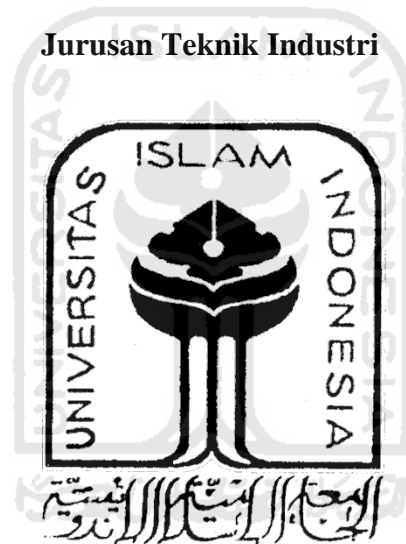


**ANALISIS KEANDALAN DALAM MENENTUKAN INTERVAL  
PENGANTIAN SERTA BIAYA PREVENTIVE MAINTENANCE  
KOMPONEN CUTTING KNIFE**

**(Studi Kasus di PT. Nyata Grafika Media, Kartasura-Surakarta, Jawa Tengah)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Melaksanakan Tugas Akhir Pada**



**Nama : Amaretha Wahyu Saputra**

**No. Mahasiswa : 06 522 234**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2011**



# PT. NYATA GRAFIKA MEDIA SURAKARTA

PERCETAKAN • BUKU • TABLOID • KORAN

Jawa Pos Group

## SURAT KETERANGAN

01/NG/SK/02/11

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Dra. Dwi Hastuti  
Jabatan : GA & HRD  
PT Nyata Grafika Media Surakarta (Jawa Pos Group)  
Alamat : Jl. Adi Sumarmo 138 Kartasura

Menerangkan bahwa,

Nama : Amaretha Wahyu Saputra  
Alamat : Perum Titi Bumi sri E-7, Sleman  
Status : Mahasiswa  
NIM : 06522234  
Jurusan : Teknik Industri  
Fakultas : Teknologi Industri  
Universitas : UII - Yogyakarta

Yang bersangkutan benar-benar telah melakukan penelitian di perusahaan kami, PT Nyata Grafika Media Surakarta (Jawa Pos Group), terhitung 01-01-2011 s/d 31-01-2011, dengan iktikad baik.

Surat keterangan ini dibuat sesuai dengan keadaan yang sesungguhnya dan agar bisa dipergunakan sebagaimana mestinya.

Dikeluarkan di Kartasura, 04-02-2011

  
Dra. Dwi Hastuti  
GA & HRD

Jl. Adi Sumarmo 138 Kartasura - Surakarta  
Telp. (0271) 783002, 780252 Hunting. Fax. : (0271) 782769

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

**PENERAPAN ANALISIS KEANDALAN DALAM MENENTUKAN  
INTERVAL PREVENTIVE MAINTENANCE SERTA BIAYA  
PERAWATAN MESIN KRITIS WEB FAST-300**

**(Studi Kasus di PT. Nyata Grafika Media, Kartasura-Surakarta, Jawa Tengah)**



**TUGAS AKHIR**

Oleh

**Nama : Amaretha Wahyu Saputra**

**No. Mahasiswa : 06 522 234**

**Yogyakarta, Mei 2011**

**Pembimbing**

A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Sunaryo'.

**(Ir. Sunaryo, MP)**

**ANALISIS KEANDALAN DALAM MENENTUKAN INTERVAL  
PENGANTIAN SERTA BIAYA PREVENTIVE MAINTENANCE KOMPONEN  
CUTTING KNIFE**

**(Studi Kasus di PT. Nyata Grafika Media, Kartasura-Surakarta, Jawa Tengah)**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

Nama : Amaretha Wahyu Saputra

No. Mahasiswa : 06 522 234

**Telah Dipertahankan Di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat Untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri**

Yogyakarta, Mei 2011

Tim Penguji

Ir. Sunaryo, MP

Ketua

M. Ibnu Mastur. Drs. H., MSIE

Anggota 1

Ali Parkhan. Ir. M.T.

Anggota 2

**Mengetahui,**

Ka. Prodi Teknik Industri

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



M. Ibnu Mastur. Drs. H., MSIE

*[Handwritten Signature]*  
2011  
6

## PENGAKUAN

Demi Allah, Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak intelektual maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.



Yogyakarta, Mei 2011

Amaretha Wahyu Saputra

## *PERSEMBAHAN*

*Tugas akhir ini kupersembahkan kepada kedua orang tuaku tercinta,  
Ayah Wahyono dan Mama Sri Sudarti yang telah tidak banyak menuntut kepada  
anaknyaa..  
Kakakku tersayang, Kak Put dan Kak Dika yang memberikan dukungannya tidak  
kenal lelah...  
SomeOne Special (Tri F alias Panda), atas pengertian dan kesabarannya...*

*Terimakasih atas dukungan, motivasi serta doanya, love u all*

## MOTTO

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, dan sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(Al-Insyirah : 05 - 06)

“...Hai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan shalat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar...”

(QS Al Baqarah : 45)

“Mempertahankan sifat dan sikap yang buruk sama saja berdiri di atas semen basah”

(Mario Teguh)

“...Orang yang ingin memperbaiki kehidupannya, harus memperbaiki pekerjaannya, atau setidaknya memperbaiki cara-caranya dalam bekerja..”

(Mario Teguh)

## KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb

Segala puji dan syukur penulis panjatkan Kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat, karunia serta hidayah-Nya kepada hamba-Nya sehingga masih dalam keadaan beriman dan Islam.

Atas petunjuk dan ridho-Nya jugalah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar, Tugas Akhir ini wajib ditempuh oleh mahasiswa Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang studi Strata-1.

Kelancaran dalam mempersiapkan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu dengan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis hanturkan pada:

1. Bapak Ir. Gumbolo Hadi Sutanto, Msc selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Drs. H. M. Ibnu Mastur, MSIE, Selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Sunaryo, MP selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. PT. Nyata Grafika Media, Kartasura-Surakarta, Jawa tengah yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian.



5. Bapak Iwan dan Ibu Dwi selaku pembimbing lapangan di PT. Nyata Grafika Media.
6. Kedua Orang tuaku, terima kasih atas dukungannya, doa dan kasih sayangnya selama ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Wassalamualaikum Wr. Wb.



Yogyakarta, Mei 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGAKUAN.....	ii
HALAMAN KETERANGAN PENELITIAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
HALAMAN MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
ABSTRAKSI.....	xvi

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6

## **BAB II LANDASAN TEORI**

2.1 Pengertian Perawatan.....	8
2.2 Preventive Maintenance.....	10
2.3 Corrective Maintenance.....	12
2.4 Konsep Keandalan.....	12
2.4.1 Definisi Keandalan.....	12
2.5 Kerusakan.....	14
2.5.1 Definisi Kerusakan.....	14
2.5.2 Jenis Kerusakan.....	14
2.5.3 Kurva Laju Kerusakan.....	14
2.6 Mesin Kritis.....	16
2.7 Perhitungan Rata-rata Perawatan.....	17
2.8 Parameter dan Fungsi Keandalan.....	21
2.8.1 Uji Distribusi.....	21
2.9 Identifikasi Distribusi.....	26
2.9.1 Identifikasi Awal Dengan Metode Least Square Curve Fitting.....	26
2.9.2 Uji kecocokan Distribusi.....	26
2.10 Mean Time To Failure.....	32
2.11 Mean Time To Repair.....	34
2.12 Model Penentuan Penggantian Pencegahan	
Dengan Kriteria Minimasi Downtime.....	35
2.13 Frekuensi Pemeriksaan dan Interval Pemeriksaan Optimal.....	37

2.14 Perhitungan Ketersediaan (availability).....	38
2.15 Perhitungan Keandalan (Reliability) Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan.....	39
2.16 Software Minitab .....	42
2.17 Ekspektasi Biaya Perawatan .....	43

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Obyek Penelitian .....	44
3.2 Sumber Data dan Alat Penelitian .....	44
3.2.1 Sumber Data .....	44
3.2.2 Alat Penelitian .....	45
3.3 Bagan Alir Penelitian .....	46

### **BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

4.1 Pengumpulan Data.....	50
4.1.1 Data Umum Perusahaan .....	50
4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan .....	52
4.1.3 Struktur Organisasi .....	53
4.1.4 Proses Produksi .....	57
4.1.5 Jam Kerja.....	60
4.1.6 Data Waktu Pemeriksaan .....	60
4.2 Pengolahan Data.....	62
4.2.1 Data Kerusakan Komponen Mesin.....	62
4.2.2 Perhitungan Waktu Antar Kerusakan (TTF) dan Waktu Perbaikan	

(TTR) Komponen Kritis .....	63
4.2.3 Identifikasi Distribusi .....	65
4.2.4 Perhitungan Nilai Rata-rata Waktu Antar Kerusakan (MTTF) Dan Nilai Rata-rata Waktu Antar Perbaikan (MTTR) .....	79
4.2.5 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi Downtime .....	80
4.2.6 Penentuan Frekuensi dan Interval Waktu Pemeriksaan Dengan Kriteria Minimasi Downtime .....	82
4.2.7 Perhitungan Availability .....	84
4.2.8 Perhitungan Reliability (Keandalan) Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan .....	85
4.2.9 Perhitungan Biaya Perawatan .....	87

## **BAB V ANALISIS HASIL**

5.1 Analisis Hasil .....	94
5.2 Analisis Perhitungan Time To Failure (TTF) dan Time To Repair (TTR) .....	94
5.3 Analisis Identifikasi Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) dan Waktu Antar Perbaikan (TTR) .....	96
5.4 Analisis Perhitungan Rata-rata Waktu Antar Kerusakan (MTTF) dan Rata-rata Waktu Perbaikan (MTTR) .....	97
5.5 Analisis Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan .....	97
5.6 Analisis Penentuan Frekuensi dan Interval Waktu Pemeriksaan .....	98
5.7 Analisis Perhitungan Availability (Ketersediaan) .....	98

5.8 Analisis Perhitungan Reliability (Keandalan) Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan .....	99
--	----

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

6.1 Kesimpulan .....	101
6.2 Saran .....	101

## **DAFTAR PUSTAKA**

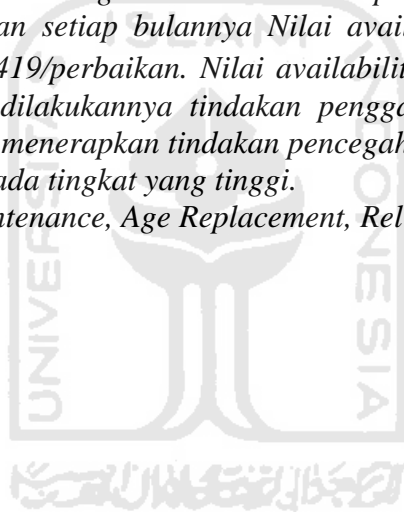
## **LAMPIRAN**



## ABSTRAKSI

*PT. Nyata Grafika Media, Kartasura-Surakarta, Jawa Tengah merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dibidang percetakan , produk yang dihasilkan antara lain seperti Jawa Pos, Radar Jogja, Radar Solo dan lain-lain. Penelitian ini dilakukan pada komponen cutting knife pada mesin Web Fast -300. Dalam melakukan perawatan PT. Nyata Grafika Media hanya melakukan corrective maintenance dan preventive maintenance, dimana penggantian komponen dilakukan apabila mesin mengalami kerusakan. Metode yang digunakan untuk menentukan interval waktu penggantian pencegahan adalah reliability function, sedangkan untuk perhitungan interval menggunakan metode age replacement yaitu metode yang menentukan interval penggantian pencegahan berdasarkan umur optimal mesin. Hasil perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan metode Age Replacement untuk komponen cutting knife adalah 540 jam dengan interval waktu pemeriksaan 480 jam dimana dilakukan 1 kali pemeriksaan setiap bulannya Nilai availability sebesar 99,62% dan memiliki total cost Rp 251.419/perbaikan. Nilai availability dan reliability mesin pada kondisi awal dan sesudah dilakukannya tindakan penggantian pencegahan, hasilnya menunjukkan bahwa dengan menerapkan tindakan pencegahan nilai reliability komponen cutting knife dapat terjaga pada tingkat yang tinggi.*

*Kata kunci : Preventive Maintenance, Age Replacement, Reliability*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Seiring kemajuan zaman, perekonomian di Indonesia pun semakin maju. Memang perekonomian Indonesia belum sepenuhnya pulih, namun persaingan di dunia industri tetap berjalan ketat. Khususnya di bidang percetakan. Persaingan dan kompetisi diwarnai dengan perkembangan teknologi pada mesin-mesin produksi yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas produksi pada waktu tertentu. Penggunaan mesin yang dilakukan secara terus-menerus harus didukung oleh aktivitas perawatan mesin yang baik, bertujuan untuk menghindari penurunan kemampuan mesin dalam memproduksi dan terutama sekali menghindari terjadinya kerusakan total mesin (*breakdown*) (Marsis,2008).

Pada umumnya, hampir semua perusahaan industri selalu memiliki departemen perawatan (*maintenance*). Dimana departemen perawatan bertugas mengurus segala sesuatu yang berkaitan dengan masalah perawatan. Dalam proses produksi sering terganggu karena mesin mengalami kerusakan (*breakdown*), sehingga perawatan mempunyai dampak yang besar serta penting untuk menjamin kelancaran produksi (Suhartono, 2009).

Begitu pula yang terjadi pada PT. Nyata Grafika Media. Perusahaan yang bergerak di bidang percetakan ini berusaha untuk memperbaiki sistem perawatan yang ada. Proses produksi sering kali terganggu dengan tingginya jumlah kerusakan yang ada, yang mengakibatkan tingginya biaya perawatan yang bisa



mencapai ratusan ribu dalam setiap kali kerusakan. Kerusakan yang terjadi pun tidak menentu tergantung dari pemakaian mesin tersebut. Output yang dihasilkan oleh perusahaan antara lain koran, majalah dan buku-buku pelajaran. Dari waktu ke waktu jumlah *demand* selalu mengalami peningkatan, sehingga kapasitas mesin produksi harus di tambah untuk memenuhi permintaan pasar. Salah satu cara untuk memenuhi permintaan pasar tersebut dengan menambah atau membeli mesin cetak baru. Walaupun menambah mesin cetak, perusahaan tidak sepenuhnya bebas dari masalah produksi. Mesin yang dioperasikan secara 24 jam dalam lima hari kerja menyebabkan *performance* mesin semakin menurun terutama pada mesin-mesin tua. Mesin-mesin cetak yang telah tua sering mengalami kerusakan yang berpengaruh pada output yang dihasilkan. Banyaknya *downtime* juga akan berpengaruh juga pada keuntungan atau pun biaya perawatan yang membengkak dari anggaran yang telah ditetapkan. PT. Nyata Grafika Media masih perlu senantiasa melakukan perubahan dan perbaikan diberbagai bidang terutama di bidang *maintenance*. Sistem perawatan PT. Nyata Grafika Media terdiri dari *Preventive Maintenance* yaitu pemeliharaan yang dilakukan secara berkala, serta *Corrective Maintenance* yaitu pemerliharaan yang dilakukan apabila terjadi kerusakan serta *breakdown* atau mati mesin.

Selain dari perhitungan nilai keterandalannya, dalam pemeliharaan (*maintenance*) juga harus diperhitungkan aspek biayanya. Data biaya tenaga kerja, biaya penggantian komponen dan pelumasan mesin serta keuntungan yang hilang digunakan untuk menghitung biaya pemeliharaan dan biaya kerusakan. Dari nilai keandalan mesin serta biaya pemeliharaan dan biaya kerusakan dapat dicari nilai

optimalnya untuk menentukan interval perawatan mesin yang meminimalkan total biaya dengan nilai keandalan mesin yang optimal. (Herry Agung Prabowo, 2004).

Penelitian yang membuktikan manfaat perancangan *Preventive Maintenance* yaitu dengan judul “Analisa dan Perancangan Informasi *Preventive Maintenance* Untuk Meningkatkan *Reliability* Dari Mesin Knit di PT. Mulia Knitting Factory” yang disusun oleh Andrianto pada tahun 2006. Dalam penelitian tersebut dikatakan bahwa *Maintenance* yang tidak teratur dapat mengakibatkan mesin mengalami gangguan yang dapat menghambat kelancaran proses produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan melakukan *preventive maintenance*, *reliability* untuk komponen cylinder dan cloth folder dapat ditingkatkan sesuai dengan perusahaan menjadi 85%, serta memperoleh penghematan biaya sebesar 71% baik untuk cylinder dan cloth folder.

Berkaitan dengan itu, teknologi keandalan mempunyai potensi untuk dipakai dalam ruang yang sangat luas. Hal inilah yang membuat pentingnya diadakan penelitian ini untuk mengetahui interval waktu perawatan yang diperlukan oleh perusahaan. Agar menjaga keterandalan mesin produksi supaya mesin dapat menjalankan fungsinya dengan penjadwalan dan perhitungan biaya yang dikeluarkan dengan metode Total Biaya *Preventive Maintenance* .

## 1.2. Rumusan Masalah

Dari penjelasan di atas, dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah interval waktu penggantian serta pemeriksaan komponen yang tepat dengan fungsi keandalan?
2. Berapakah ekspektasi biaya untuk melakukan penggantian serta pemeriksaan komponen?

## 1.3. Batasan Masalah

Dalam suatu penelitian batasan masalah sangat diperlukan agar peneliti focus terhadap permasalahan yang ada. Batasan masalah yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada web fast-300 pada proses produksi (cetak) PT. Nyata Grafika Media, Kartasura-Surakarta, Jawa Tengah.
2. Perancangan jadwal penggantian pencegahan (*preventive*) hanya dilakukan pada komponen cutting knife pada mesin kritis web fast-300.
3. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah rata rata dari setiap perawatan yang terjadi, yaitu *reliability system* untuk membuat penjadwalan *preventive maintenance* dengan melihat dari total biaya *preventive maintenance*.
4. Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
  - a) Kegagalan komponen dan mesin kritis menghentikan produksi.
  - b) Pemeriksaan rutin tidak menghentikan produksi
  - c) Suku cadang mesin kritis selalu tersedia.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mencari interval waktu penggantian komponen yang optimal untuk komponen cutting knife pada mesin cetak (web fast-300) yang ada dan perhitungan ekspektasi biayanya.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

a. Bagi Peneliti

1. Dapat mengetahui sistem perawatan dari perusahaan.
2. Mendapatkan ilmu dalam bidang manajemen perawatan.

b. Bagi Objek Penelitian

1. Mendapatkan masukan sebagai bahan pertimbangan untuk meningkatkan kinerja perusahaan,
2. Mendapatkan masukan dalam hal sistem perawatan.

#### **1.6. Sistematika Penulisan**

Agar penelitian ini mudah dimengerti dan memenuhi persyaratan, maka penulisannya dibagi menjadi beberapa tahapan. Tahapan tersebut adalah :

##### **BAB I            PENDAHULUAN**

Bab ini berisi pengantar permasalahan yang akan dibahas seperti latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan serta manfaat penelitian.

## BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tinjauan hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan permasalahannya, landasan teori yang langsung mendukung pelaksanaan penelitian dan juga menjadi landasan / pedoman dalam pembahasan pemecahan masalah yang berhubungan dengan analisis yang dilakukan.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang penjelasan objek penelitian, alat penelitian, sumber data, serta bagan alir yang akan dilakukan pada penelitian.

## BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Berisi uraian tentang gambaran umum perusahaan, data–data yang diperlukan dalam pemecahan masalah dan pengolahan data dari hasil penelitian.

## BAB V PEMBAHASAN

Berisi pembahasan dari hasil perhitungan yang dilakukan.

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dan saran–saran bagi perusahaan berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Pengertian Perawatan**

Perawatan adalah suatu kegiatan merawat fasilitas sehingga fasilitas tersebut berada dalam kondisi siap pakai sesuai kebutuhan. Dengan kata lain perawatan adalah kegiatan dalam rangka mengupayakan fasilitas produksi berada pada kemampuan produksi yang dikehendaki. Fasilitas yang memerlukan perawatan bukan hanya peralatan produksi melainkan termasuk fasilitas yang lain dalam organisasi seperti mesin ketik, komputer, generator dan lainnya. Tanpa adanya perawatan, fasilitas yang bersangkutan akan mudah mengalami kerusakan secara bertahap ataupun tiba-tiba yang akibatnya tidak lagi mempunyai kemampuan kerja yang baik secara ekonomi maupun teknis sehingga akan dapat merugikan perusahaan. Perawatan adalah suatu aktivitas untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan seperti yang didefinisikan Harsono (1984).

Perawatan dalam suatu perusahaan merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan sebab kegiatan perawatan merupakan suatu masalah yang sangat kompleks yaitu menyangkut semua peralatan atau mesin yang ada dalam pabrik tersebut. Departemen perawatan dalam perusahaan merupakan bagian yang membantu departemen produksi dalam memberikan laporan mengenai keadaan peralatan atau mesin tersebut.

Adapun beberapa bentuk perawatan yang berdasarkan tujuan perawatan antara lain :

1. Preventif atau pencegahan adalah tindakan pencegahan terjadinya kerusakan dan biasanya telah diperkirakan sebelumnya serta mempertahankan sistem dalam keadaan siap operasi dengan cara sistematis dan periodik memberikan inspeksi, deteksi dan pencegahan awal.
2. Korektif atau perbaikan adalah tindakan untuk mengembalikan dan memulihkan sistem dalam keadaan siap pakai dengan memberikan perbaikan atau kerusakan yang telah terjadi yang menyebabkan merosotnya tingkat keandalan.
3. Predictive Maintenance ini lebih maju dibanding dengan dua tipe sebelumnya. Ditandai dengan menggunakan teknik teknik muhtahir (advance scientific techniques) termasuk statistic probabilitas untuk memaksimalkan waktu operasi dan menghilangkan pekerjaan pekerjaan yang tidak perlu. Predictive maintenance dipakai hanya pada sistem system yang akan menimbulkan masalah-masalah serius jika terjadi kerusakan pada mesin atau pada proses proses yang berbahaya.

Beberapa pengertian perawatan (*maintenance*) menurut ahli :

1. Menurut Corder (1988), perawatan merupakan suatu kombinasi dari tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau untuk memperbaikinya sampai, suatu kondisi yang bisa diterima.

2. Menurut Assauri (1993), perawatan diartikan sebagai suatu kegiatan pemeliharaan fasilitas pabrik serta mengadakan perbaikan, penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang sesuai dengan yang direncanakan.
3. Menurut Dhillon (1997), perawatan adalah semua tindakan yang penting dengan tujuan untuk menghasilkan produk yang baik atau untuk mengembalikan kedalam keadaan yang memuaskan.

Sedang tujuan dilakukan perawatan menurut Corder (1988) adalah antara lain:

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

## **2.2 Preventive Maintenance**

*Preventive maintenance* dibedakan atas dua kegiatan (Assauri, 1993), yaitu :

- a. *Routine Maintenance*, yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin, sebagai contoh adalah kegiatan pembersihan fasilitas dan peralatan,



pemberian minyak pelumas atau pengecekan oli, serta pengecekan bahan bakar dan sebagainya.

