640	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-3.7531	8.734E-05	0.914	-3.7531	8.734E-05
32	46080	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-3.5696	0.00017877	0.086	-3.5696	0.00017877
33	47520	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-3.3917	0.00034724	0.914	-3.3917	0.00034724
34	48960	0.999	0.000	1.000	0.999	0.999	-3.2192	0.00064271	0.086	-3.2192	0.00064271
35	50400	0.999	0.000	1.000	0.999	0.999	-3.0517	0.00113779	0.914	-3.0517	0.00113779

Lanjutan.....

Lanjutan.....

Tabel IV.21. Simulasi Perhitungan Tingkat Keandalan Komponen Bearing Tanpa dan Dengan Adanya Preventive Maintenance

Jumlah Hari	t(menit)	R(t)	n	R(T) ⁿ	R(t-nT)	Rm(t)	1/s	f	R(T)	r(t-nt)	f
36	51840	0.998	0.000	1.000	0.998	0.998	-2.8889	0.00193309	0.086	-2.8889	0.00193309
37	53280	0.997	0.000	1.000	0.997	0.997	-2.7305	0.00316162	0.914	-2.7305	0.00316162
38	54720	0.995	0.000	1.000	0.995	0.995	-2.5764	0.00499167	0.086	-2.5764	0.00499167
39	56160	0.992	0.000	1.000	0.992	0.992	-2.4263	0.00762716	0.914	-2.4263	0.00762716
40	57600	0.989	0.000	1.000	0.989	0.989	-2.2800	0.01130491	0.086	-2.2800	0.01130491
41	59040	0.984	0.000	1.000	0.984	0.984	-2.1373	0.01628856	0.914	-2.1373	0.01628856
42	60480	0.977	0.000	1.000	0.977	0.977	-1.9980	0.02285894	0.086	-1.9980	0.02285894
43	61920	0.969	0.000	1.000	0.969	0.969	-1.8620	0.0313017	0.914	-1.8620	0.0313017
44	63360	0.958	0.000	1.000	0.958	0.958	-1.7291	0.0418926	0.086	-1.7291	0.0418926
45	64800	0.945	0.000	1.000	0.945	0.945	-1.5993	0.05488196	0.914	-1.5993	0.05488196
46	66240	0.930	0.000	1.000	0.930	0.930	-1.4722	0.07047919	0.086	-1.4722	0.07047919
47	67680	0.911	1.000	0.914	1.000	0.914	-1.3479	0.08883889	0.914	-35.6171	3.811E-278
48	69120	0.890	1.000	0.914	1.000	0.914	-1.2265	0.11004952	0.086	-22.9186	1.517E-116
49	70560	0.866	1.000	0.914	1.000	0.914	-1.1071	0.1341256	0.914	-19.2430	8.0849E-83
50	72000	0.839	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.9903	0.16100388	0.086	-17.0141	3.2286E-65
51	73440	0.809	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.8759	0.19054377	0.914	-15.4096	7.0589E-54
52	74880	0.777	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.7637	0.22253184	0.086	-14.1551	8.6887E-46
53	76320	0.743	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.6536	0.25668983	0.914	-13.1249	1.1854E-39
54	77760	0.707	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.5456	0.29268558	0.086	-12.2509	8.3079E-35
55	79200	0.670	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.4395	0.330146	0.914	-11.4919	7.2482E-31
56	80640	0.631	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.3354	0.36867115	0.086	-10.8210	1.3683E-27
57	82080	0.592	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.2331	0.4078485	0.914	-10.2200	8.0635E-25
58	83520	0.553	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.1326	0.44726671	0.086	-9.6757	1.9123E-22
59	84960	0.513	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.0338	0.48652811	0.914	-9.1782	2.1908E-20
60	86746.9	0.466	1.000	0.914	1.000	0.914	0.0865	0.53447219	0.086	-8.6151	3.4934E-18
61	87840	0.437	1.000	0.914	1.000	0.914	0.1589	0.56312114	0.914	-8.2959	5.3894E-17
62	89280	0.400	1.000	0.914	1.000	0.914	0.2529	0.59981272	0.086	-7.9006	1.3883E-15
63	90720	0.365	1.000	0.914	1.000	0.914	0.3453	0.63507831	0.914	-7.5305	2.5264E-14
64	92160	0.331	1.000	0.914	1.000	0.914	0.4363	0.66870825	0.086	-7.1828	3.4146E-13
65	93600	0.299	1.000	0.914	1.000	0.914	0.5260	0.7005396	0.914	-6.8548	3.5701E-12
66	95040	0.270	1.000	0.914	1.000	0.914	0.6142	0.7304548	0.086	-6.5444	2.9858E-11
67	96480	0.242	1.000	0.914	1.000	0.914	0.7011	0.75837912	0.914	-6.2499	2.0537E-10
68	97920	0.216	1.000	0.914	1.000	0.914	0.7867	0.784277	0.086	-5.9696	1.189E-09
69	99360	0.192	1.000	0.914	1.000	0.914	0.8711	0.8081478	0.914	-5.7023	5.9092E-09
70	100800	0.170	1.000	0.914	1.000	0.914	0.9542	0.83002109	0.086	-5.4468	2.5636E-08

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Dari Tabel IV.21. didapatkan hasil sebagai berikut:

MTTF dengan nilai 86.746,9 menit.

$$R(t) = R(86746,9) = 0,466$$

$$Rm(t) = Rm(86746,9) = 0,914$$

Berikut merupakan perhitungannya:

1) Tanpa tindakan pencegahan

$$\begin{aligned}R(t) &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \\&= 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,173} \ln \frac{86746,9}{85.458}\right) \\&= 1 - \Phi(11,1839)\end{aligned}$$

Perhitungan phi $\Phi(11,1839)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu

$$\text{NORMSDIST}(11,1839) = 0,5344722$$

$$R(t) = 1 - 0,5344722 = 0,466 \times 100\% = 46,6 \%$$

2) Dengan tindakan pencegahan

$$\begin{aligned}R(T) &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{T}{t_{med}}\right) \\&= 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,173} \ln \frac{67500}{85.458}\right) \\&= 1 - \Phi(38,56565)\end{aligned}$$

Perhitungan phi $\Phi(38,56565)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu

$$\text{NORMSDIST}(38,56565) = 0,086$$

$$R(T)^n = (1 - 0,086)^1 = 0,914$$

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

$$\begin{aligned}R(t - nT) &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,173} \ln \frac{86746,9 - (1 \times 67.500)}{85.458}\right) \\&= 1 - \Phi(1,521258)\end{aligned}$$

Perhitungan phi $\Phi(1,521258)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu

$$\text{NORMSDIST}(1,521258) = 1$$

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

Sehingga nilai keandalan dengan adanya pencegahan adalah:

$$R_m(t) = R(T)^n \times R(t - nT)$$
$$= 0,914 \times 1 = 0,914 \times 100\% = 91,4\%$$

Nilai peningkatan keandalan:

$$R_m(t) - R(t) = 91,4\% - 46,6\% = 44,8\%$$

Rekapitulasi peningkatan keandalan dari komponen *bearing* dapat dilihat pada Tabel IV.22.

Tabel IV.22. Rekapitulasi Perhitungan Keandalan Tanpa dan Dengan Adanya *Preventive Maintenance*.

No.	Komponen	Nilai Keandalan		
		Tanpa <i>Preventive Maintenance</i> (%)	Dengan <i>Preventive Maintenance</i> (%)	Nilai Peningkatan Keandalan (%)
1	<i>Bearing</i>	46,6 %	91,4 %	44,8%

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis Penentuan Komponen Mesin yang Sering Rusak

Mesin *Sifter* memiliki komponen-komponen yang sering mengalami kerusakan dan perlu dilakukan tindakan penggantian. Komponen mesin tersebut dapat dilihat pada Tabel IV.02. beserta dengan frekuensi kerusakannya. Dari tabel tersebut frekuensi kerusakan motor listrik 1 kali kerusakan, frekuensi kerusakan komponen *v-belt* sebanyak 2 kali, dan frekuensi kerusakan komponen *bearing* sebanyak 5 kali kerusakan, dari ketiga komponen yang sering rusak ini terpilihlah komponen *bearing* sebagai komponen yang sering rusak, karena memiliki frekuensi penggantian lebih sering dari komponen lainnya, yaitu sebanyak 5 kali.

