

**USULAN PERENCANAAN PERAWATAN MESIN
BERDASARKAN KEANDALAN MESIN
(Study Kasus pada mesin filler di PT. Coca Cola Bottling Indonesia Southern
Sumatera, Lampung)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Strata-1 Jurusan Teknik Industri**



Disusun Oleh :

Nama : ETIKA CIPTA MURTI

No. Mahasiswa : 06 522 029

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

2011

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**Usulan Perencanaan Perawatan Mesin Berdasarkan Keandalan
Mesin**

**(Studi Kasus pada mesin filler di PT. Coca Cola Bottling Southren Sumatra,
Lampung)**

TUGAS AKHIR

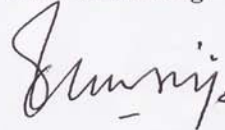
oleh :

Nama : Etika Cipta Murti

No. Mahasiswa : 06 522 029

Yogyakarta, 31 Januari 2011

Dosen Pembimbing



(Ir. Sunaryo, MP)

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**Usulan Perencanaan Perawatan Mesin Berdasarkan Keandalan
Mesin**

**(Studi Kasus pada mesin filler di PT. Coca Cola Bottling Southren Sumatra,
Lampung)**

TUGAS AKHIR

oleh :

Nama : Etika Cipta Murti

No. Mahasiswa : 06 522 029

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai
Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata -1

Teknik Industri

Yogyakarta, 31 Januari 2011

Tim Penguji

Ir. Sunaryo, MP

Ketua

Drs. H. M. Ibnu Mastur, MSIE

Anggota I

Agus Mansur, ST, M.Eng.Sc

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Industri

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



Drs. H. M. Ibnu Mastur, MSIE

9
2 2011

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 ternyata 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, Januari 2011



Etika Cipta Murti

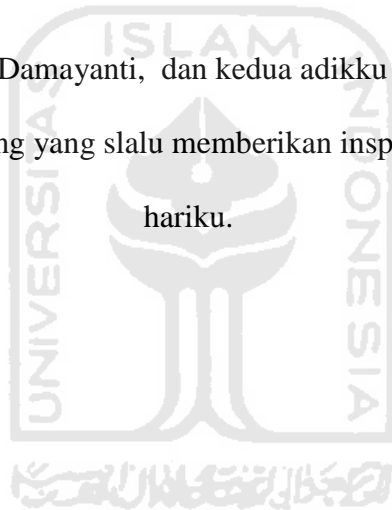
06522029

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh cinta tulus serta keikhlasan kupersembahkan karya ini untuk:

Ayahanda Sugito dan Almh. Ibunda Marinem Sali tercinta yang slalu mendoakan dan memberikan cinta, kasih sayang, dan support secara spiritual dan material kepada ananda.

Kakakku Monica Nova Damayanti, dan kedua adikku Aisyiyah Atamimi dan Muhammad Nafis tersayang yang slalu memberikan inspirasi dan motivasi dihari-hariku.



MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain”

(Q.S. Al Insyirah 6 - 7)

“Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah”

(Q.S. Ali 'Imron 139)

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

(Q.S. Al Baqarah 45)

Indahnya kemenangan akan menghapus getirnya kesabaran. Nikmatnya kemenangan akan menghapus semua keletihan. Dan kerja yang cermat akan menghapus kendala yang akan dihadapi.

(La Tahzan)

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah, Rabb alam semesta yang telah memberikan kekuatan dan petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**USULAN PERENCANAAN PERAWATAN MESIN BERDASARKAN KEANDALAN MESIN**” dengan baik. Shalawat dan salam semoga terlimpahkan kepada Rasulullah Shallallahu Alaihi wa Sallam, keluarganya, sahabatnya dan pengikutnya hingga akhir zaman..

Adapun Tugas Akhir ini dilaksanakan sebagai persyaratan untuk menyelesaikan jenjang strata satu (S1) di jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Kelancaran dalam mempersiapkan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu dengan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya Penulis haturkan kepada:

1. Bapak Ir. Gumbolo Hadi Susanto, 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. Kedua Orang Tuaku, Kakak dan kedua Adikku terima kasih atas segala dukungannya baik moril, materil serta do'a dan kasih sayangnya.
5. PT. Coca-Cola Bottling Southern Sumatra yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan Penelitian.
6. Bapak Arinto dan Bapak Juwandi, selaku pembimbing Penelitian di PT. Coca Cola Bottling Southren Sumatra.
7. Seluruh teman-teman Angkatan 2006 Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Januari 2011

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
HALAMAN PENGAKUAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR PERSAMAAN	xxii
ABSTRAKSI	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	5

BAB II	LANDASAN TEORI	7
2.1.	Pengertian perawatan.....	7
2.2.	Jenis-Jenis Perawatan	8
2.3.	Metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM)	14
2.3.1	Tahapan penyusunan RCM	20
2.4.	Konsep Keandalan (Reliability).	27
2.4.1	Definisi Keandalan	20
2.5.	Kerusakan	21
2.5.1	Definisi Kerusakan	21
2.5.2	Jenis Kerusakan	21
2.5.3	Kurva Laju Kerusakan	22
2.5.4	Distribusi Kerusakan	23
2.5.4.1	Distribusi Eksponensial	24
2.5.4.2	Distribusi Weibull	26
2.5.4.3	Distribusi Normal	27
2.5.4.4	Distribusi Lognormal	28
2.6.	Identifikasi Distribusi	29
2.6.1	Identifikasi awal dengan metode Least Square Curve Fiting.....	29
2.7.	Uji kecocokan distribusi	31
2.7.1	BARTLETT'S TEST untuk Distribusi eksponensial	32
2.7.2	MANN'S TEST untuk Distribusi <i>Weibull</i>	32

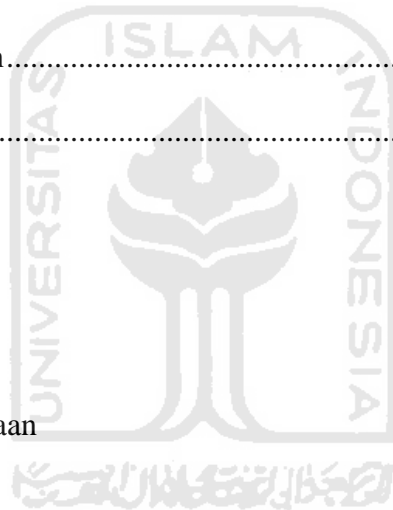
2.7.3	<i>KOLMOGOROV-SMIRNOV TEST</i> untuk Distribusi	
	Normal	34
2.8.	<i>Mean Time To Failure (MTTF)</i>	35
2.9.	<i>Mean Time To Repair (MTTR)</i>	36
2.10.	Model Penentuan Penggantian Pencegahan dengan Kriteria Minimasi <i>Downtime</i>	37
2.11.	Frekuensi Pemeriksaan dan Interval Pemeriksaan Optimal	39
2.12.	Perhitungan Ketersediaan (<i>Availability</i>)	41
2.13.	Perhitungan Keandalan (<i>Reliability</i>) Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan.....	42
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	45
3.1.	Obyek Penelitian	45
3.2.	Sumber Data dan Alat Penelitian	45
3.3.	Pengumpulan Data.....	45
3.4.	Pengolahan Data.....	46
3.5.	Tahap Pembahasan/Analisis.....	47
3.6.	Tahap Kesimpulan Dan Saran	47
3.7.	Bagan Alir	48

BAB IV	PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	49
4.1.	Pengumpulan Data.....	49
4.1.1.	Data Umum perusahaan.....	49
4.1.2.	Proses Produksi.....	50
4.2.	Pengolahan Data.....	57
4.2.1.	Penentuan mesin kritis.....	57
4.2.2.	Penentuan komponen kritis.....	57
4.2.3.	Pemilihan Sistem dan Sub Sistem.....	58
4.2.4.	Defenisi batasan sistem.....	59
4.2.5.	Fungsi sistem dan Kegagalan Fungsi.....	60
4.2.6.	<i>Failure Mode Effect and Analysis (FMEA)</i>	61
4.2.7.	<i>Decision Diagram</i>	65
4.2.8.	Perhitungan <i>Time To Failure (TTF)</i> dan <i>Time To Repair (TTR)</i> Komponen Kritis.....	69
4.2.9.	Identifikasi Distribusi.....	71
4.2.9.1	Identifikasi Distribusi Waktu Antar Kerusakan (TTF).....	71
A.	Identifikasi Data Waktu Kerusakan (TTF) dengan Distribusi Weibull.....	71
B.	Identifikasi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) dengan Distribusi Eksponensial.....	74

C.	Identifikasi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) dengan Distribusi Normal.....	76
D.	Identifikasi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) dengan Distribusi Longnormal.....	79
E.	Nilai <i>Index of Fit</i> Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) Tiap Distribusi.....	82
4.2.9.2 Identifikasi Distribusi Waktu Antar Perbaikan (TTR).....		
A.	Identifikasi Data Waktu Perbaikan (TTR) dengan Distribusi Weibull.....	83
B.	Identifikasi Data Waktu Perbaikan (TTR) dengan Distribusi Eksponensial.....	85
C.	Identifikasi Data Waktu Perbaikan (TTR) dengan Distribusi Normal.....	88
D.	Identifikasi Data Waktu Perbaikan (TTR) dengan Distribusi Longnormal.....	91
E.	Nilai <i>Index of Fit</i> Data Waktu Perbaikan (TTR) Tiap Distribusi.....	94
4.3.	<i>Uji Goodness Of Fit</i> (Uji Kecocokan Distribusi).....	94
4.3.1	<i>Uji Goodness Of Fit</i> Untuk Data TTF.....	95
4.3.2	<i>Uji Goodness Of Fit</i> Untuk Data TTR.....	99
4.4.	Perhitungan Nilai Rata – rata Waktu Antar Kerusakan (MTTF) dan Nilai Rata –rata Waktu Perbaikan berdistribusi (MTTR)	101

4.4.1	Perhitungan MTTF	101
4.4.2	Perhitungan MTTR.....	101
4.5.	Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi Downtime	102
4.6.	Penentuan Frekuensi Dan Interval Waktu Pemeriksaan Dengan Kriteria Minimasi Downtime	104
4.7.	Perhitungan Availability (Ketersediaan)	106
4.8.	Perhitungan Reliability (Keandalan) Sebelum Dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan	107
BAB V	PEMBAHASAN	110
5.1.	Analisis Penentuan Komponen Kritis	110
5.2.	Analisa Pemilihan Sistem dan Sub Sistem.....	110
5.3.	Analisa Defenisi batasan sistem	111
5.4.	Analisa Fungsi sistem dan Kegagalan Fungsi	113
5.5.	Analisa <i>Failure Mode Effect and Analysis (FMEA)</i>	113
5.6.	Analisa Decision Diagram.....	115
5.7.	Analisis Identifikasi Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) dan Waktu Perbaikan (TTR)	116
5.8.	Analisis Uji Kecocokan Distribusi (<i>Goodness of Fit</i>).....	118
5.9.	Analisis Perhitungan Rata-rata Waktu Antar Kerusakan (MTTF) dan Rata-rata Waktu Perbaikan (MTTR.....	119

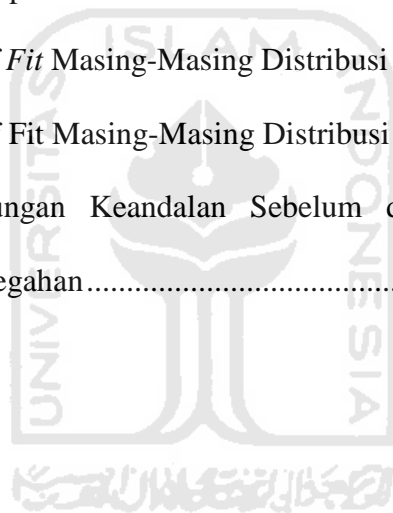
5.10. Analisis Perhitungan Interval Waktu Penggantian	
Pencegahan	119
5.11. Analisis Penentuan Frekuensi dan Interval Waktu Pemeriksaan .	120
5.12. Analisis Perhitungan <i>Availability</i> (Ketersediaan)	121
5.13. Analisis Perhitungan Reliability (Keandalan) Sebelum dan	
Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan	121
BAB VI PENUTUP	123
6.1. Kesimpulan	123
6.2. Saran	124
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
Surat Keterangan Perusahaan	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Decision worksheet.....	19
Tabel 4.1	Kerusakan komponen mesin filler	57
Tabel 4.2	Fungsi dan kegagalan fungsi sistem	60
Tabel 4.3	Matrik kegagalan fungsi	61
Tabel 4.4	Mode kerusakan dan akibat kerusakan	62
Tabel 4.5	Mode kerusakan dan akibat kerusakan	65
Tabel 4.6	Jenis Kegiatan Perawatan	67
Tabel 4.7	Perhitungan TTF dan TTR.....	69
Tabel 4.8	Perhitungan <i>index of fit</i> TTF dengan distribusi Weibull	71
Tabel 4.9	Perhitungan <i>index of fit</i> TTF dengan distribusi Eksponensial	74
Tabel 4.10	Perhitungan <i>index of fit</i> TTF dengan distribusi Normal	76
Tabel 4.11	Perhitungan <i>index of fit</i> TTF dengan distribusi Lognormal.....	79
Tabel 4.12	Perbandingan nilai <i>index of fit</i> waktu antar kerusakan	82
Tabel 4.13	Perhitungan <i>index of fit</i> TTR dengan distribusi Weibull.....	83
Tabel 4.14	Perhitungan <i>index of fit</i> TTR dengan distribusi Eksponensial	85
Tabel 4.15	Perhitungan <i>index of fit</i> TTR dengan distribusi Normal.....	88
Tabel 4.16	Perhitungan <i>index of fit</i> TTR dengan distribusi Lognormal	91
Tabel 4.17	Perbandingan nilai <i>index of fit</i> waktu antar perbaikan.....	94
Tabel 4.18	Perhitungan Uji <i>Goodness Of Fit</i> Data Waktu Kerusakan dengan <i>Bartlett Test</i> untuk Distribusi Eksponensial.....	95

Tabel 4.19	Perhitungan Uji <i>Goodness Of Fit</i> Data Waktu Kerusakan dengan <i>Bartlett Test</i> untuk Distribusi Lognormal	97
Tabel 4.19	Perhitungan Uji <i>Goodness Of Fit</i> Dengan <i>Kolmogorov – Smirnov Test</i> untuk Distribusi Lognormal	99
Tabel 4.20	Interval Penggantian Komponen Kritis	103
Tabel 4.21	Hasil Perhitungan Keandalan Sebelum Dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan.....	108
Tabel 5.1	Jenis kegiatan perawatan.....	115
Tabel 5.2	Nilai <i>Index of Fit</i> Masing-Masing Distribusi Untuk Data TTF	117
Tabel 5.3	Nilai <i>Index of Fit</i> Masing-Masing Distribusi Untuk Data TTR.....	117
Tabel 5.4	Hasil Perhitungan Keandalan Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan.....	122



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Decision diagram RCM.....	18
Gambar 2.2	Kurva Laju Kerusakan (<i>Bathub Curve</i>).....	22
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	48
Gambar 4.1	Alur proses produksi minuman CSD dan Non CSD	51
Gambar 4.2	Diagram pareto kerusakan komponen	58



DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2 – 1	Fungsi kepadatan probabilitas.....	20
Persamaan 2 – 2	Fungsi distribusi kumulatif.....	21
Persamaan 2 – 3	Fungsi padat eksponensial.....	25
Persamaan 2 – 4	Fungsi distribusi kumulatif eksponensial.....	25
Persamaan 2 – 5	Fungsi kehandalan eksponensial.....	25
Persamaan 2 – 6	Fungsi laju kerusakan eksponensial.....	25
Persamaan 2 – 7	Fungsi kepadatan Probabilitas weibull.....	26
Persamaan 2 – 8	Fungsi reliabilitas weibull.....	26
Persamaan 2 – 9	Fungsi kepadatan kumulatif weibull	26
Persamaan 2 – 10	Fungsi laju kerusakan weibull	26
Persamaan 2 – 11	Fungsi kepadatan Probabilitas normal.....	27
Persamaan 2 – 12	Fungsi distribusi kumulatif normal.....	27
Persamaan 2 – 13	Fungsi reliabilitas normal.....	27
Persamaan 2 – 14	Fungsi laju kerusakan normal.....	27
Persamaan 2 – 15	Fungsi kepadatan Probabilitas lognormal.....	28
Persamaan 2 – 16	Fungsi kepadatan kumulatif lognormal.....	28
Persamaan 2 – 17	Fungsi kehandalan lognormal.....	28
Persamaan 2 – 18	Fungsi laju kerusakan lognormal	28
Persamaan 2 – 19	Perhitungan plotting positions	29
Persamaan 2 – 20	Perhitungan <i>index of fit</i>	30
Persamaan 2 – 21	Gradien untuk weibull, Normal, Lognormal.....	30
Persamaan 2 – 22	Gradien untuk distribusi eksponensial.....	30
Persamaan 2 – 23	Intersep.....	30
Persamaan 2 – 24	Peubah xi untuk distribusi weibull.....	30
Persamaan 2 – 25	Peubah yi untuk distribusi weibull.....	30
Persamaan 2 – 26	Parameter distribusi weibull.....	30
Persamaan 2 – 27	Peubah xi untuk distribusi eksponensial.....	30
Persamaan 2 – 28	Peubah yi untuk distribusi eksponensial.....	31

Persamaan 2 – 29	Parameter Distribusi Eksponensial.....	31
Persamaan 2 – 30	Peubah x_i untuk distribusi normal.....	31
Persamaan 2 – 31	Peubah y_i untuk distribusi normal.....	31
Persamaan 2 – 32	Parameter distribusi normal.....	31
Persamaan 2 – 33	Peubah x_i distribusi lognormal.....	31
Persamaan 2 – 34	Peubah y_i distribusi lognormal.....	31
Persamaan 2 – 35	Parameter distribusi lognormal.....	31
Persamaan 2 – 36	Nilai Bertlett's test untuk distribusi eksponensial..	32
Persamaan 2 – 37	Nilai Mann's Test distribusi Weibull.....	33
Persamaan 2 – 38	Nilai k_1 dan k_2 dari Mann's Test Weibull.....	33
Persamaan 2 – 39	Nilai M_i dari Mann's test Weibull.....	33
Persamaan 2 – 40	Nilai Z_i dari Mann's Test Weibull.....	33
Persamaan 2 – 41	Nilai D_1 max dari Kolmogrov-Smirnov Test.....	34
Persamaan 2 – 42	Nilai D_2 max dari Kolmogrov-Smirnov Test.....	34
Persamaan 2 – 43	Nilai rata-rata dari Kolmogrov-Smirnov Test.....	34
Persamaan 2 – 44	Nilai standart Deviasi Kolmogrov-Smirnov Test...	34
Persamaan 2 – 45	Nilai Z_i dari Kolmogrov-Smirnov Test.....	34
Persamaan 2 – 46	Perhitungan MTTF secara umum.....	35
Persamaan 2 – 47	Perhitungan MTTF distribusi Weibull.....	35
Persamaan 2 – 48	Perhitungan MTTF distribusi eksponensial.....	35
Persamaan 2 – 49	Perhitungan MTTF distribusi normal.....	35
Persamaan 2 – 50	Perhitungan MTTF distribusi lognormal.....	35
Persamaan 2 – 51	Perhitungan MTTR secara umum.....	36
Persamaan 2 – 52	Perhitungan MTTR distribusi Weibull.....	36
Persamaan 2 – 53	Perhitungan MTTR distribusi eksponensial.....	36
Persamaan 2 – 54	Perhitungan MTTR distribusi normal.....	36
Persamaan 2 – 55	Perhitungan MTTR distribusi lognormal.....	36
Persamaan 2 – 56	Nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan.....	39
Persamaan 2 – 57	Total Downtime per unit waktu.....	39
Persamaan 2 – 58	Laju kerusakan yang terjadi.....	40
Persamaan 2 – 59	Nilai konstan dari jumlah kerusakan/satuan waktu	40