- b. *Periodic Maintenance*, yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara berkala. Perawatan berkala dilakukan berdasarkan lamanya jam kerja mesin produk tersebut sebagai jadwal kegiatan misalnya setiap seratus jam sekali.

Dalam prakteknya perawatan preventif (*preventive maintenance*) yang dilakukan suatu perusahaan dapat dibedakan sebagai berikut:

- a. Perawatan ruti, yaitu aktivitas pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara rutin (setiap hari).
- b. Perawatan periode, yaitu aktivitas pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara periode atau dalam jangka waktu tertentu.

Perawatan preventif akan menguntungkan atau tidak menguntungkan tergantung pada:

- a. Distribusi dari kerusakan

Pada penjadwalan dan pelaksanaan perawatan preventif harus memperlihatkan jenis distribusi dari kerusakan yang ada, karena dengan mengetahui jenis distribusi kerusakan dapat disusun suatu rencana perawatan yang benar-benar tepat sesuai dengan latar belakang mesin tersebut.

- b. Hubungan antara waktu perawatan preventif terhadap waktu perbaikan, hendaknya diantara kedua diadakan keseimbangan dan diusahakan dapat dicapai titik maksimal. Jika ternyata jumlah waktu untuk perawatan preventif lebih lama dari waktu penyelesaian kerusakan tiba-tiba, maka tidak ada manfaatnya yang nyata untuk mengadakan perawatan preventif, lebih baik ditunggu sampai terjadi kerusakan.

### **2.3 Corrective Maintenance**

*Corrective maintenance* atau pemeliharaan korektif adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian yang telah terhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa ditentukan (Suparlan, 1999).

*Corrective Maintenance* tidak hanya berarti memperbaiki tetapi juga mempelajari sebab terjadinya kerusakan serta cara-cara mengatasinya dengan cepat, tepat dan benar sehingga tercegah terulangnya kerusakan yang serupa.

Perlu disadari pula bahwa *corrective maintenance* tidak dapat menghilangkan suatu kerusakan tetapi hanya mampu mencegah kerusakan yang sama terulang lagi. Dengan *corrective maintenance* ini maka jumlah kerusakan berkurang dan waktu terhentinya mesin juga berkurang sehingga kapasitas produksi dapat ditingkatkan disamping itu pula masih membuka kemungkinan terhadap berubahnya proses produksi, peralatan dan perencanaan kembali peraalatan demi penyempurnaan.

## 2.4 Konsep Keandalan (Reliability)

### 2.4.1 Definisi Keandalan

*Reliability* adalah kata yang berasal dari *rely* dan *ability*. Pengukuran yang memiliki reliabilitas tinggi disebut sebagai pengukuran yang *reliable*. Walaupun reliabilitas mempunyai berbagai nama lain seperti keterpercayaan, keterandalan, keajegan, kestabilan, konsistensi, dan sebagainya, namun ide pokok yang terkandung dalam konsep reliabilitas adalah sejauh mana hasil suatu pengukuran dapat dapat dipercaya.

Keandalan (R) dari suatu sistem dapat pula dikatakan probabilitas suatu sistem dapat berjalan dengan baik untuk melakukan tugas tertentu. Nilai R adalah antara 0 dan 1 karena merupakan nilai probabilitas. Keandalan juga ditentukan oleh waktu sebagai variabel random maka diperlukan suatu fungsi keandalan. Dinotasikan  $R(t) \sim$  Probabilitas suatu sistem dapat berfungsi dengan baik (0,t) sehingga  $R(t) \sim P$  (peralatan beroperasi saat t) ( Tanti Octavia, 2001).

Jika x menyatakan umur suatu peralatan, maka:

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

Dimana F(t) merupakan fungsi distribusi kumulatif umur peralatan. Fungsi kepadatan probabilitas dari peralatan tersebut merupakan turunan dari fungsi distribusi kumulatif umur peralatan, yaitu:

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt$$

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

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

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

## 2.5 Kerusakan

### 2.5.1 Definisi Kerusakan

Kerusakan adalah suatu kondisi sistem yang menyimpang dari persyaratan yang telah ditentukan bagi sistem tersebut untuk melakukan fungsinya dengan sempurna.

### 2.5.2 Jenis Kerusakan

#### 1. Kerusakan Fungsional

Merupakan suatu kondisi dimana mesin atau peralatan tidak mampu melaksanakan fungsinya sesuai *standard performance* yang ditentukan.

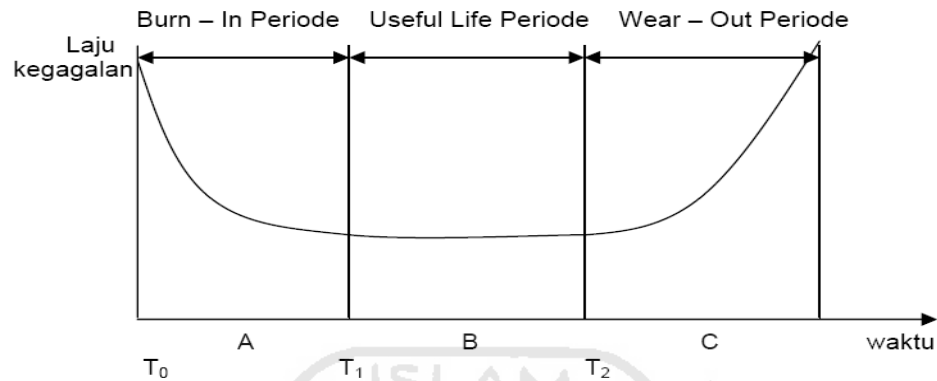
#### 2. Kerusakan Potensial

Merupakan suatu kondisi ditemukannya indikasi dini adanya penyimpangan yang akan menimbulkan kerusakan fungsional.

### 2.5.3 Kurva Laju Kerusakan

Bagian ini menjelaskan mengenai kurva yang menunjukkan pola laju kerusakan sesaat yang umum bagi suatu produk yang dikenal dengan istilah kurva bak mandi (*bathub curve*) karena bentuknya. Sistem yang memiliki fungsi laju kerusakan ini pada awal siklus penggunaannya mengalami penurunan laju

kerusakan (kerusakan dini), diikuti dengan laju kerusakan yang mendekati konstan (usia pakai), kemudian mengalami peningkatan laju kerusakan (melewati masa pakai). Bentuk kurvanya dapat dilihat berikut ini : (Balbir,1985)



Gambar 2.2 Kurva Laju Kerusakan (*Bathub Curve*)

Setiap periode waktu mempunyai karakteristik tertentu, yang ditentukan oleh laju kerusakannya :

1. *Early Failure* / Kerusakan Awal

Daerah ini sering disebut juga dengan *Burn-in period*. Pada periode ini laju kerusakan menurun seiring dengan peningkatan waktu. Kerusakan yang terjadi pada waktu ini dapat disebabkan oleh berbagai penyebab seperti :

- a. Pengendalian kualitas yang tidak memenuhi syarat.
- b. Performansi material dan tenaga kerja yang dibawah standar.
- c. Metode *manufacturing* yang tidak tepat.
- d. Kesalahan pemasangan dan *set up*.
- e. Kesalahan manusia.

## 2.6 Mesin Kritis

Mesin kritis adalah mesin yang mengalami frekuensi kerusakan terbesar dengan total downtime terbesar. Untuk penentuan mesin kritis ini, langkah pertama yang dilakukan adalah dengan mengukur lamanya waktu downtime produksi dari tiap-tiap mesin yang ada (Pratiwi, 2007).

Program perawatan untuk peralatan maupun mesin harus dilakukan secara terencana. Namun, disadari pula bahwa tidak mungkin membuat suatu program yang merencanakan system perawatan untuk semua mesin dipabrik atau tidak mungkin semua kerusakan dapat di atasi. Tetapi dengan adanya program perawatan tersebut sekurang-kurangnya dapat mengurangi ataupun mengatasi masalah-masalah yang ada. Usaha yang mendasar dalam merencanakan perawatan pencegahan yaitu dengan memberikan perhatian serius pada mesin kritis dan unit atau komponen kritis dari mesin tersebut. Suatu mesin dapat dikategorikan sebagai mesin kritis apabila memiliki jumlah frekuensi kerusakan dan jumlah *stop hour* terbanyak dibanding mesin lainnya. Sedangkan suatu unit dapat diklasifikasikan kritis apabila:

1. Kerusakan unit itu dapat membahayakan kesehatan atau mengancam keselamatan penggunanya.
2. Kerusakan unit dapat mempengaruhi kualitas produk.
3. Kerusakan unit dapat menimbulkan kemacetan produksi.
4. Biaya investasi untuk unit itu sangat mahal.

## 2.7 Perhitungan Rata Rata Perawatan

### 1. Perhitungan Rata-rata Perawatan *Korektif* ( $\bar{M} ct$ )

Rata-rata perawatan *korektif* digunakan untuk mengetahui rata-rata terjadinya waktu perawatan *korektif* dan untuk mengetahui tingkat kerusakan. Rata-rata perawatan *korektif* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda_i = \frac{\text{kerusakan ke-}i}{\text{total waktu operasi}}$$

$\lambda_i$  = tingkat kerusakan ke-i

Mct = waktu perawatan korektif

Rata-rata perawatan korektif ( $\bar{M} ct$ ) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\bar{M} ct = \frac{\sum (\lambda_i \times Mct)}{\sum \lambda_i}$$

$\lambda_i$  = tingkat kerusakan ke-i

Mct = waktu perawatan *korektif*.

### 2. Rata-rata Perawatan *Preventif* ( $\bar{M} pt$ )

Rata-rata perawatan *preventif* digunakan untuk mengetahui rata-rata terjadinya waktu perawatan *preventif* dan tingkat perawatan *preventif*. Rata-rata perawatan *preventif* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$fpt_i = \frac{\text{perawatan preventif ke-}i}{\text{total waktu operasi}}$$

Rata-rata perawatan *preventif* ( $\bar{M} pt$ ) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\bar{M} pt = \frac{\sum (fpt_i \times Mpt)}{\sum fpt_i}$$

$f_{pt_i}$  = tingkat perawatan *preventif* ke-i

$M_{pt}$  = waktu perawatan *preventif*

### 3. Konsep Keandalan (*Reliability*)

Keandalan peluang (probability) suatu unit atau sistem berfungsi normal jika digunakan menurut kondisi operasi tertentu untuk suatu periode waktu tertentu seperti yang didefinisikan oleh Vincent Gasperz (1997 : 517).

#### a. Laju kerusakan ( $\lambda$ )

Laju kerusakan (failure rate) merupakan laju dimana kerusakan terjadi pada interval waktu yang ditetapkan. Laju kerusakan ( $\lambda$ ) dirumuskan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\text{banyaknya kerusakan yang terjadi}}{\text{jumlah jam operasi}}$$

#### b. Waktu rata-rata di antara kegagalan/Mean Time Between Failure (MTBF)

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

#### c. Keandalan

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

### 4. *Maintainability*

Adalah kebiasaan atau kemampuan suatu sistem untuk dipelihara dimana perawatan merupakan serangkaian tindakan yang harus diambil untuk memperbaiki atau mempertahankan suatu sistem dalam keadaan siap operasi. Adapun parameter-parameter *maintainability* :



- a. Waktu rata-rata diantara pemeliharaan aktif (MTBM)

$$\text{MTBM} = \frac{\text{Total waktu operasi}}{\text{jumlah perawatan}}$$

- b. Waktu rata-rata perawatan aktif ( $\bar{M}$ )

$$\bar{M} = \frac{(\lambda \times \bar{M}_{ct}) \div (f_{pti} \times \bar{M}_{pt})}{\lambda \div f_{pt}}$$

$\bar{M}_{ct}$  = waktu rata-rata perawatan koreksi

$\bar{M}_{pt}$  = waktu rata-rata perawatan *preventif*

- c. Rata-rata down time (MTD)

$$\text{MDT} = \bar{M} + (\text{SDT} \div \text{ADT}) \text{ aktif}$$

SDT = *supply delay time*

ADT = *administratif delay time*

$\bar{M}$  = waktu rata-rata perawatan aktif

## 5. Availability

Adalah suatu konsep yang berhubungan dengan probabilitas suatu peralatan untuk melakukan suatu operasi pada kondisi tertentu dalam suatu periode waktu tertentu. Secara matematis *availabilitas* dapat dinyatakan sebagai *ratio up time* dibagi dengan total *time*, yang merupakan penjumlahan antara *up time* dengan waktu henti (*down time*).

a. *Inherent Availability (Ai)*.

Merupakan kesiapan mesin untuk dioperasikan secara memuaskan menurut kondisi dan waktu tertentu tetapi dengan mengabaikan waktu kegiatan pencegahan dan rata-rata waktu *down time*

*Inherent availability* dapat dinyatakan dalam

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + \overline{M}ct}$$

MTBF = waktu rata-rata diantara kegagalan

$\overline{M}ct$  = waktu rata-rata perawatan korektif

b. *Achieved Availability (Aa)*

Merupakan kesiapan mesin untuk dioperasikan secara memuaskan menurut kondisi dan waktu tertentu tetapi dengan memperhatikan waktu kegiatan perawatan pencegahan dan rata-rata waktu *down time*

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + \overline{M}}$$

MTBM = waktu rata-rata diantara perawatan.

$\overline{M}$  = waktu rata-rata perawatan aktif.

c. *Operational Availability (Ao)*

Merupakan kesiapan mesin dalam keadaan sebenarnya (*actual*) akan beroperasi secara memuaskan.

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}$$

MDT = *Mean Maintenance Down time*

## 2.8 Parameter dan Fungsi Keandalan

### 2.8.1 Uji Distribusi Data

#### 2.8.1.1 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial merupakan distribusi yang paling penting dalam distribusi keandalan. Distribusi eksponensial sering digunakan untuk menggambarkan distribusi kerusakan dari komponen yang masih digunakan secara statistik masih secepat ketika pertama kali baru digunakan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu dan tidak tergantung pada umur komponen sehingga sangat sesuai digunakan dalam menerangkan peralatan yang terdiri dari beberapa komponen dan menjelaskan kerusakan peralatan yang disebabkan fenomena acak, seperti adanya pembebanan kerja yang tiba-tiba

Fungsi-fungsi distribusi eksponensial adalah:

1. Fungsi Padat Eksponensial.

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

Dengan:  $t \geq 0; \lambda \geq 0; e = 2.7183$

2. Fungsi Distribusi Kumulatif.

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt = \int_{-\infty}^t \lambda \exp(-\lambda t) dt$$

3. Fungsi Keandalan, diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= 1 - F(t) \\ &= 1 - \int_{-\infty}^t f(t) dt \\ &= \int_t^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt \\ R(t) &= \left[ -e^{-\lambda t} \right]_t^{\infty} \\ &= \left[ -\frac{1}{e^{-\lambda \infty}} - \left[ -\frac{1}{e^{-\lambda t}} \right] \right] \\ &= -\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda e^{-\lambda t}} \\ &= e^{-\lambda t} \end{aligned}$$

Maka fungsi keandalannya adalah  $R(t) = \exp(-\lambda t) = e^{-\lambda t}$ .

Dimana :

- a.  $t \geq 0$
- b.  $R(t)$  adalah keandalan suatu system pada  $t$  waktu.
- c.  $e$  adalah bilangan eksponensial.
- d.  $T$  adalah periode waktu yang diinginkan.

4. Variansi

$$\tau^2 = \frac{1}{\lambda^2}$$

Dimana:  $\lambda$  = laju kerusakan ( $r(t)$ )

### 2.8.1.2 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan distribusi yang paling banyak digunakan untuk waktu kerusakan karena distribusi ini dapat digunakan baik untuk laju kerusakan yang meningkat maupun laju kerusakan yang menurun. Dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah  $\theta$  yang disebut dengan parameter skala (*scala parameter*) dan  $\beta$  yang disebut dengan parameter bentuk (*shape parameter*).

Fungsi-fungsi distribusi weibull adalah:

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*).

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

2. Fungsi Reliabilitas (*Reliability Function*).

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

3. Fungsi Kepadatan Kumulatif (*Cummulative Density Function*):

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

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Rate Function*).

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left[\frac{t}{\theta}\right]^{\beta-1}; utk \theta > 0, \beta > 0, t \geq 0$$

### 2.8.1.3 Distribusi Normal

Distribusi Normal yang dikenal bentuknya sebagai genta (*Bell Shaped*) dan mempunyai parameter bentuk  $\mu$  dan  $\sigma$  (walpole,1986).

Fungsi ini sering digunakan untuk menggambarkan laju kerusakan alat yang meningkat.

Fungsi-fungsi distribusi normal adalah:

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas.

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \text{ utk } -\infty < t < \infty$$

2. Fungsi Distribusi Kumulatif.

$$F(t) = \theta \left[ \frac{(t-\mu)}{\sigma} \right]$$

3. Fungsi Reliabilitas.

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

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

4. Mean dan Variansi

$$\text{Mean} = \ln t_{med}$$

$$\text{Variansi} = s^2$$

Dimana ;  $\mu$  adalah rata-rata dan  $\sigma$  standar deviasi.

#### 2.8.1.4 Distribusi Lognormal

Distribusi Lognormal adalah distribusi yang berguna untuk mendeskripsikan distribusi kerusakan dalam berbagai situasi yang bervariasi.

Fungsi-fungsi distribusi lognormal adalah:

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*).

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi st}} \exp\left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{tmed}\right)^2\right]; t \geq 0$$

2. Fungsi Kepadatan Kumulatif (*Cumulative Density Function*).

$$F(t) = \theta \left[ \frac{1}{s} \ln \frac{t}{tmed} \right]$$

3. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$F(t) = 1 - \theta \left[ \frac{1}{s} \ln \frac{t}{tmed} \right]$$

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Rate Function*).

$$\lambda(t) = \frac{t(t)}{1 - \theta \left( \frac{1}{s} \ln \frac{t}{tmed} \right)}$$

Dimana :

- a.  $s$  adalah parameter bentuk (*Shape Parameter*)
- b.  $tmed$  adalah parameter lokasi (*location parameter*).

## 2.9 Identifikasi Distribusi

Pengidentifikasian distribusi dapat dilakukan dengan tiga tahap, yaitu: identifikasi awal, estimasi parameter, dan uji goodness-of-fit. Perincian mengenai tahapan-tahap tersebut adalah sebagai berikut:

### 2.9.1 Identifikasi awal dengan metode *Least Square Curve Fiting*

Dalam mengidetifikasikan distribusi kerusakan atau perbaikan suatu komponen dengan metode *Least Square Curve Fiting* digunakan *index of fit* ( $t$ ) yang merupakan ukuran hubungan linear antara  $x$  dan  $y$ . Dimana  $t$  diperoleh dengan rumus

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

Dimana  $n$  adalah kerusakan yang terjadi.

### 2.9.2 Uji kecocokan distribusi

Dalam uji *goodness of fit* akan diuji hipotesis nol ( $H_0$ ) bahwa data mengikuti distribusi pilihan lawan hipotesis alternative ( $H_1$ ) bahwa data tidak mengikuti distribusi pilihan. Pada dasarnya ada 2 uji *goodness of fit* yaitu umum (*general tes*) dan khusus (*specific tes*). Uji umum dapat digunakan untuk menguji beberapa distribusi sedangkan uji khusus hanya untuk satu distribusi. Dibandingkan uji umum, uji khusus lebih akurat dalam menolak suatu distribusi yang tidak sesuai. Uji *goodness of fit* yang umum yakni Chi Square, sedangkan



uji khusus yakni uji Barlett's Tes untuk distribusi Exponensial, Uji Mean's Tes untuk distribusi Weibull dan Uji Kolmogorov-Semirnov untuk distribusi Normal dan Log normal.

### 2.9.2.1 Bartlet' Test untuk Distribusi eksponensial

Spesifik test untuk distribusi eksponensial yaitu *Bartlet's test*, hipotesis yaitu

H0: Failure times terdistribusi eksponensial

H1: Failure time bukan terdistribusi eksponensial

*Test statistic* (B)

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

Dimana  $t_i$  = waktu kegagalan pada  $i$

$r$  = jumlah kegagalan

Dari hasil test statistik (B), untuk menguji hipotesis digunakan daerah penerimaan chi square distribution dengan  $r-1$  derajat kebebasan. Ho diterima apabila nilai B sesuai dengan persamaan sebagai berikut

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

Tingkat kepentingan (*level of signification*) menyatakan suatu tingkat resiko melakukan kesalahan dengan menerima hipotesis nol. Dengan katalain, tingkat kepentingan menunjukkan probabilitas maksimum yang diterapkan untuk mengambil resiko terjadinya kesalahan jenis pertama. Dalam parkteknnya tingkat kepentingan yang biasa digunakan adalah  $\alpha = 0,1$ . Jadi dengan mengatakan

hipotesis telah diterima dengan tingkat kepentingan 0.1, artinya keputusan itu bisa salah dengan probabilitas 0.1.

### 2.9.2.2 Mann's Test untuk Distribusi Weibull

Perhitungan uji dari *weibull failure* distribusi dikembangkan oleh Mann schaffer, dan Singpurwala (1974). Hipotesis yakni

H0: Failure times terdistribusi weibull

H1: Failure time bukan terdistribusi weibull

Test statistic

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

Dimana  $k_1 = r/2$ ,  $k_2 = (r-1)/2$

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

$$Z_i = \text{Ln} \left[ -\text{Ln} \left( 1 - \frac{i-0.5}{n+0.25} \right) \right]$$

Uji Hipotesis menggunakan *level toleransi*  $\alpha = 0.05$ , untuk membuktikan hipotesis, uji distribusi menggunakan statistik MANN'S test dengan acuan *F* distribusi

$$\text{Numerator} = 2K_2$$

$$\text{Denominator} = 2K_1$$

Daerah penolakan *F* distribusi, jika  $M < F_{critical}$  maka H0 diterima dan sebaliknya. Dalam prakteknya tingkat kepentingan yang biasa digunakan adalah  $\alpha = 0,05$

### 2.9.2.3 Kolmogorov-Smirnov Test untuk Distribusi Normal

Uji *goodness of fit* digunakan pada distribusi normal dan uji ini dikembangkan oleh H.W.Lilliefors (1967). Dimana membandingkan antara empiris *cumulative distribution function* dan *normal cumulative distribution function*. Hipotesis nya yaitu

H0: Failure times terdistribusi normal

H1: Failure time bukan terdistribusi normal

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

Dimana  $D_1 = \max \left[ \Phi \left( \frac{ti - \hat{\mu}}{s} \right) - \left( \frac{i-1}{n} \right), D_2 = \max \left[ \left( \frac{i}{n} \right) - \Phi \left( \frac{ti - \hat{\mu}}{s} \right) \right]$

*Cumulative Probability*  $F(t) = \Phi \left[ \frac{ti - \hat{\mu}}{\sigma} \right]$

Nilai mean  $\hat{\mu}$  = diperoleh dari nilai estimasi MLE dan *scale value*,  $s = \sigma$  dari perhitungan estimasi MLE. Daerah penerimaan lakan *kolmogorov smirnov* distribusi test (tabel kolmogorov smirnov), jika  $D_n < D_{critical}$  maka H0 diterima dan juga sebaliknya. Dalam parkteknnya tingkat kepentingan yang biasa digunakan adalah  $\alpha = 0,10$

### 2.9.2.4 Kolmogorov-Smirnov Test untuk Distribusi Log normal

H0 = *Failure time* terdistribusi log normal

H1 = *Failure time* tidak terdistribusi log normal

Test statistic  $D_n = \text{Max}(D_1, D_2)$

Dimana  $D_1 = \max \Phi \left( \frac{\ln i - \hat{\mu}}{s} \right) - \left( \frac{i-1}{n} \right)$ ,  $D_2 = \max \left( \frac{i}{n} \right) - \Phi \left( \frac{\ln i - \hat{\mu}}{s} \right)$

*Cumulative Probabaility*  $F(t) = \Phi \left[ \frac{\ln t_i - \hat{\mu}}{\sigma} \right]$  (tabel distribusi normal)

Nilai mean  $\hat{\mu}$  = diperoleh dari nilai estimasi MLE dan nilai scale,  $s = \sigma$  dari perhitungan estimasi MLE. Daerah penolakan *kolmogorov sminov distribusi test* (tabel kolmogorov smirnov), jika  $D_n < D_{\text{critical}}$  maka  $H_0$  diterima dan juga sebaliknya. Dalam parkteknya tingkat kepentingan yang biasa digunakan adalah  $\alpha = 0,10$

Setelah melakukan ketiga tahap diatas kemudian memilih distribusi yang paling sesuai dari analisa least square dengan membandingkan *index of fit* ( $r =$  nilai korelasi) dari tiap distribusi. Dengan pemberian ranking 1 untuk nilai  $r$  yang paling besar.