5.2. Analisis Perhitungan Selang Waktu Antar Kerusakan Komponen kritis yang Sering Rusak

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

Berikut ini adalah contoh analisa perhitungan TTF dan TTR komponen bearing :

Perhitungan *Time To Failure (TTF)* selang waktu antara kerusakan pada Tabel IV.03. No.1, kerusakan pertama di asumsikan mulai dihitung dari tanggal 01-01-2016 sampai dengan tanggal 23-03-2016, pada jam 08.00 terjadi kerusakan. Selang waktu mulai dari tanggal 01-01-2016 sampai dengan 23-03-2016 adalah 48 hari kerja. Jam kerja mesin adalah 24 jam, atau 1.440 menit dalam satu hari. Jadi total waktu yang dibutuhkan adalah (48×1.440) menit = 69.120 menit. Jadi interval waktu kerusakan (TTF) adalah 69.120 menit.

Perhitungan *Time To Repair (TTR)* selang waktu perbaikan pertama, kerusakan terjadi pada tanggal 23-03-2016 mulai jam 08.00 dan selesai perbaikan jam 10.32 pada hari yang sama. Selang waktu dari waktu mulai perbaikan sampai pada waktu selesai perbaikan adalah sebesar 152 menit.

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

5.3. Analisis Perhitungan *Index Of Fit (IOF)* TTF dan TTR Komponen *Bearing Sifter*

Pemilihan distribusi ini dilakukan dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting (LSCF)*. Distribusi dipilih berdasarkan *index of fit (r)* terbesar yang mendekati 1 atau -1. Jenis distribusi yang digunakan adalah distribusi Weibull, Normal, Lognormal, dan Eksponensial.

Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan *Microsoft excel* yang menghasilkan nilai *index of fit* pada Tabel IV.12. untuk komponen *bearing* memiliki data TTF yang berdistribusi lognormal dengan nilai *index of fit* sebesar 0,9802. Terpilihnya distribusi lognormal pada TTF komponen *bearing* menyatakan bahwa komponen ini telah mencapai umur pakai dan perlu dilakukan tindakan *preventive maintenance*. Sedangkan untuk data TTR komponen *bearing* berdistribusi lognormal dengan nilai *index of fit* sebesar 0,9966. Setelah ditentukan distribusi yang terpilih komponen kritis yang sering rusak, maka akan dilakukan pengujian keselarasan distribusi kerusakan terpilih. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui distribusi yang terpilih sesuai atau tidak.

5.4. Analisis Pengujian Keselarasan Distribusi Terpilih TTF dan TTR Komponen *Bearing*

Perhitungan selanjutnya setelah perhitungan *index of fit* adalah pengujian kesesuaian distribusi (*Goodness Of Fit*) yang dilakukan terhadap distribusi yang telah terpilih. Pengujian ini dilakukan untuk lebih memastikan bahwa distribusi yang telah terpilih sebelumnya memang benar untuk dipilih atau tidak. Tingkat kepercayaan yang digunakan sebesar 95% yang berarti bahwa 95% dari pengujian adalah benar. Pengujian ini dilakukan dengan tiga uji, yaitu *Bartlett's Test* untuk distribusi eksponensial, *Mann's Test* untuk distribusi Weibull, dan *KolmogorovSmirnov Test* untuk distribusi normal dan lognormal.

Hasil dari pengujian ini dapat menerima H_0 (hipotesis nol) atau juga dapat menerima H_1 (hipotesis alternatif). Setelah dilakukan perhitungan *goodness of fit* dan diterima hipotesis nol, maka distribusi pilihan tersebut dinyatakan telah mewakili penyebaran data TTF dan TTR terhadap semua komponen. Sedangkan, hipotesis alternatif yang terpilih, distribusi pilihan tersebut dinyatakan tidak akurat dalam mewakili penyebaran data TTF dan TTR, dan harus dilakukan uji *goodness of fit* kembali dengan nilai *index of fit* terbesar kedua dan seterusnya perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil uji *goodness of fit* yang menerima H_0 (hipotesis nol).

Komponen pada penelitian ini menghasilkan nilai uji *goodness of fit* yang menerima H_0 (hipotesis nol) pada pengujian pertama. Komponen *bearing* dengan data TTF berdistribusi lognormal dan data TTR berdistribusi lognormal. Hasil dari perhitungan *goodness of fit* ini dapat dilihat pada Tabel IV.13. untuk data TTF dan Tabel IV.14. untuk data TTR.

Berdasarkan nilai *Index of Fit* (r) terbesar, TTF komponen *Bearing Sifter* berdistribusi lognormal. Maka uji *goodness of fit* yang dilakukan adalah uji *Kolmogorov-Smirnov Test*. Hasil uji untuk TTF *Bearing Sifter* adalah ($D_{hitung} = 0,299968$) < (Nilai $D_{tabel (5;0,05)} = 0.3427$) maka H_0 diterima yang berarti distribusi TTF untuk komponen ini adalah distribusi lognormal.

Berdasarkan nilai *Index of Fit* (r) terbesar, TTR perbaikan komponen *Bearing Sifter* berdistribusi lognormal. Maka uji *goodness of fit* yang dilakukan adalah uji *Kolmogorov-Smirnov Test*. Hasil uji untuk TTR perbaikan komponen *Bearing Sifter* adalah ($D_{hitung} = -0,279989$) < (Nilai $D_{tabel} = 0,3427$) maka H_0 diterima yang berarti distribusi TTR untuk komponen ini adalah distribusi lognormal.

5.5. Analisis Estimasi Parameter Distribusi Terpilih

Metode yang digunakan dalam penaksiran parameter ini adalah penaksiran kemungkinan terbesar atau *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Parameter yang dihitung nanti akan digunakan dalam perhitungan MTTF (*Mean Time To Failure*) dan MTTR (*Mean Time To Repair*) Maka dari itu dengan menggunakan metode MLE akan didapat nilai estimasi parameter yang lebih akurat dan dapat menggambarkan keadaan yang optimal dari setiap data, yaitu data selang waktu kerusakan dan selang waktu perbaikan. Berdasarkan nilai parameter yang di dapat untuk TTF MLE lognormal t_{med} dengan nilai sebesar 85,458, dan \hat{s} dengan nilai sebesar 0,173. Kemudian untuk TTR MLE lognormal t_{med} dengan nilai sebesar 194,44, dan \hat{s} dengan nilai sebesar 0,157.

5.6. Analisis Perhitungan (MTTF) dan (MTTR)

Penentuan nilai MTTF dan MTTR dilakukan dengan perhitungan beberapa parameter terlebih dahulu sesuai dengan distribusi yang mengikutinya. Parameter untuk satu distribusi berbeda dengan distribusi yang lainnya. Perhitungan parameter tersebut dilakukan dengan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Nilai MTTF dan MTTR dapat ditentukan setelah parameter-parameter yang diperlukan untuk tiap distribusi telah ditentukan. Hasil dari perhitungan nilai MTTF dan MTTR untuk komponen *bearing* beserta parameternya dapat dilihat pada Tabel IV.17.

Berdasarkan Tabel IV.17. komponen *bearing* memiliki MTTF berdistribusi lognormal dengan dua parameter yaitu parameter t_{med} dengan nilai sebesar 85,458, dan parameter \hat{s} dengan nilai sebesar 0,173. Dari kedua parameter tersebut, dapat ditentukan nilai MTTF menggunakan rumus MTTF dari distribusi lognormal yang

menghasilkan nilai sebesar 86.746,9 menit. Kemudian untuk MTTR komponen *bearing* berdistribusi lognormal dengan dua parameter, yaitu parameter t_{med} dengan nilai sebesar 194,44, dan parameter \hat{s} dengan nilai sebesar 0,157. Dari kedua parameter tersebut, dapat ditentukan nilai MTTR menggunakan rumus MTTR distribusi lognormal yang menghasilkan nilai sebesar 196,85 menit.