Persamaan 2 – 60	Waktu rata-rata melakukan penggantian.....	40
Persamaan 2 – 61	Waktu rata-rata melakukan pemeriksaan.....	40
Persamaan 2 – 62	<i>Downtime</i> karena perbaikan dan pemeriksaan.....	40
Persamaan 2 – 63	Frekuensi pemeriksaan.....	41
Persamaan 2 – 64	Availability berdasarkan frekuensi pemeriksaan...	42
Persamaan 2 – 65	Availability interval pengganti pencegahan.....	42
Persamaan 2 – 66	Availability total.....	42
Persamaan 2 – 67	Reliability sebelum tindakan perawatan distribusi Weibull.....	43
Persamaan 2 – 68	Reliability sebelum tindakan perawatan distribusi eksponensial.....	43
Persamaan 2 – 69	Reliability sebelum tindakan perawatan distribusi normal.....	43
Persamaan 2 – 70	Reliability sebelum tindakan perawatan distribusi lognormal.....	43
Persamaan 2 – 71	Reliability sesudah tindakan perawatan distribusi Weibull.....	44
Persamaan 2 – 72	Reliability sesudah tindakan perawatan distribusi eksponensial.....	44
Persamaan 2 – 73	Reliability sesudah tindakan perawatan distribusi normal.....	44
Persamaan 2 – 74	Reliability sesudah tindakan perawatan distribusi lognormal.....	44

ABSTRAKSI

PT. Coca Cola Bottling Indonesia Southern Sumatera, Lampung merupakan perusahaan yang memproduksi produk-produk minuman ringan seperti Carbonated Soft Drink (CSD) dan Non Carbonated Soft Drink (Non-CSD). Penelitian ini dilakukan di produksi pembuatan minuman Non Carbonated Soft Drink (Non-CSD) pada line dua. Mesin yang menjadi obyek penelitian adalah mesin Filler., dimana fungsi mesin pada proses ini sangat penting untuk menjaga kelangsungan proses produksi minuman Non Carbonated Soft Drink (Non-CSD). Apabila mesin mengalami kerusakan, maka proses produksi selanjutnya akan terhambat bahkan berhenti dan berpengaruh pada kualitas produk yang dihasilkan. Untuk itu perawatan yang optimal sangat dibutuhkan untuk mengurangi jumlah downtime. Berdasarkan data – data yang diperoleh, kemudian dilakukan pengolahan data dan diketahui bahwa mesin filler adalah mesin kritis dan komponen filling valve sebagai komponen kritis. Hal ini disimpulkan berdasarkan jumlah downtime terbesar. Setelah diketahui mesin dan komponen kritis langkah selanjutnya dilakukan pengembangan konsep RCM (Reliability Centered Maintenance) untuk perawatan mesin filler sebagai salah satu asset kritis, dari kebijakan perawatan yang dilakukan untuk mengantisipasi dan mengatasi kegagalan yang terjadi pada komponen mesin filler adalah preventive task yang meliputi Schedule on condition maintance task, Scheduled failure finding, Schedule restroration task, dan Schedule discard task. Selanjutnya dilakukan penghitungan penentuan distribusi dari data interval waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan. Hasil dari penghitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan metode minimasi downtime adalah 580 jam. Interval waktu pemeriksaan dan frekuensi pemeriksaan adalah 240 jam 1 kali pemeriksaan tiap bulannya. Nilai availability serta reliability mesin pada kondisi awal dan sesudah dilakukannya tindakan penggantian pencegahan, hasilnya menunjukkan bahwa dengan menerapkan tindakan pencegahan nilai reliability komponen filling valve dapat terus terjaga pada tingkat yang tinggi

Kata kunci : RCM (Reliability Centered Maintenance), Preventive maintenance, downtime, availability, reliability

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Penggunaan mesin pada dunia industri pada saat sekarang ini sangatlah mutlak. Pada setiap perusahaan baik yang berskala kecil maupun besar mesin selalu digunakan untuk lebih meningkatkan hasil dari produk yang dibuat. Mesin-mesin yang digunakan ini juga membutuhkan perawatan agar mesin tidak mudah macet atau lebih fatal lagi menyebabkan kerusakan. Kemacetan ataupun kerusakan yang terjadi pada mesin bisa mengakibatkan tertunda atau terhentinya produksi yang bisa sangat merugikan sebuah perusahaan. Maintenance dapat diartikan sebagai kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan (Sofjan Assauri, 1993). Masalah perawatan mempunyai dampak besar dalam menjamin kelancaran proses produksi, kelancaran proses produksi sering terganggu karena mesin mengalami kerusakan (*breakdown*) (Suhartono, 2009).

Pada penelitian ini difokuskan pada PT Coca Cola Bottling Indonesia Southern Sumatera merupakan perusahaan *bottling* dibawah PT Coca Cola Indonesia. Perusahaan ini merupakan pemegang lisensi pembuatan produk Coca Cola. Minuman ringan seperti *carbonated soft drink* dan *non carbonated soft drink*. Selama dalam produksinya PT Coca Cola Bottling Indonesia Southern Sumatera mempunyai 9 mesin produksi, dimana terdapat satu mesin yang cenderung mengalami tidak dapat bekerja secara optimal, pada proses produksinya yaitu mesin filler. Mesin filler berfungsi sebagai pengisi minuman kedalam botol. Fungsi yang vital pada alat tersebut menyebabkan kelancaran proses

produksi terhambat, jika terjadi kegagalan komponen atau kerusakan biasanya akan ditandai dengan ditemukannya produk yang dihasilkan tidak sedikit mengalami kecacatan. Apabila terdapat komponen yang mengalami kerusakan maka secara otomatis mesin filler tidak dapat beroperasi, sehingga mengakibatkan seluruh aktivitas produksi berhenti karena mesin filler merupakan inti dari produksi minuman *Non Carbonated Soft Drink (Non-CSD)*.

Salah satu pendekatan untuk menanggulangi hal tersebut dengan *Reliability Centered Maintenance* yang suatu proses yang digunakan untuk menentukan persyaratan-persyaratan perawatan dari suatu aset fisik dalam konteks operasinya (Moubray, 1997).

Beberapa penelitian telah dilakukan dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance*. Ahmad Kholid Alghofari *et. al.*, (2006) melakukan penelitian perencanaan pemeliharaan mesin ballmill dengan basis *Reliability Centered Maintenance* yang bertujuan untuk menentukan pemeliharaan mesin yang optimal sehingga dapat memprediksikan langkah untuk mengatasi kerusakan yang mungkin terjadi pada periode berikutnya. Chulho Bae *et. al.*, (2009) melakukan penelitian tentang *Reliability Centered Maintenance* pada standard motor listrik unit subsistem dengan teknik komputasi yang bertujuan untuk memperoleh waktu perawatan yang efektif serta dengan memperhatikan keselamatan dan keterbatasan biaya sehingga diperoleh perawatan yang efektif.

Berdasarkan kajian literatur yang telah diuraikan bahwa penerapan proses *Reliability Centered Maintenance* diharapkan dapat menekan tingkat kerusakan yang ditimbulkan akibat kerusakan mesin sampai batas minimum dan mengetahui secara pasti tindakan perawatan tepat yang dilakukan pada setiap komponen mesin agar berjalan dengan baik dan berjalan sesuai standart performansinya. Pada penelitian ini untuk

menentukan tindakan perawatan mesin yang efektif dan efisien dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode *Reliability Centered Maintenance* yang dapat menentukan pemeliharaan mesin yang optimal, serta memprediksikan langkah-langkah dalam mengatasi kerusakan mesin yang dapat terjadi pada periode berikutnya dan membuat jadwal perawatan pada mesin filler. Sehingga dapat memperlancar proses produksi dan mengurangi kecacatan produk.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang dapat diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan tindakan perawatan yang tepat agar mesin dapat berjalan dengan baik sesuai dengan standart performansinya dengan menerapkan metode *Reliability Centered Maintenance* serta merencanakan kapan waktu untuk melaksanakan tindakan perawatan pencegahan pada komponen kritis?

1.3 Batasan masalah

Penelitian ini dilakukan dengan ruang lingkup sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan pada PT. Coca Cola Bottling Indonesia Southern Sumatera, Lampung.
2. Data umum perusahaan, data mesin-mesin yang digunakan dalam proses produksi, data jumlah kerusakan mesin (*Frekuensi*), data waktu kerusakan mesin (*downtime*), data waktu perbaikan mesin (TTR), data waktu diantara kerusakan dan komponen kritis (TTF) yang diambil dari departement perawatan.

3. Penelitian ini difokuskan pada mesin filler line 2 , karena mesin filler merupakan inti dari produksi minuman *non carbonated soft drink* .
4. Penelitian ini tidak membahas aspek *finacial* dari perawatan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan jenis kegiatan perawatan yang dilakukan pada setiap komponen yang diteliti berdasarkan analisis *Reliability Centered Maintenance* pada aktivitas pemeliharaan mesin filler.
2. Menentukan usulan interval waktu penggantian komponen yang sering mengalami kerusakan pada mesin filler.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian dan analisis ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai berikut :

1. Menambah khasanah ilmu pengetahuan khususnya dalam hal manajemen perawatan.
2. Untuk bahan pertimbangan perusahaan dalam pengambilan keputusan terutama keputusan tentang perawatan.
3. Menghindari terlambatnya proses produksi.

1.6 Sistem Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir akan disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

- 1.1 Latar Belakang
- 1.2 Rumusan Masalah
- 1.3 Batasan Masalah
- 1.4 Tujuan Penelitian
- 1.5 Manfaat Penelitian
- 1.6 Sistematika Penulisan
- 1.7 Daftar Pustaka
- 1.8 Lampiran (Tabel dan Gambar)

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Bagian ini merupakan tulang punggung untuk menentukan kajian terkini dari penelitian yang akan dilakukan. Bab ini memuat informasi hasil-hasil penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan, teori-teori pendukung yang berhubungan dengan penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi objek penelitian, pembangunan model, analisis model, program komputer yang dibangun, perancangan penelitian dan tahap-tahap penelitian, bahan dan alat-alat yang digunakan, prosedur pelaksanaan dan cara pengolahan serta analisis data.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Menguraikan tentang cara pengambilan dan pengolahan data, analisis dan hasilnya, termasuk gambar dan grafik yang diperolehnya.

BAB V PEMBAHASAN

Berisi informasi tentang pembahasan atau diskusi hasil penelitian, kesesuaian dengan latar belakang masalah, rumusan dan tujuan serta hipotesis penelitian yang mengarahkan pada kesimpulan dari hasil penelitian.

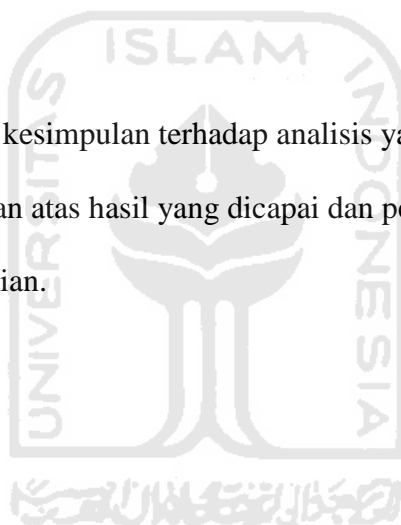
BAB VI PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan terhadap analisis yang dibuat dan rekomendasi atau saran-saran atas hasil yang dicapai dan permasalahan yang ditemukan selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

Tabel

Gambar



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian perawatan

Ada beberapa definisi pengertian perawatan yaitu:

1. Menurut Sofjan Assauri (1993) perawatan atau *maintenance* adalah kegiatan memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan produksi dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau pergantian yang diperlukan agar supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan.
2. Menurut T. Hani Handoko (1984) perawatan merupakan kegiatan untuk menjaga segala sesuatu dapat beroperasi yaitu fasilitas-fasilitas produksi dapat beroperasi secara efektif.
3. Menurut Anthony Corder (1992) perawatan merupakan suatu kombinasi dari setiap tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam atau memperbaiki sampai suatu koordinasi yang bisa diterima.

Dari beberapa definisi tersebut bahwa kegiatan perawatan merupakan kegiatan yang mencegah dan memperbaiki dalam rangka menunjang kelancaran dan keberhasilan produksi. Dalam kenyataan sehari-hari pihak perusahaan cenderung hanya melaksanakan perawatan korektif atau perbaikan, sedangkan perawatan pencegahan kurang mendapat perhatian.

Menurut Anthony Corder (1998) tujuan utama fungsi perawatan adalah sebagai berikut:

1. Memperpanjang kegunaan asset.
2. Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa untuk mendapatkan laba investasi yang semaksimal mungkin.
3. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran dan penyelamat dan lain-lain.
4. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

Menurut Marsellinus Bachtiar *et al.*, (2009) tujuan perawatan adalah

1. Untuk memastikan manfaat teoritis aset mesin manufaktur dapat tercapai.
2. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang digunakan untuk menghasilkan keuntungan pada produk produksi.
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dari semua peralatan saat kondisi darurat.
4. Untuk melindungi kesehatan dan keselamatan kondisi pekerja.
5. Untuk mengurangi biaya pemeliharaan sehingga kegiatan perawatan dapat efisien dan efektif.
6. Untuk menghindari pemeliharaan kegiatan yang berpotensi merugikan pekerja.

2.2 Jenis-Jenis Perawatan

Menurut Sofyan Assauri (1993), kegiatan perawatan yang dilakukan dalam suatu perusahaan pabrik dapat dibedakan atas dua macam, yaitu: Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*) dan Perawatan Korektif (*Corrective Maintenance*).

1. Perawatan Pencegahan.

Yang dimaksudkan dengan perawatan pencegahan adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan pada waktu proses produksi.

Perawatan pencegahan ini sangat penting karena kegunaannya sangat efektif dalam menghadapi fasilitas-fasilitas produksi yang termasuk dalam golongan unit kritis (*critical unit*). Sebuah fasilitas atau peralatan produksi akan termasuk dalam golongan unit kritis apabila:

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

Perawatan rutin adalah kegiatan perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin misalnya setiap hari sebagai contoh dari kegiatan perawatan rutin adalah pembersihan fasilitas/peralatan, pelumasan (*lubrication*) atau pengecekan olihnya, serta pengecekan isi bahan bakarnya dan mungkin termasuk pemanasan (*warming up*) dari mesin-mesin selama beberapa menit sebelum dipakai beroperasi sepanjang hari.

Sedangkan perawatan berkala adalah kegiatan perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan secara berkala atau dalam jangka waktu tertentu. Perawatan berkala dapat

dilakukan dengan memakai lamanya jam kerja mesin atau fasilitas tersebut sebagai jadwal kegiatan, misalnya setiap seratus jam kerja mesin sekali dan seterusnya. Jadi sifat kegiatan perawatan ini tetap secara berkala. Kegiatan perawatan berkala ini adalah jauh lebih berat daripada kegiatan perawatan rutin. Sebagai contoh dari kegiatan perawatan berkala adalah pembongkaran karburator atau pembongkaran alat-alat di bagian sistem aliran bensin, penyetelan katup-katup pemasukan dan pembuangan silinder mesin dan pembongkaran mesin/fasilitas tersebut untuk penggantian pelor roda (*bearing*), serta servis dan *overhaul* besar ataupun kecil.

2. Perawatan Korektif.

Perawatan korektif adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan atau kelalaian pada fasilitas atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan perawatan korektif yang dilakukan sering disebut dengan kegiatan perbaikan atau reparasi. Perbaikan yang dilakukan karena adanya kerusakan yang dapat terjadi akibat tidak dilakukannya perawatan pencegahan ataupun telah dilakukan perawatan pencegahan tetapi sampai pada suatu waktu tertentu fasilitas atau peralatan produksi yang ada mengalami kerusakan. Oleh karena itu, kebijaksanaan untuk melakukan perawatan korektif saja tanpa perawatan pencegahan, akan menimbulkan akibat-akibat yang dapat menghambat ataupun memacetkan kegiatan produksi apabila terjadi suatu kerusakan yang tiba-tiba pada fasilitas produksi yang digunakan.

2.3 Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah proses yang digunakan untuk menentukan tindakan apa yang harus diambil atau dilakukan agar mesin atau peralatan dapat tetap melakukan fungsinya sesuai dengan standar performansinya. Alat yang digunakan untuk menganalisa adalah FMEA dan *Decision Diagram*. (Prilo Paskah Agung Nugroho, 2009)

Menurut Mohammad Tahril Azis, et al (2009) *Reliability Centered Maintenance* mempunyai beberapa definisi diantaranya adalah *Reliability Centered Maintenance* merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dikerjakan untuk menjamin setiap aset fisik tetap bekerja sesuai yang diinginkan atau suatu proses untuk menentukan perawatan yang efektif. *Reliability Centered Maintenance* adalah suatu pendekatan pemeliharaan yang mengkombinasikan praktek dan strategi dari *preventive maintenance (pm)* dan *corrective maintenance (cm)* untuk memaksimalkan umur (*life time*) dan fungsi aset / sistem / *equipment* dengan biaya minimal (*minimum cost*). Hal yang diperlukan dalam menjawab pertanyaan pada *Reliability Centered Maintenance* adalah :

1. *Function and performance standart* (fungsi dan performansi standard)
 - a. *Primary function* (fungsi primer)

Yaitu menjelaskan bahwa mengapa asset sistem di peroleh ditempat pertama. Termasuk kategori fungsi ini adalah kecepatan, out put, input, kapasitas angkut atau penyimpanan, kualitas produk dan layanan terhadap konsumen.

b. *Secondary function*

Yaitu bahwa semua asset untuk dapat menjalankan lebih dari sederhana dalam mengisi fungsi utamanya. Dalam hal ini meliputi kontrol, pengisian, kenyamanan, kesatuan, struktur, ekonomi, efisiensi operasi, ramah lingkungan sampai pada penampakan pada asset tersebut.

2. *Functional Failures* (Kegagalan Fungsi)

Kejadian yang dapat menghentikan asset dalam melakukan performansinya sesuai dengan standart yang dikehendaki adalah beberapa jenis kegagalan. Pada RCM melakukan hal tersebut dalam 2 tahapan:

- a. Dengan mengidentifikasi kondisi apa yang dapat menghantarkan pada kondisi kegagalan.
- b. Kejadian – kejadian apa yang dapat mengakibatkan aset tersebut pada kondisi kegagalan.

3. *Failur Mode* (Jenis Kerusakan)

Yaitu identifikasi terhadap semua kejadian yang terbukti menyebabkan terjadinya *functional failures*, dalam hal ini disebut *failure mode* (jenis kegagalan). Dan identifikasi terhadap penyebab dari masing-masing kegagalan untuk memastikan bahwa usaha untuk perbaikan tidak sia-sia.

4. *Failure Effects* (akibat dari kegagalan)

Dalam hal ini yaitu membuat daftar akibat dari kegagalan yang menjelaskan apa saja yang terjadi ketika masing-masing *failure mode* terjadi.

5. *Failure Consequences* (konsekuensi kegagalan)

Dalam RCM, konsekuensi dari kegagalan diklarifikasikan dalam 4 bagian yaitu :

a. *Hidden Failure Consequences*

Hidden failure tidak akan menjadi bukti bagi operator bahwa telah terjadi kegagalan, meskipun dalam kondisi normal sehingga kadang-kadang menyebabkan kegagalan yang lebih kompleks terhadap sistem.

b. *Safety and environment consequens*

Suatu kegagalan yang dikatakan mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan ketika dapat melukai atau membunuh seseorang. Sedangkan konsekuensi terhadap lingkungan, jika terdapat melanggar standar regulasi lingkungan baik regional maupun nasional.

c. *Operational consequens*

Semua kegagalan dikatakan memiliki konsekuensi operasional ketika berakibat kepada produksi atau operasional (output, kualitas output, pelayanan terhadap konsumen, atau biaya operasional untuk perbaikan komponen).

d. *Non Operational consequens*

Bukti kegagalan pada kategori ini adalah yang bukan tergolong dalam konsekuensi keselamatan atau produksi, jadi kegagalan ini hanya melibatkan biaya perbaikan komponen.