#### 2.9.2.5 Anderson-Darling Test

Anderson Darling Test adalah nama dari Theodore Wilbur Anderson, Jr. dan Donald A. Darling, mereka menemukan statistic untuk menguji kenormalan data, dengan jumlah data yang kecil yaitu  $n$  kurang dari sama dengan 25 ( $n < 25$ ). Data dengan sampel yang banyak mungkin tidak dapat menggunakan uji ini, namun dalam beberapa industri dengan data lebih dari 200 dapat menggunakan Anderson-Darling Test.

D'Angostris & Stephens (1981), menyatakan bahwa uji ini berdasarkan pada pengujian fungsi sebaran kumulatif empiris yang mendasari fungsi sebaran dari data contoh. Dalam pengujian ini, fungsi sebaran empiris menaksir fungsi sesungguhnya dari sebaran tersebut, karena fungsi sebaran empiris mendekati (konvergen ke fungsi sebaran sesungguhnya). Uji ini digunakan untuk memutuskan apakah contoh acak (data) berasal dari fungsi normal atau tidak. Menurut Stephens (1974), uji *Anderson Darling* digunakan sebagai uji kenormalan atau kebaikan sesuai (*goodness of fit*) untuk peubah kuantitatif. *Anderson Darling Test* bisa digunakan untuk menguji kenormalan berbagai macam sebaran data, yaitu sebaran normal, lognormal, eksponensial, weibull, sebaran logistic.

*Anderson Darling Test* ini digunakan untuk mengetahui distribusi dari data sampel. Uji ini merupakan modifikasi dari *Kolmogorov Smirnov Test* (K-S Test), yaitu K-S Test yang telah diboboti. K-S Test merupakan uji yang bebas distribusi, artinya tidak bergantung pada distribusi data tertentu yang diuji. Sedangkan *Anderson Darling Test*, menggunakan distribusi data tertentu dalam menghitung nilai kritis. Kelebihan *Anderson Darling Test* adalah uji ini lebih sensitif daripada K-S Test, namun mempunyai kelemahan yaitu nilai kritis tersebut harus dihitung dari setiap distribusi data sampel. *Anderson Darling Test* yang merupakan variasi dari *Kolmogorov Smirnov Test*, menggunakan p-value untuk mengukur apakah sebaran tertentu tersebut menyebar normal atau tidak. P-Value adalah peluang bahwa sampel yang diuji terletak pada distribusi normal

dari suatu populasi. Jika p-value lebih kecil dari 0.05 maka tolak hipotesa awal ( $H_0$ ).

Dalam software Minitab versi 15, Anderson Darling Test digunakan untuk membandingkan fungsi kumulatif distribusi dari data sampel (*the empirical cumulative distribution function*) dengan nilai harapan (expected value) dari data tersebut. Jika perbedaan nilai observasi data tersebut cukup besar maka uji ini menolak hipotesis nol ( $H_0$ ), yang berarti data tidak menyebar normal.

Anderson-Darling test mempunyai uji statistik:

$$A = -N \cdot S$$

dimana:

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{(2i-1)}{N} [\log F(Y_i) + \log(1 - F(Y_{N+1-i}))]$$

F merupakan fungsi kumulatif distribusi (*cumulative distribution function*) dari distribusi tertentu.

Nilai kritis dari Anderson Darling Test bergantung pada distribusi yang akan diuji. Secara statistics, keputusan menolak  $H_0$  apabila A lebih besar dari nilai kritis yang telah ditentukan.

## 2.10 Mean Time To Failure (MTTF)

*Mean Time To Failure* (MTTF) merupakan nilai rata-rata waktu kegagalan dari sebuah sistem atau komponen. MTTF adalah jumlah total jam pelayanan semua perangkat dibagi dengan jumlah perangkat. MTTF dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{MTTF} = E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \text{ sehingga } \text{MTTF} = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

$$\text{MTTF} = -t R(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt$$

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Dimana:

$f(t)$  = probabilitas fungsi kepadatan (*probability density function*)

$t$  = waktu

$R(t)$  = fungsi keandalan (*reliability function*)

Perhitungan MTTF untuk tiap distribusinya adalah:

f. Distribusi Weibull

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

g. Distribusi Eksponensial

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda}$$

h. Distribusi Normal

$$\text{MTTF} = \mu$$

i. Distribusi Lognormal

$$\text{MTTF} = t_{med} e^{s^2/2}$$

### 2.11 Mean Time To Repair (MTTR)

Mean Time To Repair (MTTR) adalah nilai tengah dari fungsi probabilitas untuk waktu perbaikan dari distribusi data waktu perbaikan yang telah diketahui terlebih dahulu. Perhitungan MTTR diperoleh dari rumus : (Ebeling, 1997).

$$MTTR = \int_0^{\infty} t h(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t)) dt$$

Dimana :

(t) = fungsi kepadatan peluang untuk data waktu perbaikan.

h(t)=fungsi distribusi kumulatif untuk data waktu perbaikan.

Perhitungan MTTF untuk tiap distribusinya adalah:

- a. Distribusi Weibull

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

- b. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

- c. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu$$

- d. Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} e^{s^2/2}$$



## 2.12 Model Penentuan Penggantian Pencegahan dengan Kriteria Minimasi Downtime

Model penentuan penggantian pencegahan berdasarkan kriteria minimasi *downtime* dilakukan dengan tujuan untuk menentukan waktu terbaik dilakukannya penggantian pencegahan guna meminimalkan waktu *downtime* per satuan waktu. Kendala utama yang sering terjadi adalah adanya peningkatan *downtime* penggantian pencegahan, namun di sisi lain terjadi penurunan *downtime* penggantian kerusakan. Model ini digunakan untuk menyumbangkan frekuensi penggantian pencegahan yang meminimalisasi total *downtime* persatuan waktu dengan konstruksi model :

1.  $T_f$  = *downtime* yang terjadi karena penggantian kerusakan.
2.  $T_p$  = *downtime* yang terjadi karena penggantian pencegahan.
3.  $f(t)$  = fungsi kepadatan peluang dari waktu kerusakan.

Model penentuan penggantian pencegahan optimal berdasarkan kriteria minimasi *downtime* ini yaitu *Model Age Replacement*. Pada model ini, pelaksanaan penggantian pencegahan tergantung pada umur pakai dari komponen. Penggantian pencegahan dilakukan dengan menetapkan kembali interval waktu penggantian pencegahan berikutnya sesuai dengan interval yang telah ditentukan jika dilakukan penggantian kerusakan (Jardine, 1973).

Penerapan model ini bertujuan untuk menentukan umur optimal komponen ( $t_p$ ) untuk melakukan penggantian pencegahan sehingga total *downtime* per unit waktu  $[D(t_p)]$  dapat diminimasi.

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

Keterangan :

$tp$  = interval waktu penggantian pencegahan.

Nilai tengah distribusi waktu kerusakan (*Mean Time To Failure* = MTTF) dari suatu distribusi adalah sebagai berikut :

$$\int_{-\infty}^{\infty} tf(t) dt$$

dimana pada distribusi normal selang waktu kerusakan ini merupakan rata-rata dari distribusi tersebut. Jika penggantian pencegahan dilakukan pada waktu  $tp$  maka nilai tengah dari distribusi kerusakannya [ $M(tp)$ ] adalah sebagai berikut :

$$M(tp) = \frac{\int_{-\infty}^{tp} tf(t) dt}{1 - R(tp)} = \frac{MTTF}{1 - R(tp)}$$

Jadi total *downtime* per unit waktu adalah :

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

dimana :

$T_f$  = adalah waktu untuk melakukan perbaikan kerusakan komponen.

$T_p$  = adalah waktu untuk melakukan penggantian *preventive*.

$tp$  = adalah panjang interval waktu antara tindakan perawatan *preventive*.

$f(t)$  = adalah fungsi kepadatan peluang dari waktu kegagalan komponen.

### 2.13 Frekuensi Pemeriksaan dan Interval Pemeriksaan Optimal

Dalam melaksanakan tindakan perawatan, selain melakukan penggantian pencegahan, juga diperlukan tindakan pemeriksaan yang dilakukan secara berkala, model pemeriksaan ini mengikuti model yang dikemukakan Jardine. Melalui model pemeriksaan ini diharapkan dapat diperoleh suatu pemecahan yang dapat mengidentifikasi level yang paling optimum untuk melakukan kegiatan pemeriksaan dan selanjutnya diharapkan bahwa efek dilaksanakannya kegiatan pemeriksaan menurut level tersebut akan dapat mengurangi laju kerusakan mesin, meminimalkan *downtime* yang akan meningkatkan tingkat ketersediaan operasi mesin, yang akan membawa dampak bagi terjaminnya layanan pemakaian mesin.

Total *downtime* setiap satuan waktu dapat dijabarkan dalam bentuk suatu fungsi dari frekuensi pemeriksaan ( $n$ ) yaitu : (Jardine, 1973).

$D(n) =$  *downtime* yang terjadi karena perbaikan per unit waktu + *downtime* yang terjadi karena pemeriksaan per unit waktu.

$$D(n) = \lambda(n)T_f + n.T_i \dots$$

Dimana :

$\lambda(n)$  adalah laju kerusakan yang terjadi.

$$\lambda(n) = \frac{k}{n} \text{ sehingga : } \lambda'(n) = -\frac{k}{n^2} (2 - 60)$$

$k$  adalah nilai konstan dari jumlah kerusakan (*breakdown*) per satuan waktu.

$$K = \frac{\text{Frekuensi jumlah kerusakan}}{\text{Periode terjadinya kerusakan}}$$

$T_f$  adalah waktu rata-rata untuk melakukan penggantian ( $1/\mu$ ).

$T_i$  adalah waktu rata-rata untuk melakukan pemeriksaan ( $1 / i$ ).

$n$  adalah jumlah pemeriksaan (frekuensi) yang dilakukan per satuan waktu

Sehingga :

$$D(n) = \frac{\lambda(n)}{\mu} + \frac{n}{i} \dots \text{atau } D(n) = \frac{k}{n \circ \mu} + \frac{n}{i}$$

Jika persamaan  $D(n)$  diatas dideferensialkan akan menjadi :

$$D'(n) = -\frac{k}{n^2 \mu} + \frac{1}{i} = 0$$

$$\text{Sehingga frekuensi pemeriksaan : } n = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}}$$

#### 2.14 Perhitungan Ketersediaan (Availability)

Setelah dilakukan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dan frekuensi pemeriksaan, maka dapat dihitung nilai ketersediaan mesin. Perhitungan ketersediaan mesin berdasarkan usulan perawatan ditentukan dari nilai ketersediaan pada interval penggantian pencegahan dan nilai ketersediaan pada frekuensi pemeriksaan.

*Availability* dapat dirumuskan sebagai berikut (Jardine, 1973) :

a. *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan

$$D(n) = \frac{\lambda(n)}{\mu} + \frac{n}{i} \quad \text{atau } D(n) = \frac{k}{n \circ \mu} + \frac{n}{i}$$

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

$$D(n) = \frac{k}{n^2 \mu} + \frac{n}{i} = 0 \text{ maka}$$

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

b. *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan

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

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

c. *Availability* total

$$\text{Availability total} = A(n) \times A(tp)$$

### 2.15 Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan

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

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

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

dimana :

$T$  = interval waktu penggantian pencegahan kerusakan.

$R_m(t)$  = keandalan (*reliability*) dari sistem dengan perawatan pencegahan.

$R(t)$  = keandalan sistem tanpa perawatan pencegahan.

$R(T)$  = peluang dari keandalan hingga perawatan pencegahan pertama.

$R(t-T)$  = peluang dari keandalan antara waktu  $t - T$  setelah sistem dikembalikan pada kondisi awal pada saat  $T$ .

Secara umum persamaannya adalah sebagai berikut :

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

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

dimana :

$n$  = jumlah perawatan pencegahan yang telah dilakukan sampai saat ini.

$T$  = interval waktu perawatan pencegahan.

$R(t)^n$  = probabilitas keandalan hingga  $n$  selang waktu perawatan.

$R(t-nT)$  = probabilitas keandalan untuk waktu  $t - nT$  dari perawatan *preventive* yang terakhir.

Perhitungan keandalan untuk masing-masing distribusi sebelum adanya tindakan perawatan adalah sebagai berikut :

- Distribusi Weibull :

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

- Distribusi Eksponensial :

$$R(t) = \exp(-\lambda t)$$

- Distribusi Normal :

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

- Distribusi Lognormal :

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

Perhitungan keandalah untuk masing-masing distribusi sesudah adanya tindakan perawatan adalah sebagai berikut :

- Distribusi Weibull :

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

- Distribusi Eksponensial :

$$R(t - nT) = \exp(-\lambda(t - nT))$$

- Distribusi Normal :

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

- Distribusi Lognormal :

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

## 2.16 Software Minitab

Paket program Minitab merupakan salah satu software yang sangat besar kontribusinya sebagai media pengolahan data statistik. Software ini menyediakan berbagai jenis perintah yang memungkinkan proses pemasukan data, manipulasi data, pembuatan grafik dan berbagai analisis statistik.

Dalam hal ini program Minitab digunakan untuk menentukan distribusi data komponen kritis menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*. Dari perhitungan kita memperoleh nilai index of fit berdasarkan nilai *Anderson Darling* (AD) pada data selang waktu kerusakan. Distribusi yang digunakan adalah Distribusi Weibull, Distribusi Eksponensial, Distribusi Normal, dan Distribusi Lognormal.

Uji *Anderson-Darling* (AD) merupakan modifikasi uji *Kolmogorov-Smirnov* dan memerlukan distribusi tertentu untuk menghitung nilai kritis. Pada saat ini tabel nilai kritis sudah mencakup distribusi weibull, eksponensial, normal, dan lognormal.

Berikut adalah langkah-langkah menggunakan Minitab 15 untuk menentukan distribusi yang tepat untuk data selang waktu perbaikan (TTR):

1. Buka Minitab 15
2. Masukkan data TTF pada jendela *worksheet1\*\*\**
3. Pada menu *toolbar*, pilih *Stat*
4. Pilih *Reliability/Survival*
5. Pilih *Distribution Analysis (Right Censoring)*;
6. Pilih *Parametric Distribution Analysis*;



7. Masukkan data pada kolom *variables*, pilih *assumed distribution* (*weibull, exponential, normal, dan lognormal*).
8. Klik OK

### 2.17 Ekspektasi Biaya Perawatan

(Willyanto Anggono, et al. 2005) menyatakan bahwa model perhitungan total ekspektasi biaya penggantian bertujuan untuk menentukan selang waktu penggantian komponen yang optimal adalah meminimumkan total ekspektasi biaya penggantian persatuan waktu. Persamaan berikut merupakan total ekspektasi biaya penggantian persatuan waktu :

$$TC(tp) = \frac{[Ci * R(tp)] + [Cr * F(tp)]}{tp}$$

Dimana :

TC (tp) = total ekspektasi biaya penggantian komponen per satuan waktu

Ci = total biaya akibat perawatan preventif replacement

Cr = biaya akibat perbaikan prevent replacement

R (tp) = Probabilitas komponen andal selama waktu (tp)

F (tp) = Probabilitas komponen tidak andal selama waktu (tp)

tp = interval waktu

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Obyek Penelitian**

Dalam penelitian ini yang di jadikan obyek penelitian adalah PT. Nyata Grafika Media, Kartasura-Surakarta. PT. Nyata Grafika merupakan perusahaan yang bergerak di bidang percetakan. Penelitian ini difokuskan pada perawatan *preventive* dan *corrective* terhadap mesin produksi yang dinilai mempunyai resiko *breakdown* paling besar.

Hasil penelitian yang baik ditentukan oleh metodologi penelitian yang tersusun dengan baik dan teratur. pada bab ini akan di paparkan langkah-langkah penelitian, kajian induktif dan deduktif untuk membuktikan bahwa penelitian yang dilakukan jelas sumbernya, model yang digunakan, analisa hasil dan kesimpulan yang diambil.

#### **3.2 Sumber Data dan Alat Penelitian**

##### **3.2.1 Sumber Data**

Ada beberapa metode yang digunakan untuk mendapatkn data yang diinginkan oleh peneliti, yaitu:

a. Sumber Data Primer

Data diperoleh dari hasil *interview* (wawancara langsung) dengan pihak-pihak yang terkait dengan masalah yang diteliti, dalam hal ini adalah

pihak perusahaan dari bagian produksi yang membawahi bagian perawatan sebagai pembimbing lapangan dalam penelitian tersebut.

b. Sumber Data Sekunder

Data diperoleh dengan mengamati proses produksi, melihat dari studi pustaka yang berhubungan dengan manajemen perawatan dan disiplin ilmu pengetahuan lain yang mendukung dan mempunyai hubungan dengan penelitian tersebut.

### 3.2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan antara lain:

1. Kertas, lembar kerja untuk mencatat data-data mesin yang digunakan, data jumlah kerusakan mesin dan komponen mesin.
2. Peralatan menulis, seperti : pena, pensil, dan spidol.
3. Kalkulator
4. Serta alat penunjang lainnya.

### 3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.1. bagan alir proses penelitian

Keterangan :

1. Studi Pendahuluan

Pada tahap awal ini peneliti mempelajari dan survei terhadap objek penelitian.

2. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi masalah berdasarkan latar belakang dari penelitian ini. Identifikasi masalah pada penelitian ini yaitu sering terjadinya kerusakan pada mesin sehingga mengganggu jalannya produksi.

3. Perumusan Masalah

Perumusan masalah ini ditentukan dari hasil identifikasi masalah. Pada penelitian ini yaitu berapa besar penurunan biaya yang diperlukan Perusahaan untuk melakukan perawatan dan berapa interval waktu perawatan yang tepat agar mesin dapat berjalan baik.

4. Penetapan Tujuan

Penetapan tujuan dari penelitian diperlukan agar penelitian dapat mencapai tujuan dari penelitian tersebut. Dimana tujuan dari penelitian antara lain; Mencari kelebihan dari metode yang digunakan oleh peneliti, mengurangi biaya perawatan, dan mencari interval waktu perawatan.

5. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data. Data yang dikumpulkan pada penelitian ini yaitu data primer (misalnya nama mesin, selang waktu pergantian komponen, dan waktu pergantian komponen) dan data sekunder (misalnya data–data yang diperoleh dari pustaka, browsing, dan sumber lainnya).

Data-data yang dikumpulkan antara lain:

- a. Nama mesin
- b. Nama komponen
- c. Waktu kerusakan komponen
- d. Upah tenaga kerja
- e. Harga jual produk, profit, dan kapasitas produksi
- f. Serta harga beli komponen.

#### 6. Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data mempunyai beberapa langkah, yaitu:

- a) Menentukan alasan pemilihan komponen kritis.
- b) Menghitung *index of fit* pada tiap-tiap distribusi kegagalan.
- c) Pengujian kecocokan distribusi data waktu kerusakan dan data waktu perbaikan.
- d) Menentukan nilai MTTF dan MTTR
- e) Menentukan interval waktu penggantian pencegahan.
- f) Menentukan tingkat frekuensi dan interval waktu pemeriksaan optimal
- g) Menentukan availability
- h) Menentukan nilai kehandalan sebelum dan sesudah usulan dilakukannya tindakan perawatan.
- i) Menghitung biaya perawatan dengan *Total Productive Maintenance*
- j) Membuat penjadualan sesuai dengan hasil yang telah diperoleh.

## 7. Analisa

Pada tahap ini data yang telah diolah kemudian dianalisa untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

## 8. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini peneliti memberikan kesimpulan dari hasil penelitian dan memberikan saran kepada perusahaan sesuai hasil penelitian.



## **BAB IV**

### **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

#### **4.1 Pengumpulan Data**

Dalam penelitian ini diperlukan data nama-nama mesin dan data komponen mesin yang ada di perusahaan. Setelah data-data yang diperlukan terkumpul, kemudian dilakukan pengolahan data dari komponen-komponen tersebut. Data yang dikumpulkan, yaitu:

1. Data umum yang dikumpulkan terdiri dari data umum perusahaan, letak perusahaan, dan proses produksi.
2. Data kerusakan diambil dari data historis perusahaan 2 (dua) tahun terakhir dari tahun januari 2009 hingga desember 2010.
3. Data biaya-biaya, seperti upah tenaga kerja, biaya komponen, profit.

##### **4.1.1 Data Umum Perusahaan**

Berawal dari tekad untuk memberikan pelayanan yang terbaik bagi pembaca dan pecinta harian Jawa Pos, khususnya yang berada di wilayah Jawa Tengah dan DIY, lahirlah perusahaan percetakan yang kemudian diberi nama PT Nyata Grafika Media Surakarta yang merupakan cabang dari PT. Temprina Media Grafika yang berpusat di Surabaya.

Setelah melalui perjalanan panjang dan pertimbangan geografi (solo, boyolali, klaten hingga yogya) dipilihlah lokasi strategis di Jalan Adi Sumarmo 138 Kartasura, Sukoharjo. Juli 1997, tempat ini kemudian dibangun setahap demi



setahap yang akhirnya lengkap seperti yang telah berdiri di atas lahan 11.572 m<sup>2</sup>, seperti sekarang ini. Tak kurang dari waktu 6 bulan, telah berdiri bangunan yang benar-benar dipersiapkan untuk pondasi mesin cetak yang membutuhkan perhitungan secara cermat. Namun demikian, proses pembangunan tidak serta merta selesai begitu saja, seiring dengan pembangunan fisik gedung, Ir. Misbahul Huda beserta tim mekanik dan elektrik mengerahkan seluruh tenaga dan ilmunya agar proses pemasangan mesin cetak webb SEIKEN-40 bisa segera terpasang dengan baik setelah pondasi mesin kering.