5.7. Analisis Waktu Penggantian Pencegahan Komponen *Bearing* Dengan Metode *Age Replacement*

Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan interval waktu penggantian yang optimal dengan menghasilkan nilai *equipment failure* minimum. Penggantian komponen dilakukan terhadap komponen-komponen kritis untuk menghindari waktu yang lebih lama karena perbaikan mesin yang mengalami kerusakan. Nilai *equipment failure* minimum akan menghasilkan nilai *availability* yang tinggi. Interval waktu penggantian komponen dengan model *age replacement*, nilai *equipment failure*, dan nilai *availability* dapat dilihat pada Tabel IV.19.

Berdasarkan Tabel IV.19. komponen *bearing* dengan distribusi lognormal memiliki interval waktu penggantian komponen selama 67.500 menit sekali atau 47 hari kerja sekali dengan nilai *equipment failure* minimum sebesar 0,00132, dan nilai *availability* 0,99868. Interval waktu penggantian berdasarkan penjabaran sebelumnya dengan model *age replacement* akan menghasilkan penjadwalan penggantian untuk komponen *bearing* yang dapat terlihat pada Tabel IV.20.

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

Perhitungan tingkat keandalan terhadap komponen kritis ini dilakukan sebelum (*corrective maintenance*) dan sesudah adanya *preventive maintenance* (secara teoritis) agar dapat dibandingkan tingkat keandalannya. Karena tujuan dari dilakukannya tindakan *preventive maintenance* adalah untuk meningkatkan keandalan dari suatu mesin. Fungsi keandalan adalah suatu peluang atau kemungkinan sebuah komponen atau sistem akan melakukan fungsi yang dibutuhkan selama periode waktu yang

diharapkan. Rekapitulasi perhitungan tingkat keandalan tanpa dan dengan adanya *preventive maintenance* dapat dilihat pada Tabel IV.22.

Berdasarkan Tabel IV.22. komponen *bearing* pada saat tindakan tanpa *preventive maintenance* memiliki keandalan sebesar $0,466 \times 100\% = 46,6\%$ dan dengan dilakukannya tindakan *preventive maintenance* memiliki keandalan sebesar $0,914 \times 100\% = 91,4\%$. Nilai keandalan komponen *bearing* berdasarkan persentase tersebut meningkat sebesar $(91,4\% - 46,6\% = 44,8\%)$ sehingga nilai peningkatan keandalannya adalah 44,8%. Hal tersebut dikarenakan sebelum adanya kerusakan pada komponen *bearing* pada saat *Mean Time To Failure (MTTF)*, yaitu 86.746,9 menit, pada komponen *bearing* dilakukan penggantian komponen pada saat 67.500 menit atau 47 hari kerja berdasarkan model *age replacement*, sehingga pada saat MTTF tersebut yang seharusnya komponen telah rusak dan hanya memiliki keandalan 46,6% tidak mengalami kerusakan dan keandalan dapat dipertahankan pada nilai 91,4%.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengumpulan data yang telah diolah, serta analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari analisa data terlihat bahwa untuk kerusakan yang disebabkan motor listrik frekuensi kerusakan 1 kali kerusakan, frekuensi kerusakan komponen *v-belt* sebanyak 2 kali , dan frekuensi kerusakan komponen *bearing* sebanyak 5 kali keruakan,, dari ketiga komponen kritis yang sering rusak ini, maka komponen *bearing* adalah komponen kritis yang sering rusak.
2. Berdasarkan hasil perhitungan *trial and error age replacement* waktu penggantian komponen *bearing* untuk mesin *Sifter* adalah setelah memproduksi selama 67.500 menit.
3. Berdasarkan hasil perhitungan keandalan (*reliability*) sebelum melakukan program *preventive maintenance* komponen *bearing* memiliki keandalan sebesar 46,6% dan setelah dilakukannya tindakan *preventive maintenance* memiliki keandalan sebesar 91,4%. Nilai keandalan komponen *bearing* berdasarkan persentase tersebut meningkat sebesar $(91,4\% - 46,6\% = 44,8\%)$ sehingga nilai penigkatan keandalanya adalah 44,8%.

6.2. Saran

Berdasarkan dari hasil kesimpulan diatas, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Sebaiknya pihak perusahaan melakukan pemeliharaan pencegahan dibandingkan pemeliharaan perbaikan dalam menangani mesin kritis produksi, sehingga dapat meminimalkan kerusakan yang dapat terjadi pada mesin produksi, agar mesin selalu dalam kondisi prima dan siap dioperasikan serta memperpanjang umur ekonomis mesin produksi.
2. Sebaiknya perusahaan melakukan pelatihan kepada karyawan di bagian perawatan (*maintenance*) mesin supaya karyawan lebih cermat dalam menganalisa kerusakan pada mesin produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, Nachnul, & Mustajib, M. Imron. 2013. *Sistem Perawatan Terpadu (Integrated Maintenance System)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Assauri, Sofjan. 2004. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Corder, A.S. 1996. *Teknik Manajemen Pemeliharaan*, Hadi, Kusnul. Jakarta: Erlangga.
- Dhillon, B.S. 1997. *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. New York: Taylor and Francis Group.
- Ebeling, Charles E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Illinois: Waveland Press, Inc.
- Jardine, Andrew K.S., & Tsang, Albert H.C. 2006. *Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications*. New York: Taylor and Francis Group.
- Mann, Lawrence Jr. 1978. *Maintenance Management*. Canada: D.C. Heath and Company.
- Nakajima, Seiichi. 1988. *Introduction to Total Productive Maintenance*. Cambridge: Productivity Press, Inc.
- Pranoto, Hadi. 2015. *Reliability Centred Maintenance*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
- Stephens, Matthew P. 2004. *Productivity and Reliability-Based Maintenance Management*. New Jersey: Pearson Education, Inc.

Supranto, J. 2008. *Statistik: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga.

Yunita Endah (2012). Usulan Penjadwalan *Preventive Maintenance* Dengan Model *Age Replacement* Untuk Meningkatkan Keandalan Mesin *CNC Milling* Pada PT Aristo Satria Mandiri Indonesia.,
Jakarta : Sekolah Tinggi Manajemen Industri.

Karima Pratiwi (2013). Usulan Penerapan *Preventive Maintenance* Penggantian Komponen Heater Nozzle Mesin Injeksi Plastik Dengan Metode *Age Replacement* Pada Seksi Plastic Injection Di PT Astra Honda Motor., Jakarta : Sekolah Tinggi Manajemen Industri

MILIK PERPUSTAKAAN STMI
Membaca : Ibadah, Mengambil : Dosa

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN PENGOLAHAN DATA

Lampiran Perhitungan Index Of Fit TTF dan TTR

Distribusi Eksponensial TTF

i	ti	Xi=ti	F(ti)	Yi	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	69,120	69,120	0.13	0.14	9,596	4,777,574,400	0.02
2	71,150	71,150	0.31	0.38	26,899	5,062,322,500	0.14
3	89,130	89,130	0.50	0.69	61,780	7,944,156,900	0.48
4	96,160	96,160	0.69	1.16	111,139	9,246,745,600	1.34
5	108,130	108,130	0.87	2.04	220,918	11,692,096,900	4.17
Total	433,690	433,690	2.50	4.41	430,332	38,722,896,300	6.15

Untuk menghitung *index of fit* dari distribusi eksponensial sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times 430.332,48) - (433.690 \times 4,41)}{\sqrt{[5 \times 38.722.896.300 - (433.690)^2][5 \times 6,15 - (4,41)^2]}}$$

$$r = 1,4532$$

Distribusi Eksponensial TTR

i	ti	Xi=ti	F(ti)	Yi	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	152	152	0.130	0.139	21.103	23104	0.019
2	176	176	0.315	0.378	66.540	30976	0.143
3	200	200	0.500	0.693	138.629	40000	0.480
4	222	222	0.685	1.156	256.581	49284	1.336
5	234	234	0.870	2.043	478.079	54756	4.174
Total	984	984	2.500	4.409	960.933	198120	6.153