Teknik manajemen failure yang dilakukan sebagai *action* terhadap kegagalan dapat dibagi dalam 2 kategori :

1. *Proactive Task*

Tindakan ini dilakukan sebelum terjadi kegagalan, dalam rangka untuk mencegah item dari kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan (*failure state*). Kegiatan ini dikenal dengan *predictive* dan *preventive maintenance*, akan tetapi RCM membatasinya dengan *scheduled restoration task*, *schedule discard task*, dan *condition maintenance*.

a. *Schedule restoration task*

Adalah tindakan pemilihan kemampuan item atau komponen pada saat atau sebelum batas umur yang ditetapkan, tanpa memperhatikan kondisi saat itu.

b. *Schedule discard task*

Adalah tindakan mengganti item atau komponen pada saat itu sebelum batas umur yang ditetapkan tanpa memperhatikan kondisi saat itu.

c. *Schedule on condition maintenance task*

Adalah kegiatan pemeriksaan terhadap potensial *failure* sehingga tindakan dapat diambil untuk mencegah terjadinya *functional failure*. Dimana *functional failure* didefinisikan sebuah kondisi yang dapat mengidentifikasi sedang terjadi kegagalan atau proses kegagalan fungsi.

2. *Default action*

Tindakan ini dilakukan sudah berada dalam *failed state* dipilih ketika tindakan *proactive task* yang efektif tidak mungkin diidentifikasi. Dalam RCM dikenal 3 kategori utama dalam *default action*.

a. *Scheduled failure finding*

meliputi tindakan *checking* secara periodic atau dengan interval waktu tertentu terhadap fungsi-fungsi yang tersembunyi untuk mengetahui apakah item tersebut tidak rusak.

b. *Redesign*

Membuat suatu perubahan untuk membangun kembali kemampuan sistem.

c. *No scheduled maintance*

Kegiatan ini tidak ada usaha untuk mengantisipasi atau *preventive* terhadap suatu *failue mode* yang terjadi sehingga *failure* di biarkan terjadi baru kemudian diperbaiki.

2.3.1 Tahapan penyusunan RCM

1. Tahap sisitem dan pengumpulan informasi

Untuk level *assembly* di defenisikan dalam 4 bagian yaitu:

- a. Part adalah tingkat terbawah atau terkecil dari peralatan dan tidak dapat diuraikan lagi dan apabila dilakukan pembongkaran akan mengakibatkan kerusakan.
- b. Komponen adalah kumpulan dari beberapa part yang dapat diberikan untuk identifikasi dan akan membentuk paling sedikit satu fungsi dan berdiri sendiri.
- c. Sistem adalah kumpulan dari beberapa komponen yang membentuk serial fungsi.

d. Fasilitas adalah kumpulan dari sistem yang bisa melakukan fungsinya secara bersama akan menghasilkan keluaran atau produk dengan cara transformasi beberapa masukan.

2. Mendefinisikan batasan sistem

Tujuan dari pendefinisian batasan sistem ini adalah

- a. Memiliki pengetahuan yang sesuai dengan apa yang dimasukkan dalam sistem dan mana yang tidak dimasukkan dalam sistem, sehingga fungsi yang potensial tidak terabaikan dan tidak saling tumpang tindih dengan sistem yang saling berdekatan.
- b. Yang paling penting adalah batasan sistem dan tentukan factor atau parameter yang masuk dalam sistem (input).

3. Menguraikan sistem dan blok diagram

Dalam menguraikan sistem dan blok diagram sistem ini adalah dengan membuat dokumentasi sistem secara rinci. Fungsi sistem dan kegagalan atau kerusakan fungsi. Membuat daftar lengkap dari fungsi sistem dapat menentukan tindakan preventive maintenance untuk menjaga fungsi sistem.

4. *Failure Mode and effect analysis* (FMEA)

FMEA biasanya digunakan sebagai prosedur analisis dalam praktek pada inisial stage dari pengembangan sistem. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi, mengetahui dan mengevaluasi kerusakan-kerusakan yang berbeda pada sistem dengan mempertimbangkan berbagai jenis kegagalan yang terjadi dari komponen-komponen, sub sistem, level sistem dan mengevaluasi

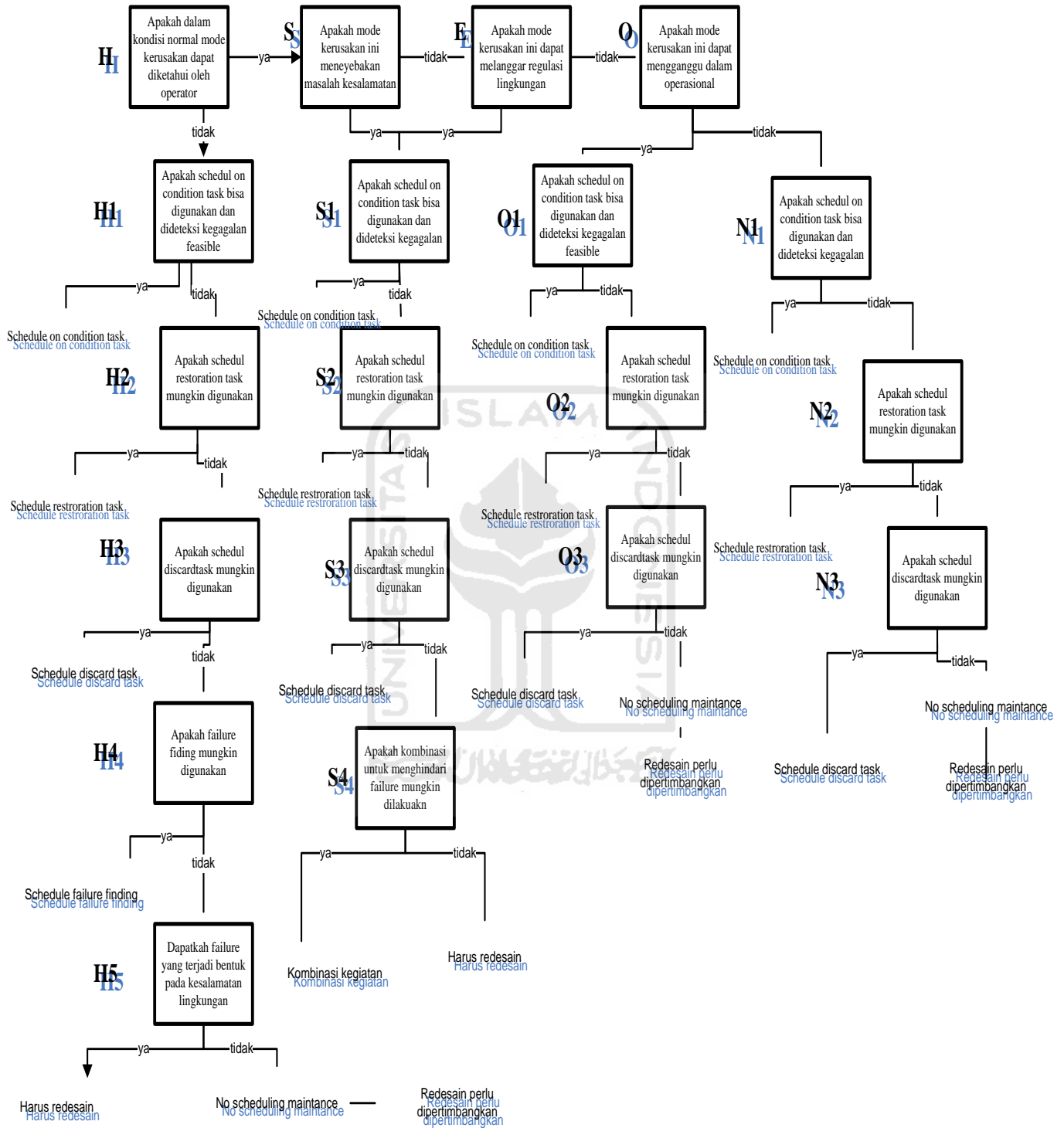
konsekuensi kerusakan itu serta menganalisa pengaruh-pengaruh terhadap keandalan sistem. Dalam hal ini seperti meriview berbagai keagalannya, penyebab serta dampak kegagalan yang ditimbulkan untuk masing-masing komponen atau sub system berbagai model kegagalan berikut dampak pada system yang ditulis pada FMEA worksheet.

5. *Logic decision Tree Analysis (LTA)* dan *decision diagram*

Tahapan dimana mode kerusakan diklasifikasikan dalam proses kualitatif. Tujuannya adalah memberikan prioritas pada tiap mode kerusakan dan melakukan tinjauan dari fungsi dan kegagalan fungsi sehingga status mode kerusakan tidak sama. Pada RCM mempunyai cara sederhana dengan "*Tree Question logic or decision structure*" dan tiap pertanyaannya di jawab ya dan tidak. Ada 3 pertanyaan yaitu :

1. Apakah mode kerusakan dalam kondisi normal pernah diketahui operator?
2. Apakah mode kerusakan menyebabkan masalah keselamatan?
3. Apakah mode kerusakan menyebabkan seluruh atau sebagian fasilitas berhenti?

Kemudian dari 3 pertanyaan tersebut dipadukan dengan jenis tindakan perawatan untuk tiap-tiap mode kegagalan dari FMEA. Yang tertuang dalam decision diagram RCM sehingga akan di dapat suatu keputusan. Dari hasil analisa keputusan yang akan di dapat akan dicatat dalam suatu *decision worksheet*. Ada pun decision diagram RCM tersebut sebagai berikut:



Gambar 2.1 Decision diagram RCM

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 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:

$$\begin{aligned} &= P(x > t) \\ R(t) &= 1 - P(x \leq t) \\ &= 1 - F(t) \end{aligned} \dots\dots\dots(2 - 1)$$

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

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt \dots\dots\dots(2 - 2)$$

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.

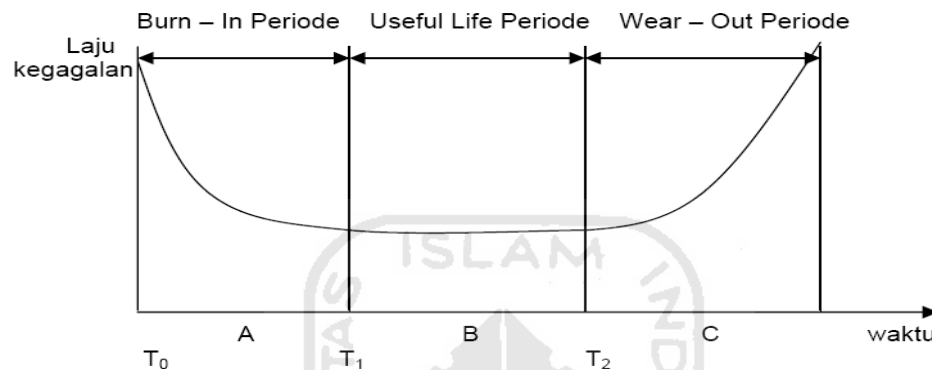
2. Kerusakan Potensial.

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.

Jika terjadi kerusakan ini, kemudian diganti dengan produk baru, maka *reliability* akan meningkat kembali.

2. *Useful Region* / Pengoperasian Normal

Periode waktu ini ditandai dengan laju kerusakan yang konstan. Kerusakan yang terjadi pada fase ini diasumsikan terjadi secara acak dan penyebab kerusakannya adalah faktor keselamatan yang rendah, kerusakan tak terdeteksi, kesalahan manusia dan kerusakan alamiah atau kerusakan yang tidak jelas penyebabnya. Hal ini berarti bahwa laju kerusakan sesaat tidak akan bertambah walaupun umur peralatan terus bertambah.

3. *Wear Out Failure* / Periode *Wear Out*

Periode waktu ini ditandai dengan laju kerusakan yang meningkat tajam, karena memburuknya kondisi peralatan. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa umur pemakaian berguna dari produk mulai akan dipertanyakan sejalan dengan semakin memburuknya kondisi produk. Bila suatu alat telah memasuki periode ini, sebaiknya dilakukan perawatan pencegahan untuk mengurangi terjadinya kerusakan yang lebih fatal. Fase ini disebabkan oleh produk atau peralatan yang digunakan sudah melebihi umur produk, perawatan yang tidak memadai, kelelahan karena friksi atau aus karena pemakaian.

2.5.4 Distribusi Kerusakan

Data yang digunakan dalam perhitungan dapat dibagi dalam dua jenis yaitu: data diskrit dan data kontinyu.

Data diskret adalah data yang berupa atribut (seperti baik atau buruk, tolak atau terima) atau kejadian (seperti kecelakaan, kelahiran). Jumlah data diskret dapat disajikan dalam angka maupun proporsi. Dalam prakteknya, data diskret berupa hasil cacahan, misalnya banyaknya penduduk yang cacat, frekuensi kerusakan mesin dalam satu tahun disuatu perusahaan (Walpole, 1986).

Data kontinyu adalah suatu data yang merupakan hasil perhitungan kuantitas. Pengukuran variabel ini hanya dapat dicatat bila pengukuran dilakukan secara akurat. Dalam prakteknya, data kontinyu berupa hasil pengukuran, misalnya tinggi, boot, suhu, jarak, umur, dan lain-lain.

Distribusi yang umum digunakan untuk data waktu kerusakan adalah distribusi eksponensial, weibull, normal dan lognormal yang dapat memenuhi berbagai fase kerusakan yang ada. Data waktu kerusakan merupakan hasil pengukuran, sehingga data yang digunakan adalah data kontinyu.

2.5.4.1 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 sebagai 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.

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \dots\dots\dots(2 - 3)$$

Dengan: $t \geq 0; \lambda \geq 0$

2. Fungsi Distribusi Kumulatif.

$$F(t) = 1 - (\exp(-\lambda t)) \dots\dots\dots(2 - 4)$$

3. Fungsi Kehandalan, diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= 1 - F(t) \\ &= 1 - \int_{-\infty}^t f(t) dt \\ &= \int_t^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt \\ R(t) &= \left[-e^{-\lambda t} \right]_t^{\infty} \dots\dots\dots(2 - 5) \\ &= \left[-\frac{1}{e^{-\lambda \infty}} - \left[-\frac{1}{e^{\lambda t}} \right] \right] \\ &= -\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{e^{\lambda t}} \\ &= e^{-\lambda t} \end{aligned}$$

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

Dimana $t \geq 0$

$R(t)$ adalah kehandalan suatu system pada t waktu.

e adalah bilangan eksponensial.

T adalah periode waktu yang diinginkan.

4. Fungsi laju kerusakan :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \dots\dots\dots(2 - 6)$$

2.5.4.2 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 θ yang disebut dengan parameter skala (*scala parameter*) dan β yang disebut dengan parameter bentuk (*shape parameter*). Fungsi-fungsi distribusi weibull adalah:

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

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \dots\dots\dots(2 - 7)$$

2. Fungsi Reliabilitas (*Reliability Function*).

$$R(t) = \left(\exp - \left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right) \dots\dots\dots(2 - 8)$$

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

$$F(t) = 1 - \left(\exp - \left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right) \dots\dots\dots(2 - 9)$$

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

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left[\frac{t}{\theta} \right]^{\beta-1} ; utk \theta > 0, \beta > 0, t \geq 0 \dots\dots\dots(2 - 10)$$

2.5.4.3 Distribusi Normal

Distribusi Normal yang dikenal bentuknya sebagai genta (*Bell Shaped*) dan mempunyai parameter bentuk μ dan σ (walpole,1986). Fungsi ini sering digunakan untuk menggambarkan laju kerusakan alat yang meningkat.

Fungsi-fungsi distribusi normal adalah:

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas.

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{\left[-\frac{1(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]} \text{ utk } -\infty < t < \infty \dots\dots\dots(2-11)$$

2. Fungsi Distribusi Kumulatif.

$$F(t) = \theta \left[\frac{(t-\mu)}{\sigma} \right] \dots\dots\dots(2-12)$$

3. Fungsi Reliabilitas.

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

$$R(t) = 1 - \theta \left[\frac{t-\mu}{\sigma} \right] \dots\dots\dots(2-13)$$

4. Fungsi laju kerusakan.

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

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \theta \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)} \dots\dots\dots(2-14)$$

2.5.4.4 Distribusi Lognormal

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

Fungsi-fungsi distribusi lognormal adalah:

Fungsi-fungsi distribusi lognormal adalah:

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

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi st}} \exp\left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{tmed}\right)^2\right]; t \geq 0 \dots\dots\dots(2-15)$$

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

$$F(t) = \theta \left[\frac{1}{s} \ln \frac{t}{tmed} \right] \dots\dots\dots(2-16)$$

3. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$F(t) = 1 - \theta \left[\frac{1}{s} \ln \frac{t}{tmed} \right] \dots\dots\dots(2-17)$$

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

$$\lambda(t) = \frac{t(t)}{1 - \theta \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{tmed} \right)} \dots\dots\dots(2-18)$$

Dimana ; s adalah parameter bentuk (*Shape Parameter*) dan

$tmed$ adalah parameter lokasi (*location parameter*).

2.6 Identifikasi Distribusi

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

2.6.1 Identifikasi awal dengan metode Least Square Curve Fiting

Identifikasi awal dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *probability plot* dan *least-square curve fitting*. *probability plot* digunakan bila jumlah sampel terlalu kecil atau data yang digunakan tidak lengkap Sedangkan metode yang digunakan disini adalah metode *least-square curve fitting* yang dinilai lebih akurat dibanding *probability plot* karena tingkat subjektivitas untuk menilai kelurusan garis menjadi berkurang. Dengan *least-square curve fitting* distribusi yang terpilih adalah distribusi yang nilai *index of fit*-nya terbesar.

Dalam mengidentifikasi distribusi kerusakan atau perbaikan suatu komponen dengan metode *least-square curve fitting* digunakan *index of fit* (r) yang merupakan ukuran hubungan linier antara peubah x dan y . Dimana r diperoleh dengan rumus (Walpole, 1992) :

Perhitungan umum pada least-squares curve fitting yaitu (Ebeling, 1997) :

1. Perhitungan Plotting Positions ($F(t_i)$) :

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \dots\dots\dots(2 - 19)$$

Dimana : n = jumlah kerusakan yang terjadi

i = data waktu ke- t

2. Perhitungan *index of fit* (r) :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \dots\dots\dots(2 - 20)$$

Dimana : n adalah jumlah kerusakan yang terjadi.

3. Gradien :

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

Untuk distribusi Weibull, Normal, Longnormal(2 - 21)

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad \text{Untuk distribusi Eksponensial} \dots\dots\dots(2 - 22)$$

Dimana : n adalah jumlah kerusakan yang terjadi.

4. Intersep : $a = \bar{y} - b\bar{x}$ (2 - 23)

Sedangkan perhitungan khusus untuk tiap distribusi yaitu :

a. Distribusi Weibull

$X_I = \ln t_i$ dimana t_i adalah data ke-i.....(2 - 24)

$$y_i = \ln \ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \dots\dots\dots(2 - 25)$$

Parameter : $\beta = b$ dan $\theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)}$ (2 - 26)

b. Distribusi Eksponensial

$x_i = t_i$ dimana t_i adalah data ke - i(2 - 27)

$$y_i = \ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \dots\dots\dots(2-28)$$

$$\text{Parameter : } \lambda = b \mu = - \left[\frac{a}{b} \right] \dots\dots\dots(2-29)$$

C. Distribusi Normal

$$x_i = t_i \text{ dimana } t_i \text{ adalah data ke } - i \dots\dots\dots(2-30)$$

$$y_i = z_i[F(t_i)] \dots\dots\dots(2-31)$$

$$\text{Parameter : } \sigma = \frac{1}{B} \text{ dan } \dots\dots\dots(2-32)$$

D. Distribusi Lognormal

$$x_i = \ln t_i \text{ dimana } t_i \text{ adalah data ke } - i \dots\dots\dots(2-33)$$

$$y_i = z_i[F(t_i)] \dots\dots\dots(2-34)$$

$$\text{Parameter : } \frac{1}{b} \text{ dan } t_{med} = e^{-sa} \dots\dots\dots(2-35)$$

2.7 Uji kecocokan distribusi

Dalam uji *goodness of fit* akan diuji hipotesis nol (H0) bahwa data mengikuti distribusi pilihan lawan hipotesis alternative (H1) 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.

2.7.1 BARTLETT'S TEST untuk Distribusi eksponensial

Menurut Ebeling (1997) Hipotesis yang digunakan pada *Bartlett's Test* berupa :

H_0 : *Failure times* berdistribusi Eksponensial.

H_1 : *Failure times* tidak berdistribusi Eksponensial.

Test statistik :

$$B = \frac{2 \ln \left[\left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right] - \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i}{k_2 \sum_{i=1}^k \left[\frac{1 - \ln t_{i+1} - 1 - \ln t_1}{M_i} \right]} \dots \dots \dots (2 - 36)$$

Dimana :

t_i = Time to failure / Timme to repair dari unit ke-i.

r = Jumlah dari failure / repair.