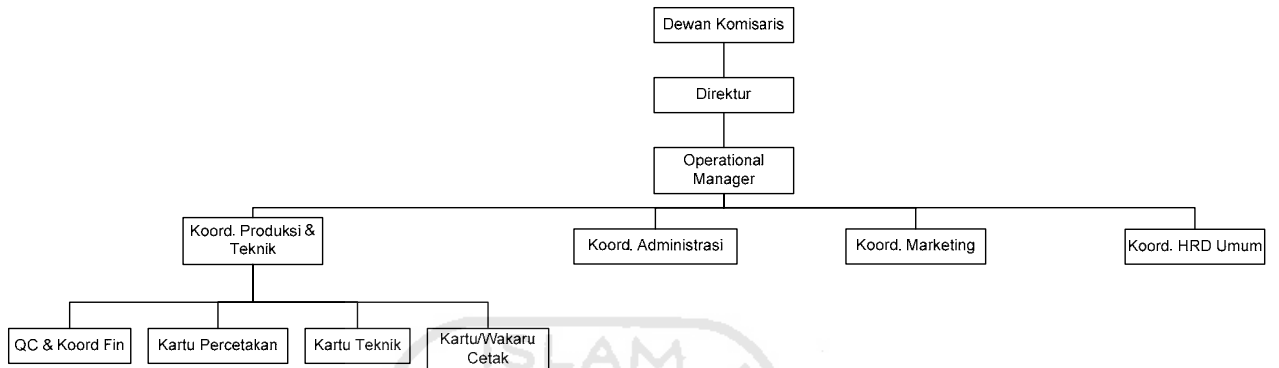
Mesin yang didatangkan dari negeri matahari terbit tersebut terpasang dengan kokoh di atas pondasi yang memang dipersiapkan untuk mesin tersebut. Walau tanpa atap penutup gedung dan berdinding triplek, karena pembangunan memang belum selesai, proses produksi yang menghasilkan cetakan Koran Jawa Pos, tetap berjalan dengan baik dan lancar. Hal itu dilakukan semata-mata untuk mewujudkan tekad memberi yang terbaik bagi pembaca harian Jawa Pos. Prinsip kuat itulah yang mendorong berproduksi walau dalam kondisi apa pun. Dengan kekuatan tim kami yang solid akhirnya berhasil menyelesaikan pemasangan mesin dengan baik. Pada tanggal 20 oktober 1997 resmi dinyatakan sebagai hari kelahiran PT. Nyata Grafika Media Surakarta, perusahaan lahir dengan segala upaya bak seorang ibu melahirkan anaknya. Jawa Pos dapat terbit lebih awal ditengah-tengah masyarakat jawa tengah kala itu. Waktu demi waktu membuat perusahaan bertambah semakin dewasa. Pengembangan di segala bidang tetap dilakukan sampai dengan sekarang ini. Seiring dengan berjalannya waktu, untuk lebih meningkatkan layanan kepada customer, mereka juga mengikuti

perkembangan teknologi untuk mesin cetak webb, sheet serta pracetaknya, salah satu bagian terkecilnya adalah penggunaan Computer To Plate (CTP) yang tidak semua percetakan menggunakannya. Dengan prasarana mesin ini, proses di pra cetak lebih efisien waktunya. Selain itu, mesin-mesin web selalu kami up-grade untuk bisa menyesuaikan kebutuhan dan tuntutan kualitas cetak yang sekarang ini semakin canggih. Dengan demikian, perusahaan bisa menyajikan hasil cetakan yang lebih hebat dan memuaskan.

#### **4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan**

- a. Visi : Menjadi jejaring percetakan terbesar di Indonesia
- b. Misi :
  1. Memberikan layanan cetak media dan komersial dengan konsep *one stop services*
  2. Mensinergikan optimasi SDM, teknologi, dan sistem.
  3. Memberikan layanan terbaik dalam standar ketepatan waktu, mutu dan jumlah.

### 4.1.3 Struktur Organisasi



Gambar 4.1. Struktur Organisasi Operational Office PT. Nyata Grafika Media Surakarta

Keterangan :

1. Direktur

Tugas dan Tanggung Jawab:

- a) Bertanggung jawab dalam keseluruhan kegiatan organisasi
- b) Membuat master plan dan sasaran organisasi
- c) Memastikan bahwa pemahaman atas agenda dan laporan-laporan terkait.
- d) Memotivasi semua partisipan yang hadir dalam tinjauan manajemen untuk aktif.

Wewenang:

- a) Memeriksa kemampuan sumber daya dalam organisasi.
- b) Menentukan investasi yang berhubungan perkembangan organisasi.
- c) Menentukan kebijakan mutu dan sasaran mutu.

## 2. Operational Manager

Tugas dan Tanggung Jawab:

- a) Bersama-sama HRD mengatur pelaksanaan efektifitas SDM Kantor Operasional Surabaya.
- b) Membuat progress report Kantor Operasional Surabaya
- c) Membantu Direksi dalam menyusun rencana operasional dan anggaran serta sistem dan prosedur Kantor Operasional Surabaya.

Wewenang:

- a) Menetapkan penggunaan sumber daya yang telah dialokasikan untuk Kantor Operasional Surabaya secara efektif dan efisien meliputi peralatan dan sumber daya lainnya untuk kepentingan perusahaan.
- b) Menetapkan dan memutuskan kebijaksanaan dan kebijakan dalam ruang lingkup kerja Kantor Operasional Surabaya.

## 3. Koord. Produksi dan Teknik

Tugas dan Tanggung Jawab:

- a) Menciptakan suasana kerja yang kondusif.
- b) Melakukan koordinasi tentang materi cetak dengan bagian terkait.

- c) Memahami dan melaksanakan Sistem Manajemen Mutu yang telah diterapkan di organisasi.

Wewenang:

- a) Memberikan pengarahan dan bimbingan terhadap bawahan.
- b) Memberikan penilaian terhadap kinerja bawahan.
- c) Mengkoordinasikan keputusan manajemen kepada bawahan.

#### 4. Koord. Marketing

Tugas dan Tanggung Jawab:

- a) Melakukan perencanaan strategi untuk mencapai omzet.
- b) Membuat strategi penjualan.
- c) Membuat strategi pelayanan customer.
- d) Membuat dan mengecek kalkulasi harga cetak.

Wewenang:

- a) Melakukan penilaian terhadap kinerja bawahan.
- b) Melakukan koordinasi perencanaan strategi pemasaran dengan Wadir Pemasaran.

#### 5. Koord. HRD/Umum

Tugas dan Tanggung Jawab:

- a) Membuat perencanaan kebutuhan karyawan dan mengkoordinasikan dengan bagian terkait.

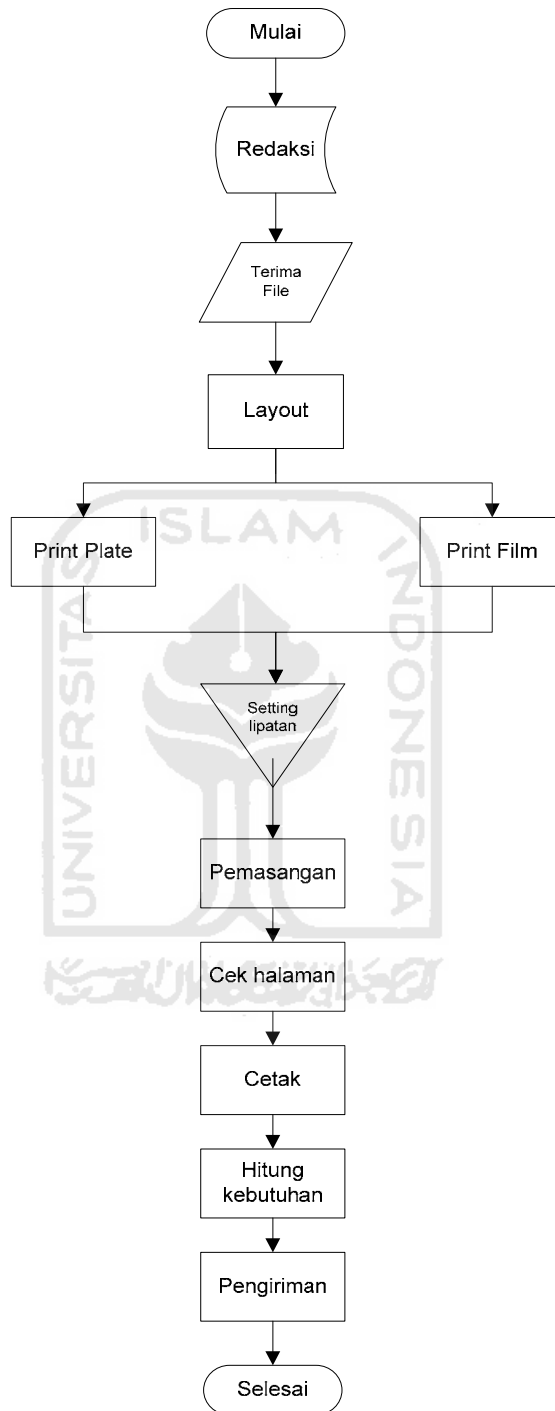
- b) Bertanggung jawab atas kelengkapan data karyawan.
- c) Memberikan bimbingan kepada karyawan yang bermasalah.

Wewenang:

- a) Mengatur penempatan kerja bawahan sesuai kompetensinya.
- b) Memberikan usulan kepada atasan langsung tentang alternative peningkatan efektifitas dan kualitas kinerja karyawan.



#### 4.1.4 Proses Produksi



Gambar 4.2. Proses produksi percetakan media massa

Keterangan :

Proses produksi pembuatan koran di PT. Nyata Grafika dibagi menjadi 4 bagian, yaitu:

1. Redaksi

Informasi dikumpulkan oleh masing-masing surat kabar untuk kemudian di edit dan dikirim ke bagian cetak.

2. Pra Cetak

a. Terima File

Pada tahap ini perusahaan menerima kiriman file dari tiap-tiap harian yang akan dicetak.

b. Lay Out

Setelah file diterima tahap selanjutnya mengatur lay out agar sesuai dengan permintaan. Pada tahap ini pula warna dari tiap halaman di atur, dimana memiliki 4 warna dasar, yaitu hitam, merah, kuning, biru.

c. Print Film

Print film merupakan file yang dikirim oleh redaksi ke perusahaan dalam format film sehingga untuk mengubah film ke bentuk plate memerlukan waktu dan proses tambahan. Seiring kemajuan jaman, teknik print film mulai ditinggalkan oleh perusahaan surat kabar karena alasan waktu.

d. Print Plate

Merupakan format file yang dapat dipindahkan ke plate tanpa proses yang lama (max 3 menit) menggunakan alat yang bernama CTP



(Computer To Plate). Namun dibanding print film biaya print plate jauh lebih mahal.

### 3. Cetak

#### a. Setting Lipatan Plate

Pada tahap ini plate yang sudah jadi di lipat pada ujung plate untuk dikaitkan pada mesin cetak.

#### b. Pemasangan

Setelah plate siap kemudian dipasang pada mesin cetak.

#### c. Cek Halaman

Plate yang telah dipasang harus sesuai dengan halaman yang telah ditentukan.

#### d. Cetak

Pada tahap ini surat kabar sudah dapat dicetak.

### 4. Ekspedisi

#### a. Hitung Kebutuhan Per Daerah

Tiap daerah memiliki permintaan yang berbeda-beda sehingga dilakukan perhitungan eksemplar untuk tiap daerah.

#### b. Pengiriman

Pengiriman dilakukan melalui jalan darat.

#### 4.1.5 Jam Kerja

Untuk memenuhi permintaan dari bermacam-macam media cetak PT. Nyata Grafika beroperasi 24 jam/hari. Untuk Web Fast-300 memiliki jam kerja karyawan yang dibagi menjadi tiga gelombang (shift) dan pergantian shift dilakukan setiap 5 hari sekali. Setiap shift bekerja selama 8 jam, dengan pembagian shift sebagai berikut:

Shift pagi : jam 08.00-16.00

Shift sore : jam 16.00-24.00

Shift malam : jam 24.00-08.00

#### 4.1.6 Data Waktu Pemeriksaan

Menurut bagian produksi pemeriksaan rutin yang dilakukan (seperti: pelumasan,dll) tidak mengganggu jalannya produksi. Berikut adalah data waktu pemeriksaan:

Tabel 4.1. data waktu pemeriksaan

No	tanggal pemeriksaan	waktu mulai	waktu selesai	total (menit)	total (jam)
1	22-01-2009	6:00	6:05	5	0.083
2	13-02-2009	6:03	6:09	6	0.1
3	7/3/2009	7:02	7:06	4	0.067
4	29/3/2009	7:00	7:05	5	0.083
5	20/04/2009	6:05	6:12	7	0.117
6	12/5/2009	6:01	6:05	4	0.067
7	3/6/2009	6:00	6:05	5	0.083
8	26/6/2009	6:02	6:09	7	0.117
9	18/7/2009	7:02	7:07	5	0.083
10	9/8/2009	7:00	7:05	5	0.083

No	tanggal pemeriksaan	waktu mulai	waktu selesai	total (menit)	total (jam)
11	31/08/2009	6:05	6:09	4	0.067
12	22/09/2009	6:01	6:07	6	0.1
13	14/10/2009	6:00	6:06	6	0.1
14	5/11/2009	6:00	6:05	5	0.083
15	27/11/2009	6:06	6:13	7	0.117
16	19/12/2009	6:05	6:10	5	0.083
17	10/1/2010	7:02	7:07	5	0.083
18	1/2/2010	6:03	6:09	6	0.1
19	23/2/2010	6:05	6:10	5	0.083
20	17/3/2010	6:01	6:07	6	0.1
21	8/4/2010	7:02	7:08	6	0.1
22	30/4/2010	7:00	7:06	6	0.1
23	22/05/2010	6:05	6:12	7	0.117
24	13/06/2010	6:00	6:06	6	0.1
25	5/7/2010	6:00	6:04	4	0.067
26	27/07/2010	6:00	6:05	5	0.083
27	18/08/2010	6:00	6:04	4	0.067
28	9/9/2010	6:11	6:17	6	0.1
29	1/10/2010	6:02	6:06	4	0.067
30	23/10/2010	7:02	7:07	5	0.083
31	14/11/2010	7:00	7:07	7	0.117
32	6/12/2010	6:10	6:16	6	0.1
33	28/12/2010	6:06	6:13	7	0.117
Total	181	3.017			

## 4.2 Pengolahan Data

### 1.2.1 Data Kerusakan Komponen Pada Mesin

Data yang dikumpulkan yaitu data jumlah kerusakan pada mesin web fast-300 yang memiliki 4 bagian mesin yaitu roll stad, unit, folder dan counter. Dimana tiap bagian memiliki fungsi dan kegunaan masing-masing. Data kerusakan komponen diambil 2(dua) tahun terakhir dari tahun januari 2009 sampai desember 2010.

Tabel 4.2. frekuensi kerusakan komponen

No	Nama komponen	Frekuensi kerusakan
1	Membran Brake	12
2	Kampas Brake	12
3	Cutting Knife	25
4	Cutting Rubber KK	24
5	Bearing 6205	4
6	Ink Form Roll	3
7	Piston Arm	3
8	V-Belt A-34	4
9	Bearing 6305	4
10	Bearing RAL	4
11	Filter Catridge	6

Dari data di atas di dapat bahwa Cutting Knife memiliki jumlah frekuensi yang paling banyak dengan 25 kali kerusakan. Sehingga Cutting Knife dapat ditetapkan sebagai komponen kritis yang berada pada mesin bagian Folder.

#### 4.2.2. Perhitungan Waktu Antar Kerusakan (TTF) dan Waktu Perbaikan (TTR)

##### Komponen Kritis

Setelah diketahui komponen kritis, maka langkah selanjutnya adalah menghitung waktu antar kerusakan (TTF) dan waktu antar perbaikan (TTR) dalam satuan jam, perhitungannya sebagai berikut:

Tabel 4.3. data waktu kerusakan komponen kritis

No	Tanggal	Downtime Awal	Downtime Akhir	Downtime (Menit)	Downtime TTR (Jam)	Downtime TTF (Jam)	Urutan TTR (Jam)	Urutan TTF (Jam)
1	3/1/2009	12	12.32	32	0.53	0	0.52	391.38
2	10/2/2009	10	10.34	34	0.57	909.28	0.53	484.28
3	9/3/2009	6	6.32	32	0.53	715.26	0.53	499.28
4	11/4/2009	8	8.32	32	0.53	793.28	0.53	550.11
5	3/5/2009	7	7.34	34	0.57	550.28	0.53	550.28
6	11/6/2009	9	9.33	33	0.55	937.26	0.53	565.08
7	15/7/2009	12	12.32	32	0.53	842.27	0.53	574.17
8	12/8/2009	11	11.34	34	0.57	670.28	0.53	589.26
9	6/9/2009	1	1.32	32	0.53	589.26	0.53	631.49
10	12/10/2009	8	8.32	32	0.53	894.28	0.53	670.28
11	2/11/2009	4	4.34	34	0.57	499.28	0.53	674.25
12	9/12/2009	5.2	5.53	33	0.55	912.46	0.53	715.26
13	2/1/2010	4.1	4.42	32	0.53	574.17	0.53	736.17
14	17/1/2010	12.2	12.52	32	0.53	391.38	0.55	772.38
15	10/2/2010	2	2.35	35	0.58	565.08	0.55	793.28
16	7/3/2010	5	5.32	32	0.53	674.25	0.55	842.27
17	13/4/2010	4	4.32	32	0.53	886.28	0.55	856.08
18	14/5/2010	9.1	9.43	33	0.55	772.38	0.57	886.28
19	14/6/2010	2	2.31	31	0.52	736.17	0.57	894.28
20	9/7/2010	10.2	10.52	32	0.53	631.49	0.57	909.28
21	14/8/2010	3	3.32	32	0.53	856.08	0.57	912.46
22	3/9/2010	8	8.34	34	0.57	484.28	0.57	937.26
23	13/10/2010	7.2	7.54	34	0.57	982.46	0.57	982.46
24	5/11/2010	6.05	6.4	35	0.58	550.11	0.58	1344.2
25	30/12/2010	7	7.33	33	0.55	1344.2	0.58	
	Total				13.68	17761.52		

Langkah – langkah perhitungan TTF (*Time To Failure*)

1. Contoh data yang dihitung adalah TTF pada Tanggal 3 Januari 2005 sampai 10 April 2005.
  - a. Waktu bekerja mesin 24 jam sehari, dan 5 hari seminggu.
  - b. Pada periode tanggal 3 januari pukul 00:00 sampai tanggal 10 April 2010 pukul 24:00 terdapat 97 hari kerja, maka  $(37 \text{ hari kerja} \times 24 \text{ jam}) = 888 \text{ jam}$ .
  - c. Tanggal 3 januari 2009 pukul 12:32 sampai tanggal 3 januari 2009 pukul 24:00 terdapat 11:28 jam.
  - d. Tanggal 10 Februari 2009 pukul 10:00 terdapat 10:00 jam
  - e. Sehingga waktu antar kerusakan pada tanggal 3 Januari 2009 pukul 12:32 sampai tanggal 10 Februari 2009 pukul 10:00 adalah  $888 \text{ jam} + 11:28 \text{ jam} + 10 \text{ jam} = 909,28 \text{ jam}$

Langkah – langkah perhitungan TTR (*Time To Repair*)

1. Contoh data yang dihitung adalah TTR pada Tanggal 3 Januari 2009 sampai 10 Februari 2009.

Total downtime 32 menit dan 60 menit = 1 jam, maka  $32/60 = 0,53 \text{ Jam}$ .

### **4.2.3. Identifikasi Distribusi**

#### **4.2.3.1. Identifikasi Distribusi Waktu Antar Kerusakan (TTF)**

Uji penentuan distribusi data digunakan untuk mengetahui pola distribusi dari data-data yang dimiliki. Sebelum uji distribusi terhadap data selang waktu kerusakan terlebih dahulu dilakukan identifikasi jenis distribusi dengan bantuan software Minitab 15 menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*. Dari

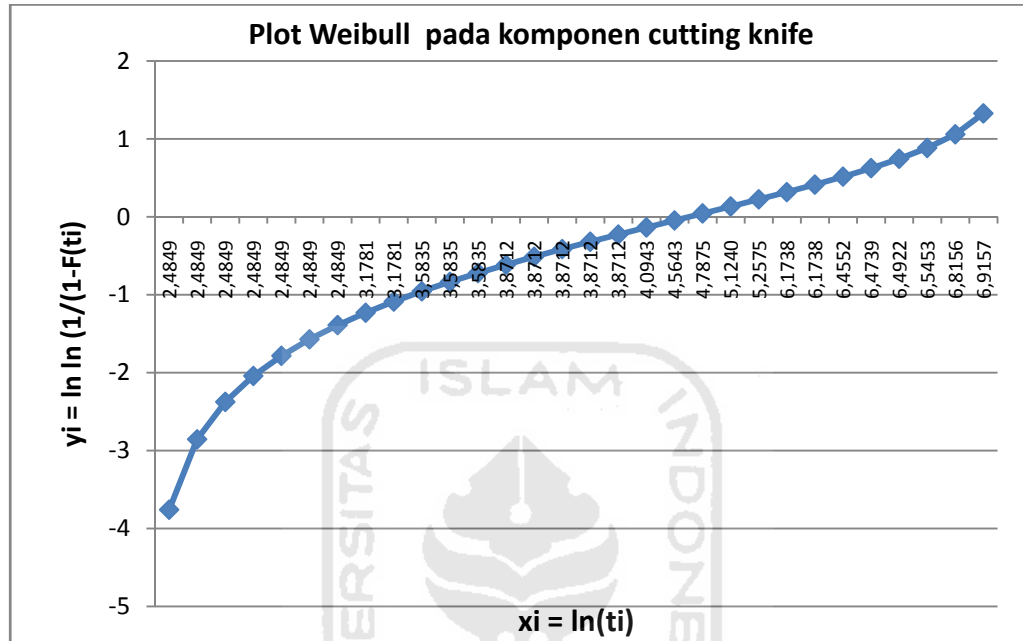
perhitungan kita memperoleh nilai *index of fit* berdasarkan nilai *Anderson Darling* (AD) pada data selang waktu kerusakan. Distribusi yang digunakan adalah Distribusi Weibull, Distribusi Eksponensial, Distribusi Normal, dan Distribusi Lognormal.

Uji *Anderson-Darling* (AD) merupakan modifikasi uji *Kolmogorov-Smirnov* dan memerlukan distribusi tertentu untuk menghitung nilai kritis. Pada saat ini tabel nilai kritis sudah mencakup distribusi weibull, eksponensial, normal, dan lognormal.