Untuk menghitung *index of fit* dari distribusi eksponensial sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times 960,933) - (984 \times 4,409)}{\sqrt{[5 \times 198120 - (984)^2][5 \times 6,153 - (4,409)^2]}}$$

$$r = 0,926760042$$

Distribusi Weibull TTF

i	ti	Xi= Ln ti	F(ti)	Yi	Xi.Yi	Xi^2	Yi^2
1	69,120	11.144	0.130	-1.974	-22.003	124.180	3.898
2	71,150	11.173	0.315	-0.973	-10.867	124.826	0.946
3	89,130	11.398	0.500	-0.367	-4.177	129.911	0.134
4	96,160	11.474	0.685	0.145	1.661	131.647	0.021
5	108,130	11.591	0.870	0.714	8.281	134.353	0.510
Total	433,690	56.779	2.500	-2.454	-27.105	644.917	5.510

Untuk menghitung *index of fit* dari distribusi weibull sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times (-27,105)) - (56,779 \times (-2,454))}{\sqrt{[5 \times 644,917 - (56,779)^2][5 \times 5,510 - (-2,454)^2]}}$$

$$r = 0,9715$$

Distribusi Weibull TTR

i	ti	Xi= Ln ti	F(ti)	Yi	Xi.Yi	Xi^2	Yi^2
1	152	5.024	0.130	-1.974	-9.919	25.239	3.898
2	176	5.170	0.315	-0.973	-5.029	26.734	0.946
3	200	5.298	0.500	-0.367	-1.942	28.072	0.134
4	222	5.403	0.685	0.145	0.782	29.189	0.021
5	234	5.455	0.870	0.714	3.898	29.761	0.510
Total	984	26.351	2.500	-2.454	-12.211	138.995	5.510

Untuk menghitung *index of fit* dari (TTR) distribusi weibull sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times -12,211) - (26,351 \times -2,454)}{\sqrt{[5 \times 138,995 - (26,351)^2][5 \times 5,510 - (-2,454)^2]}}$$

$$r = 1,004722773$$

Distribusi Normal TTF

i	ti	Xi=ti	F(ti)	Yi=f [F(ti)]	Xi.Yi	Xi^2	Yi^2
1	69,120	69,120	0.13	-1.13	-77,977	4,777,574,400	1.27
2	71,150	71,150	0.31	-0.48	-34,312	5,062,322,500	0.23
3	89,130	89,130	0.50	0.00	0	7,944,156,900	0.00
4	96,160	96,160	0.69	0.48	46,373	9,246,745,600	0.23
5	108,130	108,130	0.87	1.13	121,986	11,692,096,900	1.27
Total	433,690	433,690	2.50	0.00	56,070	38,722,896,300	3.01

Untuk menghitung *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times 56.069,91) - (433.690 \times 0,00)}{\sqrt{[5 \times 38.722.896.300 - (433.690)^2][5 \times 3,01 - (0,00)^2]}}$$

$$r = 0,1642$$

Distribusi Normal TTR

i	ti	Xi=ti	F(ti)	Yi=f [F(ti)]	Xi.Yi	Xi^2	Yi^2
1	152	152	0.130	-1.128	-171.478	23104	1.273
2	176	176	0.315	-0.482	-84.876	30976	0.233
3	200	200	0.500	0.000	0.000	40000	0.000
4	222	222	0.685	0.482	107.059	49284	0.233
5	234	234	0.870	1.128	263.986	54756	1.273
Total	984	984	2.500	0.000	114.691	198120	3.011

Untuk menghitung *index of fit* dari distribusi normal sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times 114,691) - (984 \times 0,000)}{\sqrt{[5 \times 198120 - (984)^2][5 \times 3,011 - (0,000)^2]}}$$

$$r = 0,9887318$$

Distribusi Lognormal TTF

i	ti	Xi=ln ti	F(ti)	Yi=f [F(ti)]	Xi.Yi	Xi^2	Yi^2
1	69,120	11.144	0.130	-1.128	-12.572	124.180	1.273
2	71,150	11.173	0.315	-0.482		124.826	0.233
3	89,130	11.398	0.500	0.000	0.000	129.911	0.000
4	96,160	11.474	0.685	0.482	5.533	131.647	0.233
5	108,130	11.591	0.870	1.128	13.076	134.353	1.273
Total	433,690	56.779	2.500	0.000	6.038	644.917	3.011

Untuk menghitung *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times 0,650) - (56,779 \times 0,000)}{\sqrt{[5 \times 644,917 - (56,779)^2][5 \times 3,011 - (0,000)^2]}}$$

$$r = 0,9802$$

Distribusi Lognormal TTR

i	ti	Xi=ln ti	F(ti)	Yi=f [F(ti)]	Xi.Yi	Xi^2	Yi^2
1	152	5.024	0.130	-1.128	-5.668	25.239	1.273
2	176	5.170	0.315	-0.482	-2.493	26.734	0.233
3	200	5.298	0.500	0.000	0.000	28.072	0.000
4	222	5.403	0.685	0.482	2.605	29.189	0.233
5	234	5.455	0.870	1.128	6.154	29.761	1.273
Total	984	26.351	2.500	0.000	0.599	138.995	3.011

Untuk menghitung *index of fit* dari distribusi lognormal sebagai berikut :

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

$$r = \frac{(5 \times 0,599) - (26,351 \times 0,000)}{\sqrt{[5 \times 138,995 - (26,351)^2][5 \times 3,011 - (0,000)^2]}}$$

$$r = 0,996675031$$

Tabel IV.14. Nilai *index of fit* (IoF) Komponen *Bearing Sifter*

No	Distribusi	TTF Bearing	TTR Bearing
1	Weibull	0,9715	1,004722773
2	Normal	0,1642	0,9887318
3	Lognormal	0,9802	0,996675031
4	Ekspensial	1,4532	0,926760042

Perhitungan untuk *Kolmogorov-Smirnov Test* (TTF) dapat dilihat pada Tabel IV.15.

i	(i-1)/n	i/n	Ti	(ti-t)²	zi=(ti-t)/s	F(zi)	D1i	D2i
1	0	0,2	69.120	310393924	-7,96839E-05	0,499968211	0,4999682	-0,299968
2	0,2	0,4	71.150	242985744	-7,05025E-05	0,499971874	0,2999719	-0,099972
3	0,4	0,6	89.130	5721664	1,08187E-05	0,500004316	0,1000043	0,0999957
4	0,6	0,8	96.160	88774084	4,26145E-05	0,500017001	-0,099983	0,299983
5	0,8	1	108.130	457617664	9,67532E-05	0,500038599	-0,299961	0,4999614
Total			433.690	1105493080				

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n ti}{n} = \frac{433.690}{5} = 86.738$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ti-t)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{6,02984E+11}{5-1}} = 1,20597000000$$

Perhitungan untuk *Kolmogorov-Smirnov Test* (TTR) dapat dilihat pada Tabel IV.16.

i	(i-1)/n	i/n	Ti	(ti-t)^2	zi=(ti-t)/s	F(zi)	D1i	D2i
1	0	0,2	152	2007,04	-0,05018146	0,479988893	0,4799889	-0,279989
2	0,2	0,4	176	432,64	-0,023298535	0,49070607	0,2907061	-0,090706
3	0,4	0,6	200	10,24	0,00358439	0,501429962	0,10143	0,09857
4	0,6	0,8	222	635,04	0,028227071	0,511259477	-0,088741	0,2887405
5	0,8	1	234	1383,84	0,041668534	0,516618531	-0,283381	0,4833815
Total			984	4468,8				

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n ti}{n} = \frac{984}{5} = 196,8$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ti-t)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{4468,8}{5-1}} = 892,76$$

Tabel 4.17. Perhitungan MLE TTF Komponen *Bearing Sifter*

I	Ti	ln ti	ln ti/n	(ln ti - μ)²
1	69.120	11,1436	0,4822	0,0450
2	71.150	11,1725	0,4827	0,0336
3	89.130	11,3979	0,4867	0,0018
4	96.160	11,4738	0,4880	0,0139
5	108.130	11,5911	0,4900	0,0554
TOTAL		56,7789	2,4296	0,1497

Perhitungan parameter:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n} = \frac{56,7789}{5} = 11,35578$$

$$t_{msd} = e^{\mu} = e^{11,35578} = 85.458$$

$$\hat{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (0,1497)}{5}} = 0,17303179$$