B = Nilai uji statistik untuk uji Bartlett's Test.

Test statistik B, dalam hipotesis nol, memiliki pengaruh terhadap distribusi chi-square dengan derajat kebebasan r-1. Dalam test ini bila : $X^2_{\alpha/2;r-1} < B < X^2_{1-\alpha/2;r-1}$, maka H_0 diterima, bila tidak H_1 yang diterima.

2.7.2 MANN'S TEST untuk Distribusi Weibull

Menurut Ebeling (1997) pengembangan test yang spesifik untuk distribusi Weibull dilakukan oleh Mann, Schafer, dan Singapurwalla, Hipotesisnya berupa:

H_0 : *Failure times* berdistribusi Weibull.

H_1 : *Failure times* tidak berdistribusi Weibull.

Test statistik :

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k+1}^{r-1} \left[\frac{1nt_{i+1} - 1nt_1}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^k \left[\frac{1nt_{i+1} - 1nt_1}{M_i} \right]} \dots\dots\dots(2 - 37)$$

Dimana :

$$k_1 = \left[\frac{r}{2} \right] \quad k_2 = \left[\frac{r-1}{2} \right] \dots\dots\dots(2 - 38)$$

$$M_i = \bar{t}_{i+l} - Z_i \dots\dots\dots(2 - 39)$$

$$Z_i = in \left[1 - \left(\frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \dots\dots\dots(2 - 40)$$

Keterangan :

M = Nilai dari Mann's Test.

R = Banyaknya data.

t_i = Time to failure / time to repair.

t_{i+1} = Nomor data kerusakan (1,2,3,... ,n).

n = Banyaknya kerusakan.

Jika $M > F_{crit}$ maka F_1 diterima, Nilai dari F_{crit} didapatkan dari tabel berdistribusi F dengan $v_1 = 2k_1$ dan $v_2 = 2k_2$. Uji Hipotesis menggunakan *level* toleransi $\alpha = 0.05$, untuk membuktikan hipotesis, uji distribusi menggunakan statistik MANN'S test dengan acuan F distribusi

$$Numerator = 2K_2$$

$$Denominator = 2K_1$$

Daerah penolakan F distribusi, jika $M < F_{critical}$ maka H_0 diterima dan sebaliknya.

Dalam prakteknya tingkat kepentingan yang biasa digunakan adalah $\alpha = 0,05$.

2.7.3 Kolmogorov-Smirnov Test untuk Distribusi Normal dan Distribusi Lognormal

Menurut Ebeling (1997) *Kolmogorov-Smirnov Test* dikembangkan oleh H.W.Liliefors pada tahun 1967. Test ini membandingkan fungsi distribusi kumulatif dengan fungsi distribusi kumulatif normal. Hipotesisnya berupa :

H_0 : *Failure times* berdistribusi Normal (Lognormal).

H_1 : *Failure times* tidak berdistribusi Normal (Lognormal).

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

dimana :

$$D1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - t}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} \dots \dots \dots (2 - 41)$$

$$D2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - t}{s} \right) \right\} \dots \dots \dots (2 - 42)$$

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \dots \dots \dots (2 - 43)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - t)^2}{n} \dots \dots \dots (2 - 44)$$

$$z_i = \frac{(t_i - t)}{s} \dots \dots \dots (2 - 45)$$

Keterangan : t_i = Time to failure / time to repair ke-i.

t = Rata-rata time to failure / time to repair.

s = Standart deviasi.

n = Banyaknya data.

Jika $D_n < D_{crit}$ maka H_0 diterima. Nilai dari D_{crit} didapatkan dari *tabel critical values for Kolmogrov-Smirnov Test For Normality (Liliefors Test)*. Perbedaan

penggunaan uji ini untuk distribusi Normal dan Lognormal adalah pada distribusi Lognormal, nilai $t_i = \ln t_i$.

2.8 Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time To Failure (MTTF) adalah nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan (*expected value*) dari suatu distribusi kerusakan yang didefinisikan oleh fungsi kepadatan peluang $f(t)$ sebagai berikut : (Ebeling 1997)

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

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

sehingga,

$$MTTF = \int_0^{\infty} -\frac{dR(t)}{dt} t dt$$

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

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \dots\dots\dots(2 - 46)$$

Perhitungan MTTF untuk tiap-tiap distribusinya adalah :

a. Distribusi Weibull

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots(2 - 47)$$

b. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(2 - 48)$$

c. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \dots \dots \dots (2 - 49)$$

d. Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{met} e^{s^2/2} \dots \dots \dots (2 - 50)$$

2.9 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).

$$MTTF = \int_0^\infty t h(t) dt = \int_0^\infty (1 - H(t)) dt \dots \dots \dots (2 - 51)$$

dimana : (t) adalah fungsi kepadatan peluang untuk data waktu perbaikan.

H(t) adalah fungsi distribusi kumulatif untuk data waktu perbaikan.

Perhitungan MTTR untuk tiap distribusi yaitu :

a. Distribusi Weibull

$$MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \dots \dots \dots (2 - 52)$$

b. Distribusi Eksponensial

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \dots \dots \dots (2 - 53)$$

c. Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \dots \dots \dots (2 - 54)$$

d. Distribusi Lognormal

$$MTTR = t_{med} e^{s^2/2} \dots \dots \dots (2 - 55)$$

2.10 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.

Total ekspektasi *downtime* per siklus (EDS) =

(*downtime* yang terjadi pada siklus pencegahan (*preventive cycle*) x probabilitas terjadinya siklus pencegahan) + (ekspektasi *downtime* yang terjadi pada siklus kerusakan (*failure cycle*) x probabilitas terjadinya siklus kerusakan)

Atau :

$$\text{Total ekspektasi } \textit{downtime} \text{ per siklus (EDS)} = T_p \cdot R(tp) + T_f \cdot [1 - R(tp)]$$

Ekspektasi panjang siklus kerusakan (EPS) =

(panjang siklus pencegahan x probabilitas terjadinya siklus pencegahan) + (ekspektasi panjang siklus kerusakan x probabilitas terjadinya siklus kerusakan)

Atau :

Ekspektasi panjang siklus kerusakan (EPS) =

$$(tp + T_p) \cdot R(tp) + (M(tp) T_f) \cdot [1 - R(tp)]$$

Jika $f(t)$ merupakan fungsi *mean time to failure* maka probabilitas terjadinya siklus pencegahan $[R(tp)]$ adalah sama dengan probabilitas munculnya kerusakan setelah waktu tp yang ditunjukkan oleh daerah yang diarsir. Sesuai yang dibahas dalam bagian 2.4.1 mengenai fungsi keandalan, maka :

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

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 :

$$M(tp) = \frac{\int_{-\infty}^{tp} tf(t) dt}{1 - R(tp)} = \frac{MTTF}{1 - R(tp)} \dots \dots \dots (2-56)$$

Jadi total *downtime* per unit waktu adalah :

$$D(tp) = \frac{T_p \cdot R(tp) + T_f \cdot (F(tp))}{(tp + T_p) \cdot R(tp) + [M(tp) + T_f] \cdot (F(tp))} \dots \dots \dots (2-57)$$

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.

2.11 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.

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

Dimana :

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

$$\lambda(n) = \frac{k}{n} \text{ sehingga } \lambda'(n) = -\frac{k}{n^2} \dots \dots \dots (2 - 58)$$

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

$$K = \frac{\text{Frekuensi jumlah kerusakan}}{\text{Period terjadinya kerusakan}} \dots \dots \dots (2 - 59)$$

T_f adalah waktu rata-rata untuk melakukan penggantian ($1/\mu$)..... (2 - 60)

T_i adalah waktu rata-rata untuk melakukan pemeriksaan ($1/i$).....(2 - 61)

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

Sehingga :

$$D'(n) = \frac{\lambda(n)}{\mu} + \frac{n}{i} \text{ atau } D(n) = \frac{k}{n \cdot \mu} + \frac{n}{i} \dots \dots \dots (2 - 62)$$

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

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

Sehingga frekuensi pemeriksaan : $n = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}} \dots \dots \dots (2 - 63)$

2.12 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

$$D'(n) = \frac{\lambda(n)}{\mu} + \frac{n}{i} \text{ atau } D(n) = \frac{k}{n^2\mu} + \frac{n}{i}$$

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

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

$$A(n) = 1 - D(n) \dots \dots \dots (2 - 64)$$

- b. *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan

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

$$A(tp) = 1 - D(tp) \dots \dots \dots (2 - 65)$$

- c. *Availability* total

$$\text{Availability total} = A(n) \times A(tp) \dots \dots \dots (2 - 66)$$

2.13 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 :

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

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

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:

a. Distribusi Weibull :

$$R(t) = \left[\exp - \left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \dots \dots \dots (2 - 67)$$

b. Distribusi Eksponensial :

$$R(t) = \exp (-\lambda t) \dots \dots \dots (2 - 68)$$

c. Distribusi Normal :

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) \dots \dots \dots (2 - 69)$$

d. Distribusi Lognormal :

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \dots \dots \dots (2 - 70)$$

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

a. Distribusi Weibull:

$$R(t - nT) = \left[\exp - \left(\frac{t-nT}{\theta} \right)^\beta \right] \dots\dots\dots(2 - 71)$$

b. Distribusi Eksponensial:

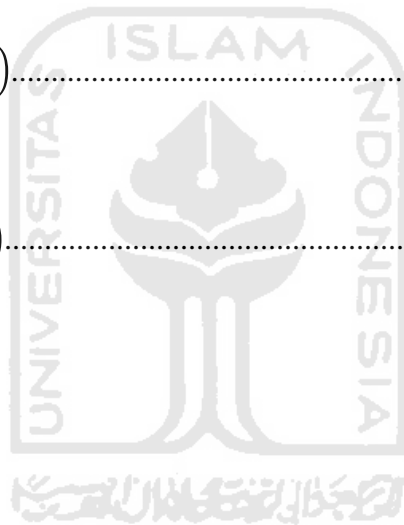
$$R(t - nT) = \exp(- \lambda(t - nT)) \dots\dots\dots(2 - 72)$$

c. Distribusi Normal:

$$R(t - nT) = 1 - \Phi \left(\frac{(t-nT) - \mu}{\sigma} \right) \dots\dots\dots(2 - 73)$$

d. Distribusi Lognormal:

$$R(t-nT) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t-nT}{t_{med}} \right) \dots\dots\dots(2 - 74)$$



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Obyek Penelitian

Penelitian ini mengambil objek mesin filler line 2 di PT. Coca Cola Bottling Indonesia Southern Sumatera, Lampung.

3.2 Sumber Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini untuk mendapatkan data yang diteliti, ada berbagai metode yang digunakan yaitu :

- a. Sumber data primer, melalui *interview* (wawancara langsung) yaitu mengadakan wawancara langsung dengan pihak-pihak yang berkaitan dengan masalah yang akan diteliti, dalam hal ini adalah pihak perusahaan dari bagian *maintenance* sebagai pembimbing dalam penelitian tersebut.
- b. Sumber data sekunder, yaitu melalui observasi dengan mengamati jalannya proses produksi, melihat dari studi pustaka yang berhubungan dengan manajemen perawatan dan disiplin ilmu pengetahuan lainnya yang mendukung dan mempunyai hubungan dengan penelitian tersebut.

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dibutuhkan dilakukan dengan cara wawancara langsung dengan pihak perusahaan, serta melakukan pengamatan langsung dengan mengamati jalannya proses produksi.

Data-data yang dikumpulkan antara lain :

1. Data umum perusahaan.
2. Data mesin-mesin yang digunakan dalam proses produksi
3. Data jumlah kerusakan mesin (*Frekuensi*).
4. Data waktu kerusakan mesin (*Downtime*).
5. Data waktu perbaikan mesin (TTR).
6. Data waktu diantara kerusakan komponen mesin (TTF).
7. Data jenis perbaikan pada komponen mesin.

3.4 Pengolahan Data

Langkah dalam pengolahan data adalah sebagai berikut :

1. Penentuan komponen kritis
2. Pemilihan sistem dan pengumpulan informasi
3. Pendefinisian batasan sistem
4. Fungsi sistem dan kegagalan fungsi
5. *Failure mode and effect analysis* (FMEA)
6. *Logic decision Tree Analysis* (LTA) dan *decision* diagram
7. Menghitung *Index Of Fit* untuk menentukan distribusi yang cocok (identifikasi distribusi).
8. Pengujian kecocokan distribusi
9. Menentukan nilai MTTF dan MTTR
10. Menentukan interval waktu penggantian pencegahan
11. Menentukan tingkat frekuensi dan interval waktu pemeriksaan optimal

12. Menentukan availability
13. Menentukan nilai kehandalan sebelum dan sesudah usulan dilakukannya tindakan perawatan
14. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian

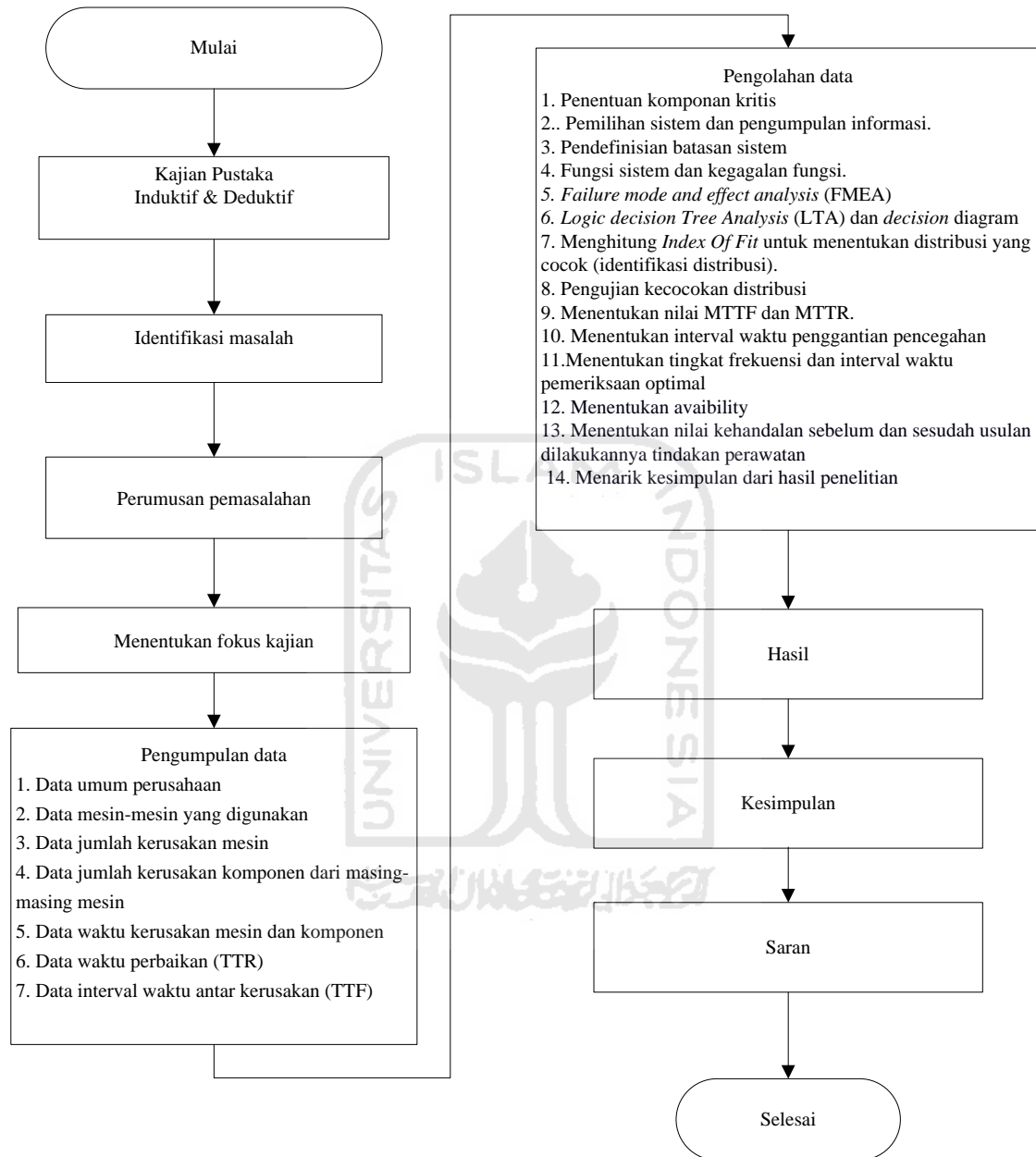
3.5 Tahap Pembahasan/Tahap Analisis

Hasil pengolahan data yang dilakukan dengan metode yang telah dipilih perlu diinterpretasikan sehingga dapat memberikan suatu pemahaman mengenai pemecahan permasalahan dengan lebih mendalam.

3.6 Tahap Kesimpulan Dan Saran

Tahap kesimpulan dan saran, merupakan tahap terakhir dari penelitian yang berisi kesimpulan secara keseluruhan terhadap hasil penelitian dan saran perbaikan khususnya pada *preventive maintenance* di PT. Coca Cola Bottling Indonesia Southern Sumatera, Lampung.

Bagan Alir (Flowchart)



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

1. Data umum perusahaan yang terdiri dari secara perusahaan, lokasi perusahaan, dan proses produksi.
2. Data kerusakan mesin *filler line 2* pada bulan Januari 2008 sampai dengan Agustus 2010.

4.1.1 Data Umum perusahaan

Sejarah perkembangan minuman Coca-Cola di Lampung diawali dengan berdirinya PT. Copaco di daerah Sumatera, karena kurang memenuhi permintaan konsumen akibat kondisi mesin yang sudah tidak memenuhi standar maka perusahaan tersebut dihentikan kegiatannya. Untuk memenuhi kebutuhan minuman PT. Coca-Cola Indonesia menawarkan kepada PT. Pan Java Bottling Co, untuk meneruskan langkah PT. Copaco. Dari kepercayaan yang diberikan maka PT. Pan Java Bottling Co melakukan survey kemungkinan didirikannya pabrik pembotolan minuman ringan di Palembang.