Berikut adalah langkah-langkah menggunakan Minitab 15 untuk menentukan distribusi yang tepat untuk data selang waktu kerusakan (TTF):

1. Buka Minitab 15
2. Masukkan data TTF pada jendela *worksheet1\*\*\**
3. Pada menu toolbar, pilih *Stat*
4. Pilih *Reliability/Survival*
5. Pilih *Distribution Analysis (Right Censoring)*;
6. Pilih *Parametric Distribution Analysis*;
7. Masukkan data pada kolom *variables*, pilih *assumed distribution* (*weibull, exponential, normal, dan lognormal*).
8. Klik OK

Hasil perhitungan menggunakan Minitab 15 didapatkan gambar sebagai berikut:



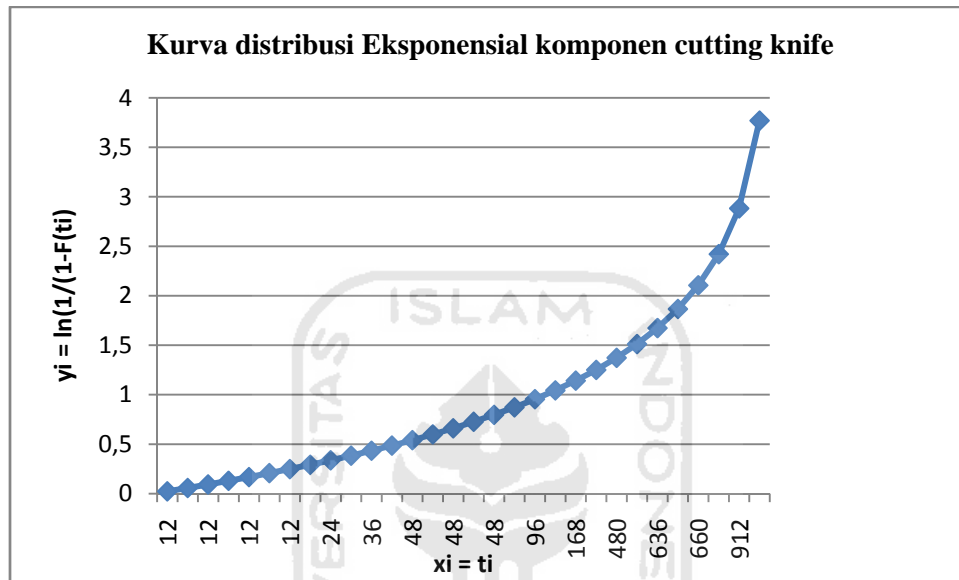
Gambar 4.3. Grafik Curve fitting distribusi Weibull untuk data TTF

Table 4.3. tabel statistik distribusi weibull untuk data TTF

table of statistics	
shape	4.34087
scale	808.832
mean	736.579
stDev	191.887
median	743.343
IQ R	265.014
Failure	24
ensor	0
AD*	1.195
Correlation	0.973



Berdasarkan grafik di atas didapat nilai AD pada tingkat kepercayaan 95% untuk kesesuaian data selang waktu pergantian komponen Cutting Knife pada mesin Folder dengan distribusi Weibull sebesar 1,195.

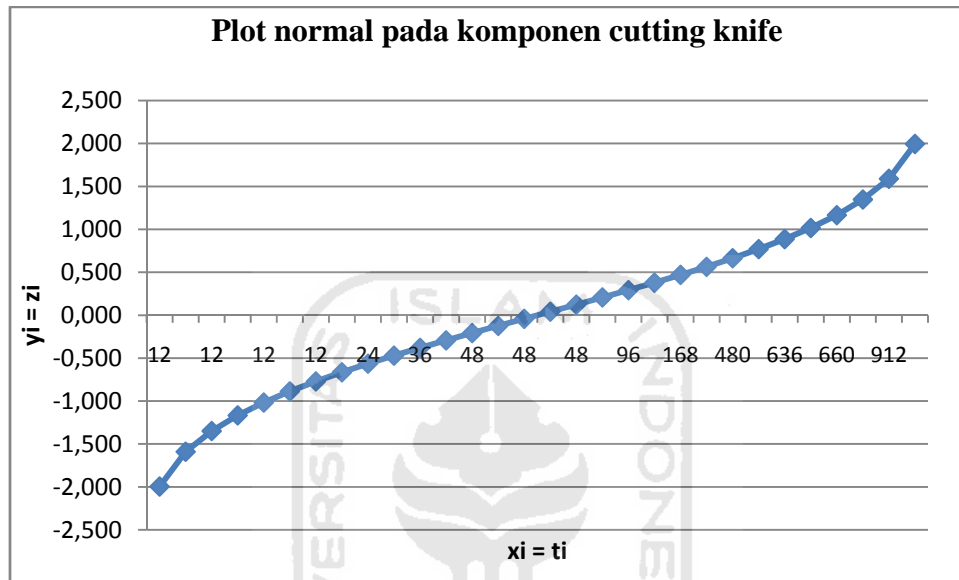


Gambar 4.4 Grafik Curve fitting distribusi Ekspensial untuk data TTF

Tabel 4.4. tabel statistic distribusi eksponensial untuk data TTF

table of statistics	
mean	521.68
stDev	521.68
median	361.601
IQ R	573.124
Failure	24
Censor	0
AD*	11.283

Berdasarkan grafik di atas didapat nilai AD pada tingkat kepercayaan 95% untuk kesesuaian data selang waktu pergantian komponen Cutting Knife pada mesin Folder dengan distribusi Eksponensial sebesar 11,283.

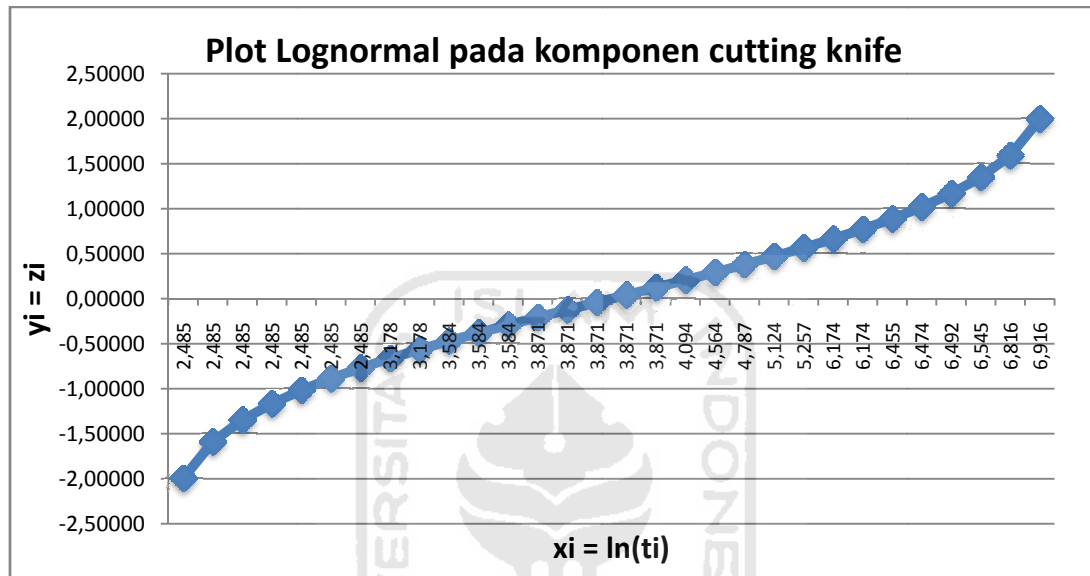


Gambar 4.5 Grafik Curve fitting distribusi Normal untuk data TTF

Tabel 4.5. tabel statistic distribusi normal untuk data TTF

table of statistics	
Mean	740.063
StDev	212.739
Median	740.063
IQ R	286.981
Failure	24
Censor	0
AD*	0.911
Correlation	0.966

Berdasarkan grafik di atas didapat nilai AD pada tingkat kepercayaan 95% untuk kesesuaian data selang waktu pergantian komponen Cutting Knife pada mesin Folder dengan distribusi Normal sebesar 0,911.



Gambar 4.6 Grafik Curve fitting distribusi Lognormal untuk data TTF

Tabel 4.6. Tabel statistik distribusi lognormal untuk data TTF

table of statistics	
Loc	6.5692
Scale	0.29001
Mean	743.415
StDev	220.209
Median	712.801
IQ R	280.639
Failure	24
Censor	0
AD*	0.781
Correlation	0.986

Berdasarkan grafik di atas didapat nilai AD pada tingkat kepercayaan 95% untuk kesesuaian data selang waktu pergantian komponen Cutting Knife pada mesin Folder dengan distribusi Lognormal sebesar 0,781.

Hasil rekapan nilai AD untuk kesesuaian data TTF dengan seluruh distribusi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7. Tabel Nilai Anderson-Darling

No.	Distribusi	Anderson-Darling
1	Weibull	1,195
2	Eskponensial	11,283
3	Normal	0,911
4	Lognormal	0,781

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai AD terkecil adalah pada distribusi Lognormal, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa sebaran data selang waktu pergantian mengikuti distribusi Lognormal.

Dua parameter yang digunakan dalam distribusi Lognormal  $s$  adalah parameter bentuk (*Scale Parameter*) dan  $tmed$  adalah parameter lokasi (*location parameter*). Melalui software Minitab 15 didapat parameter untuk persamaan distribusi Lognormal sebagai berikut:

$$\text{Nilai } s = 0,290007$$

$$\text{Nilai } tmed = 712,801$$

#### 4.2.3.2. Identifikasi Distribusi Waktu Antar Perbaikan (TTR)

Uji penentuan distribusi data digunakan untuk mengetahui pola distribusi dari data-data yang dimiliki. Sebelum uji distribusi terhadap data selang waktu kerusakan terlebih dahulu dilakukan identifikasi jenis distribusi dengan bantuan software Minitab 15 menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*. Dari perhitungan kita memperoleh nilai *index of fit* berdasarkan nilai *Anderson Darling (AD)* pada data selang waktu kerusakan. Distribusi yang digunakan adalah Distribusi Weibull, Distribusi Eksponensial, Distribusi Normal, dan Distribusi Lognormal.

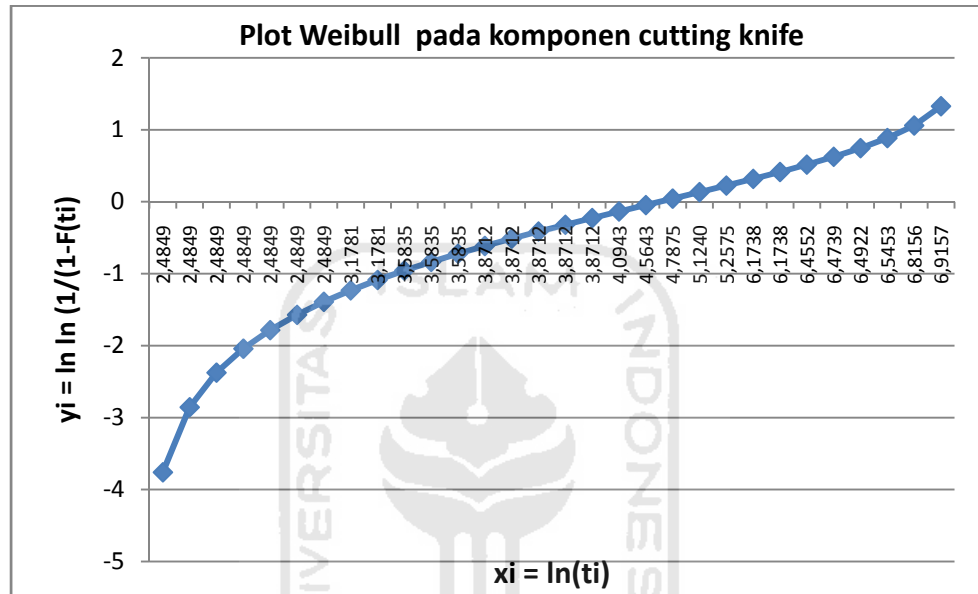
Uji *Anderson-Darling (AD)* merupakan modifikasi uji *Kolmogorov-Smirnov* dan memerlukan distribusi tertentu untuk menghitung nilai kritis. Pada saat ini tabel nilai kritis sudah mencakup distribusi weibull, eksponensial, normal, dan lognormal.

Berikut adalah langkah-langkah menggunakan Minitab 15 untuk menentukan distribusi yang tepat untuk data selang waktu perbaikan (TTR):

1. Buka Minitab 15
2. Masukkan data TTF pada jendela *worksheet1\*\*\**
3. Pada menu toolbar, pilih *Stat*
4. Pilih *Reliability/Survival*
5. Pilih *Distribution Analysis (Right Censoring)*;
6. Pilih *Parametric Distribution Analysis*;

7. Masukkan data pada kolom *variables*, pilih *assumed distribution* (*weibull*, *exponential*, *normal*, dan *lognormal*).
8. Klik OK

Hasil perhitungan menggunakan Minitab 15 didapatkan gambar sebagai berikut:

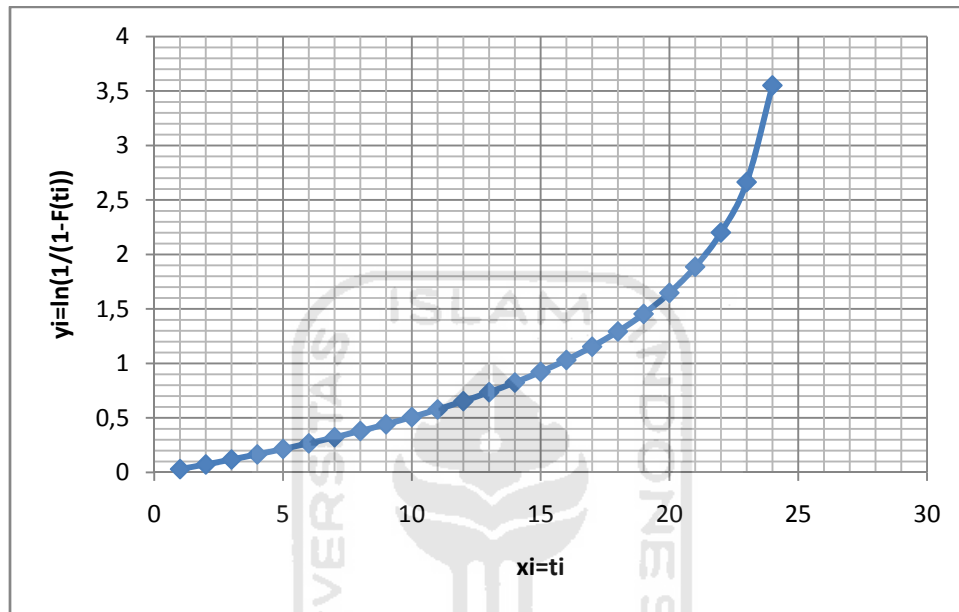


Gambar 4.7 Grafik *Curve fitting* distribusi Weibull untuk data TTR

Tabel 4.8. tabel statistik distribusi weibull untuk data TTR

table of statistics	
shape	40.8193
scale	0.55445
mean	0.54693
stDev	0.01689
median	0.5495
IQ R	0.02112
Failure	25
censor	0
AD*	4.45
Correlation	0.869

Berdasarkan grafik di atas didapat nilai AD pada tingkat kepercayaan 95% untuk kesesuaian data selang waktu perbaikan komponen Cutting Knife pada mesin Folder dengan distribusi Weibull sebesar 4,45.

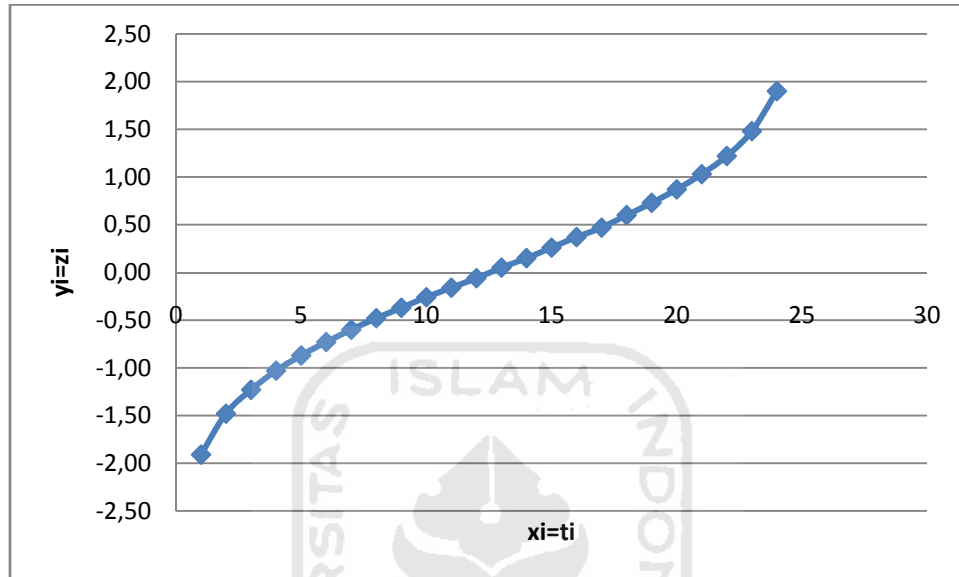


Gambar 4.8 Grafik Curve fitting distribusi Eksponensial untuk data TTR

Tabel 4.9.tabel statistik distribusi eksponensial untuk data TTR

table of statistics	
mean	0.318284
stDev	0.318284
median	0.220618
IQ R	0.349671
Failure	25
Censor	0
AD*	22.324

Berdasarkan grafik di atas didapat nilai AD pada tingkat kepercayaan 95% untuk kesesuaian data selang waktu perbaikan komponen Cutting Knife pada mesin Folder dengan distribusi Eksponensial sebesar 22,324.



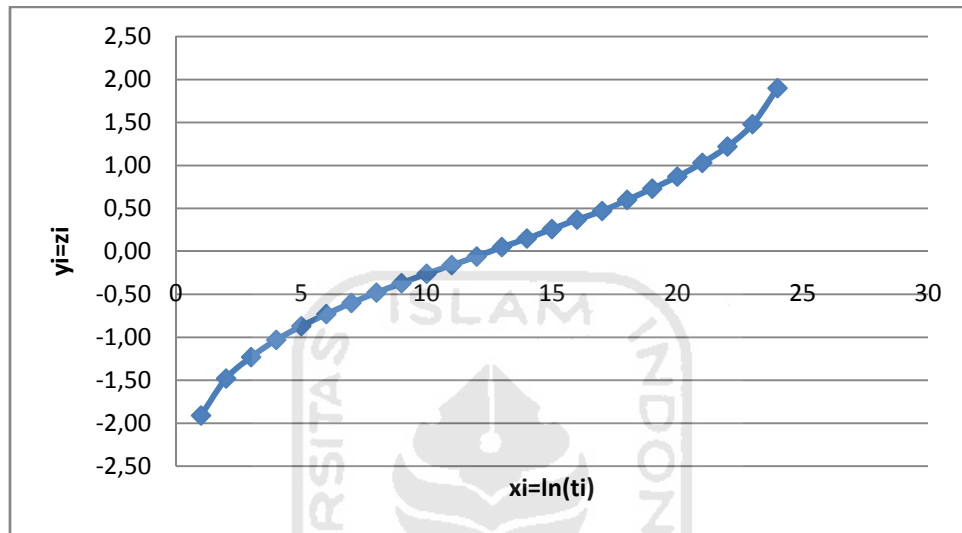
Gambar 4.9 Grafik Curve fitting distribusi Normal untuk data TTR

Tabel 4.10. tabel statistic distribusi normal untuk data TTR

table of statistics	
Mean	0.54733
StDev	0.01781
Median	0.54733
IQ R	0.02403
Failure	25
Censor	0
AD*	2.484
Correlation	0.922



Berdasarkan grafik di atas didapat nilai AD pada tingkat kepercayaan 95% untuk kesesuaian data selang waktu perbaikan komponen Cutting Knife pada mesin Folder dengan distribusi Normal sebesar 2,484.



Gambar 4.10 Grafik Curve fitting distribusi Lognormal untuk data TTF

Tabel 4.11. Tabel statistik distribusi lognormal untuk data TTF

table of statistics	
Loc	-0.603236
Scale	0.0323313
Mean	0.547324
StDev	0.0177003
Median	0.547038
IQ R	0.0238606
Failure	25
Censor	0
AD*	2.469
Correlation	0.923

Berdasarkan grafik di atas didapat nilai AD pada tingkat kepercayaan 95% untuk kesesuaian data selang waktu perbaikan komponen Cutting Knife pada mesin Folder dengan distribusi Lognormal sebesar 2,469.

Hasil rekapan nilai AD untuk kesesuaian data TTF dengan seluruh distribusi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.12 Tabel Nilai *Anderson-Darling*

No.	Distribusi	Anderson-Darling
1	Weibull	4,54
2	Eskponensial	22,324
3	Normal	2,484
4	Lognormal	2,469

Berdasarkan table di atas dapat diketahui bahwa nilai AD terkecil adalah pada distribusi Lognormal. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa sebaran data TTR mengikuti distribusi Lognormal. Dua parameter yang digunakan dalam distribusi Lognormal  $s$  adalah parameter bentuk (*Scale Parameter*) dan  $tmed$  adalah parameter lokasi (*location parameter*). Melalui software Minitab 15 didapatkan parameter untuk persamaan distribusi Lognormal yaitu :

$$\text{Nilai } s = 0,0323313$$

$$\text{Nilai } tmed = 0,547038$$

#### 4.2.4. Perhitungan Nilai Rata-rata Waktu Antar Kerusakan (MTTF) dan Nilai Rata-rata Waktu Antar Perbaikan (MTTR)

##### 4.2.4.1. Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) Data Waktu Antar Kerusakan

Setelah diketahui bahwa distribusi terpilih untuk data waktu antar kerusakan adalah distribusi Normal. Selanjutnya, maka perhitungan selanjutnya adalah menghitung nilai MTTF, dan nilai-nilai yang akan digunakan pada perhitungan MTTF adalah nilai parameter-parameter dari distribusi Lognormal yang telah dihitung sebelumnya (tentang identifikasi waktu antar kerusakan (TTF) dengan distribusi lognormal). Dari perhitungan berdasarkan persamaan didapat nilai:

$$MTTF = 743,415 \text{ jam}$$

##### 4.2.4.2. Perhitungan *Mean Time To Repair* (MTTR) Data Waktu Antar Kerusakan

Setelah diketahui bahwa distribusi terpilih untuk data waktu antar kerusakan adalah distribusi Lognormal. Selanjutnya, maka perhitungan selanjutnya adalah menghitung nilai MTTR, dan nilai-nilai yang akan digunakan pada perhitungan MTTR adalah nilai parameter-parameter dari distribusi Lognormal yang telah dihitung sebelumnya (tentang identifikasi waktu antar kerusakan (TTR) dengan distribusi Lognormal). Dari perhitungan berdasarkan persamaan didapat nilai:

$$MTTR = 0,547324 \text{ jam}$$

#### 4.2.5. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi Downtime

Setelah mengetahui distribusi yang sesuai untuk data TTF (*Time To Failure*) dan TTR (*Time To Repair*) serta nilai MTTF dan MTTR berdasarkan distribusi terpilih, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan kriteria minimasi *downtime*. Perhitungan dilakukan secara *trial and error*, yang dimulai dengan kondisi  $tp = 310$  jam dan seterusnya.