Tabel IV.18. Perhitungan MLE TTR Komponen *Bearing Sifter*

I	Ti	ln ti	ln ti/n	(ln ti - μ) ²
1	152	5,0239	0,3228	0,0606
2	176	5,1705	0,3286	0,0099
3	200	5,2983	0,3335	0,0008
4	222	5,4027	0,3374	0,0176
5	234	5,4553	0,3393	0,0343
TOTAL	26,3507	1,6616	0,1232	

(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Perhitungan parameter:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n} = \frac{26,3507}{5} = 5,27014$$

$$t_{med} = e^{\mu} = e^{5,27014} = 194,443$$

$$\hat{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (0,1232)}{5}} = 0,157$$

Tabel IV.19. Parameter Perhitungan MTTR dan MTTF Komponen *Bearing*

NO	MTTF/MTTR	DISTRIBUSI TERPILIH	PARAMETER	NILAI PARAMETER
1	MTTF	LOGNORMAL	t _{med}	85,458
			s	0,173
2	MTTR	LOGNORMAL	t _{med}	194,44
			s	0,157

Perhitungan MTTF dan MTTR Komponen *Bearing* Sifter

1. MTTF (Distribusi Lognormal)

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= t_{med} \left(e^{s^2/2} \right) \\
 &= 85,458 \left((0,173)^2/2 \right) \\
 \text{MTTF} &= 86.746,9 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

2. MTTR (Distribusi Lognormal)

$$\begin{aligned}
 \text{MTTR} &= t_{med} \left(e^{s^2/2} \right) \\
 &= 194,44 \left((0,157)^2/2 \right) \\
 \text{MTTR} &= 196,85 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Tabel IV.20. Laju Kerusakan Komponen *Bearing*

No	t	f(t)	R(t)	Laju Kerusakan [λ(t)]
1	69.120	0,00172	0,88995	0,00193
2	71.150	0,00205	0,85519	0,00240
3	89.130	0,00312	0,40395	0,00772
4	96.160	0,00245	0,24765	0,00990
5	108.130	0,00116	0,08693	0,01331

Berikut merupakan contoh perhitungan (untuk $t = 69.120$)

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

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14 \times 0,17303179 \times 69.120}} \exp \left[-\frac{1}{2(0,173)^2} \left(\ln \frac{69.120}{85,458} \right)^2 \right]$$

$$f(t) = 0,00172$$

1. Perhitungan Age Replacement Komponen Bearing

Berikut merupakan data-data yang didapat dari perhitungan sebelumnya:

a. Dari Tabel IV.19. data waktu kerusakan berdistribusi

lognormal dengan nilai:

$$MTTF = 86.746,9 \text{ menit}$$

$$t_{med} = 85.458$$

$$s = 0,173$$

b. Dari Tabel IV.19. data waktu perbaikan berdistribusi Lognormal dengan nilai:

$$MTTR = 196,85 \text{ menit, sehingga } T_f = 196,85 \text{ menit Diasumsikan } T_f = T_p = 196,85 \text{ menit}$$

Tabel IV.21. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen
Bearing.

tp (Menit)	1/s ln (tp/tmed)	Φ	R(tp)	Tp*R(tp)	I-R(tp)	T(I- R(tp))	(tp+Tp)*R(t p)	M(tp)	M(tp)+Tf	D(tp)	Indikator
65000	-1.581	0.057	0.943	185.655	0.057	11.20	61.487.93	1.524.868	1.525.065	0.00133	0.000000249
65100	-1.573	0.058	0.942	185.454	0.058	11.40	61.515.49	1.497.953	1.498.150	0.00133	0.000000239
65200	-1.564	0.059	0.941	185.250	0.059	11.60	61.542.02	1.471.653	1.471.850	0.00133	0.000000230
65300	-1.555	0.060	0.940	185.044	0.060	11.81	61.567.50	1.445.951	1.446.148	0.00133	0.000000220
65400	-1.546	0.061	0.939	184.835	0.061	12.02	61.591.93	1.420.831	1.421.028	0.00133	0.000000211
65500	-1.537	0.062	0.938	184.624	0.062	12.23	61.615.29	1.396.279	1.396.475	0.00133	0.000000201
65600	-1.528	0.063	0.937	184.410	0.063	12.44	61.637.58	1.372.278	1.372.474	0.00133	0.000000192
65700	-1.520	0.064	0.936	184.193	0.064	12.66	61.658.80	1.348.814	1.349.011	0.00133	0.000000182
65800	-1.511	0.065	0.935	183.974	0.065	12.88	61.678.93	1.325.874	1.326.071	0.00133	0.000000172
65900	-1.502	0.067	0.933	183.753	0.067	13.10	61.697.97	1.303.443	1.303.640	0.00133	0.000000162
66000	-1.493	0.068	0.932	183.528	0.068	13.33	61.715.91	1.281.509	1.281.706	0.00133	0.000000152
66100	-1.484	0.069	0.931	183.301	0.069	13.55	61.732.74	1.260.058	1.260.255	0.00133	0.000000142
66200	-1.476	0.070	0.930	183.072	0.070	13.78	61.748.46	1.239.079	1.239.275	0.00133	0.000000132
66300	-1.467	0.071	0.929	182.840	0.071	14.01	61.763.06	1.218.558	1.218.755	0.00133	0.000000122
66400	-1.458	0.072	0.928	182.605	0.072	14.25	61.776.54	1.198.484	1.198.681	0.00133	0.000000112
66500	-1.450	0.074	0.926	182.368	0.074	14.49	61.788.88	1.178.846	1.179.043	0.00133	0.000000102
66600	-1.441	0.075	0.925	182.128	0.075	14.73	61.800.08	1.159.633	1.159.830	0.00133	0.000000092
66700	-1.432	0.076	0.924	181.885	0.076	14.97	61.810.14	1.140.834	1.141.031	0.00132	0.000000082
66800	-1.424	0.077	0.923	181.640	0.077	15.21	61.819.04	1.122.438	1.122.635	0.00132	0.000000071
66900	-1.415	0.079	0.921	181.392	0.079	15.46	61.826.79	1.104.435	1.104.632	0.00132	0.000000061
67000	-1.406	0.080	0.920	181.141	0.080	15.71	61.833.37	1.086.815	1.087.012	0.00132	0.000000050
67100	-1.398	0.081	0.919	180.888	0.081	15.97	61.838.78	1.069.570	1.069.766	0.00132	0.000000040
67200	-1.389	0.082	0.918	180.632	0.082	16.22	61.843.01	1.052.688	1.052.885	0.00132	0.000000029
67300	-1.380	0.084	0.916	180.373	0.084	16.48	61.846.06	1.036.162	1.036.359	0.00132	0.000000019
67400	-1.372	0.085	0.915	180.112	0.085	16.74	61.847.92	1.019.983	1.020.180	0.00132	0.000000008
67500	-1.363	0.086	0.914	179.848	0.086	17.01	61.848.58	1.004.141	1.004.338	0.00132	-0.000000002
67600	-1.355	0.088	0.912	179.581	0.088	17.27	61.848.05	988.629	988.826	0.00132	-0.000000013
67700	-1.346	0.089	0.911	179.311	0.089	17.54	61.846.30	973.439	973.636	0.00132	-0.000000024
67800	-1.338	0.090	0.910	179.039	0.090	17.81	61.843.35	958.563	958.760	0.00132	-0.000000035
67900	-1.329	0.092	0.908	178.764	0.092	18.09	61.839.18	943.992	944.189	0.00132	-0.000000046
68000	-1.321	0.093	0.907	178.486	0.093	18.37	61.833.80	929.721	929.917	0.00132	-0.000000056
68100	-1.312	0.095	0.905	178.206	0.095	18.65	61.827.18	915.740	915.937	0.00132	-0.000000067
68200	-1.304	0.096	0.904	177.923	0.096	18.93	61.819.33	902.044	902.241	0.00132	-0.000000078
68300	-1.295	0.098	0.902	177.637	0.098	19.22	61.810.25	888.626	888.823	0.00132	

Dari Tabel IV.21. didapatkan hasil sebagai berikut:

- 1) *Equipment failure* minimum : $D(tp) = 0,00132$
- 2) Interval waktu penggantian : $Tp = 67500$
- 3) *Availability* : $A(tp) = 1 - D(tp) = 1 - 0,00132 = 0,99868$

Berikut adalah perhitungannya:

TP = 85000

tp (Menit)	1/s ln (tp/med)	Φ	R(tp)	Tp*R(tp)	1-R(tp)	Tf(1-R(tp))	(tp+Tp)*R(tp)	M(tp)	M(tp)+Tf	D(tp)	Indikator
85000	-0,031	0,488	0,512	100,865	0,488	95,99	43.653,78	177.901	178.098	0,00151	-0,000002076
85100	-0,024	0,490	0,510	100,332	0,490	96,52	43.473,87	176.918	177.115	0,00151	-0,000002086
85200	-0,017	0,493	0,507	99,799	0,493	97,05	43.293,66	175.947	176.143	0,00151	-0,000002095
85300	-0,011	0,496	0,504	99,267	0,496	97,59	43.113,15	174.987	175.184	0,00151	-0,000002104
85400	-0,004	0,498	0,502	98,735	0,498	98,12	42.932,36	174.038	174.235	0,00152	-0,000002113
85500	0,003	0,501	0,499	98,204	0,501	98,65	42.751,28	173.101	173.298	0,00152	-0,000002122
85600	0,010	0,504	0,496	97,673	0,504	99,18	42.569,95	172.175	172.372	0,00152	-0,000002131
85700	0,016	0,507	0,493	97,143	0,507	99,71	42.388,36	171.260	171.457	0,00152	-0,000002140
85800	0,023	0,509	0,491	96,614	0,509	100,24	42.206,52	170.356	170.553	0,00153	-0,000002149
85900	0,030	0,512	0,488	96,086	0,512	100,77	42.024,46	169.463	169.660	0,00153	-0,000002157
86000	0,037	0,515	0,485	95,558	0,515	101,30	41.842,17	168.580	168.777	0,00153	-0,000002166
86100	0,043	0,517	0,483	95,031	0,517	101,82	41.659,68	167.707	167.904	0,00153	-0,000002175
86200	0,050	0,520	0,480	94,504	0,520	102,35	41.476,98	166.845	167.042	0,00153	-0,000002183
86300	0,057	0,523	0,477	93,979	0,523	102,87	41.294,09	165.993	166.190	0,00154	-0,000002191
86400	0,063	0,525	0,475	93,454	0,525	103,40	41.111,03	165.151	165.347	0,00154	-0,000002200
86500	0,070	0,528	0,472	92,930	0,528	103,92	40.927,80	164.318	164.515	0,00154	-0,000002208
86600	0,077	0,531	0,469	92,408	0,531	104,45	40.744,41	163.495	163.692	0,00154	-0,000002216
86700	0,083	0,533	0,467	91,885	0,533	104,97	40.560,87	162.682	162.879	0,00155	-0,000002224
86800	0,090	0,536	0,464	91,364	0,536	105,49	40.377,20	161.878	162.075	0,00155	-0,000002232
86900	0,097	0,539	0,461	90,844	0,539	106,01	40.193,40	161.084	161.281	0,00155	-0,000002240
87000	0,103	0,541	0,459	90,324	0,541	106,53	40.009,48	160.298	160.495	0,00155	-0,000002248
87100	0,110	0,544	0,456	89,806	0,544	107,05	39.825,46	159.522	159.719	0,00155	-0,000002255
87200	0,117	0,546	0,454	89,289	0,546	107,56	39.641,35	158.755	158.951	0,00156	-0,000002263
87300	0,123	0,549	0,451	88,772	0,549	108,08	39.457,15	157.996	158.193	0,00156	-0,000002271
87400	0,130	0,552	0,448	88,257	0,552	108,60	39.272,87	157.246	157.443	0,00156	-0,000002278
87500	0,136	0,554	0,446	87,742	0,554	109,11	39.088,53	156.505	156.702	0,00156	-0,000002285
87600	0,143	0,557	0,443	87,229	0,557	109,62	38.904,14	155.772	155.969	0,00157	-0,000002293
87700	0,150	0,559	0,441	86,717	0,559	110,14	38.719,71	155.047	155.244	0,00157	-0,000002300
87800	0,156	0,562	0,438	86,205	0,562	110,65	38.535,24	154.331	154.528	0,00157	-0,000002307
87900	0,163	0,565	0,435	85,695	0,565	111,16	38.350,74	153.623	153.819	0,00157	-0,000002314
88000	0,169	0,567	0,433	85,186	0,567	111,67	38.166,23	152.922	153.119	0,00157	-0,000002321
88100	0,176	0,570	0,430	84,678	0,570	112,18	37.981,72	152.230	152.427	0,00158	-0,000002328
88200	0,183	0,572	0,428	84,172	0,572	112,68	37.797,21	151.546	151.742	0,00158	-0,000002334
88300	0,189	0,575	0,425	83,666	0,575	113,19	37.612,72	150.869	151.066	0,00158	

TP = 75000

tp (Menit)	$t/s \ln$ (tp/tmed)	Φ	R(tp)	$Tp \cdot R(tp)$	$1-R(tp)$	$Tf(1-R(tp))$	$(tp+Tp) \cdot R(tp)$	M(tp)	$M(tp)+Tf$	D(tp)	Indikator
75000	-0,754	0,225	0,775	152,502	0,225	44,35	58.255,02	385.029	385.226	0,00136	-0,000000905
75100	-0,747	0,228	0,772	152,046	0,228	44,81	58.157,96	381.108	381.305	0,00136	-0,000000917
75200	-0,739	0,230	0,770	151,588	0,230	45,27	58.059,65	377.249	377.446	0,00136	-0,000000930
75300	-0,731	0,232	0,768	151,128	0,232	45,73	57.960,12	373.451	373.648	0,00136	-0,000000943
75400	-0,724	0,235	0,765	150,665	0,235	46,19	57.859,36	369.714	369.910	0,00136	-0,000000956
75500	-0,716	0,237	0,763	150,201	0,237	46,65	57.757,38	366.034	366.231	0,00136	-0,000000969
75600	-0,708	0,239	0,761	149,735	0,239	47,12	57.654,18	362.413	362.610	0,00136	-0,000000981
75700	-0,701	0,242	0,758	149,267	0,242	47,59	57.549,77	358.848	359.045	0,00136	-0,000000994
75800	-0,693	0,244	0,756	148,797	0,244	48,06	57.444,15	355.339	355.535	0,00136	-0,000001007
75900	-0,685	0,247	0,753	148,325	0,247	48,53	57.337,34	351.884	352.080	0,00137	-0,000001020
76000	-0,678	0,249	0,751	147,851	0,249	49,00	57.229,33	348.482	348.679	0,00137	-0,000001033
76100	-0,670	0,251	0,749	147,376	0,251	49,48	57.120,13	345.133	345.330	0,00137	-0,000001045
76200	-0,663	0,254	0,746	146,898	0,254	49,96	57.009,76	341.835	342.032	0,00137	-0,000001058
76300	-0,655	0,256	0,744	146,419	0,256	50,43	56.898,21	338.588	338.785	0,00137	-0,000001071
76400	-0,648	0,259	0,741	145,938	0,259	50,92	56.785,49	335.390	335.587	0,00137	-0,000001084
76500	-0,640	0,261	0,739	145,456	0,261	51,40	56.671,60	332.241	332.438	0,00137	-0,000001096
76600	-0,632	0,264	0,736	144,972	0,264	51,88	56.556,57	329.140	329.337	0,00137	-0,000001109
76700	-0,625	0,266	0,734	144,486	0,266	52,37	56.440,38	326.086	326.283	0,00137	-0,000001122
76800	-0,617	0,269	0,731	143,998	0,269	52,86	56.323,05	323.077	323.274	0,00138	-0,000001135
76900	-0,610	0,271	0,729	143,509	0,271	53,34	56.204,59	320.114	320.311	0,00138	-0,000001147
77000	-0,602	0,273	0,727	143,018	0,273	53,84	56.084,99	317.196	317.392	0,00138	-0,000001160
77100	-0,595	0,276	0,724	142,525	0,276	54,33	55.964,28	314.320	314.517	0,00138	-0,000001173
77200	-0,587	0,278	0,722	142,031	0,278	54,82	55.842,46	311.488	311.685	0,00138	-0,000001186
77300	-0,580	0,281	0,719	141,536	0,281	55,32	55.719,52	308.698	308.895	0,00138	-0,000001198
77400	-0,572	0,284	0,716	141,039	0,284	55,81	55.595,49	305.949	306.146	0,00138	-0,000001211
77500	-0,565	0,286	0,714	140,540	0,286	56,31	55.470,37	303.240	303.437	0,00138	-0,000001224
77600	-0,557	0,289	0,711	140,040	0,289	56,81	55.344,17	300.571	300.768	0,00138	-0,000001236
77700	-0,550	0,291	0,709	139,539	0,291	57,31	55.216,89	297.942	298.139	0,00139	-0,000001249
77800	-0,543	0,294	0,706	139,036	0,294	57,82	55.088,54	295.351	295.548	0,00139	-0,000001261
77900	-0,535	0,296	0,704	138,532	0,296	58,32	54.959,13	292.797	292.994	0,00139	-0,000001274
78000	-0,528	0,299	0,701	138,026	0,299	58,83	54.828,68	290.281	290.478	0,00139	-0,000001287
78100	-0,520	0,301	0,699	137,519	0,301	59,33	54.697,18	287.801	287.998	0,00139	-0,000001299
78200	-0,513	0,304	0,696	137,011	0,304	59,84	54.564,64	285.357	285.554	0,00139	-0,000001312
78300	-0,506	0,307	0,693	136,502	0,307	60,35	54.431,08	282.948	283.145	0,00139	