Pabrik Coca-Cola di Lampung berdiri pada tanggal 6 Oktober 1983 dengan nama PT. Swarna Dwipa Bottling Company. Pada tanggal 11 Agustus 1984 berganti nama menjadi PT. Swarna Dwipa Mekar Bottling Company. Pada

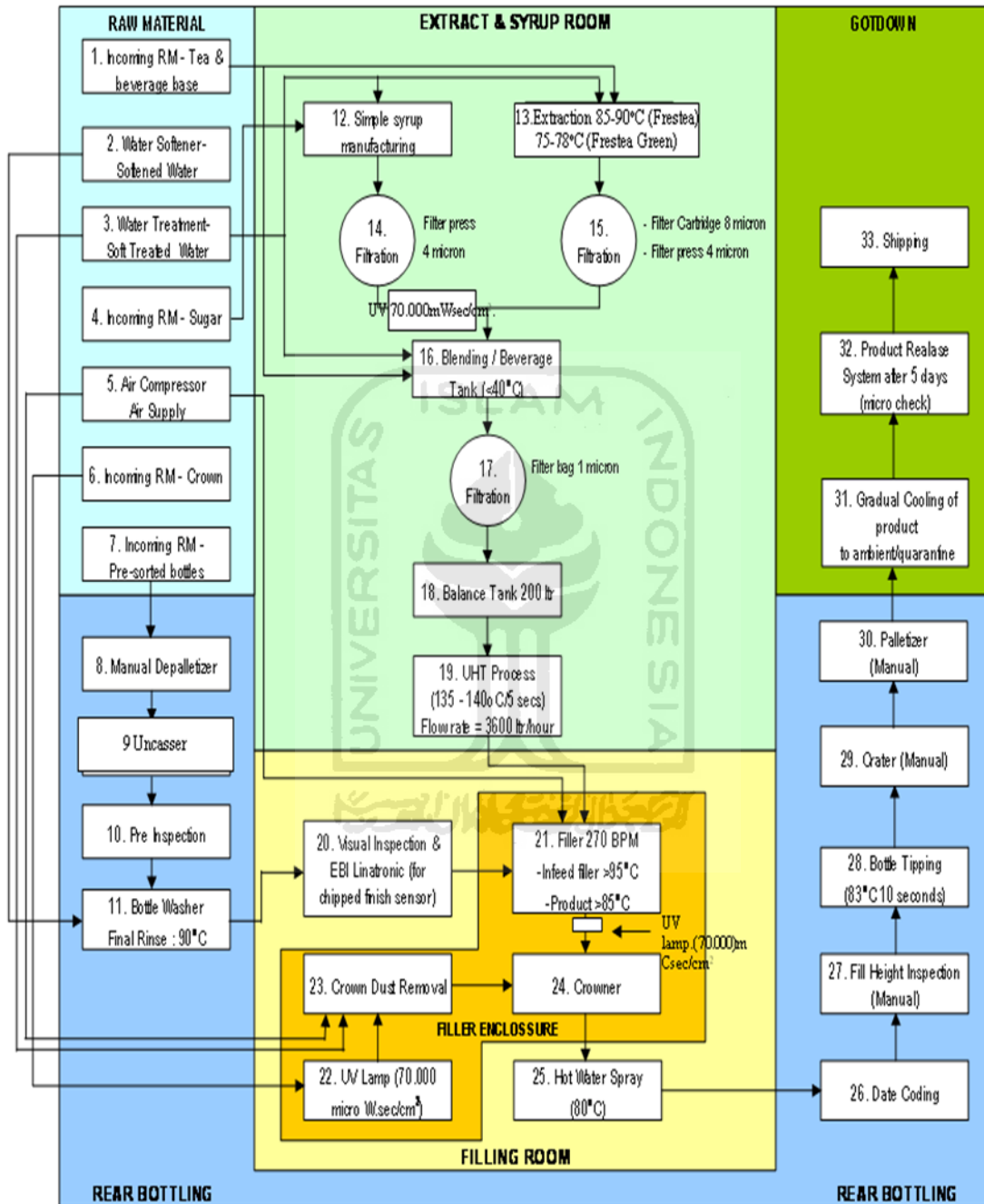
tahun 1985 memulai produksi dengan daerah pemasaran yaitu Lampung dan Sumatera Selatan. Dengan semakin berkembang dan meluasnya maka pada tahun 1992, PT. Swarna Dwipa Mekar Bottling Co, menjalin kerjasama dengan PT. Coca-Cola Amatil Australia, yaitu perusahaan minuman yang pemasarannya meliputi Eropa dan Asia Pasifik. Dengan demikian namanya berubah menjadi PT. Coca-Cola Pan Java Bottling Company Unit Lampung.

Pada tahun 2003 PT. Coca-Cola Bottling Indonesia Southern Sumatera melakukan pembelian hak cipta produk dari PT. Nestle sehingga produk HI-C Tea berubah namanya menjadi Frestea.

4.1.2 Proses Produksi

Proses produksi di PT. Coca-Cola Bottling Indonesia Southern Sumatera untuk menghasilkan produk-produk minuman ringan baik *carbonated Soft Drink (CSD)* dan *Non Carbonated Soft Drink (Non-CSD)* harus melalui jalur produksi (*line production*) untuk masing-masing produk. Di PT. Coca-Cola Bottling Indonesia Southern Sumatera terdapat dua line production yaitu Line 1 untuk memproduksi minuman CSD dan Line 2 untuk produksi minuman Non-CSD. Alur produksinya di ilustrasikan dengan gambar sebagai berikut :

FRESTEA PROCESS FLOWCHART - SOUTHERN SUMATRA



Gambar 4.1 alur proses produksi minuman CSD dan Non CSD

Penjelasan alur produksi sebagai berikut :

1. Proses *Water Treatment*

Proses ini diawali dengan melakukan pengolahan air terlebih dahulu sesuai dengan standarisasi yang ditetapkan *The Coca-Cola Company*. Proses pengolahan air dimulai dari tahap *raw water* yang kemudian di tampung didalam suatu tabung yang besar yang kemudian diolah menjadi *treated water* yang digunakan untuk pembuatan produk *CSD* dan *soft water* yang digunakan untuk pencucian botol (*bottle washer*). Setelah itu *treated water* dapat diolah kembali menjadi *soft treated water* yang digunakan untuk membuat produk *Non-CSD*.

2. Pembuatan Syrup

Syrup adalah larutan gula yang dibuat dengan memasukan gula kedalam air standart dan diaduk atau mixing sampai semua bagian gula larut. Sedangkan syrup hasil pelarutannya ada 2 macam, yaitu : Simple syrup merupakan larutan gula dalam *treated water* setelah proses penyaringan dan sebelum ditambah dengan concentrate. Finish syrup adalah suatu campuran homogen dari simple syrup dan concentrate yang dicampur dengan *treated water* sesuai dengan volumenya.

Dengan proses pembuatannya adalah :

- a. Pelarutan gula
- b. Filtrasi adalah suatu kegiatan untuk mendapatkan filtrate yang benar-benar bebas dari foreign matter/benda asing. Proses filtrasi dibagi 3

tahap yaitu Precoating yang bertujuan untuk membuat lapisan awal di filter proses dengan menggunakan filter aid agar foreign matter dan active carbon tidak lolos saring. Selanjutnya circulation yang bertujuan untuk membuat lapisan awal dan membebaskan sirup dari matter dan active carbon. Untuk menurunkan warna sesuai standart dengan penambahan filter aid dan active carbon sesuai kebutuhan dan awal simple syrup. Pada saat filtrasi dilakukan pengujian berupa uji foreign matter, test rasa, bau dan warna serta kejernihan. Setelah memulai filter press maka sirup akan disterilisasi dengan sinar ultra violet, Tujuan dari sterilisasi adalah untuk membebaskan sirup dari mikroorganisme. Penampungan Syrup menampung sirup sebanyak 80 % dari sirup yang akan difinising kemudian di mixer \pm 5 menit setelah itu setelah itu dilakukan pengecekan Brix menggunakan alat DMA.

3. Pencucian Botol (*Bottol Washer*)

Botol-botol yang digunakan dalam proses produksi tidak setiap saat digunakan dalam keadaan baru, tetapi juga berasal dari hasil penarikan botol-botol kosong yang telah beredar pada konsumen. Pencucian botol dimulai dengan penyortiran oleh inspektor yang disebut dengan pre-inspection. Tahap ini bertujuan untuk memeriksa apakah ada botol yang pecah, berkarat dan kotor karena kapur, aspal dan cat atau tanah. Botol-botol yang telah pecah disisihkan untuk dihancurkan, sedangkan botol yang

kotor atau berkarat dicuci dulu secara manual sebelum dicuci dengan bottle washer machine. Setelah diinspeksi, botol yang memenuhi syarat diletakkan pada conveyer oleh uncasher machine. Kemudian botol masuk kedalam mesin pencuci secara otomatis. Langkah pencucian botol terdiri dari Pre Inspection, Pada tahap pre inspection ini krat – krat yang berisi botol kosong dilewatkan dengan konveyer untuk diperiksa dan botol yang tidak sesuai standar akan dipisahkan. Pre inspection ini dilakukan oleh satu orang pekerja, selain memisahkan botol – botol yang tidak sesuai dengan standar, pre inspector juga membersihkan botol dari benda – benda asing, melepaskan tutup botol yang masih menempel.

4. Proses Pengisian (*filling*)

Setelah proses mixing dari pengolahan sirup selesai, selanjutnya dialirkan ke mesin pengisian (*filler*). Sebelum masuk ke mesin *filler*, botol harus melewati EBI. Selanjutnya beverage memasuki mesin *filler* sesuai dengan jenis beverage yang akan diproduksi apakah baik *Carbonated Soft Drink (CSD)* dan *Non Carbonated Soft Drink (Non-CSD)*. Setelah itu proses pengisian (*filling*), Botol dari infeed screw menuju infeed satar whell di dorong ke kamar filler untuk proses pengisian. Tahap-tahap *filling* adalah sebagai berikut :

a. *Open filling valve.*

Adalah membukanya needle pada filling valve sehingga bila terjadi persamaan tekanan antara filling valve dan botol beverage dapat masuk dalam botol.

b. *Counter pressure*

Yaitu penyamaan tekanan antara bowl filling valve dan tekanan dalam botol sehingga beverage dapat mengalir ke dalam botol. Persamaan tekanan antara filling valve dan botol adalah 4-5 atm.

c. *Pengisian (filling)*

Yaitu mengalirkan beverage dari vent tube ke dalam botol setelah terjadi persamaan tekanan.

d. *Leveling*

Merupakan pengaturan jumlah beverage yang diisikan ke botol. Yaitu berhentinya aliran beverage pada level tertentu karena vent tube dalam kondisi tenggelam di dalam botol berisi beverage sehingga beverage tidak mengalir

e. *Snifiting*

Adalah pembuangan sisa tekanan di dalam botol supaya tidak terjadi foaming (penggumpalan udara)

Tahap selanjutnya adalah crowning, Setelah botol berisi beverage akan didorong oleh star wheel intermediate ke crowner. Unit crowner adalah sebagai berikut :

1. *Crown feeder*

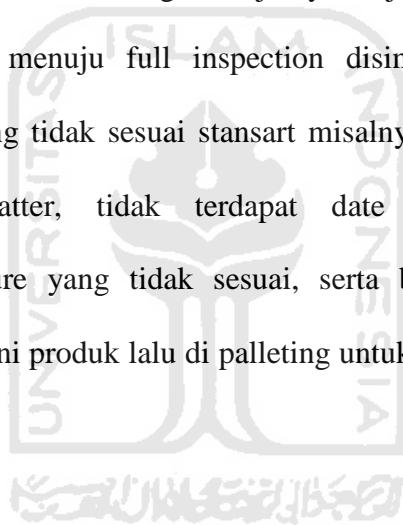
Yaitu tempat menuang crown dari gudang

2. *Crown tunnel*

Yaitu pipa saluran crown dimana crown akan bergerak satu persatu sampai pada crown holder.

3. *Crown holder*

Setelah proses crowning selanjutnya terjadi proses date coding kemudian menuju full inspection disini terjadi pengambilan product yang tidak sesuai stansart misalnya dalam botol terdapat foreign matter, tidak terdapat date coding pada botol, crown/closure yang tidak sesuai, serta botol pecah. Dari full inspection ini produk lalu di palleting untuk selanjutnya dikirim ke warehouse.



4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Penentuan mesin kritis

Pada penelitian ini, data yang diambil ialah data kerusakan mesin yang terjadi di proses produksi pembuatan minuman *Non Carbonated Soft Drink (Non-CSD)* yang terjadi pada *line production 2*. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari bagian produksi, mesin *filler* merupakan mesin yang sangat vital dalam proses produksi yang sangat berpengaruh terhadap kualitas produk. Data-data waktu terjadinya kerusakan mesin *filler* diambil dari data historis perusahaan pada bulan Januari 2008 sampai dengan Agustus 2010.

4.2.2 Penentuan komponen kritis

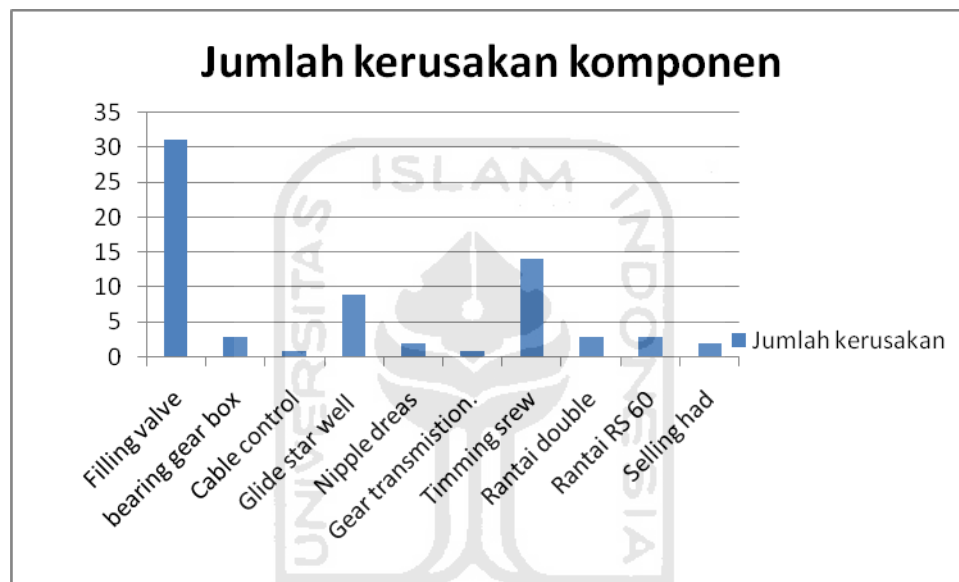
Penentuan komponen kritis didasarkan pada data *downtime* terbesar dari kerusakan mesin dan komponen. Maka mesin *filler* akan dibahas lebih lanjut dan ditentukan komponen kritisnya. Data kerusakan komponen mesin *filler* selama periode Januari 2008 sampai dengan Agustus 2010 dapat dilihat pada table 4.1 .

Tabel 4.1 Kerusakan komponen mesin fiiller

No	komponen	Frekuensi	<i>Downtime</i> (jam)
1	Filling valve	31	16.167
2	bearing gear box	3	1.7
3	Cable control	1	1
4	Glide star well	9	9.71667
5	Nipple dreas	2	1.16667
6	Gear transmision.	1	2
7	Timming srew	14	9.5333
No	komponen	Frekuensi	<i>Downtime</i> (jam)
8	Rantai double	3	3.2833333

9	Rantai RS 60	3	0.6333
10	Selling had	2	1.35
Total		69	46.5502

Berdasarkan table diatas dapat dilihat komponen *filling valve* mempunyai frekuensi kerusakan paling tinggi , yaitu sebesar 16.167 jam.



Gambar 4.2 Diagram pareto kerusakan komponen

4.2.3 Pemilihan Sistem dan Sub Sistem.

Sistem pada mesin *filler* berfungsi untuk melakukan pengisian minuman kedalam botol, dari mulai pengisian sampai penutupan minuman kedalam botol.

Dalam sistem ini terdapat beberapa sub sistem sistem yang bekerja sama yaitu:

- Sub sistem power
- Sub sistem mekanik
- Sub sistem pendukung (pengaturan pengisian).

- d. Sub sistem pengisian.
- e. Sub sistem penutupan.

4.2.4 Defenisi batasan sistem

Sistem mesin *filler* terbentuk dari beberapa subsistem yang saling bekerja sama antara sub sistem yang saling bekerja sama antara sub sistem yang satu dengan yang lain. Perlu diketahui batasan dari sistem sehingga diketahui hubungan antara beberapa sub sistem yang ada adalah :

- a. Sub sistem power
 - 1. Cabel control
- b. Sub sistem mekanik
 - 1. Rantai double
 - 2. Gear transmition
 - 3. Bearing gear box
 - 4. Rantai rs 60
 - 5. Nipple dreas
- c. Sub sistem pendukung (pengaturan pengisian).
 - 1. Glide star well
 - 2. Timing screw
 - 3. Sub sistem pengisian
 - 4. Filling valve



d. Sub sistem penutupan

1. Selling had

4.2.5 Fungsi sistem dan Kegagalan Fungsi

Analisa fungsi dan kegagalan fungsi ini digunakan mengetahui masukan dan keluaran sistem, serta mengetahui pengaruhnya dengan elemen sistem lainnya.

Tabel 4.2 Fungsi dan kegagalan fungsi sistem

Sub sistem	No Fungsi	No kegagalan	Uraian fungsi dan kegagalan
Power	1.1		Berhubungan dengan kelistrikan
		1.1.1	Konslet dan saklar yang terdapat pada mesin filler mati
Mekanik (gerak)	2.1		Berhubungan sistem kerja gerak pada mesin
		2.1.1	keausan pada komponen
		2.1.2	kendor pada komponen
		2.1.3	rantai putus
		2.1.4	perubahan pada timing
Pengaturan Pengisian (pendukung)	3.1		Sebagai pengatur jalannya pengisian minuman pada botol
		3.1.1	Perubahan Posisi komponen
		3.1.2	Aus pada komponen
Pengisian	4.1		Digunakan pengisian minuman kedalam botol
		4.1.1	Apabila terdapat silk yang sobek menyebabkan pengisian tidak stabil
		4.1.2	Kebocoran pada filling valve minuman harus segera dikosongkan
		4.1.3	Apabila Phenomatik rusak, AS buter fly terbuka terus menerus
Pentupan	5.1		Sebagai menutup botol yang sudah terisi minuman dengan crown.
		5.1.1	macet pada penutupan (<i>crown</i>)

4.2.6 Failure Mode Effect and Analysis (FMEA)

FMEA ini berfungsi untuk menganalisa sistem peralatan berdasarkan fungsi sub sistem yang dalam hal ini komponen atau unit akibat dari kerusakan yang terjadi.

Tabel 4.3 Matrik kegagalan fungsi

Komponen	Nomor Kegagalan										
	1.1.1	2.1.1	2.1.2	2.1.3	2.1.4	3.1.1	3.1.2	4.1.1	4.1.2	4.1.3	5.1.1
Cable control	√										
Rantai double				√							
Gear transmision.					√						
Bearing gear box			√	√							
Rantai RS 60					√						
Nipple dreas		√									
Glide star well						√					
Timming srew							√				
Filling valve								√	√	√	
Selling had											√

Setelah pembuatan matrik kegagalan fungsi selanjutnya adalah analisa mode kerusakan dan akibat kerusakan pada komponen selama 32 bulan yang mengalami kerusakan.

Tabel 4.4 Mode kerusakan dan akibat kerusakan

Nama Komponen	Fungsi komponen	No. Kegagalan	Kegagalan fungsi komponen	Akibat kegagalan	Efek yang ditimbulkan
Cabel control	Untuk menghidupkan mesin filler.	1.1.1	Konslet, dan saklar pada mesin mati	Macet pada mesin.	Mesin menjadi macet (mati).
Rantai double	Penggerak pada mesin filler	2.1.3	Rantai putus.	Timing bisa berubah, mesin macet, gear pada rompal	Mesin menjadi macet.
Gear transmision.	Penggerak gear starner dengan penggerak gear pada bowl	2.1.4	Timing bowl bisa berubah mengakibatkan gigi gear transsmition bias rompak.	Botol pecah pada saat pengisian.	Proses pengisian minuman berhenti karena minuman banyak yang tumpah pada saat pengisian.
				Terselip botol di starwell.	

				Timing bowl bisa berubah mengakibatkan gigi gear transsmition menjadi rompak.	
bearing gear box	mengencangkan baut	2.1.2	kendor pada komponen	mesin mudah terjepit dan macet atau berhenti	mesin filler tidak mau berkerja
		2.13	v-belt yang terdapat di dalamnya dapat putus		
Rantai RS 60	Untuk menggerakan seluruh starwell di mesin filler.	2.1.4	Timiing berubah	Botol mengalami pecah pada saat pengisian.	Mesin berhenti.
Nipple dreas	Pelumasan pada mesin.	2.1.1	Nipple tersumbat menyebabkan keausan.	Mesin banyak yang aus. Dan mesin menjadi macet.	Mesin filler menjadi macet.

Glide star well	Mengatur atau mengepaskan botol pada saat berjalan ke crowner ataupun ke bowl.	3.1.1	botol pecah di starwell karena posisinya tidak pas.	Botol terjepit dan mengakibatkan pecah	Proses pengisian minuman berhenti
Timming srew	Mengatur botol ke starwell.	3.1.2	apabila aus, botol sering keselip	mengakibatkan susahnya botol bergerak menuju starwell.	Botol akan pecah di bowl khususnya pada timming srew.
Filling valve	Digunakan pada saat pengisian dalam botol.	4.1.1	Apabila terdapat silk yang sobek menyebabkan pengisian tidak stabil	Tekanan pada saat pengisian minuman yang terlalu besar.	Spring pada filling valve (model berbentuk per) kalau sudah lemas, tidak mau mengisi pada minuman
		4.1.2	Kebocoran pada filling valve minuman harus segera dikosongkan	Dari kualitas bahan silk yang sobek.	Minuman banyak yang terbuang
		4.1.3	Apabila Phenomatik rusak, AS buter fly terbuka terus menerus	Dari kualitas bahan silk yang sobek.	Mesin macet.

					produk banyak mengalami kecacatan(reject)
Selling had	Menutup botol yang sudah terisi minuman dengan crown.	5.1.1	klo crowner macet, banyak botol yang pecah dan minuman tidak tertutup	Crown (penutup botol menjadi rusak)	Product menjadi rusak atau reject .