1. Data interval waktu antar kerusakan atau *Time To Failure* berdistribusi lognormal, dengan nilai:

$$MTTF = 743,415 \text{ jam}$$

2. Data dengan perbaikan atau *Time To Repair* berdistribusi Lognormal dengan nilai:

$$MTTR = T_f = T_p = 0,547324 \text{ jam}$$

Tabel 4.13 perhitungan interval berdasarkan kriteria minimasi biaya

tp(jam)	(1/s ln t/med)	F(tp)= $\Phi(1/s * \ln tp/med)$	R(tp)=1 - F(tp)	Tp * R(tp)	Tf * F(tp)	M(tp)	D(tp)
310	-2.871137868	0.079602907	0.920397093	0.503755419	0.043568581	9339.043366	0.000531751
320	-2.761659598	0.002426032	0.997573968	0.545996175	0.001327825	306432.5002	0.000514796
330	-2.65555043	0.003963395	0.996036605	0.545154739	0.002169261	187570.2597	0.000510252
340	-2.552609177	0.005367112	0.994632888	0.544386451	0.002937549	138513.0282	0.00050578
350	-2.452652154	0.007122169	0.992877831	0.543425866	0.003898134	104380.4203	0.000501456
360	-2.355511199	0.00925222	0.99074778	0.542260038	0.005063962	80349.90493	0.000497282
370	-2.261031977	0.011894789	0.988105211	0.540813696	0.006510304	62499.21599	0.00049328
380	-2.169072505	0.015036172	0.984963828	0.539094342	0.008229658	49441.77177	0.000489448
390	-2.079501862	0.018783412	0.981216588	0.537043388	0.010280612	39578.27154	0.000485803

tp(jam)	$(1/s \ln t/t_{med})$	$F(tp)=\Phi(1/s * \ln tp/t_{med})$	$R(tp)=1 - F(tp)$	$T_p * R(tp)$	$T_f * F(tp)$	$M(tp)$	$D(tp)$
400	-1.992199076	0.023245516	0.976754484	0.534601171	0.012722829	31981.0064	0.000482367
410	-1.907052136	0.028186503	0.971813497	0.53189685	0.01542715	26374.85705	0.000479098
420	-1.82395713	0.034258641	0.965741359	0.528573424	0.018750576	21700.07284	0.00047611
430	-1.742817484	0.040831338	0.959168662	0.524976029	0.022347971	18206.97118	0.000473298
440	-1.663543283	0.048313747	0.951686253	0.520880727	0.026443273	15387.23554	0.000470734
450	-1.586050677	0.056433412	0.943566588	0.516436639	0.030887361	13173.313	0.000468372
460	-1.510261343	0.065487909	0.934512091	0.511480895	0.035843105	11351.94278	0.000466269
470	-1.436102015	0.075489361	0.924510639	0.506006861	0.041317139	9847.944025	0.000464431
480	-1.363504052	0.086688704	0.913311296	0.499877192	0.047446808	8575.684825	0.000462911
490	-1.292403062	0.098348895	0.901651105	0.493495289	0.053828711	7558.956273	0.000461576
500	-1.222738554	0.111016773	0.888983227	0.486561856	0.060762144	6696.42057	0.000460534
510	-1.154453632	0.124704821	0.875295179	0.479070058	0.068253942	5961.397421	0.000459796
520	-1.087494716	0.138417426	0.861582574	0.471564821	0.075759179	5370.819431	0.00045917
530	-1.021811285	0.153677772	0.846322228	0.463212467	0.084111533	4837.492055	0.000458967
<b>540</b>	<b>-0.957355654</b>	<b>0.169201664</b>	<b>0.830798336</b>	<b>0.454715868</b>	<b>0.092608132</b>	<b>4393.662464</b>	<b>0.000458936</b>
550	-0.894082762	0.186289811	0.813710189	0.445363116	0.101960884	3990.636939	0.000459356
560	-0.831949984	0.20302859	0.79697141	0.43620158	0.11112242	3661.62717	0.000459833
570	-0.770916959	0.22053502	0.77946498	0.426619891	0.120704109	3370.961219	0.000460611
580	-0.710945433	0.238583095	0.761416905	0.416741746	0.130582254	3115.958401	0.000461649
590	-0.651999111	0.257313532	0.742686468	0.406490128	0.140833872	2889.140706	0.000462991
600	-0.594043531	0.27663544	0.72336	0.395914784	0.151409216	2687.345482	0.000464629
610	-0.537045938	0.295622106	0.704377894	0.385522927	0.161801073	2514.747666	0.00046635
620	-0.480975176	0.316115493	0.683884507	0.374306404	0.173017596	2351.719596	0.000468611
630	-0.425801585	0.335128223	0.664871777	0.36390028	0.18342372	2218.300188	0.000470682
640	-0.371496906	0.355205653	0.644794347	0.352911421	0.194412579	2092.914326	0.000473205
650	-0.318034194	0.375227006	0.624772994	0.341953254	0.205370746	1981.240655	0.000475907
660	-0.265387738	0.395355721	0.604644279	0.330936325	0.216387675	1880.369907	0.000478837
670	-0.213532989	0.415814457	0.584185543	0.319738768	0.227585232	1787.852699	0.000482068
680	-0.162446486	0.435667518	0.564332482	0.308872712	0.238451288	1706.381517	0.000485342
690	-0.112105798	0.45551116	0.54448884	0.29801181	0.24931219	1632.045635	0.000488831
700	-0.062489462	0.475286686	0.524713314	0.28718819	0.26013581	1564.140173	0.000492525
710	-0.013576928	0.495404665	0.504595335	0.276177137	0.271146863	1500.621719	0.000496563
720	0.034651493	0.513821294	0.486178706	0.266097274	0.281226726	1446.835716	0.000500291
747	0.161596228	0.565699997	0.434300003	0.237702815	0.309621185	1314.150618	0.000512291

Langkah – langkah perhitungan sebagai berikut :

$$R(tp) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{tmed}\right) = 1 - \phi\left(\frac{1}{0,29} \ln \frac{540}{712,801}\right) = -0,957355654$$

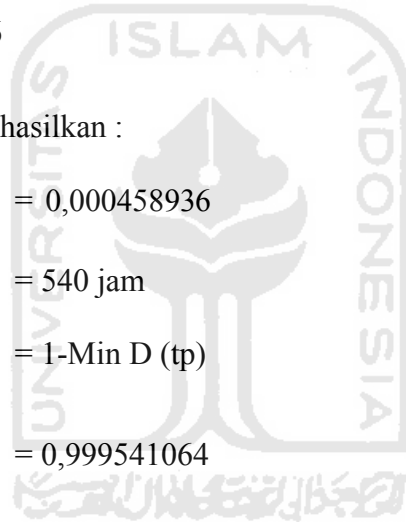
$$M(540) = \frac{MTTF}{1 - R(tp)} = \frac{743,415}{1 - 0,830798336} = 4393,662464$$

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

$$D(540) = 0,000458936$$

Dari tabel perhitungan dihasilkan :

- a. Min D (tp) = 0,000458936
- b. Age Replacement = 540 jam
- c. Availability = 1 - Min D (tp)  
= 0,999541064



#### 4.2.6. Penentuan Frekuensi dan Interval Waktu Pemeriksaan Dengan Kriteria

##### Minimasi Downtime

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan, diketahui bahwa waktu pemeriksaan mesin Web Fast-300 adalah 1 jam atau 60 menit.

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan :

1. Perhitungan jumlah kerusakan (k)
  - a. Frekuensi kerusakan mesin 25 kali
  - b. Periode penelitian 24 bulan

$$c. K = \frac{\text{Frekuensi Jumlah Kerusakan}}{\text{Periode Jumlah Kerusakan}} = \frac{25}{24} = 1,04$$

2. Waktu rata-rata untuk melakukan penggantian ( $1/\mu$ )

a.  $MTTR = 0,547324$

b. Jam kerja per bulan (1 minggu = 5 hari kerja, 1 bulan = 4 minggu kerja, dan 1 hari = 24 jam kerja), sehingga jam kerja per bulan =  $5 \cdot 4 \cdot 24 = 480$  jam/bulan.

c. Waktu rata-rata untuk melakukan penggantian  $1/\mu$

$$i. = \frac{MTTR}{\text{jam kerja per bulan}} = \frac{0,547324}{480} = 0,001140258$$

$$d. \mu = \frac{1}{0,001140258} = 876,9942$$

3. Waktu Pemeriksaan ( $1/i$ )

a. Waktu untuk melakukan pemeriksaan = 60 menit atau 1 jam

b. Jam kerja/bulan = 480 jam/bulan

c. Rata-rata pemeriksaan =  $1/480 = 0,00114$

$$d. i = \frac{1}{0,00114} = 480 \text{ jam}$$

4. Perhitungan frekuensi ( $n$ ) dan interval pemeriksaan ( $i/n$ )

$$a. n = \sqrt{\frac{k i}{\mu}}$$

$$b. n = \sqrt{\frac{1,04 \cdot 480}{876,9942}} = 0,754 = 1 \text{ pemeriksaan/bulan}$$

c. interval waktu pemeriksaan =  $1/n \times \text{jam kerja}$

$$= 1/1 \times 480 = 480 \text{ jam}$$

#### 4.2.7. Perhitungan *Availability* (ketersediaan)

Total *Availability* atau ketersediaan mesin kritis diperoleh dari hasil *availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan dengan *availability* berdasarkan persamaan.

1. *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan

$$D(n) = \frac{k}{n \cdot \mu} + \frac{n}{i}$$
$$= \frac{1,04}{1 \cdot 876,994} + \frac{1}{480} = 0,003269202$$

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

$$A(n) = 1 - 0,003269202 = 0,996730798$$

2. *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan

$$A(tp) = 1 - [\min D(tp)]$$

$$A(tp) = 1 - 0,000458936 = 0,999541064$$

3. *Availability* Total

$$\text{Availability Total} = A(n) * A(tp)$$

$$\text{Availability Total} = 0,996730798 * 0,999541064 = 0,996273362$$

Dari hasil perhitungan, didapat nilai *availability* total adalah 0,996273362 yang menunjukkan probabilitas komponen cutting knife dapat berfungsi seperti yang diharapkan setelah dilakukan tindakan penggantian pencegahan dan pemeriksaan adalah sebesar 99,62%.



#### 4.2.8. Perhitungan Reliability (Keandalan) Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan

Perhitungan keandalan mesin kritis sebelum dan sesudah adanya tindakan perawatan adalah sebagai berikut:

Perhitungan keandalan ini menggunakan distribusi data time to failure yang telah dihitung sebelumnya. Distribusi pada mean time to failure mengikuti distribusi Lognormal, diketahui:

1.  $MTTF = 743,415$

$s = 0,29$

$t_{med} = 712,801$

$$R(tp) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) = 1 - \phi\left(\frac{1}{0,29} \ln \frac{540}{712,801}\right) = -0,957355654$$

2. Nilai t dimulai dari 540 jam

Tabel 4.14 perhitungan keandalan

t (jam)	n	Reliability Awal	Reliability Usulan
540	1	0.83080098	1
680	1	0.564521469	0.999837279
820	1	0.314508863	0.861850988
960	1	0.152288561	0.354616018
1080	2	0.075958594	1
1360	2	0.012947649	0.999837279
1640	2	0.002030361	0.861850988
1920	2	0.000313179	0.354616018

Contoh perhitungan keandalan dengan menggunakan distribusi Lognormal pada nilai  $t = 540$  jam.

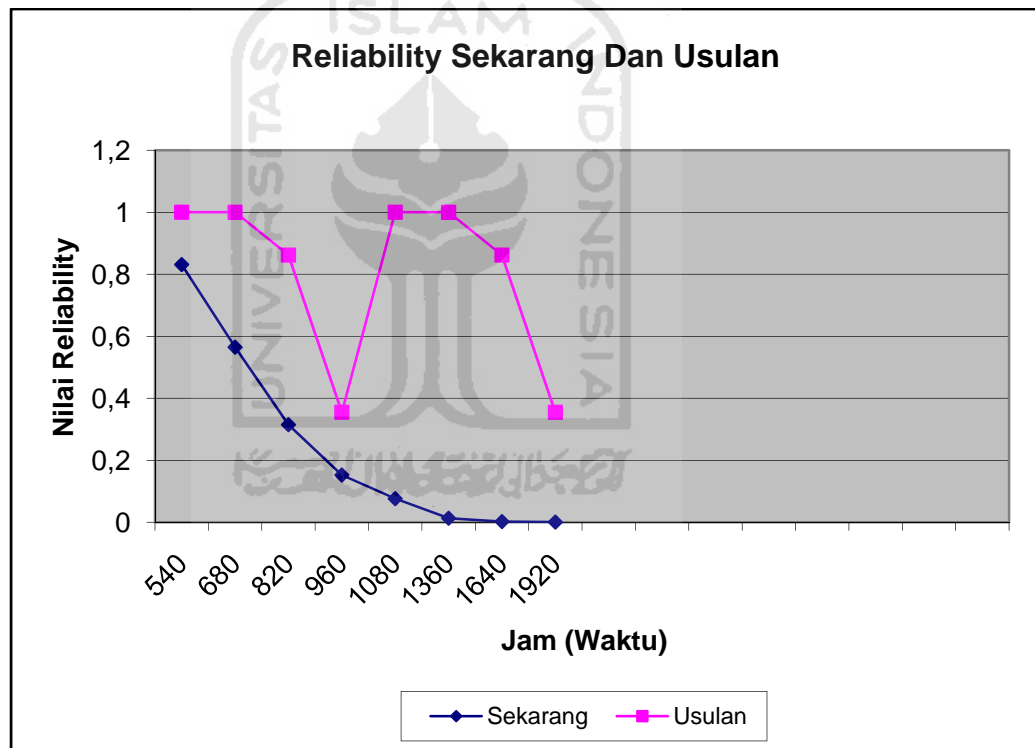
1. *Reliability* kondisi sekarang

$$R(tp) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) = 1 - \phi\left(\frac{1}{0,29} \ln \frac{540}{712,801}\right) = 0.83080098$$

2. *Reliability* setelah usulan

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

$$R(t - nT) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,29} \ln \frac{540 - 1 \cdot 540}{712,801}\right) = 1$$



Gambar 4.11. kurva keandalan sekarang dan usulan

#### 4.2.9. Perhitungan Biaya Perawatan

##### 1. Ongkos perawatan (Ci)

Ongkos ini merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pemeriksaan cutting knife, ketika terjadi kerusakan.

##### a. Biaya tenaga kerja bagian pemeriksaan

Biaya ini dihitung berdasarkan jumlah jam kerja per bulan x jumlah jam yang diperlukan melakukan perawatan (Ti). Dari bagian HRD diperoleh keterangan bahwa gaji rata-rata teknisi perorangan adalah Rp 1.100.000/bulan. Dalam satu bulan ada 20 hari kerja dan 1 hari lamanya 24 jam, sedangkan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk pemeriksaan terhadap cutting knife (Ti) adalah 5,48 menit dengan jumlah teknisi 1 orang. Sehingga biaya teknisi perawatan adalah  $1.100.000/480 \text{ jam} = \text{Rp } 2291,667/\text{jam} = \text{Rp } 38,194/\text{menit}$ . Untuk biaya setiap kali pemeriksaan adalah  $\text{Rp } 38,194 \times 5,48 \text{ menit} = \text{Rp } 209,3 /\text{pemeriksaan}$ .

##### 2. Ongkos Bahan Pembantu

Setiap perawatan diperlukan bahan pembantu guna memperlancar proses operasional mesin, seperti oli dan lain-lain. Semua ongkos bahan pembantu untuk setiap mesin diestimasikan sebesar Rp 20.000 setiap kali pemeriksaan. Sedangkan untuk biaya perbaikan diestimasikan Rp 80.000 setiap kali perbaikan Sehingga besarnya ongkos bahan pembantu yaitu:

a. Ongkos bahan pembantu setiap pemeriksaan

Dimana:

- ✓ Total waktu = 3,017 jam
- ✓ Biaya sekali pakai Rp 20.000
- ✓  $\text{Rp } 20.000 \times 33 \text{ kali pemakaian} = \text{Rp } 660.000$
- ✓  $\text{Rp } 660.000 / 3,017 \text{ jam} = \text{Rp } 218.784,53/\text{jam}$
- ✓ Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk melakukan sekali pemeriksaan 5,48 menit, sehingga biaya yang dibutuhkan untuk melakukan sekali pemeriksaan adalah Rp 3.646,4/menit.
- ✓ Biaya yang dibutuhkan untuk sekali pemeriksaan adalah Rp  $3.646,4 \times 5,48 \text{ menit} = \text{Rp } 19.982$  per pemeriksaan.

b. Ongkos bahan pembantu perbaikan

Dimana:

- ✓ Total waktu = 13,68 jam
- ✓ Biaya sekali pakai Rp 80.000
- ✓  $\text{Rp } 80.000 \times 25 \text{ kali pemakaian} = \text{Rp } 2.000.000$
- ✓  $\text{Rp } 2.000.000 / 13,68 \text{ jam} = \text{Rp } 146.163,2/\text{jam}$
- ✓  $\text{Rp } 146.163,2 / 60 \text{ menit} = \text{Rp } 2436,05/\text{menit}$
- ✓ Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan 32,84 menit, sehingga biaya untuk sekali perbaikan Rp 2436,05 x 32,84 menit = Rp 79.999/perbaikan.

### 3. Biaya depresiasi mesin

Depresiasi merupakan penyusutan dari suatu produk secara sistematis sepanjang masa pemakaian. Menurut informasi Korlap bagian produksi, umur ekonomis untuk cutting knife adalah 1 tahun. Sedangkan harga cutting knife adalah Rp 490.000. maka perhitungan biaya depresiasi metode garis lurus (straight line) tanpa nilai sisa untuk setiap cutting knife adalah sebagai berikut:

$$\text{Depresiasi} = \frac{\text{harga komponen}}{\text{umur ekonomis mesin} \times \text{jumlah jam kerja 1 tahun}}$$

$$\text{Depresiasi} = \frac{490.000}{1 \times 365 \times 7} = \text{Rp } 191,78$$

### 4. Biaya Operator Menganggur

Akibat adanya pemeriksaan cutting knife, maka sejumlah operator mesin harus menganggur karena mesin tidak beroperasi. Adapun gaji rata-rata operator mesin adalah

- 1) Biaya operator = Rp 1.100.000
- 2) Biaya Operator/hari = Rp 1.100.000/20 hari  
= Rp 55.000/hari
- 3) Biaya Operator/jam = Rp 55.000/8 jam  
= Rp 6875/jam
- 4) Biaya untuk 3 Operator = Rp 6875 x 3  
= Rp 20.625/jam

$$\begin{aligned} 5) \text{ Biaya 3 Operator/menit} &= \text{Rp } 20.625 : 60 \\ &= \text{Rp } 343,75/\text{menit} \end{aligned}$$

6) Biaya untuk setiap

$$\begin{aligned} \text{Perbaikan} &= \text{Rp } 343,75 \times 32,84 \text{ menit} \\ &= \text{Rp } 11.288,75/\text{perbaikan} \end{aligned}$$

#### 5. Keuntungan yang hilang

Mesin Web Fast-300 yang tidak beroperasi menyebabkan hilangnya kesempatan untuk memperoleh keuntungan. Adapun keuntungan yang hilang berdasarkan kebijakan perusahaan adalah 10% jam dari ongkos produksi. Harga jual setiap koran berbeda-beda, ditentukan dari redaksi masing-masing. *Profit* yang diperoleh untuk tiap eksemplarnya Rp 500,00. Kapasitas 8000 eksemplar/24jam. Seperti dikemukakan pada data umum bahwa PT. Nyata Grafika beroperasi selama 24 jam dengan 3 kali shift sehari. Setelah itu, dilakukan perhitungan untuk menghitung biaya kehilangan produksi akibat pergantian komponen dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Biaya Kehilangan Produksi} = A \times B$$

Dimana:

A : Keuntungan Per Eksemplar

B : *Output*/jam

Data perhitungan biaya kehilangan produksi untuk komponen Cutting Knife pada mesin fast-300 counter sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya Kehilangan Produksi} &= \text{Keuntungan per eksemplar} \times \text{output/jam} \\
 &= 500 \times 333 \\
 &= \text{Rp } 166.666/ \text{ jam} = \text{Rp } 2.777/\text{menit} \\
 &= \text{Rp } 2.777 \times 32,84 \text{ menit} \\
 &= \text{Rp } 91.196,68 / \text{perbaikan}
 \end{aligned}$$

6. Ongkos kegiatan perbaikan (Cr)

Ongkos perbaikan ini timbul akibat adanya suatu perbaikan web fast-300 yang mengalami kerusakan ketika melakukan produksi. Waktu rata-rata untuk melakukan perbaikan (MTTR/Tr) adalah 0,547324 jam. Adapun tenaga kerja untuk berbagai perbaikan sebesar 15.000/jam perorang. Sehingga besarnya biaya tenaga kerja bagian perbaikan yaitu = 2 orang x Rp. 15.000/jam = Rp. 30.000/jam = Rp. 500/menit. Waktu rata-rata perbaikan adalah 32,84 menit, sehingga biaya untuk setiap kali perbaikan adalah Rp. 500 x 32,84 = Rp 16.420/perbaikan.

Tabel 4.7 perbandingan biaya (Rp/perbaikan)

<b>Keterangan</b>	<b>Biaya Pemeriksaan (Ci)</b>	<b>Biaya Perbaikan (Cr)</b>
Ongkos Teknisi	209,3	16.420
Operator Menganggur	11.288,75	11.288,75
Bahan Pembantu	19.982	79.999
Depresiasi Cutting Knife	191.78	191.78
Keuntungan yang hilang	91.196,68	91.196,68
<b>Total</b>	122.868,5	199.096,2

Sehingga diperoleh biaya pemeriksaan (Ci) Rp 122.868,5 per pemeriksaan, sedangkan biaya perbaikan (Cr) Rp 199.062,2 per perbaikan. Besarnya biaya yang harus ditanggung perusahaan setiap kali mengalami kerusakan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$TC(tp) = \frac{[Ci * R(tp)] + [Cr * F(tp)]}{tp}$$

Biaya yang harus ditanggung perusahaan setiap kali mengalami kerusakan minimum didasarkan pada hasil perhitungan minimasi downtime pada bagian sebelumnya yaitu pada  $t = 540$  jam :

$$tp = 540 \text{ jam}$$

$$Tr / MTTR = 0,547324 \text{ jam} = 32,8394 \text{ menit}$$

$$R(tp) = 0,830798336, \text{ Sehingga biaya totalnya adalah :}$$

$$TC(tp) = \frac{[(122.868,5) * (0,830798336)] + [(199.062,2) * (0,169201664)]}{540}$$

$$TC(tp) = Rp 251.419/\text{perbaikan}$$



## **BAB V**

### **ANALISIS HASIL**

#### **5.1. Analisis Hasil**

Pemilihan mesin kritis ditentukan dari kebijakan perusahaan, sedangkan untuk penentuan komponen kritis dilihat dari jumlah total *downtime* terbesar dan jumlah frekuensi kerusakan dari tiap-tiap komponen yang memiliki jumlah terbanyak.

Berdasarkan kebijakan dari perusahaan dapat diketahui bahwa mesin yang memiliki jumlah *downtime* terbesar serta frekuensi kerusakan terbanyak adalah mesin web fast-300, sedangkan penentuan komponen kritis yang dilihat dari banyaknya frekuensi kerusakan didapat pada komponen Cutting Knife.