$$\frac{1}{s} \ln \left(\frac{tp}{tmed} \right) = \frac{1}{0,173} \ln \left(\frac{67500}{85.458} \right) = -1,363$$

Nilai Φ didapat dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(-1,363)

$$\Phi(-1,363) = 0,086$$

$$R(tp) = 1 - 0,086 = 0,914$$

$$Tp \times R(tp) = 196,85 \times 0,914 = 179,848$$

$$1 - R(tp) = 1 - 0,914 = 0,086$$

$$Tf \times (1 - R(tp)) = 196,85 \times 0,086 = 17,01$$

$$(tp + Tp) \times R(tp) = (67500 + 196,85) \times 0,914 = 61874,9209$$

$$M(Tp) = \frac{MTTF}{1 - R(tp)} = \frac{86.746,9}{0,086} = 1008685$$

$$M(tp) + Tf = 1008685 + 196,85 = 1008882$$

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

$$= \frac{179,848 + 17,01}{61874,9209 + [1008882] \cdot [0,086]} = 0,00132$$

Tabel IV.23. Simulasi Perhitungan Tingkat Keandalan Komponen *Bearing* Tanpa dan Dengan Adanya *Preventive Maintenance*

Jumlah Hari	t(menit)	R(t)	n	R(T)^n	R(t-nT)	Rm(t)	1/s	f	R(T)	r(t-nt)	f
1	1440	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-23.5993	1.961E-123	-1.363	-23.5993	1.961E-123
2	2880	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-19.5933	8.8132E-86	0.086	-19.5933	8.8132E-86
3	4320	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-17.2500	5.594E-67	0.914	-17.2500	5.594E-67
4	5760	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-15.5874	4.4337E-55	0.086	-15.5874	4.4337E-55
5	7200	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-14.2978	1.1296E-46	0.914	-14.2978	1.1296E-46
6	8640	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-13.2441	2.4413E-40	0.086	-13.2441	2.4413E-40
7	10080	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-12.3532	2.341E-35	0.914	-12.3532	2.341E-35
8	11520	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-11.5815	2.5583E-31	0.086	-11.5815	2.5583E-31
9	12960	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-10.9008	5.7155E-28	0.914	-10.9008	5.7155E-28
10	14400	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-10.2918	3.835E-25	0.086	-10.2918	3.835E-25
11	15840	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-9.7410	1.0077E-22	0.914	-9.7410	1.0077E-22
12	17280	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-9.2381	1.2541E-20	0.086	-9.2381	1.2541E-20
13	18720	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-8.7755	8.504E-19	0.914	-8.7755	8.504E-19
14	20160	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-8.3472	3.4936E-17	0.086	-8.3472	3.4936E-17
15	21600	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-7.9485	9.4381E-16	0.914	-7.9485	9.4381E-16
16	23040	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-7.5755	1.7884E-14	0.086	-7.5755	1.7884E-14
17	24480	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-7.2252	2.5027E-13	0.914	-7.2252	2.5027E-13
18	25920	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-6.8948	2.6967E-12	0.086	-6.8948	2.6967E-12
19	27360	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-6.5823	2.3155E-11	0.914	-6.5823	2.3155E-11
20	28800	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-6.2859	1.6298E-10	0.086	-6.2859	1.6298E-10
21	30240	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-6.0039	9.6302E-10	0.914	-6.0039	9.6302E-10
22	31680	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-5.7351	4.8736E-09	0.086	-5.7351	4.8736E-09
23	33120	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-5.4782	2.1488E-08	0.914	-5.4782	2.1488E-08
24	34560	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-5.2322	8.3752E-08	0.086	-5.2322	8.3752E-08
25	36000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-4.9963	2.9224E-07	0.914	-4.9963	2.9224E-07
26	37440	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-4.7696	9.2293E-07	0.086	-4.7696	9.2293E-07
27	38880	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-4.5515	2.6633E-06	0.914	-4.5515	2.6633E-06
28	40320	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-4.3413	7.0817E-06	0.086	-4.3413	7.0817E-06
29	41760	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-4.1385	1.7479E-05	0.914	-4.1385	1.7479E-05
30	43200	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-3.9426	4.0305E-05	0.086	-3.9426	4.0305E-05
31	44640	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-3.7531	8.734E-05	0.914	-3.7531	8.734E-05
32	46080	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-3.5696	0.00017877	0.086	-3.5696	0.00017877
33	47520	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	-3.3917	0.00034724	0.914	-3.3917	0.00034724
34	48960	0.999	0.000	1.000	0.999	0.999	-3.2192	0.00064271	0.086	-3.2192	0.00064271
35	50400	0.999	0.000	1.000	0.999	0.999	-3.0517	0.00113779	0.914	-3.0517	0.00113779

Lanjutan.....