4.2.7 Decision Diagram

Decision diagram RCM berisi tentang pertanyaan yang digunakan dalam mengambil keputusan untuk menentukan jenis perawatan pada setiap komponen berdasarkan masing-masing jenis mode kerusakannya. Untuk diagram mengacu pada Gambar 2.1 hasil jawabannya akan dicatat dalam decision worksheet seperti pada tabel 4.5. Adapun hasil decision worksheet dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 4.5 Mode kerusakan dan akibat kerusakan

<i>Information Reference</i>			<i>Consequence Evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default Action</i>			<i>Prosped Task</i>
No	Komponen kerusakan	Mode kerusakan	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4	
							O1	O2	O3				
							N1	N2	N3				
1	Cabel control	Konslet dan saklar yang terdapat pada mesin filler mati	Y	N	N	Y	Y						<i>Schedule on condition maintance task</i>

2	Rantai double	Rantai putus.	Y	N	N	Y	Y							<i>Schedule on condition maintance task</i>
3	Gear transmision	perubahan pada timing	N				Y							<i>Schedule on condition maintance task</i>
4	bearing gear box	kendor pada komponen	N				Y							<i>Schedule on condition maintance task</i>
		v-belt yang terdapat di dalamnya dapat putus	N				N	N	N	Y				<i>Scheduled failure finding</i>
5	Rantai RS 60	perubahan pada timing	Y	N	N	Y	Y							<i>Schedule on condition maintance task</i>
6	Nipple dreas	keausan pada komponen	Y	N	N	Y	Y							<i>Schedule on condition maintance task</i>
7	Glide star well	botol pecah di starwell karena posisinya tidak pas.	Y	Y			Y							<i>Schedule on condition maintance task</i>
8	Timing srew	apabila aus, botol sering keslip	N				N	Y						<i>Schedule restroration task</i>

9	Filling valve	Apabila terdapat silk yang sobek menyebabkan pengisian tidak stabil	N				N	N	N	Y			<i>Scheduled failure finding</i>	
		Kebocoran pada filling valve minuman harus segera dikosongkan	N				N	N	Y					<i>Schedule discard task</i>
		Apabila Phenomatik rusak, AS buter fly terbuka terus menerus	Y	N	N	Y	Y							<i>Schedule on condition maintance task</i>
10	Selling had	macet pada penutupan (<i>crown</i>)	Y	N	N	Y	Y						<i>Schedule on condition maintance task</i>	

Penentuan jenis kegiatan perawatan pada setiap komponen merupakan hasil analisa keputusan dari jawaban yang terdapat pada decision worksheet diatas. Untuk hasil terperinci pada setiap komponen berdasarkan masing-masing jenis mode kerusakan dapat dilihat pada table berikut ini.

Tabel 4.6 Jenis Kegiatan Perawatan

No	Komponen	Mode Kerusakan	Kegiatan perawatan
1	Cabel control	Konslet dan saklar yang terdapat pada mesin filler mati	<i>Schedule on condition maintance task</i>
2	Rantai double	Rantai putus.	<i>Schedule on condition maintance task</i>

3	Gear transmision	perubahan pada timing	<i>Schedule on condition maintance task</i>
4	bearing gear box	kendor pada komponen	<i>Schedule on condition maintance task</i>
		v-belt yang terdapat di dalamnya dapat putus	<i>Scheduled failure finding</i>
5	Rantai RS 60	perubahan pada timing	<i>Schedule on condition maintance task</i>
6	Nipple dreas	keausan pada komponen	<i>Schedule on condition maintance task</i>
7	Glide star well	botol pecah di starwell karena posisinya tidak pas.	<i>Schedule on condition maintance task</i>
8	Timing srew	apabila aus, botol sering keselip	<i>Schedule restroration task</i>
9	Filling valve	Apabila terdapat silk yang sobek menyebabkan pengisian tidak stabil	<i>Scheduled failure finding</i>
		Kebocoran pada filling valve minuman harus segera dikosongkan	<i>Schedule discard task</i>
		Apabila Phenomatik rusak, AS buter fly terbuka terus menerus	<i>Schedule on condition maintance task</i>
10	Selling had	macet pada penutupan (crown)	<i>Schedule on condition maintance task</i>

4.2.8 Perhitungan *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR)

Komponen Kritis

Setelah diketahui komponen kritis, maka langkah selanjutnya adalah menghitung waktu antar kerusakan atau TTF (*Time To Failure*) dan waktu perbaikan dalam satuan jam atau TTR (*Time To Repair*), perhitungannya adalah sebagai berikut

Tabel 4.7 Perhitungan TTF dan TTR

Komponen Filling Valve							
No	Tanggal	Waktu Downtime	Total downtime	TTR (jam)	TTF (jam)	Urutan TTF	Urutan TTR
1	9/1/2008	20.00-22.00	2	2	0	0	0.06667
2	23/1/2008	14.00 - 16.30	1	1	120	12	0.08333
3	23/4/2008	13.00-14.00	1.5	1.5	636	12	0.1
4	8/8/2008	16.20-17.20	1	1	648	12	0.1
5	23/10/2008	20.30-22.30	1	1	1008	12	0.13333
6	13/01/2009	15.00-16.00	2	2	696	12	0.13333
7	6/4/2009	19.40-19.50	0.16667	0.16667	660	12	0.15
8	27/4/2009	23.40-23.50	0.16667	0.16667	168	12	0.16667
9	1/5/2009	01.30-01.44	0.23333	0.23333	48	24	0.16667
10	2/5/2009	17.00-17.20	0.33333	0.33333	12	24	0.16667
11	29/6/2009	15.45-15.51	0.1	0.1	480	36	0.16667
12	13/7/2009	15.10-15.16	0.7	0.7	96	36	0.21667
13	28/7/2009	10.00-10.15	0.25	0.25	48	36	0.23333
14	29/7/2009	10.15-10.45	0.5	0.5	12	48	0.23333
15	3/8/2009	17.00-17.15	0.25	0.25	36	48	0.25
16	4/8/2009	09.15-09.23	0.13333	0.13333	12	48	0.25
17	21/12/2009	19.00-19.30	0.5	0.5	912	48	0.25
18	23/3/2010	17.00 - 17.26	0.43333	0.43333	480	48	0.33333
19	26/3/2010	20.30 - 20.36	0.1	0.1	36	60	0.43333
20	30/3/2010	19.05 - 19.10	0.08333	0.08333	24	96	0.5

21	31/3/2010	19.35 - 19.59.	0.23333	0.23333	12	120	0.5
22	9/4/2010	17.05 - 17.15	0.16667	0.16667	24	168	0.5
23	30/4/2010	18.00-18.08	0.13333	0.13333	48	192	0.7
24	6/5/2010	17.05 - 17.15	0.16667	0.16667	48	480	0.81667
25	7/5/2010	00.06 - 00.10	0.06667	0.06667	12	480	1
26	10/5/2010	20.05 - 20.20	0.25	0.25	12	636	1
27	26/5/2010	09.00-09.30	0.5	0.5	60	648	1
28	7/7/2010	20.00-21.01	1.01667	1.01667	192	660	1.01667
29	21/7/2010	18.00-18.49	0.81667	0.81667	36	696	1.5
30	22/7/2010	12.05-12.18	0.21667	0.21667	12	912	2
31	30/7/2010	14.10-14.19	0.15	0.15	48	1008	2
Total			16.167	16.167	6636	6636	16.167

Langkah – langkah perhitungan TTF

- a. Contoh data yang dihitung adalah TTF pada Tanggal 9 Januari 2008 sampai 23 Januari 2008. Waktu bekerja mesin adalah 12 jam sehari, dan 5 hari dalam seminggu, pada hari libur Nasional dan perayaan hari-hari besar lainnya mesin tidak beroperasi.
- b. Pada periode tanggal 9 Januari 2008 sampai 23 Januari 2008 pukul 14.00 terdapat 10 hari kerja, maka $(10 \text{ hari kerja} \times 12 \text{ jam}) = 120 \text{ jam}$.
- c. Pada priode tanggal 23 Januari 2008 sampai 24 april 2008 pukul 13.00 terdapat 53 hari kerja, maka $(53 \text{ hari kerja} \times 12 \text{ jam}) = 636 \text{ jam}$.

Langkah – langkah perhitungan TTR

- a. Contoh data yang dihitung adalah TTR pada tanggal 9 Januari 2008 adalah sama dengan jumlah downtime.
- b. Jumlah *downtime* = 2 jam.

4.2.9 Identifikasi Distribusi

4.2.9.1 Identifikasi Distribusi Waktu Antar Kerusakan (TTF)

Untuk mengetahui distribusi yang sesuai bagi data waktu antar kerusakan (*time to Failure*) terlebih dahulu dilakukan identifikasi jenis distribusi dengan menggunakan metode *Least square Curve Fitting*. Dari perhitungan ini kita memperoleh nilai *index of fit* dan nilai parameter dari masing – masing distribusi. Sehingga parameter dari masing – masing dapat kita gunakan untuk perhitungan selanjutnya. Distribusi yang digunakan pada tahap perhitungan ini adalah distribusi weibull, distribusi Ekspensial, distribusi normal, dan distribusi lognormal.

A. Identifikasi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) dengan Distribusi Weibull

Tabel 4.8 Perhitungan *index of fit* TTF dengan distribusi Weibull

i	ti	xi = ln(ti)	F(ti)	yi = ln ln (1/(1- F(ti)))	Xi . Yi	Xi ²	Yi ²
1	12	2.48491	0.02303	-3.759492	-9.342	6.17476	14.1338
2	12	2.48491	0.05592	-2.85518	-7.0949	6.17476	8.15205
3	12	2.48491	0.08882	-2.375046	-5.9018	6.17476	5.64084
4	12	2.48491	0.12171	-2.041922	-5.074	6.17476	4.16945
5	12	2.48491	0.15461	-1.784079	-4.4333	6.17476	3.18294
6	12	2.48491	0.1875	-1.571953	-3.9062	6.17476	2.47103
7	12	2.48491	0.22039	-1.390433	-3.4551	6.17476	1.9333
8	24	3.17805	0.25329	-1.230735	-3.9113	10.1	1.51471
9	24	3.17805	0.28618	-1.087286	-3.4555	10.1	1.18219
10	36	3.58352	0.31908	-0.956309	-3.4269	12.8416	0.91453

11	36	3.58352	0.35197	-0.835116	-2.9927	12.8416	0.69742
12	36	3.58352	0.38487	-0.721713	-2.5863	12.8416	0.52087
13	48	3.8712	0.41776	-0.614562	-2.3791	14.9862	0.37769
14	48	3.8712	0.45066	-0.512437	-1.9837	14.9862	0.26259
15	48	3.8712	0.48355	-0.414331	-1.604	14.9862	0.17167
16	48	3.8712	0.51645	-0.319386	-1.2364	14.9862	0.10201
17	48	3.8712	0.54934	-0.226842	-0.8782	14.9862	0.05146
18	60	4.09434	0.58224	-0.136002	-0.5568	16.7637	0.0185
19	96	4.56435	0.61513	-0.046197	-0.2109	20.8333	0.00213
20	120	4.78749	0.64803	0.04325	0.20706	22.9201	0.00187
21	168	5.12396	0.68092	0.1330584	0.68179	26.255	0.0177
22	192	5.2575	0.71382	0.2240388	1.17788	27.6413	0.05019
23	480	6.17379	0.74671	0.31716	1.95808	38.1156	0.10059
24	480	6.17379	0.77961	0.4136549	2.55382	38.1156	0.17111
25	636	6.4552	0.8125	0.5152019	3.32573	41.6696	0.26543
26	648	6.47389	0.84539	0.6242686	4.04145	41.9113	0.38971
27	660	6.49224	0.87829	0.7448425	4.8357	42.1492	0.55479
28	696	6.54535	0.91118	0.8842595	5.78779	42.8416	0.78191
29	912	6.81564	0.94408	1.0591138	7.21854	46.4529	1.12172
30	1008	6.91572	0.97697	1.3273714	9.17973	47.8272	1.76191
Total	6636	129.73	15	-16.5928	-23.461	630.376	50.7161

$$(\sum x_i)^2 = 16829.94408 \quad (\sum y_i)^2 = 275.321057$$

$$\text{Index of fit disatribusi Weibull} = 0.899573097$$

$$\theta = 167.157$$

$$a = -3.5631$$

$$\beta = b = 0.69607$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan :

1. Urutkan data TTF (ti) dari yang terkecil sampai yang terbesar
2. Banyaknya data interval kerusakan = n = 30

$$x_i = \ln t_i \quad x_i = \ln 12 = 2.48490665$$

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad F(t_i) = \frac{1-0,3}{1+0,4} = 0.023026316$$

$$y_i = \ln \ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \quad y_i = \ln \ln \left(\frac{1}{1-0.023026316} \right) = -3.759492$$

Perhitungan parameter :

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

$$\beta = b = \frac{1448.75}{2081.32} = 0.69607$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 4.32434 \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = -0.5531$$

$$a = -0.5531 - (0.69607 \times 4.32434) = -3.5631$$

$$\theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} = e^{-\left(\frac{-0.5531}{0.69607}\right)} = 167.157$$

Index of Fit

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} = \frac{1448.75}{1610.49} = 0.899573097$$

B. Identifikasi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) dengan distribusi Eksponensial

Tabel 4.9 Perhitungan *index of fit* TTF dengan distribusi

Eksponensial

i	ti	xi = ti	F(ti)	yi = ln ln (1/(1- F(ti)))	Xi . Yi	Xi ²	Yi ²
1	12	12	0.02303	-3.759492	-9.342	6.17476	14.1338
2	12	12	0.05592	-2.85518	-7.0949	6.17476	8.15205
3	12	12	0.08882	-2.375046	-5.9018	6.17476	5.64084
4	12	12	0.12171	-2.041922	-5.074	6.17476	4.16945
5	12	12	0.15461	-1.784079	-4.4333	6.17476	3.18294
6	12	12	0.1875	-1.571953	-3.9062	6.17476	2.47103
7	12	12	0.22039	-1.390433	-3.4551	6.17476	1.9333
8	24	24	0.25329	-1.230735	-3.9113	10.1	1.51471
9	24	24	0.28618	-1.087286	-3.4555	10.1	1.18219
10	36	36	0.31908	-0.956309	-3.4269	12.8416	0.91453
11	36	36	0.35197	-0.835116	-2.9927	12.8416	0.69742
12	36	36	0.38487	-0.721713	-2.5863	12.8416	0.52087
13	48	48	0.41776	-0.614562	-2.3791	14.9862	0.37769
14	48	48	0.45066	-0.512437	-1.9837	14.9862	0.26259
15	48	48	0.48355	-0.414331	-1.604	14.9862	0.17167
16	48	48	0.51645	-0.319386	-1.2364	14.9862	0.10201
17	48	48	0.54934	-0.226842	-0.8782	14.9862	0.05146
18	60	60	0.58224	-0.136002	-0.5568	16.7637	0.0185
19	96	96	0.61513	-0.046197	-0.2109	20.8333	0.00213
20	120	120	0.64803	0.04325	0.20706	22.9201	0.00187
21	168	168	0.68092	0.1330584	0.68179	26.255	0.0177
22	192	192	0.71382	0.2240388	1.17788	27.6413	0.05019
23	480	480	0.74671	0.31716	1.95808	38.1156	0.10059
24	480	480	0.77961	0.4136549	2.55382	38.1156	0.17111
25	636	636	0.8125	0.5152019	3.32573	41.6696	0.26543
26	648	648	0.84539	0.6242686	4.04145	41.9113	0.38971

27	660	660	0.87829	0.7448425	4.8357	42.1492	0.55479
28	696	696	0.91118	0.8842595	5.78779	42.8416	0.78191
29	912	912	0.94408	1.0591138	7.21854	46.4529	1.12172
30	1008	1008	0.97697	1.3273714	9.17973	47.8272	1.76191
total	6636	6636	15	-16.5928	-23.461	630.376	50.7161

$$(\sum x_i)^2 = 44036496$$

$$(\sum y_i)^2 = 844.46968$$

Index Of Fit distribusi Eksponensial = 0.95464

$$\lambda = b = 0.00339$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan :

(Urutkan data TTF (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar

- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 30$

$$x_i = t_i \quad x_i = 12$$

$$\bullet \quad F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad F(t_i) = \frac{1-0,3}{1+0,4} = 0.02303$$

$$\bullet \quad y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right) \quad y_i = \ln\left(\frac{1}{1-0.02303}\right) = -3.759492$$

Perhitungan parameter :

$$\bullet \quad \lambda = b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad \lambda = b = \frac{14100.179}{4162896} = 0.00339$$

$$\bullet \quad \text{Index of Fit} = r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}}$$

$$r = \frac{230164.79936}{241100.93867} = 0.95464$$

C. Identifikasi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) dengan Distribusi

Normal

Tabel 4.10 perhitungan *index of fit* TTF dengan distribusi Normal

i	ti	xi = ti	F(ti)	yi = zi	xi . yi	xi ²	yi ²
	(jam)						
1	12	12	1.75	-1.9955	-23.946	144	3.98192
2	12	12	4.25	-1.5898	-19.078	144	2.52749
3	12	12	6.75	-1.3480	-16.176	144	1.81717
4	12	12	9.25	-1.1664	-13.997	144	1.3606
5	12	12	11.75	-1.0169	-12.203	144	1.03415
6	12	12	14.25	-0.8870	-10.644	144	0.78683
7	12	12	16.75	-0.7707	-9.2485	144	0.59399
8	24	24	19.25	-0.6641	-15.938	576	0.44102
9	24	24	21.75	-0.5645	-13.547	576	0.31861
10	36	36	24.25	-0.4703	-16.932	1296	0.22122
11	36	36	26.75	-0.3800	-13.68	1296	0.1444
12	36	36	29.25	-0.2927	-10.538	1296	0.08568

13	48	48	31.75	-0.2075	-9.9615	2304	0.04307
14	48	48	34.25	-0.1239	-5.9451	2304	0.01534
15	48	48	36.75	-0.0411	-1.9751	2304	0.00169
16	48	48	39.25	0.0411	1.97506	2304	0.00169
17	48	48	41.75	0.1239	5.94505	2304	0.01534
18	60	60	44.25	0.2075	12.4518	3600	0.04307
19	96	96	46.75	0.2927	28.1006	9216	0.08568
20	120	120	49.25	0.3800	45.6	14400	0.1444
21	168	168	51.75	0.4703	79.0165	28224	0.22122
22	192	192	54.25	0.5645	108.376	36864	0.31861
23	480	480	56.75	0.6641	318.766	230400	0.44102
24	480	480	59.25	0.7707	369.94	230400	0.59399
25	636	636	61.75	0.8870	564.156	404496	0.78683
26	648	648	64.25	1.0169	658.973	419904	1.03415
27	660	660	66.75	1.1664	769.855	435600	1.3606
28	696	696	69.25	1.3480	938.226	484416	1.81717
29	912	912	71.75	1.5898	1449.91	831744	2.52749
30	1008	1008	74.25	1.9955	2011.44	1016064	3.98192
total	6636	6636	1140	0	7168.91	4162896	26.7464

$$(\sum x_i)^2 = 44036496$$

$$(\sum y_i)^2 = 5.97E-30$$

Index Of Fit distribusi Normal = 0.844385

$$\sigma = 375.9304$$

$$a = -0.58841$$

$$b = 0.00266$$

$$\mu = 221.2$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan :

- Urutkan data TTF (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar
- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 30$

$$x_i = t_i \quad x_i = 12$$

- $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad F(t_i) = \frac{1-0,3}{1+0,4} = 0.02303$
- $y_i = z_i = \phi^{-1}[F(t_i)] \quad y_i = z_i = \phi^{-1}[0,15909] = -1.9955$

dimana nilai y_i didapat dari tabel standardized normal probabilities.