#### **5.2. Analisis Perhitungan *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR)**

Setelah komponen kritis ditentukan, langkah selanjutnya adalah menghitung *time to failure* (TTF) dan *time to repair* (TTR). dari hasil perhitungan didapatkan *time to failure* (TTF) dan *time to repair* (TTR) untuk komponen Cutting Knife adalah sebagai berikut:

Tabel 5.1 Nilai TTF dan TTR Komponen Kritis

Downtime TTR (jam)	Downtime TTF (jam)
0.53	0
0.57	909.28
0.53	715.26
0.53	793.28
0.57	550.28
0.55	937.26
0.53	842.27
0.57	670.28
0.53	589.26
0.53	894.28
0.57	499.28
0.55	912.46
0.53	574.17
0.53	391.38
0.58	565.08
0.53	674.25
0.53	886.28
0.55	772.38
0.52	736.17
0.53	631.49
0.53	856.08
0.57	484.28
0.57	982.46
0.58	550.11
0.55	1344.2

### 5.3. Analisis Identifikasi Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) dan Waktu Perbaikan (TTR)

Setelah perhitungan TTF dan TTR diselesaikan, dilanjutkan dengan mengidentifikasi distribusi dari hasil perhitungan tersebut. Penentuan distribusi dilakukan dengan metode *Least Square Curve Fitting* yang bertujuan untuk menentukan distribusi apa yang mewakili atau mendekati penyebaran data-data TTF dan TTR. Distribusi yang digunakan dalam metode *Least Square Curve Fitting* adalah distribusi Weibull, Eksponensial, Normal dan Lognormal. Perhitungan yang dilakukan dalam metode *Least Square Curve Fitting* adalah menentukan nilai *index of fit* ( $r$ ), dimana *index of fit* merupakan gambaran untuk menunjukkan hubungan antara penyebaran data dan distribusinya.

Hasil dari perhitungan dari setiap distribusi untuk data TTF dan TTR menggunakan program minitab 15 adalah sebagai berikut :

Tabel 5.2 Nilai *Anderson-Darling* Masing-Masing Distribusi Untuk Data TTF

Distribusi	<i>Anderson-Darling</i>	Distribusi Terpilih
Weibull	1,195	Lognormal
Eksponensial	11,283	
Normal	0,911	
Lognormal	0,781	

Table 5.3 Nilai *Anderson-Darling* Masing-Masing Distribusi Untuk Data TTR

Distribusi	<i>Anderson-Darling</i>	Distribusi Terpilih
Weibull	4,54	Lognormal
Eksponensial	22,324	
Normal	2,484	
Lognormal	2,469	

#### 5.4. Analisis Perhitungan Rata-rata Waktu Antar Kerusakan (MTTF) dan Rata-rata Waktu Perbaikan (MTTR)

Setelah didapatkan distribusi terpilih dari hasil pengujian kecocokan distribusi, maka perhitungan selanjutnya adalah dengan menentukan nilai *mean time to failure* (MTTF) dan nilai *mean time to repair* (MTTR), perhitungan MTTF dan MTTR didapatkan melalui parameter-parameter dari data TTF dan TTR distribusi terpilih, dan hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

Untuk waktu antar kerusakan (TTF) :

- a. Distribusi terpilih = Distribusi Lognormal
- b. MTTF = 743,415

Untuk waktu perbaikan (TTR) :

- a. Distribusi terpilih = Distribusi Lognormal
- b. MTTR = 0,547324

#### 5.5. Analisis Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan

Setelah mengetahui distribusi yang sesuai untuk data *Time To Failure* dan *Time To Repair* serta nilai MTTF dan MTTR, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan kriteria minimasi *downtime*, dimana perhitungan dilakukan secara *trial and error*, dan hasil yang didapat adalah sebagai berikut :

- a. Min D (tp) = 0,000458936
- b. *Age Replacement* = 540 jam

Perhitungan interval waktu pengganti pencegahan ini menggunakan *model Age Replacement* yaitu penentuan penggantian pencegahan berdasarkan umur komponen optimal. Jika dalam pelaksanaannya terjadi kerusakan sebelum waktu yang telah ditentukan, maka penggantian komponen berikutnya dilakukan setelah komponen yang baru telah mencapai umur optimal berdasarkan interval waktu penggantian.

Berdasarkan hasil perhitungan interval waktu penggantian pencegahan diperoleh hasil 540 jam yang berarti penggantian Cutting Knife dilakukan kira-kira setiap 540 jam dihitung dari waktu Cutting Knife pertama kali beroperasi.

#### **5.6. Analisis Penentuan Frekuensi dan Interval Waktu Pemeriksaan**

Dalam pengolahan data didapatkan frekuensi dan interval waktu pemeriksaan berdasarkan waktu produksi yang ada. Hasil perhitungannya sebagai berikut :

- a. Frekuensi Pemeriksaan = 1 pemeriksaan/bulan
- b. Interval Pemeriksaan = 480 jam

Pada perhitungan interval waktu pemeriksaan dan frekuensi pemeriksaan diperoleh hasil 480 jam dan 1 pemeriksaan/bulan, maksudnya interval waktu pemeriksaan dilakukan setiap 480 jam atau dilakukan rata-rata 1 pemeriksaan/bulan dari waktu Cutting Knife mulai beroperasi.

### 5.7. Analisis Perhitungan *Availability* (Ketersediaan)

Setelah diketahui interval waktu penggantian pencegahan serta frekuensi dan interval waktu pemeriksaan, maka dapat dihitung nilai *availability* total Cutting Knife dengan cara nilai *availability* berdasarkan interval waktu penggantian pencegahan dikali dengan nilai *availability* berdasarkan frekuensi dan interval waktu pemeriksaan, dan hasil yang didapat adalah sebagai berikut :

- a. *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan

$$A(n) = 0,996730798$$

- b. *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan

$$A(tp) = 0.999541064$$

- c. *Availability* total

$$\text{Availability total } 0,996730798 \times 0,999541064 = 0,996273362$$

Dari hasil diatas didapat nilai *availability* total adalah 0,996273362 yang menunjukkan probabilitas Cutting Knife dapat berfungsi seperti yang diharapkan setelah dilakukan tindakan penggantian pencegahan dan pemeriksaan adalah sebesar 99,62%.

### 5.8. Analisis Perhitungan *Realibility* (keadaan) Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan

Perhitungan tingkat keandalan dilakukan untuk kondisi sebelum dan sesudah adanya tindakan perawatan pencegahan dalam beberapa waktu, dengan demikian bisa didapatkan suatu gambaran yang jelas bagaimana sistem perawatan pencegahan dapat meningkatkan keandalan. Perhitungan ini dilakukan dengan memperhatikan

distribusinya, karena perbedaan distribusi menyebabkan adanya perbedaan cara perhitungan tingkat keandalan. Berikut ini merupakan hasil perhitungan tingkat keandalan komponen kritis sebelum dan sesudah adanya tindakan perawatan pencegahan.

Table 5.4 Hasil Perhitungan Keandalan Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan

<b>t (jam)</b>	<b>n</b>	<b>Reliability Awal</b>	<b>Reliability Usulan</b>
540	1	0.83080098	1
680	1	0.564521469	0.999837279
820	1	0.314508863	0.861850988
960	1	0.152288561	0.354616018
1080	2	0.075958594	1
1360	2	0.012947649	0.999837279
1640	2	0.002030361	0.861850988
1920	2	0.000313179	0.354616018

Berdasarkan hasil perhitungan keandalan sebelum dilakukan tindakan perawatan pencegahan dan setelah dilakukan tindakan perawatan pencegahan menunjukkan bahwa dengan menerapkan tindakan perawatan pencegahan keandalan dapat terus terjaga pada tingkat yang tinggi. Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa t (jam) menunjukkan interval waktu mesin beroperasi dimana *reliability* awal pada mesin adalah keadaan mesin pada saat awal beroperasi dengan kerusakan 25 kali dengan nilai *reliability* 0,83080098, dan *reliability* tersebut semakin turun karena mesin beroperasi selama 24 jam sehari. Untuk itu diperlukan perawatan untuk menaikkan nilai *reliability* agar mesin tersebut dapat kembali handal dalam operasinya.

## **BAB VI**

### **PENUTUP**

#### **6.1. Kesimpulan**

Berdasarkan uraian dan analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Mesin kritis yang dipilih adalah mesin yang memiliki total *downtime* dan frekuensi kerusakan terbesar. Dalam perhitungan, yang terpilih sebagai komponen kritis adalah Cutting Knife yang memiliki total *downtime* dan frekuensi kerusakan terbesar. Adapun mesin kritis tersebut memiliki total downtime sebesar 13,68 jam atau 821 menit dalam 24 bulan (2 tahun) dan jumlah frekuensi kerusakan sebanyak 25 kali.

Interval waktu penggantian pencegahan komponen kritis berdasarkan kriteria minimasi *downtime* adalah 540 jam, sedangkan frekuensi pemeriksaan optimal sebanyak 1 pemeriksaan/bulan, dan interval waktu pemeriksaan optimal adalah setiap 480 jam dengan biaya yang dihasilkan dari perhitungan biaya perawatan yang harus ditanggung perusahaan setiap kali mengalami kerusakan adalah Rp 251.419/perbaikan

#### **6.2. Saran**

Adapun saran-saran yang dapat diberikan kepada pihak perusahaan berdasarkan hasil penelitian adalah sebagai berikut :

1. Meskipun dari hasil penelitian secara matematik telah diperoleh hasil selang waktu perawatan yang dapat memaksimalkan avabilitas mesin, namun penelitian



ini hanya sebagai alat bantu dalam menentukan kebijakan perawatan, sedang untuk persiapannya perlu dilakukan penyesuaian dengan kondisi yang berlaku di perusahaan.

2. Minimasi kegiatan perusahaan dapat dilakukan dengan cara lebih memprioritaskan penggunaan kelompok mesin cetak yang mempunyai kehandalan paling baik, dengan harapan umur pakai mesin cetak dapat lebih lama.



## Daftar Pustaka

- Ahmad Kholid Alghofari., Much. Djunaidi., dan Amin Fauzan., 2006, “*Perencanaan pemeliharaan mesin Ballmill dengan basis RCM (Reliability Centered Maintance)*”. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. **5**, no.02, hal 45 – 52. Desember.
- Andrianto Marswita, Tino. 2006. “*Analisa dan Perancangan Sistem Informasi Preventive Maintenance Untuk Meningkatkan Reliability Dari Mesin Knit Di PT. Mulia Knitting Factory*”. Skripsi. Universitas Bina Nusantara.
- Anggono, Wilyanto. 2005. “*Preventive Maintenance System Dengan Modularity Design Sebagai Solusi Penurunan Biaya Maintenance (Studi Kasus Di Perusahaan Tepung Ikan)*”. Jurusan Teknik Industri., Fakultas Teknologi Industri, Universitas Petra.
- Balbir, S. D., and Hans, R., 1985, *Reliability and Maintainability Management*, Wan Nstrand Reinhold Co, Inc.
- Chulho Bae, Taeyoon Koo, Youngtak Son, Kyjun Park, Jongdeok Jung, Seokyoun Han, dan Myungwon Suh., 2009. “*A study on reliability centered maintenance planning of a standard electric motor unit subsystem using computational techniques*”. *Journal of Mechanical Science and Technology*, **23**, 1157-1168.
- Corder, A., diterjemahkan Hadi, K., 1992, *Tenik Manajemen Pemeliharaan*, Erlangga, Jakarta.
- Era Madona ., 2008. “*Penerapan kriterian inspeksi minimasi downtime untuk inspeksi mesin paker*”. *Percikan*, vol. **92**. September.
- Ebeling, Charles. E. 1997. *an introduction to reliability and maintainability engineering*. McGraw-Hill Book Co, Singapura.

- Gunawan Hartono., Syakti Dewi 2003. “*Analisis penerapan total preventive maintance untuk meningkatkan avability dan reliability pada mesin injeksi melalui minimasi down time*”. *Inasea*, vol. **4**, hal 1-11. April
- Much. Djunaidi, Mila Faila Sufa., 2007, “*Usulan Interval Perawatan komponen kritis pada mesin pencetak botol (mould gear) berdasarkan criteria minimasi downtime*”. *Jurnal Teknik Gelagar*, vol.**18**, no. 01, hal 33-41. April.
- Mohammad Tahril Azia, M. Salman Supra Whardana, dan Teguh pudji Purwanto., 2009, “*Penerapan metode reliability Centered Maintance berbasis web pada sistem pendingin primer di reaktor serba guna G.A Siwabessy*”. Seminar nasional V teknologi nuklir 2009, 343-354. 5 November, Jogjakarata.
- Mardianto. 2010. “*Analisa Total Productive Maintenance (TPM) Dengan Pendekatan Model Preventive Maintenance Smith and Dekker Pada Komponen Kritis (Studi Kasus di PT. Geodipa Energi Unit Dieng)*”. Skripsi. Institut Sains dan Teknologi Akprind.
- Moubray, John, 1997. *Reliability centered maintenance*. Industrial press inc. 2nd edition. New York.
- Sofjan Assauri. 1993. *manajemen produksi dan operasi*. Edisi IV. LPFEUI, Jakarta.
- Suharto, 1991, *Manajemen Perawatan Mesin*, PT. Rineka Cipta Anggota IKAPI. Jakarta.
- T., Hani Handoko, 1984. *dasar-dasar manajemen produksi dan operasi*. Edisi I. BPFE, Yogyakarta.

Tanti Octavia, Ronald E. Stok, dan Yenny Amelia., 2001. “*Implementasi total productive maintenance di departemen non jahit PT.Kerta Rajasa Raya*”. Jurnal teknik industri, vol. **3**, no. 1, hal 18-25.Juni.

Walpole R, E., Myers Raymond H., 1986, *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuan*, ITB-Press, Bandung.





4/21/2011 10:49:42 AM

Welcome to Minitab, press F1 for help.  
Executing from file: C:\Program Files\Minitab 15\English\Macros\Startup.mac

This Software was purchased for academic use only.  
Commercial use of the Software is prohibited.

## Distribution Analysis: TTF(cutting knife)

Variable: TTF(cutting knife)

Censoring Information Count  
Uncensored value 24

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Weibull

### Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI Lower	95.0% Normal CI Upper
Shape	4.34087	0.498137	3.46654	5.43571
Scale	808.832	40.7689	732.746	892.817

Log-Likelihood = -163.307

Goodness-of-Fit  
Anderson-Darling (adjusted) = 1.195  
Correlation Coefficient = 0.973

### Characteristics of Distribution

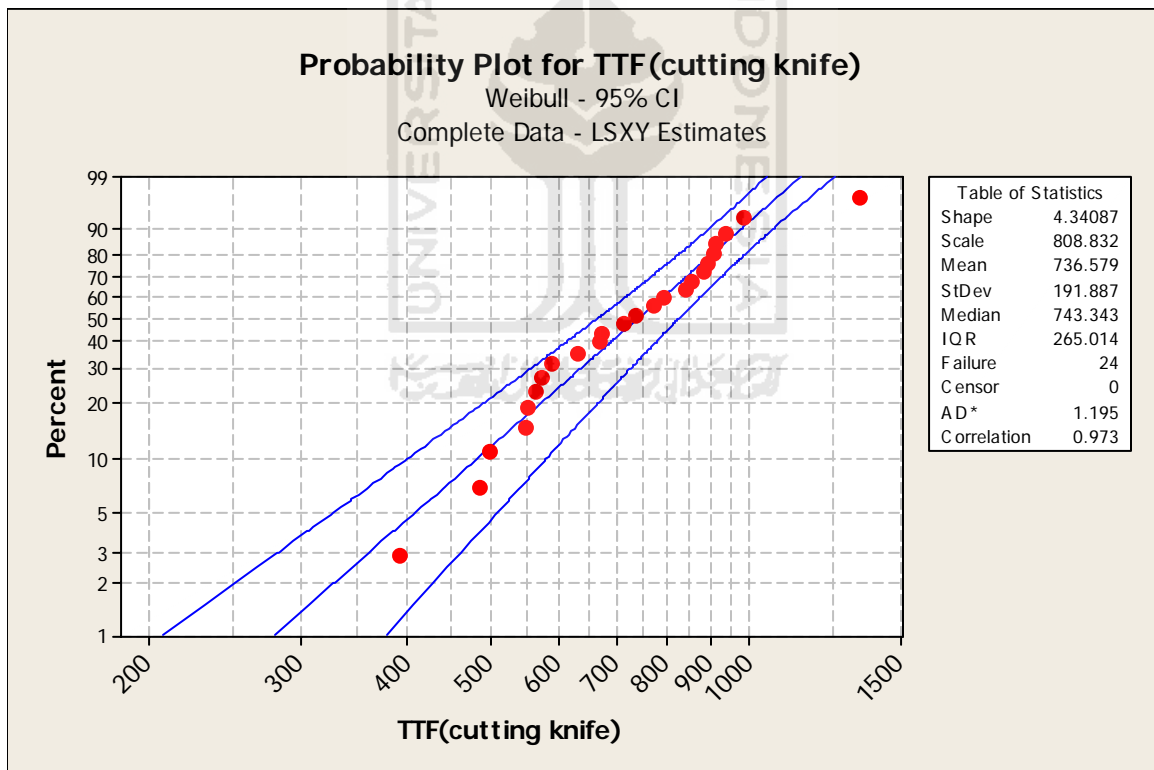
	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI Lower	95.0% Normal CI Upper
Mean(MTTF)	736.579	39.7819	662.593	818.826
Standard Deviation	191.887	16.2469	162.546	226.525
Median	743.343	41.5157	666.269	829.333
First Quartile(Q1)	607.028	44.0802	526.499	699.874
Third Quartile(Q3)	872.041	40.7461	795.728	955.673
Interquartile Range(IQR)	265.014	23.8972	222.082	316.246

### Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI Lower	95.0% Normal CI Upper
1	280.300	42.8897	207.672	378.328
2	329.213	44.5853	252.464	429.294
3	361.871	45.3089	283.125	462.520
4	387.125	45.6750	307.201	487.843
5	408.034	45.8637	327.356	508.596
6	426.051	45.9503	344.872	526.338
7	441.991	45.9729	360.476	541.938
8	456.359	45.9530	374.623	555.927

9	469.493	45.9035	387.619	568.660
10	481.630	45.8331	399.679	580.385
20	572.522	44.7030	491.281	667.198
30	637.846	43.4803	558.073	729.021
40	692.872	42.3975	614.564	781.158
50	743.343	41.5157	666.269	829.333
60	792.705	40.8962	716.469	877.053
70	844.169	40.6538	768.134	927.731
80	902.546	41.0589	825.555	986.717
90	980.170	42.9910	899.429	1068.16
91	990.325	43.3730	908.862	1079.09
92	1001.28	43.8195	918.975	1090.96
93	1013.23	44.3478	929.938	1103.99
94	1026.47	44.9827	941.988	1118.53
95	1041.43	45.7626	955.489	1135.10
96	1058.81	46.7519	971.029	1154.52
97	1079.90	48.0702	989.673	1178.34
98	1107.46	49.9834	1013.70	1209.89
99	1149.87	53.3283	1049.96	1259.29

### Probability Plot for TTF(cutting knife)



### Distribution Analysis: TTF(cutting knife)

Variable: TTF(cutting knife)

Censoring Information Count  
 Uncensored value 24

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Exponential

#### Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean	521.680	89.4059	372.842	729.934

Log-Likelihood = -184.216

Goodness-of-Fit  
 Anderson-Darling (adjusted) = 11.283

#### Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTTF)	521.680	89.4059	372.842	729.934
Standard Deviation	521.680	89.4059	372.842	729.934
Median	361.601	61.9714	258.434	505.952
First Quartile(Q1)	150.078	25.7205	107.260	209.989
Third Quartile(Q3)	723.202	123.943	516.868	1011.90
Interquartile Range(IQR)	573.124	98.2224	409.609	801.914

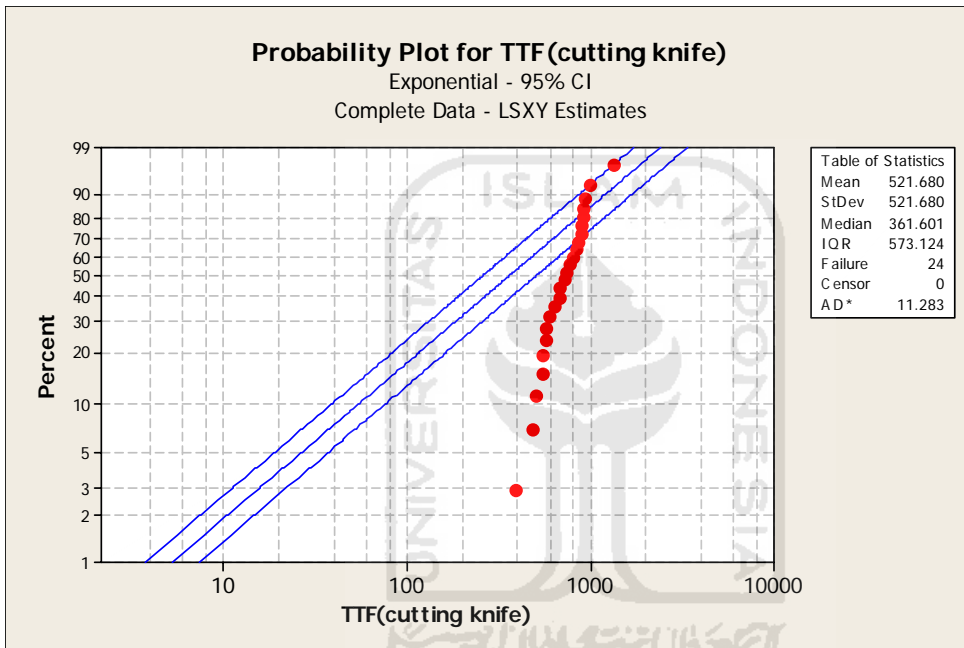
#### Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	5.24306	0.898559	3.74718	7.33608
2	10.5393	1.80624	7.53241	14.7466
3	15.8900	2.72323	11.3565	22.2332
4	21.2960	3.64973	15.2201	29.7974
5	26.7587	4.58592	19.1243	37.4407
6	32.2792	5.53202	23.0697	45.1650
7	37.8587	6.48825	27.0574	52.9718
8	43.4985	7.45481	31.0881	60.8631
9	49.2000	8.43193	35.1630	68.8406
10	54.9645	9.41985	39.2828	76.9062
20	116.409	19.9503	83.1972	162.880
30	186.070	31.8888	132.983	260.349
40	266.487	45.6708	190.457	372.869
50	361.601	61.9714	258.434	505.952
60	478.010	81.9218	341.631	668.832
70	628.088	107.642	448.891	878.821
80	839.611	143.893	600.066	1174.78
90	1201.21	205.865	858.500	1680.74



91	1256.18	215.284	897.783	1757.64
92	1317.62	225.815	941.697	1843.62
93	1387.28	237.753	991.483	1941.08
94	1467.70	251.535	1048.96	2053.60
95	1562.81	267.836	1116.93	2186.69
96	1679.22	287.786	1200.13	2349.57
97	1829.30	313.507	1307.39	2559.56
98	2040.82	349.758	1458.57	2855.52
99	2402.42	411.729	1717.00	3361.47

### Probability Plot for TTF(cutting knife)



### Distribution Analysis: TTF(cutting knife)

Variable: TTF(cutting knife)

Censoring Information Count  
 Uncensored value 24

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Normal

#### Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean	740.063	43.4253	654.951	825.175
StDev	212.739	32.3741	157.875	286.669

Log-Likelihood = -161.893

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 0.911  
 Correlation Coefficient = 0.966