Jumlah Hari	t (menit)	R(t)	n	R(t) ⁿ	R(0-nT)	Rm(t)	1/n	f	R(T)	r(0-nT)	f
36	51840	0.998	0.000	1.000	0.998	0.998	-2.8889	0.00193309	0.086	-2.8889	0.00193309
37	53280	0.997	0.000	1.000	0.997	0.997	-2.7305	0.00316162	0.914	-2.7305	0.00316162
38	54720	0.995	0.000	1.000	0.995	0.995	-2.5764	0.00499167	0.086	-2.5764	0.00499167
39	56160	0.992	0.000	1.000	0.992	0.992	-2.4263	0.00762716	0.914	-2.4263	0.00762716
40	57600	0.989	0.000	1.000	0.989	0.989	-2.2800	0.01130491	0.086	-2.2800	0.01130491
41	59040	0.984	0.000	1.000	0.984	0.984	-2.1373	0.01628856	0.914	-2.1373	0.01628856
42	60480	0.977	0.000	1.000	0.977	0.977	-1.9980	0.02285894	0.086	-1.9980	0.02285894
43	61920	0.969	0.000	1.000	0.969	0.969	-1.8620	0.0313017	0.914	-1.8620	0.0313017
44	63360	0.958	0.000	1.000	0.958	0.958	-1.7291	0.0418926	0.086	-1.7291	0.0418926
45	64800	0.945	0.000	1.000	0.945	0.945	-1.5993	0.05488196	0.914	-1.5993	0.05488196
46	66240	0.930	0.000	1.000	0.930	0.930	-1.4722	0.07047919	0.086	-1.4722	0.07047919
47	67680	0.911	1.000	0.914	1.000	0.914	-1.3479	0.08883889	0.914	-35.6171	3.811E-278
48	69120	0.890	1.000	0.914	1.000	0.914	-1.2263	0.11004952	0.086	-22.9186	1.517E-116
49	70560	0.866	1.000	0.914	1.000	0.914	-1.1071	0.1341256	0.914	-19.2430	8.0849E-83
50	72000	0.839	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.9903	0.16100388	0.086	-17.0141	3.2286E-65
51	73440	0.809	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.8759	0.19054377	0.914	-15.4096	7.0589E-54
52	74880	0.777	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.7637	0.22253184	0.086	-14.1551	8.6887E-46
53	76320	0.743	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.6536	0.25668983	0.914	-13.1249	1.1854E-39
54	77760	0.707	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.5456	0.29268558	0.086	-12.2509	8.3079E-35
55	79200	0.670	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.4395	0.330146	0.914	-11.4919	7.2482E-31
56	80640	0.631	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.3354	0.36867115	0.086	-10.8210	1.3683E-27
57	82080	0.592	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.2331	0.4078485	0.914	-10.2200	8.0635E-25
58	83520	0.553	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.1326	0.44726671	0.086	-9.6757	1.9123E-22
59	84960	0.513	1.000	0.914	1.000	0.914	-0.0338	0.48652811	0.914	-9.1782	2.1908E-20
60	86746,9	0.466	1.000	0.914	1.000	0.914	0.0865	0.53447219	0.086	-8.6151	3.4934E-18
61	87840	0.437	1.000	0.914	1.000	0.914	0.1589	0.56312114	0.914	-8.2959	5.3894E-17
62	89280	0.400	1.000	0.914	1.000	0.914	0.2529	0.59981272	0.086	-7.9006	1.3883E-15
63	90720	0.365	1.000	0.914	1.000	0.914	0.3453	0.63507831	0.914	-7.5305	2.5264E-14
64	92160	0.331	1.000	0.914	1.000	0.914	0.4363	0.66870825	0.086	-7.1828	3.4146E-13
65	93600	0.299	1.000	0.914	1.000	0.914	0.5260	0.7005396	0.914	-6.8548	3.5701E-12
66	95040	0.270	1.000	0.914	1.000	0.914	0.6142	0.7304548	0.086	-6.5444	2.9858E-11
67	96480	0.242	1.000	0.914	1.000	0.914	0.7011	0.75837912	0.914	-6.2499	2.0537E-10
68	97920	0.216	1.000	0.914	1.000	0.914	0.7867	0.784277	0.086	-5.9696	1.189E-09
69	99360	0.192	1.000	0.914	1.000	0.914	0.8711	0.8081478	0.914	-5.7023	5.9092E-09
70	100800	0.170	1.000	0.914	1.000	0.914	0.9542	0.83002109	0.086	-5.4468	2.5636E-08

Dari Tabel IV.23. didapatkan hasil sebagai berikut:

MTTF dengan nilai 86.746,9 menit.

$$R(t) = R(86746,9) = 0,466$$

$$Rm(t) = Rm(86746,9) = 0,914$$

Berikut merupakan perhitungannya:

1) Tanpa tindakan pencegahan

$$\begin{aligned}R(t) &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \\&= 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,173} \ln \frac{86746,9}{85,458}\right) \\&= 1 - \Phi(11,1839)\end{aligned}$$

Perhitungan $\Phi(11,1839)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu
 $\text{NORMSDIST}(11,1839) = 0,5344722$

$$R(t) = 1 - 0,5344722 = 0,466 \times 100\% = 46,6\%$$

2) Dengan tindakan pencegahan

$$\begin{aligned}R(T) &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{T}{t_{med}}\right) \\&= 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,173} \ln \frac{67500}{85,458}\right) \\&= 1 - \Phi(38,56565)\end{aligned}$$

Perhitungan $\Phi(38,56565)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu
 $\text{NORMSDIST}(38,56565) = 0,086$

$$R(T)^n = (1 - 0,086)^1 = 0,914$$

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

$$\begin{aligned}R(t - nT) &= 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,173} \ln \frac{86746,9 - (1 \times 67.500)}{85,458}\right) \\&= 1 - \Phi(1,521258)\end{aligned}$$

Perhitungan $\Phi(1,521258)$ didapatkan dari fungsi Microsoft Excel, yaitu
 $\text{NORMSDIST}(1,521258) = 1$

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

Sehingga nilai keandalan dengan adanya pencegahan adalah:

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

$$= 0,914 \times 1 = 0,914 \times 100\% = 91,4\%$$

$$\begin{aligned} \text{Peningkatan keandalan} &= \frac{R_m(t) - R(t)}{R(t)} \times 100\% \\ &= (91,4 - 46,4 / 46,6) \times 100\% \\ &= 96,13\% \end{aligned}$$

2.3. Results.

The new values for the Kolmogorov-Smirnov test of normality are given in Table 1. For ease of comparison with the original values computed by Lilliefors (*cf.* Figure 1), the results are displayed in Figure 2. As expected from the large sample size of our simulations, the curves of the new simulations are much smoother than the original ones.

N	$\alpha = 0.20$	$\alpha = 0.15$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
4	0.3027	0.3216	0.3456	0.3754	0.4129
5	0.2893	0.3027	0.3188	0.3427	0.3959
6	0.2694	0.2816	0.2982	0.3245	0.3728
7	0.2521	0.2641	0.2802	0.3041	0.3504
8	0.2387	0.2502	0.2649	0.2875	0.3331
9	0.2273	0.2382	0.2522	0.2744	0.3162
10	0.2171	0.2273	0.2410	0.2616	0.3037
11	0.2080	0.2179	0.2306	0.2506	0.2905
12	0.2004	0.2101	0.2228	0.2426	0.2812
13	0.1932	0.2025	0.2147	0.2337	0.2714
14	0.1869	0.1959	0.2077	0.2257	0.2627
15	0.1811	0.1899	0.2016	0.2196	0.2545
16	0.1758	0.1843	0.1956	0.2128	0.2477
17	0.1711	0.1794	0.1902	0.2071	0.2408
18	0.1666	0.1747	0.1852	0.2018	0.2345
19	0.1624	0.1700	0.1803	0.1965	0.2285
20	0.1589	0.1666	0.1764	0.1920	0.2226
25	0.1429	0.1498	0.1589	0.1726	0.2010
30	0.1315	0.1378	0.1460	0.1590	0.1848
31	0.1291	0.1353	0.1432	0.1559	0.1820
32	0.1274	0.1336	0.1415	0.1542	0.1798
33	0.1254	0.1314	0.1392	0.1518	0.1770

34	0.1236	0.1295	0.1373	0.1497	0.1747
35	0.1220	0.1278	0.1356	0.1478	0.1720
36	0.1203	0.1260	0.1336	0.1454	0.1695
37	0.1188	0.1245	0.1320	0.1436	0.1677
38	0.1174	0.1230	0.1303	0.1421	0.1653
39	0.1159	0.1214	0.1288	0.1402	0.1634
40	0.1147	0.1204	0.1275	0.1386	0.1616
41	0.1131	0.1185	0.1258	0.1373	0.1599
42	0.1119	0.1172	0.1244	0.1353	0.1573
43	0.1106	0.1159	0.1228	0.1339	0.1556
44	0.1095	0.1148	0.1216	0.1322	0.1542
45	0.1083	0.1134	0.1204	0.1309	0.1525
46	0.1071	0.1123	0.1189	0.1293	0.1512
47	0.1062	0.1113	0.1180	0.1282	0.1499
48	0.1047	0.1098	0.1165	0.1269	0.1476
49	0.1040	0.1089	0.1153	0.1256	0.1463
50	0.1030	0.1079	0.1142	0.1246	0.1457

Table 1.

Table of the critical values for the Kolmogorov-Smirnov test of normality obtained with $K = 100,000$ samples for each sample size. The intersection of a given row and column shows the critical value $C(N, \alpha)$ for the sample size labelling the row and the alpha level labelling the column.

3. Numerical approximations for the critical values

Recall that Dagnelie (1968) indicated that the critical values given by Lilliefors can be approximated numerically. Specifically, the critical values $C(N, \alpha)$ can be obtained as a function of α and the sample size (denoted N) with an expression of the form