Perhitungan parameter :

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{215067.4}{80850384} = 0.00266$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{6636}{30} = 221.2$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{2.44249E-15}{30} = 8.14E-17$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 8.14E-17 - (0.00266 * 221.2) = -0.58841$$

$$\sigma = \frac{1}{b} = \frac{1}{0.00266} = 375.9304$$

$$\mu = -\left(\frac{a}{b}\right) = -\frac{-0.58841}{0.00266} = 221.2$$

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

$$r = \frac{215067.4}{254703.1} = 0.844385$$

D. Identifikasi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) dengan Distribusi

Lognormal

Tabel 4.11 perhitungan *index of fit* TTF dengan distribusi Lognormal

i	ti	xi =ln ti	F(ti)	yi = zi	xi . yi	xi ²	yi ²
1	12	2.48491	1.75	-1.9955	-4.9586	6.174761	3.98192
2	12	2.48491	4.25	-1.5898	-3.9505	6.174761	2.52749
3	12	2.48491	6.75	-1.3480	-3.3497	6.174761	1.81717
4	12	2.48491	9.25	-1.1664	-2.8985	6.174761	1.3606
5	12	2.48491	11.75	-1.0169	-2.527	6.174761	1.03415
6	12	2.48491	14.25	-0.8870	-2.2042	6.174761	0.78683
7	12	2.48491	16.75	-0.7707	-1.9151	6.174761	0.59399
8	24	3.17805	19.25	-0.6641	-2.1105	10.10003	0.44102
9	24	3.17805	21.75	-0.5645	-1.7939	10.10003	0.31861
10	36	3.58352	24.25	-0.4703	-1.6855	12.84161	0.22122
11	36	3.58352	26.75	-0.3800	-1.3617	12.84161	0.1444
12	36	3.58352	29.25	-0.2927	-1.0489	12.84161	0.08568
13	48	3.8712	31.75	-0.2075	-0.8034	14.9862	0.04307
14	48	3.8712	34.25	-0.1239	-0.4795	14.9862	0.01534
15	48	3.8712	36.75	-0.0411	-0.1593	14.9862	0.00169
16	48	3.8712	39.25	0.0411	0.15929	14.9862	0.00169
17	48	3.8712	41.75	0.1239	0.47947	14.9862	0.01534
18	60	4.09434	44.25	0.2075	0.8497	16.76366	0.04307
19	96	4.56435	46.75	0.2927	1.33605	20.83327	0.08568
20	120	4.78749	49.25	0.3800	1.81925	22.92008	0.1444
21	168	5.12396	51.75	0.4703	2.40999	26.25501	0.22122

22	192	5.2575	54.25	0.5645	2.96764	27.64126	0.31861
23	480	6.17379	56.75	0.6641	4.09998	38.11563	0.44102
24	480	6.17379	59.25	0.7707	4.75819	38.11563	0.59399
25	636	6.4552	61.75	0.8870	5.726	41.66959	0.78683
26	648	6.47389	64.25	1.0169	6.58352	41.91126	1.03415
27	660	6.49224	66.75	1.1664	7.57286	42.14918	1.3606
28	696	6.54535	69.25	1.3480	8.8233	42.8416	1.81717
29	912	6.81564	71.75	1.5898	10.8356	46.45295	2.52749
30	1008	6.91572	74.25	1.9955	13.8001	47.82723	3.98192
Total	6636	129.73	1140	2.44E-15	40.9746	630.3755	26.7464

$$(\sum x_i)^2 = 16829.94$$

$$(\sum y_i)^2 = 5.97E - 30$$

Index of Fit distribusi Lognormal = 0.951202

$$s = 1.693182$$

$$a = -2.55397$$

$$b = 0.590604$$

$$t_{med} = 75.51584$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan:

- Urutkan data TTF (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar
- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 30$

$$x_i = \ln t_i$$

$$x_i = \ln 12 = 2.4849$$

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

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{1 + 0,4} = 0.02303$$

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

$$y_i = z_i = \phi^{-1}[0,15909] = -1.9955$$

- dimana nilai y_i didapat dari tabel standardized normal probabilities.

Perhitungan parameter :

- $$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{1229.237}{2081.322} = 0.590604$$

- $$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{129.73}{30} = 4.324342$$

- $$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{2.44249E-15}{30} = 8.14E-17$$

- $$a = \bar{y} - b\bar{x} = 8.14E-17 - (0.590604 * 4.324342) = -2.55397$$

- $$s = \frac{1}{b} = \frac{1}{0.590604} = 1.693182$$

- $$t_{med} = e^{-sa} = e^{-1.76193025 * -2.55397} = 75.51584$$

- $$e^{s^2/2} = e^{(1.693182)/2} = 4.193066$$

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

$$r = \frac{1229.237}{1292.299} = 0.951202$$

E. Nilai *Index Of Fit* Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) Tiap Distribusi

Pemilihan jenis distribusi dipilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar. Pada data waktu antar kerusakan diperoleh nilai *index of fit* terbesar terdapat pada distribusi Eksponensial. Berikut ini adalah table hasil perhitungan *index of fit* data waktu antar kerusakan dari masing – masing distribusi.

Tabel 4.12 perbandingan nilai *index of fit* waktu antar kerusakan

Distribusi	Index Of Fit
Weibull	0.89957
Eksponensial	0.95464
Normal	0.84438
Lognormal	0.95120

4.2.9.2 Identifikasi Distribusi untuk Data Waktu Perbaikan (TTR)

Langkah – langkah perhitungan untuk mencari nilai *index of fit* pada setiap distribusi untuk data waktu antar perbaikan sama dengan langkah – langkah perhitungan untuk mencari nilai *indek of fit* pada data waktu antar kerusakan yaitu menggunakan metode *Least Suaqre Curve Fittng*. Distribusi yang digunakan adalah distribusi Weibull, Distribusi Eksponensial, Distribusi Normal, dan Distribusi Lognormal.

A. Identifikasi Data Waktu Perbaikan (TTR) dengan Distribusi Weibull

Tabel 4.13 Perhitungan *index of fit TTR* dengan distribusi Weibull

i	ti	xi = ln(ti)	F(ti)	yi = ln ln (1/(1- F(ti)))	Xi . Yi	Xi ²	Yi ²
1	0.06667	-2.7081	0.02229	-3.7922	10.2696	7.33354	14.381
2	0.08333	-2.4849	0.05414	-2.8885	7.1776	6.17476	8.34331
3	0.1	-2.3026	0.08599	-2.4089	5.54678	5.3019	5.80298
4	0.1	-2.3026	0.11783	-2.0764	4.78118	5.3019	4.31161
5	0.13333	-2.0149	0.14968	-1.8193	3.66565	4.05983	3.30974
6	0.13333	-2.0149	0.18153	-1.6079	3.23967	4.05983	2.5852
7	0.15	-1.8971	0.21338	-1.4271	2.70737	3.59906	2.03661
8	0.16667	-1.7918	0.24522	-1.2682	2.27234	3.2104	1.60837
9	0.16667	-1.7918	0.27707	-1.1256	2.01689	3.2104	1.26708
10	0.16667	-1.7918	0.30892	-0.9956	1.78391	3.2104	0.99125
11	0.16667	-1.7918	0.34076	-0.8755	1.5686	3.2104	0.76641
12	0.21667	-1.5294	0.37261	-0.7632	1.16718	2.33905	0.58242
13	0.23333	-1.4553	0.40446	-0.6572	0.95646	2.11786	0.43195
14	0.23333	-1.4553	0.43631	-0.5564	0.80979	2.11786	0.30963
15	0.25	-1.3863	0.46815	-0.4598	0.63744	1.92181	0.21143
16	0.25	-1.3863	0.5	-0.3665	0.50809	1.92181	0.13433
17	0.25	-1.3863	0.53185	-0.2758	0.38235	1.92181	0.07607
18	0.33333	-1.0986	0.56369	-0.187	0.20548	1.20695	0.03498
19	0.43333	-0.8362	0.59554	-0.0996	0.08328	0.69931	0.00992
20	0.5	-0.6931	0.62739	-0.0129	0.00892	0.48045	0.00017
21	0.5	-0.6931	0.65924	0.07377	-0.0511	0.48045	0.00544
22	0.5	-0.6931	0.69108	0.161	-0.1116	0.48045	0.02592
23	0.7	-0.3567	0.72293	0.24958	-0.089	0.12722	0.06229
24	0.81667	-0.2025	0.75478	0.34046	-0.069	0.04102	0.11591
25	1	0	0.78662	0.43483	0	0	0.18908
26	1	0	0.81847	0.53435	0	0	0.28553
27	1	0	0.85032	0.64146	0	0	0.41147
28	1.01667	0.01653	0.88217	0.76009	0.01256	0.00027	0.57774

29	1.5	0.40547	0.91401	0.89754	0.36392	0.1644	0.80558
30	2	0.69315	0.94586	1.07027	0.74186	0.48045	1.14549
31	2	0.69315	0.97771	1.33592	0.92599	0.48045	1.78467
total	16.167	-34.256	15.5	-17.164	51.5122	65.6541	52.6036

$$\left(\sum x_i\right)^2 = 1173.5 \qquad \left(\sum y_i\right)^2 = 294.62$$

Index of fit disatribusi Weibull = 0.940207864

$$\theta = 0.53149$$

$$a = 0.73996$$

$$\beta = b = 1.17069$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan :

1. Urutkan data TTR (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar
2. Banyaknya data interval kerusakan = $n = 31$

$$x_i = \ln t_i \qquad x_i = \ln 0.06667 = -2.7081$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \qquad F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{1 + 0,4} = 0.02229$$

$$y_i = \ln \ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \qquad y_i = \ln \ln \left(\frac{1}{1 - 0.02229} \right) = -3.7922$$

Perhitungan parameter :

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

$$\beta = b = \frac{1008.89}{861.792} = 1.17069$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = -1.105 \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = -0.5537$$

$$a = -0.5537 - (1.17069x - 1.105) = 0.73996$$

$$\theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} = e^{-\left(\frac{0.73996}{1.17069}\right)} = 0.53149$$

Index of Fit

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

$$r = \frac{1008.89}{1073.05} = 0.940207864$$

B. Identifikasi Data Waktu Perbaikan (TTR) dengan distribusi

Ekspensial

Tabel 4.14 Perhitungan *index of fit* TTR dengan distribusi Ekspensial

i	ti	xi = ti	F(ti)	yi = ln ln (1/(1- F(ti)))	Xi . Yi	Xi ²	Yi ²
1	0.06667	0.06667	0.02229	0.02255	0.0015	0.00444	0.00051
2	0.08333	0.08333	0.05414	0.05566	0.00464	0.00694	0.0031
3	0.1	0.1	0.08599	0.08991	0.00899	0.01	0.00808
4	0.1	0.1	0.11783	0.12538	0.01254	0.01	0.01572
5	0.13333	0.13333	0.14968	0.16214	0.02162	0.01778	0.02629
6	0.13333	0.13333	0.18153	0.20032	0.02671	0.01778	0.04013
7	0.15	0.15	0.21338	0.24	0.036	0.0225	0.0576

8	0.16667	0.16667	0.24522	0.28133	0.04689	0.02778	0.07915
9	0.16667	0.16667	0.27707	0.32444	0.05407	0.02778	0.10526
10	0.16667	0.16667	0.30892	0.3695	0.06158	0.02778	0.13653
11	0.16667	0.16667	0.34076	0.41667	0.06945	0.02778	0.17362
12	0.21667	0.21667	0.37261	0.46619	0.10101	0.04694	0.21733
13	0.23333	0.23333	0.40446	0.51828	0.12093	0.05444	0.26862
14	0.23333	0.23333	0.43631	0.57324	0.13376	0.05444	0.32861
15	0.25	0.25	0.46815	0.6314	0.15785	0.0625	0.39866
16	0.25	0.25	0.5	0.69315	0.17329	0.0625	0.48045
17	0.25	0.25	0.53185	0.75896	0.18974	0.0625	0.57602
18	0.33333	0.33333	0.56369	0.82941	0.27647	0.11111	0.68792
19	0.43333	0.43333	0.59554	0.90521	0.39226	0.18778	0.8194
20	0.5	0.5	0.62739	0.98722	0.49361	0.25	0.9746
21	0.5	0.5	0.65924	1.07656	0.53828	0.25	1.15899
22	0.5	0.5	0.69108	1.17468	0.58734	0.25	1.37988
23	0.7	0.7	0.72293	1.28348	0.89844	0.49	1.64733
24	0.81667	0.81667	0.75478	1.40559	1.1479	0.66694	1.97568
25	1	1	0.78662	1.5447	1.5447	1	2.3861
26	1	1	0.81847	1.70634	1.70634	1	2.9116
27	1	1	0.85032	1.89925	1.89925	1	3.60713
28	1.01667	1.01667	0.88217	2.13848	2.17412	1.03361	4.57308
29	1.5	1.5	0.91401	2.45356	3.68033	2.25	6.01994
30	2	2	0.94586	2.91618	5.83236	4	8.5041
31	2	2	0.97771	3.80348	7.60697	4	14.4665
total	16.167	16.1667	15.5	30.0533	29.9989	17.0333	54.0279

$$\left(\sum x_i\right)^2 = 261.36111 \quad \left(\sum y_i\right)^2 = 903.19869$$

Index of fit distribusi eksponensial = 0.97845

$$\lambda = b = 1.76119$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan :

(Urutkan data TTR (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar

- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 31$

$$x_i = t_i \quad x_i = 0.0667$$

$$\bullet \quad F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad F(t_i) = \frac{1-0,3}{1+0,4} = 0.02229$$

$$\bullet \quad y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right) \quad y_i = \ln\left(\frac{1}{1-0.02229}\right) = -0.02255$$

Perhitungan parameter :

$$\bullet \quad \lambda = b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad \lambda = b = \frac{29.998922}{17.0333} = 1.76119$$

$$\bullet \quad \text{Index of Fit} = r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right) \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2 \right]}}$$

$$r = \frac{444.10548}{453.63210} = 0.97845$$

C. Identifikasi Data Waktu Antar Perbaikan (TTR) dengan Distribusi Normal

Tabel 4.15 perhitungan *index of fit* TTR dengan distribusi Normal

i	ti	xi = ti	F(ti)	yi = zi	xi . yi	xi ²	yi ²
	(jam)						
1	0.06667	0.06667	0.02229	-2.0083	-0.1339	0.00444	4.0334
2	0.08333	0.08333	0.05414	-1.6064	-0.1339	0.00694	2.5804
3	0.1	0.1	0.08599	-1.3656	-0.1366	0.01	1.86493
4	0.1	0.1	0.11783	-1.186	-0.1186	0.01	1.4066
5	0.13333	0.13333	0.14968	-1.0378	-0.1384	0.01778	1.07708
6	0.13333	0.13333	0.18153	-0.9096	-0.1213	0.01778	0.82743
7	0.15	0.15	0.21338	-0.7948	-0.1192	0.0225	0.63175
8	0.16667	0.16667	0.24522	-0.6897	-0.1149	0.02778	0.47567
9	0.16667	0.16667	0.27707	-0.5915	-0.0986	0.02778	0.34989
10	0.16667	0.16667	0.30892	-0.4989	-0.0831	0.02778	0.24889
11	0.16667	0.16667	0.34076	-0.4103	-0.0684	0.02778	0.16832
12	0.21667	0.21667	0.37261	-0.325	-0.0704	0.04694	0.10563
13	0.23333	0.23333	0.40446	-0.2418	-0.0564	0.05444	0.05846
14	0.23333	0.23333	0.43631	-0.1603	-0.0374	0.05444	0.02568
15	0.25	0.25	0.46815	-0.0798	-0.0199	0.0625	0.00636
16	0.25	0.25	0.5	0	0	0.0625	0
17	0.25	0.25	0.53185	0.07975	0.01994	0.0625	0.00636
18	0.33333	0.33333	0.56369	0.16026	0.05342	0.11111	0.02568
19	0.43333	0.43333	0.59554	0.24179	0.10478	0.18778	0.05846
20	0.5	0.5	0.62739	0.325	0.1625	0.25	0.10563
21	0.5	0.5	0.65924	0.41027	0.20514	0.25	0.16832
22	0.5	0.5	0.69108	0.49889	0.24944	0.25	0.24889
23	0.7	0.7	0.72293	0.59152	0.41406	0.49	0.34989
24	0.81667	0.81667	0.75478	0.68969	0.56324	0.66694	0.47567
25	1	1	0.78662	0.79483	0.79483	1	0.63175
26	1	1	0.81847	0.90963	0.90963	1	0.82743
27	1	1	0.85032	1.03783	1.03783	1	1.07708
28	1.01667	1.01667	0.88217	1.186	1.20577	1.03361	1.4066

29	1.5	1.5	0.91401	1.36563	2.04844	2.25	1.86493
30	2	2	0.94586	1.60636	3.21273	4	2.5804
31	2	2	0.97771	2.00833	4.01667	4	4.0334
total	16.167	16.1667	15.5	0	13.5474	17.0333	27.721

$$\left(\sum x_i\right)^2 = 261.36$$

$$\left(\sum y_i\right)^2 = 0$$

Index Of Fit distribusi Normal = 0.87729

$$\sigma = 0.634981$$

$$a = -0.82129$$

$$b = 1.574849$$

$$\mu = 0.521505$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan :

- Urutkan data TTR (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar
- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 31$

$$x_i = t_i \quad x_i = 0.06667$$

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad F(t_i) = \frac{1-0,3}{1+0,4} = 0.022293$$

$$y_i = z_i = \phi^{-1}[F(t_i)] \quad y_i = z_i = \phi^{-1}0.022293 = -2.0083$$

dimana nilai y_i didapat dari tabel standardized normal probabilities.

Perhitungan parameter :

$$\bullet \quad b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{419.97}{266.67} = 1.5748$$

$$\bullet \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{16.167}{31} = 0.5215$$

$$\bullet \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{0}{30} = 0$$

$$\bullet \quad a = \bar{y} - b\bar{x} = 0 - (1.5748 * 0.5215) = -0.821$$

$$\bullet \quad \sigma = \frac{1}{b} = \frac{1}{1.5748} = 0.635$$

$$\bullet \quad \mu = -\left(\frac{a}{b}\right) = -\frac{-0.821}{1.5748} = 0.5215$$

$$\bullet \quad \text{Index of Fit} = r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}}$$

$$r = \frac{419.97}{478.71} = 0.877289$$

D. Identifikasi Data Waktu Antar Perbaikan (TTR) dengan Distribusi

Lognormal

Tabel 4.16 perhitungan *index of fit* TTR dengan distribusi Lognormal

i	ti (jam)	xi = ln(ti)	F(ti)	yi = zi	xi . yi	xi ²	yi ²
1	0.06667	-2.7081	0.02229	-2.0083	5.43867	7.33354	4.0334
2	0.08333	-2.4849	0.05414	-1.6064	3.99166	6.17476	2.5804
3	0.1	-2.3026	0.08599	-1.3656	3.14447	5.3019	1.86493
4	0.1	-2.3026	0.11783	-1.186	2.73087	5.3019	1.4066
5	0.13333	-2.0149	0.14968	-1.0378	2.09112	4.05983	1.07708
6	0.13333	-2.0149	0.18153	-0.9096	1.83282	4.05983	0.82743
7	0.15	-1.8971	0.21338	-0.7948	1.50788	3.59906	0.63175
8	0.16667	-1.7918	0.24522	-0.6897	1.23575	3.2104	0.47567
9	0.16667	-1.7918	0.27707	-0.5915	1.05985	3.2104	0.34989
10	0.16667	-1.7918	0.30892	-0.4989	0.89389	3.2104	0.24889
11	0.16667	-1.7918	0.34076	-0.4103	0.73511	3.2104	0.16832
12	0.21667	-1.5294	0.37261	-0.325	0.49705	2.33905	0.10563
13	0.23333	-1.4553	0.40446	-0.2418	0.35188	2.11786	0.05846
14	0.23333	-1.4553	0.43631	-0.1603	0.23322	2.11786	0.02568
15	0.25	-1.3863	0.46815	-0.0798	0.11056	1.92181	0.00636
16	0.25	-1.3863	0.5	0	0	1.92181	0
17	0.25	-1.3863	0.53185	0.07975	-0.1106	1.92181	0.00636
18	0.33333	-1.0986	0.56369	0.16026	-0.1761	1.20695	0.02568
19	0.43333	-0.8362	0.59554	0.24179	-0.2022	0.69931	0.05846
20	0.5	-0.6931	0.62739	0.325	-0.2253	0.48045	0.10563
21	0.5	-0.6931	0.65924	0.41027	-0.2844	0.48045	0.16832
22	0.5	-0.6931	0.69108	0.49889	-0.3458	0.48045	0.24889
23	0.7	-0.3567	0.72293	0.59152	-0.211	0.12722	0.34989
24	0.81667	-0.2025	0.75478	0.68969	-0.1397	0.04102	0.47567
25	1	0	0.78662	0.79483	0	0	0.63175
26	1	0	0.81847	0.90963	0	0	0.82743
27	1	0	0.85032	1.03783	0	0	1.07708
28	1.01667	0.01653	0.88217	1.186	0.0196	0.00027	1.4066

29	1.5	0.40547	0.91401	1.36563	0.55371	0.1644	1.86493
30	2	0.69315	0.94586	1.60636	1.11345	0.48045	2.5804
31	2	0.69315	0.97771	2.00833	1.39207	0.48045	4.0334
Total	16.167	-34.256	15.5	0	27.2387	65.6541	27.721

$$\left(\sum x_i\right)^2 = 1173.484 \quad \left(\sum y_i\right)^2 = 0$$

Index of Fit distribusi Lognormal = 0.98121

$$s = 1.020597$$

$$a = 1.082736$$

$$b = 0.979818$$

$$t_{\text{med}} = 0.331199$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan:

- Urutkan data TTR (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar
- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 31$

$$x_i = \ln t_i \quad x_i = \ln 12 = 2.4849$$

$$\bullet \quad F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \quad F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{1 + 0,4} = 0.02229$$

$$\bullet \quad y_i = z_i = \phi^{-1}[F(t_i)] \quad y_i = z_i = \phi^{-1}0.02229 = - 2.0083$$

dimana nilai y_i didapat dari tabel standardized normal probabilities.