#### Characteristics of Distribution

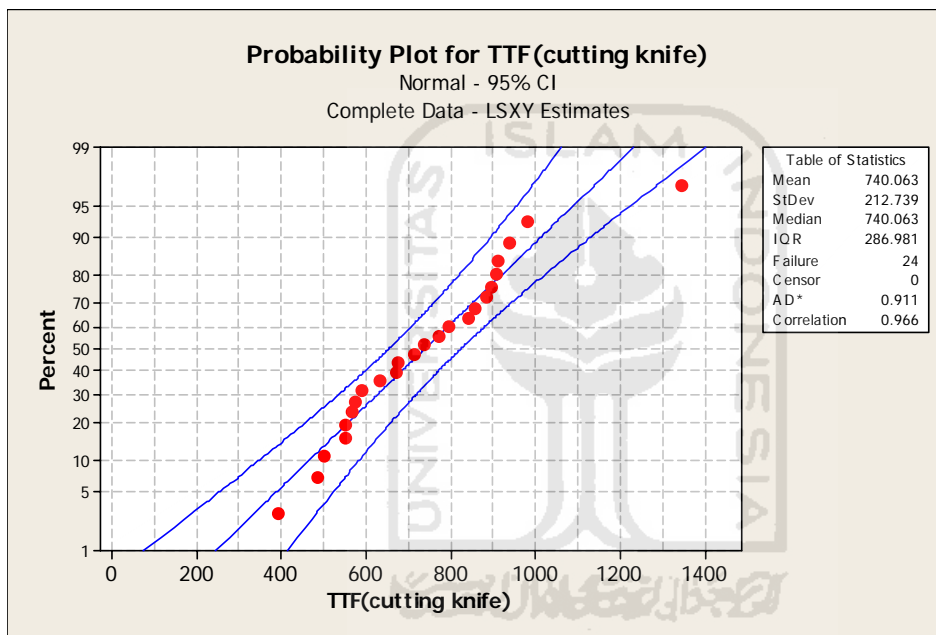
	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTTF)	740.063	43.4253	654.951	825.175
Standard Deviation	212.739	32.3741	157.875	286.669
Median	740.063	43.4253	654.951	825.175
First Quartile(Q1)	596.573	48.6062	501.306	691.839
Third Quartile(Q3)	883.554	48.6062	788.287	978.820
Interquartile Range(IQR)	286.981	43.6720	212.971	386.711

#### Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	245.157	86.9360	74.7661	415.549
2	303.150	79.4131	147.503	458.797
3	339.944	74.7878	193.363	486.526
4	367.623	71.4004	227.681	507.566
5	390.138	68.7123	255.464	524.812
6	409.302	66.4778	279.008	539.596
7	426.104	64.5634	299.562	552.646
8	441.149	62.8880	317.891	564.407
9	454.832	61.3988	334.493	575.171
10	467.427	60.0591	349.713	585.140
20	561.017	51.2654	460.539	661.496
30	628.503	46.6259	537.118	719.888
40	686.166	44.1930	599.550	772.783
50	740.063	43.4253	654.951	825.175
60	793.960	44.1930	707.344	880.577
70	851.624	46.6259	760.239	943.009

80	919.109	51.2654	818.631	1019.59
90	1012.70	60.0591	894.986	1130.41
91	1025.29	61.3988	904.955	1145.63
92	1038.98	62.8880	915.719	1162.24
93	1054.02	64.5634	927.480	1180.56
94	1070.82	66.4778	940.531	1201.12
95	1089.99	68.7123	955.315	1224.66
96	1112.50	71.4004	972.561	1252.45
97	1140.18	74.7878	993.601	1286.76
98	1176.98	79.4131	1021.33	1332.62
99	1234.97	86.9360	1064.58	1405.36

### Probability Plot for TTF(cutting knife)



## Distribution Analysis: TTF(cutting knife)

Variable: TTF(cutting knife)

Censoring Information Count  
 Uncensored value 24

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Lognormal

### Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Location	6.56920	0.0591974	6.45318	6.68523
Scale	0.290007	0.0455759	0.213127	0.394620

Log-Likelihood = -160.755

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 0.781

Correlation Coefficient = 0.986

### Characteristics of Distribution

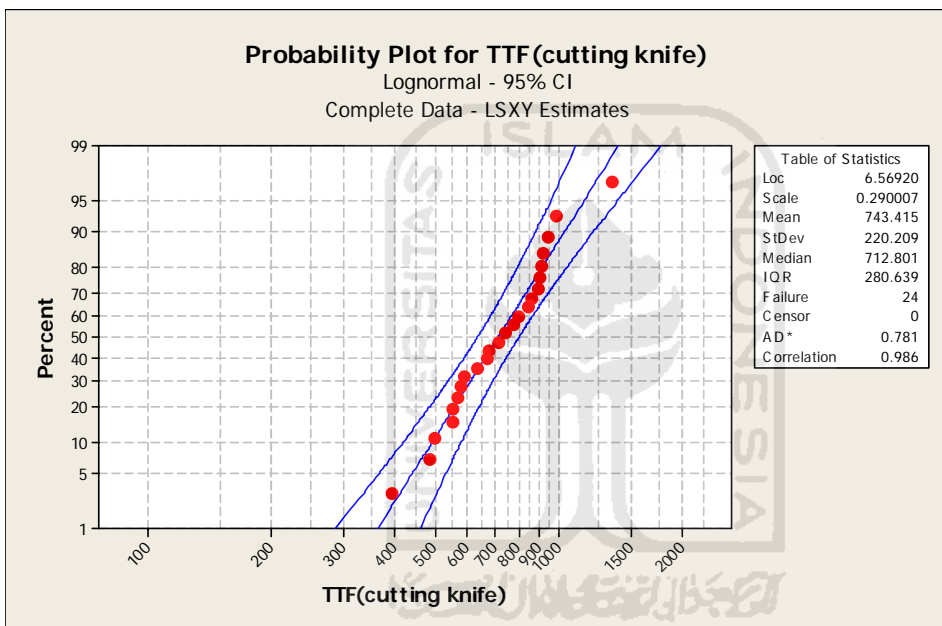
	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTTF)	743.415	45.0918	660.087	837.261
Standard Deviation	220.209	41.1144	152.725	317.512
Median	712.801	42.1960	634.716	800.492
First Quartile(Q1)	586.161	39.0988	514.327	668.028
Third Quartile(Q3)	866.800	57.8183	760.573	987.863
Interquartile Range(IQR)	280.639	47.6543	201.191	391.460

### Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	363.051	44.0860	286.157	460.608
2	392.918	43.5156	316.250	488.171
3	413.128	43.0369	336.831	506.708
4	429.014	42.6230	353.105	521.242
5	442.386	42.2570	366.855	533.468
6	454.095	41.9283	378.924	544.178
7	464.616	41.6300	389.786	553.813
8	474.244	41.3575	399.733	562.642
9	483.172	41.1074	408.962	570.848
10	491.540	40.8771	417.611	578.556
20	558.428	39.3905	486.323	641.224
30	612.238	39.0853	540.232	693.843
40	662.307	39.9457	588.465	745.415
50	712.801	42.1960	634.716	800.492
60	767.144	46.2687	681.614	863.406
70	829.880	52.9796	732.276	940.494

80	909.848	64.1791	792.368	1044.75
90	1033.66	85.9606	878.194	1216.65
91	1051.56	89.4648	890.052	1242.38
92	1071.36	93.4303	903.033	1271.06
93	1093.56	97.9837	917.431	1303.50
94	1118.90	103.312	933.673	1340.86
95	1148.51	109.706	952.418	1384.98
96	1184.31	117.662	974.757	1438.90
97	1229.85	128.117	1002.72	1508.42
98	1293.11	143.212	1040.79	1606.59
99	1399.48	169.942	1103.07	1775.54

### Probability Plot for TTF(cutting knife)



## Distribution Analysis: TTR(cutting knife)

Variable: TTR(cutting knife)

Censoring Information Count  
 Uncensored value 25

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Weibull

### Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	40.8193	4.15943	33.4294	49.8427
Scale	0.554452	0.0030222	0.548560	0.560408

Log-Likelihood = 58.183

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 4.540

Correlation Coefficient = 0.869

### Characteristics of Distribution

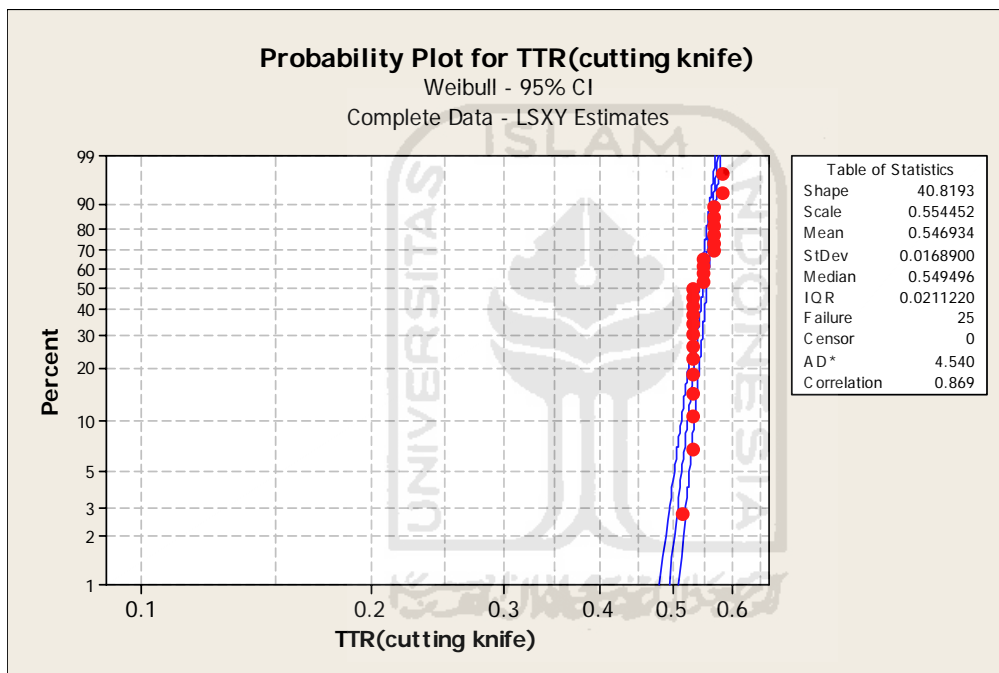
	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTTF)	0.546934	0.0035100	0.540097	0.553857
Standard Deviation	0.0168900	0.0016102	0.0140113	0.0203601
Median	0.549496	0.0033489	0.542972	0.556099
First Quartile(Q1)	0.537785	0.0042278	0.529562	0.546135
Third Quartile(Q3)	0.558907	0.0027664	0.553511	0.564355
Interquartile Range(IQR)	0.0211220	0.0020540	0.0174566	0.0255571

### Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	0.495360	0.0077434	0.480414	0.510772
2	0.503906	0.0070330	0.490309	0.517881
3	0.509000	0.0066071	0.496214	0.522116
4	0.512665	0.0063001	0.500464	0.525163
5	0.515541	0.0060591	0.503801	0.527554
6	0.517915	0.0058603	0.506556	0.529529
7	0.519942	0.0056907	0.508907	0.531216
8	0.521714	0.0055428	0.510963	0.532691
9	0.523290	0.0054114	0.512791	0.534005
10	0.524713	0.0052931	0.514440	0.535190
20	0.534448	0.0044945	0.525712	0.543330
30	0.540624	0.0040051	0.532831	0.548532
40	0.545403	0.0036428	0.538310	0.552590
50	0.549496	0.0033489	0.542972	0.556099
60	0.553266	0.0030969	0.547230	0.559369
70	0.556980	0.0028719	0.551379	0.562637

80	0.560954	0.0026644	0.555756	0.566201
90	0.565898	0.0024692	0.561079	0.570758
91	0.566518	0.0024506	0.561736	0.571342
92	0.567181	0.0024322	0.562434	0.571969
93	0.567898	0.0024143	0.563185	0.572650
94	0.568682	0.0023970	0.564004	0.573400
95	0.569558	0.0023807	0.564911	0.574243
96	0.570561	0.0023658	0.565943	0.575217
97	0.571759	0.0023536	0.567164	0.576391
98	0.573294	0.0023472	0.568712	0.577912
99	0.575589	0.0023568	0.570988	0.580227

### Probability Plot for TTR(cutting knife)



### Distribution Analysis: TTR(cutting knife)

Variable: TTR(cutting knife)

Censoring Information Count  
 Uncensored value 25

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Exponential

#### Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean	0.318284	0.0485430	0.236045	0.429176

Log-Likelihood = -14.371

Goodness-of-Fit  
 Anderson-Darling (adjusted) = 22.324

#### Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTTF)	0.318284	0.0485430	0.236045	0.429176
Standard Deviation	0.318284	0.0485430	0.236045	0.429176
Median	0.220618	0.0336474	0.163614	0.297482
First Quartile(Q1)	0.0915646	0.0139649	0.0679058	0.123466
Third Quartile(Q3)	0.441235	0.0672948	0.327227	0.594964
Interquartile Range(IQR)	0.349671	0.0533299	0.259322	0.471498

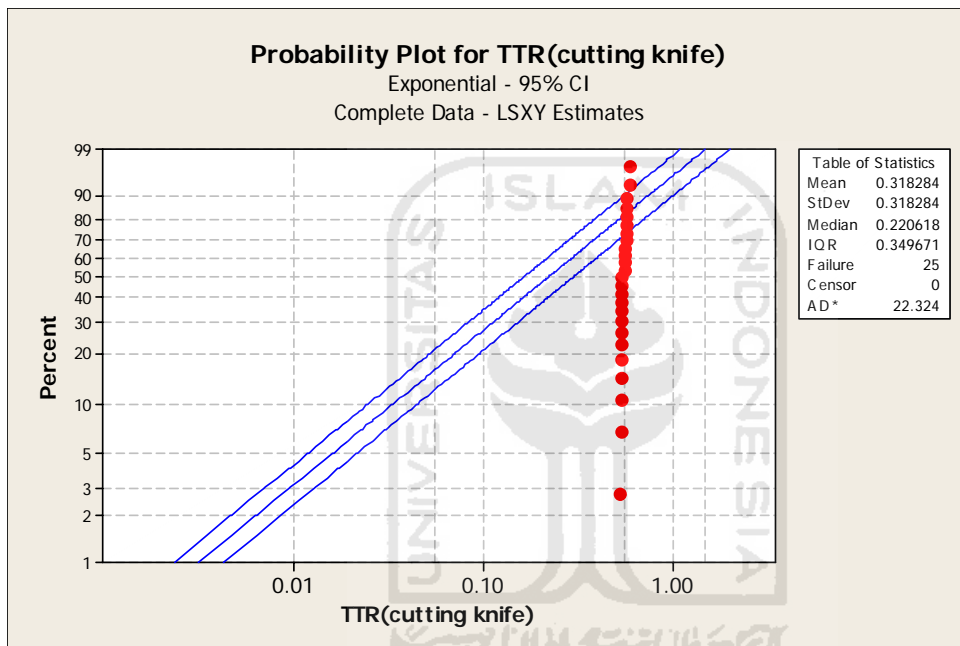
#### Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	0.0031989	0.0004879	0.0023723	0.0043134
2	0.0064302	0.0009807	0.0047687	0.0086705
3	0.0096947	0.0014786	0.0071897	0.0130724
4	0.0129930	0.0019816	0.0096358	0.0175198
5	0.0163258	0.0024899	0.0121075	0.0220139
6	0.0196939	0.0030036	0.0146054	0.0265554
7	0.0230981	0.0035228	0.0171299	0.0311456
8	0.0265390	0.0040476	0.0196818	0.0357854
9	0.0300176	0.0045781	0.0222615	0.0404759
10	0.0335346	0.0051145	0.0248698	0.0452182
20	0.0710230	0.0108320	0.0526718	0.0957679
30	0.113524	0.0173141	0.0841912	0.153076
40	0.162588	0.0247970	0.120578	0.219234
50	0.220618	0.0336474	0.163614	0.297482
60	0.291641	0.0444795	0.216285	0.393250
70	0.383205	0.0584444	0.284191	0.516716
80	0.512258	0.0781269	0.379899	0.690732
90	0.732876	0.111774	0.543513	0.988214



91	0.766410	0.116889	0.568383	1.03343
92	0.803899	0.122606	0.596185	1.08398
93	0.846400	0.129088	0.627704	1.14129
94	0.895463	0.136571	0.664090	1.20745
95	0.953494	0.145422	0.707126	1.28570
96	1.02452	0.156254	0.759798	1.38146
97	1.11608	0.170219	0.827704	1.50493
98	1.24513	0.189901	0.923412	1.67895
99	1.46575	0.223549	1.08703	1.97643

### Probability Plot for TTR(cutting knife)



## Distribution Analysis: TTR(cutting knife)

Variable: TTR(cutting knife)

Censoring Information Count  
 Uncensored value 25

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Normal

### Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean	0.547333	0.0035619	0.540352	0.554315
StDev	0.0178097	0.0024665	0.0135760	0.0233638

Log-Likelihood = 64.871

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 2.484

Correlation Coefficient = 0.922

### Characteristics of Distribution

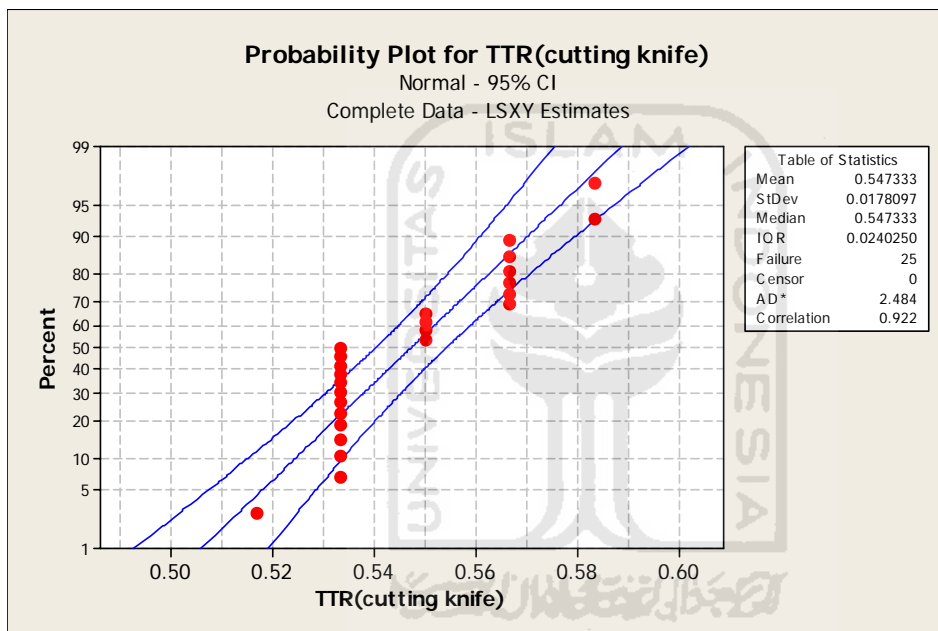
	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTTF)	0.547333	0.0035619	0.540352	0.554315
Standard Deviation	0.0178097	0.0024665	0.0135760	0.0233638
Median	0.547333	0.0035619	0.540352	0.554315
First Quartile(Q1)	0.535321	0.0039313	0.527616	0.543026
Third Quartile(Q3)	0.559346	0.0039313	0.551641	0.567051
Interquartile Range(IQR)	0.0240250	0.0033273	0.0183137	0.0315173

### Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	0.505902	0.0067537	0.492665	0.519139
2	0.510757	0.0061926	0.498619	0.522894
3	0.513837	0.0058488	0.502374	0.525300
4	0.516154	0.0055976	0.505183	0.527125
5	0.518039	0.0053988	0.507457	0.528620
6	0.519643	0.0052339	0.509385	0.529902
7	0.521050	0.0050929	0.511068	0.531032
8	0.522309	0.0049697	0.512569	0.532050
9	0.523455	0.0048604	0.513929	0.532981
10	0.524509	0.0047623	0.515175	0.533843
20	0.532344	0.0041227	0.524264	0.540425
30	0.537994	0.0037895	0.530567	0.545421
40	0.542821	0.0036163	0.535733	0.549909
50	0.547333	0.0035619	0.540352	0.554315
60	0.551845	0.0036163	0.544757	0.558933
70	0.556673	0.0037895	0.549245	0.564100

80	0.562322	0.0041227	0.554242	0.570403
90	0.570157	0.0047623	0.560824	0.579491
91	0.571212	0.0048604	0.561686	0.580738
92	0.572357	0.0049697	0.562617	0.582098
93	0.573617	0.0050929	0.563635	0.583599
94	0.575023	0.0052339	0.564765	0.585282
95	0.576628	0.0053988	0.566046	0.587209
96	0.578513	0.0055976	0.567541	0.589484
97	0.580830	0.0058488	0.569366	0.592293
98	0.583910	0.0061926	0.571773	0.596047
99	0.588765	0.0067537	0.575528	0.602002

### Probability Plot for TTR(cutting knife)



## Distribution Analysis: TTR(cutting knife)

Variable: TTR(cutting knife)

Censoring Information Count  
 Uncensored value 25

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Lognormal

### Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Location	-0.603236	0.0064663	-0.615910	-0.590563
Scale	0.0323313	0.0044855	0.0246339	0.0424340

Log-Likelihood = 65.074

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 2.469  
 Correlation Coefficient = 0.923

### Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTTF)	0.547324	0.0035400	0.540430	0.554307
Standard Deviation	0.0177003	0.0024622	0.0134765	0.0232480
Median	0.547038	0.0035373	0.540149	0.554016
First Quartile(Q1)	0.535238	0.0038211	0.527801	0.542780
Third Quartile(Q3)	0.559099	0.0039914	0.551330	0.566977
Interquartile Range(IQR)	0.0238606	0.0033144	0.0181737	0.0313270

### Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	0.507403	0.0062288	0.495340	0.519759
2	0.511895	0.0057613	0.500726	0.523312
3	0.514765	0.0054716	0.504152	0.525602
4	0.516935	0.0052584	0.506731	0.527345
5	0.518707	0.0050888	0.508828	0.528777
6	0.520220	0.0049475	0.510613	0.530007
7	0.521550	0.0048263	0.512176	0.531095
8	0.522744	0.0047201	0.513574	0.532077
9	0.523832	0.0046257	0.514844	0.532977
10	0.524835	0.0045408	0.516011	0.533811
20	0.532354	0.0039860	0.524598	0.540224
30	0.537842	0.0037008	0.530637	0.545144
40	0.542576	0.0035622	0.535639	0.549603
50	0.547038	0.0035373	0.540149	0.554016
60	0.551538	0.0036210	0.544486	0.558681
70	0.556392	0.0038284	0.548939	0.563947

80	0.562128	0.0042090	0.553939	0.570438
90	0.570181	0.0049332	0.560593	0.579932
91	0.571273	0.0050447	0.561471	0.581247
92	0.572462	0.0051691	0.562420	0.582684
93	0.573773	0.0053095	0.563460	0.584274
94	0.575240	0.0054708	0.564617	0.586063
95	0.576918	0.0056599	0.565930	0.588118
96	0.578895	0.0058887	0.567468	0.590552
97	0.581335	0.0061792	0.569350	0.593573
98	0.584595	0.0065796	0.571841	0.597634
99	0.589770	0.0072399	0.575750	0.604132

### Probability Plot for TTR(cutting knife)