Perhitungan parameter :

- $$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{844.3997}{861.7921} = 0.979818$$

- $$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{-34.256}{31} = -1.10504$$

- $$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{0}{30} = 0$$

- $$a = \bar{y} - b\bar{x} = 0 - (0.979818 * -1.10504) = 1.082736$$

- $$s = \frac{1}{b} = \frac{1}{0.979818} = 1.020597$$

- $$t_{med} = e^{-sa} = e^{-11.020597 * 1.082736} = -1.10504$$

- $$e^{s^2/2} = e^{(1.020597)^2/2} = 0.520809$$

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

$$r = \frac{844.3997}{860.5706} = 0.981209$$

E. Nilai *Index Of Fit* Data Waktu Antar Perbaikan (TTR) Tiap Distribusi

Pemilihan jenis distribusi dipilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar. Pada data waktu antar perbaikan diperoleh nilai *index of fit* terbesar terdapat pada distribusi Lognormal. Berikut ini adalah table hasil perhitungan *index of fit* data waktu antar kerusakan dari masing – masing distribusi.

Tabel 4.17 Perbandingan nilai *index of fit* waktu antar perbaikan

Distribusi	Index Of Fit
Weibull	0.92599
Eksponensial	0.97845
Normal	0.87729
Lognormal	0.98121

4.3 Uji Kecocokan Distribusi (uji *Goodness Of Fit*)

Berdasarkan hasil pemilihan nilai *index of fit* terbesar untuk data waktu antar kerusakan, maka dilakukan pengujian kesesuaian distribusi untuk menentukan apakah data waktu antar kerusakan (TTF) pada komponen kritis benar – benar mendekati distribusi yang sesuai dengan *index of fit* terbesar.

Pengujian yang digunakan untuk masing – masing distribusi tersebut adalah sebagai berikut :

1. *mann'test* dengan $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi Weibull.
2. *Kolmogorov – Smirnov Test* dengan $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi Normal dan Lognormal.

3. *Bartlett test* dengan $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi Eksponensial.

4.3.1 Uji *Goodness Of Fit* Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF)

Distribusi yang akan diuji pada data waktu antar kerusakan (TTF) pada komponen kritis adalah distribusi Eksponensial, maka pengujian yang akan dilakukan adalah uji *Mann's Test*. Langkah-langkah pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. H_0 : Data waktu perbaikan berdistribusi Eksponensial
2. H_1 : Data waktu perbaikan tidak berdistribusi Eksponensial.
3. Taraf nyata (α) = 0,05.
4. Wilayah kritik : Terima H_0 jika $X_{\alpha/2;r-1}^2 < B < X_{1-\alpha/2;r-1}^2$

Tabel 4.18 Perhitungan Uji *Goodness Of Fit* Data Waktu Kerusakan dengan

Bartlett Test untuk Distribusi Eksponensial

i	ti	ln ti
	(jam)	
1	12	2.48491
2	12	2.48491
3	12	2.48491
4	12	2.48491
5	12	2.48491
6	12	2.48491
7	12	2.48491
8	24	3.17805
9	24	3.17805
10	36	3.58352
11	36	3.58352

12	36	3.58352
13	48	3.8712
14	48	3.8712
15	48	3.8712
16	48	3.8712
17	48	3.8712
18	60	4.09434
19	96	4.56435
20	120	4.78749
21	168	5.12396
22	192	5.2575
23	480	6.17379
24	480	6.17379
25	636	6.4552
26	648	6.47389
27	660	6.49224
28	696	6.54535
29	912	6.81564
30	1008	6.91572
Total	6636	129.73

$$B = \frac{2(30) \left[\ln \left(\frac{6636}{30} \right) - \left(\frac{129.73}{30} \right) \right]}{1 + \frac{30+1}{6(30)}}$$

$$B = \frac{60[5.399067 - 4.324342]}{1.177778}$$

$$B = \frac{64.48349}{1.177778}$$

$$= 54.75013$$

5. Kesimpulan : $18,493 < B = 54,75013 < 43,773$, maka H_0 ditolak dan data waktu perbaikan tidak berdistribusi Eksponensial.

Karena data waktu perbaikan setelah dilakukan uji *Goodnes of fit* dengan *Bartlett Test* tidak berdistribusi Eksponensial, maka dilakukan pengujian *Goodness of fit* berikutnya yaitu *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk uji Lognormal. Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut :

1. H_0 : Data waktu perbaikan berdistribusi Lognormal.
2. H_1 : Data waktu perbaikan tidak berdistribusi Lognormal.
3. Taraf nyata (α) = 0,05.
4. Wilayah kritik : Terima H_0 jika $D_{30} < D_{critical,0.05} = 0.242$

Tabel 4.19 Perhitungan *Goodnes of fit* Data Waktu Kerusakan dengan *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk distribusi Lognormal

Uji Goodness Of Fit Data TTF Dengan Kolmogorov-Smirnov Untuk Distribusi Lognormal									
i	(i - 1)/n	i/n	ti'	ti = ln ti'	(ti - M) ²	Zi = (ti - t)/s	Φ(Zi)	D1(i)	D2(i)
			(jam)						
1	0	0.03333	12	2.484907	0	-0.75776	0.2242708	0.2242708	-0.1909
2	0.03333	0.06667	12	2.484907	0	-0.75776	0.2242708	0.1909374	-0.1576
3	0.06667	0.1	12	2.484907	0	-0.75776	0.2242708	0.1576041	-0.1243
4	0.1	0.13333	12	2.484907	0	-0.75776	0.2242708	0.1242708	-0.0909
5	0.13333	0.16667	12	2.484907	0	-0.75776	0.2242708	0.0909374	-0.0576
6	0.16667	0.2	12	2.484907	0	-0.75776	0.2242708	0.0576041	-0.0243
7	0.2	0.23333	12	2.484907	0	-0.75776	0.2242708	0.0242708	0.00906
8	0.23333	0.26667	24	3.178054	0.4805	-0.47222	0.3099343	0.076601	-0.0433
9	0.26667	0.3	24	3.178054	0.4805	-0.47222	0.3099343	0.0432677	-0.0099
10	0.3	0.33333	36	3.583519	1.2069	-0.30519	0.3801294	0.0801294	-0.0468
11	0.33333	0.36667	36	3.583519	1.2069	-0.30519	0.3801294	0.0467961	-0.0135
12	0.36667	0.4	36	3.583519	1.2069	-0.30519	0.3801294	0.0134628	0.01987
13	0.4	0.43333	48	3.871201	1.9218	-0.18667	0.4247	0.0247	0.00863
14	0.43333	0.46667	48	3.871201	1.9218	-0.18667	0.4247	-0.008633	0.04197

15	0.46667	0.5	48	3.871201	1.9218	-0.18667	0.4247	-0.041967	0.0753
16	0.5	0.53333	48	3.871201	1.9218	-0.18667	0.4247	-0.0753	0.10863
17	0.53333	0.56667	48	3.871201	1.9218	-0.18667	0.4247	-0.108633	0.14197
18	0.56667	0.6	60	4.094345	2.5903	-0.09475	0.4622005	-0.104466	0.1378
19	0.6	0.63333	96	4.564348	4.3241	0.09887	0.5389085	-0.061092	0.09442
20	0.63333	0.66667	120	4.787492	5.3019	0.19080	0.5756186	-0.057715	0.09105
21	0.66667	0.7	168	5.123964	6.9646	0.32941	0.629075	-0.037592	0.07093
22	0.7	0.73333	192	5.257495	7.6872	0.38442	0.6496342	-0.050366	0.0837
23	0.73333	0.76667	480	6.173786	13.608	0.76189	0.7769661	0.0436327	-0.0103
24	0.76667	0.8	480	6.173786	13.608	0.76189	0.7769661	0.0102994	0.02303
25	0.8	0.83333	636	6.455199	15.763	0.87782	0.8099885	0.0099885	0.02334
26	0.83333	0.86667	648	6.473891	15.912	0.88552	0.8120894	-0.021244	0.05458
27	0.86667	0.9	660	6.49224	16.059	0.89308	0.8140996	-0.052567	0.0859
28	0.9	0.93333	696	6.54535	16.487	0.91495	0.8198881	-0.080112	0.11345
29	0.93333	0.96667	912	6.81564	18.755	1.02630	0.8472425	-0.086091	0.11942
30	0.96667	1	1008	6.915723	19.632	1.06753	0.8571322	-0.109534	0.14287
				129.7303	170.88				

$$n = 30$$

$$M = \bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{129.7303}{30} = 0.26435$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - M)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{170.88}{30-1}} = 2.42745$$

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} = 0.224271$$

$$D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} = 0.142868$$

$$D_n = \max(\text{antara } D_1 \text{ dengan } D_2) = 0.224271$$

5. Kesimpulan : $D_{hitung}(0,224271) < D_{tabel}(0.242)$, maka H_0 diterima dan data waktu perbaikan berdistribusi Lognormal.

4.3 .2 Uji Goodness Of Fit Distribusi Distribusi Data Waktu Perbaikan (TTR)

Distribusi yang akan diuji pada data waktu perbaikan (TTR) pada komponen kritis adalah distribusi Lognormal, maka pengujian yang dilakukan adalah uji *Kolmogorov-Smirnov Test*. Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut :

1. H_0 : Data waktu perbaikan berdistribusi Lognormal.
2. H_1 : Data waktu perbaikan tidak berdistribusi Lognormal,
3. Taraf nyata (α) = 0,05.
4. Wilayah kritik : Terima H_0 jika $D_{30} < D_{critical,0.05} = 0.242$

Tabel 4.19 Perhitungan Uji Goodness Of Fit Dengan *Kolmogorov – Smirnov Test* untuk Distribusi Lognormal

Uji Goodness Of Fit Data TTR Dengan Kolmogorov-Smirnov Untuk Distribusi Lognormal									
i	(i - 1)/n	i/n	ti'	ti = ln ti'	(ti - M) ²	Zi = (ti - t)/s	Φ(Zi)	D1(i)	D2(i)
			(jam)						
1	0	0.03226	0.06667	-2.70805	2.56965	-1.665242	0.0479758	0.04797584	-0.0157178
2	0.0323	0.06452	0.08333	-2.48491	1.904039	-1.433436	0.0758847	0.04362659	-0.0113685
3	0.0645	0.09677	0.1	-2.30259	1.434121	-1.244036	0.1067331	0.04221696	-0.0099589
4	0.0968	0.12903	0.1	-2.30259	1.434121	-1.244036	0.1067331	0.00995889	0.02229917
5	0.129	0.16129	0.13333	-2.0149	0.827856	-0.945187	0.1736	0.04456774	-0.0123097
6	0.1613	0.19355	0.13333	-2.0149	0.827856	-0.945187	0.1736	0.01230968	0.01994839
7	0.1935	0.22581	0.15	-1.89712	0.627395	-0.822831	0.2053073	0.01175888	0.02049919

8	0.2258	0.25806	0.16667	-1.79176	0.471587	-0.713381	0.237852	0.01204556	0.0202125
9	0.2581	0.29032	0.16667	-1.79176	0.471587	-0.713381	0.237852	-0.0202125	0.05247057
10	0.2903	0.32258	0.16667	-1.79176	0.471587	-0.713381	0.237852	-0.05247057	0.08472863
11	0.3226	0.35484	0.16667	-1.79176	0.471587	-0.713381	0.237852	-0.08472863	0.1169867
12	0.3548	0.3871	0.21667	-1.5294	0.18008	-0.440831	0.3297007	-0.02513802	0.05739608
13	0.3871	0.41935	0.23333	-1.45529	0.122675	-0.363847	0.3579768	-0.02912001	0.06137807
14	0.4194	0.45161	0.23333	-1.45529	0.122675	-0.363847	0.3579768	-0.06137807	0.09363614
15	0.4516	0.48387	0.25	-1.38629	0.079106	-0.292175	0.3850733	-0.06653956	0.09879763
16	0.4839	0.51613	0.25	-1.38629	0.079106	-0.292175	0.3850733	-0.09879763	0.13105569
17	0.5161	0.54839	0.25	-1.38629	0.079106	-0.292175	0.3850733	-0.13105569	0.16331376
18	0.5484	0.58065	0.33333	-1.09861	4.13E-05	0.006674	0.5013302	-0.04705686	0.07931493
19	0.5806	0.6129	0.43333	-0.83625	0.072248	0.279224	0.6099972	0.02935205	0.00290602
20	0.6129	0.64516	0.5	-0.69315	0.169653	0.427880	0.6656367	0.05273343	-0.0204754
21	0.6452	0.67742	0.5	-0.69315	0.169653	0.427880	0.6656367	0.02047537	0.0117827
22	0.6774	0.70968	0.5	-0.69315	0.169653	0.427880	0.6656367	-0.0117827	0.04440476
23	0.7097	0.74194	0.7	-0.35667	0.560046	0.777414	0.78155	0.07187253	-0.0396145
24	0.7419	0.77419	0.81667	-0.20252	0.81453	0.937548	0.8257626	0.0838271	-0.051569
25	0.7742	0.80645	1	0	1.221107	1.147935	0.8744869	0.10029338	-0.0680353
26	0.8065	0.83871	1	0	1.221107	1.147935	0.8744869	0.06803531	-0.0357772
27	0.8387	0.87097	1	0	1.221107	1.147935	0.8744869	0.03577725	-0.0035192
28	0.871	0.90323	1.01667	0.01653	1.257912	1.165106	0.8780211	0.00705338	0.02520469
29	0.9032	0.93548	1.5	0.40547	2.281617	1.569140	0.9416968	0.03847097	-0.0062129
30	0.9355	0.96774	2	0.69315	3.233467	1.867990	0.9691593	0.0336754	-0.0014173
31	0.9677	1	2	0.69315	3.233467	1.867990	0.9691593	0.00141734	0.03084072
				-34.2562	27.79974				

5. Kesimpulan : $D_{hitung}(0,2133) < D_{tabel}(0,242)$, maka H_0 diterima dan

data waktu perbaikan berdistribusi Lognormal.

4.4 Perhitungan Nilai Rata – rata Waktu Antar Kerusakan (MTTF) dan Nilai Rata –rata Waktu Perbaikan berdistribusi (MTTR)

4.4.1 Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) Data Waktu Antar Kerusakan

Setelah diketahui bahwa terpilih untuk data waktu perbaikan adalah distribusi Lognormal, maka perhitungan selanjutnya adalah menghitung MTTF. Nilai yang akan digunakan pada perhitungan MTTF adalah parameter –parameter dari distribusi Lognormal. Dari perhitungan berdasarkan persamaan diperoleh nilai

$$t_{med} = e^{-sa} = 75.51584$$

$$e^{s^2/2} = 4.193066$$

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

$$MTTF = 75.51584 \times 4.193066 = 316.6429 \text{ jam.}$$

4.5.2 Perhitungan *Mean Time To Repair* (MTTR) Data Waktu Perbaikan

Setelah diketahui bahwa terpilih untuk data waktu perbaikan adalah distribusi Lognormal, maka perhitungan selanjutnya adalah menghitung MTTR. Nilai yang akan digunakan pada perhitungan MTTR adalah parameter –parameter dari distribusi Lognormal. Dari perhitungan berdasarkan persamaan diperoleh nilai

$$t_{med} = e^{-sa} = 0.331199$$

$$e^{s^2/2} = 1.68339$$

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

$$MTTR = 0.331199 \times 1.68339 = 0.557536 \text{ jam.}$$

4.5 Perhitungan Interval Waktu Pengganti Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi *Downtime*

Setelah mengetahui distribusi yang sesuai untuk data *Time To Failure* dan *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 $t_p = 310$ jam dan seterusnya.

1. Data interval waktu antar kerusakan atau Time To Failure (TTF) berdistribusi Lognormal, dengan nilai :
 - a. $MTTF = 316.6428997$
 - b. $t_{med} = e^{-sa} = 75.5158318$
 - c. $s = \frac{1}{b} = 1.693181716$
2. Data dengan perbaikan atau Time To Repair (TTR) berdistribusi Longnormal, dengan nilai :
 - a. $MTTR = T_f = T_p = 0.557536$

Tabel 4.20 Interval Penggantian Komponen Kritis

tp (jam)	$(1/s * \ln$ $tp/tmed)$	$F(tp)=\Phi(1/s$ $* \ln$ $tp/tmed)$	$R(tp)=1 -$ $F(tp)$	$Tp * R(tp)$	$Tf * F(tp)$	M(tp)	D(tp)
310	0.834068669	0.79787886	0.20212114	0.112689855	0.44484635	396.8559	0.001467749
320	0.852819579	0.80312032	0.19687968	0.10976755	0.44776865	394.2658	0.001466421
330	0.870993446	0.80812113	0.19187887	0.106979414	0.45055679	391.826	0.001465194
340	0.888624727	0.8128976	0.1871024	0.104316361	0.45321984	389.5237	0.00146406
350	0.905744884	0.81746455	0.18253545	0.101770121	0.45576608	387.3476	0.001463012
360	0.922382718	0.82183551	0.17816449	0.099333153	0.45820305	385.2874	0.001462046
370	0.938564664	0.82602285	0.17397715	0.09699856	0.46053764	383.3343	0.001461156
380	0.954315039	0.8300379	0.1699621	0.094760023	0.46277618	381.48	0.001460337
390	0.969656267	0.83389107	0.16610893	0.092611741	0.46492446	379.7173	0.001459584
400	0.984609067	0.83759193	0.16240807	0.090548377	0.46698782	378.0396	0.001458894
410	0.999192624	0.84114931	0.15885069	0.088565012	0.46897119	376.4408	0.001458262
420	1.013424736	0.84457134	0.15542866	0.086657107	0.47087909	374.9155	0.001457685
430	1.027321943	0.84786555	0.15213445	0.084820461	0.47271574	373.4589	0.001457161
440	1.040899646	0.85103894	0.14896106	0.083051185	0.47448502	372.0663	0.001456684
450	1.054172206	0.85409796	0.14590204	0.08134567	0.47619053	370.7337	0.001456254
460	1.067153038	0.85704863	0.14295137	0.079700562	0.47783564	369.4573	0.001455868
470	1.07985469	0.85989655	0.14010345	0.078112743	0.47942346	368.2337	0.001455522
480	1.092288919	0.86264694	0.13735306	0.076579306	0.48095689	367.0597	0.001455215
490	1.104466754	0.86530464	0.13469536	0.075097539	0.48243866	365.9323	0.001454944
500	1.116398555	0.86787421	0.13212579	0.073664909	0.48387129	364.8488	0.001454708
510	1.128094067	0.8703599	0.1296401	0.072279047	0.48525715	363.8069	0.001454505
520	1.139562467	0.87276569	0.12723431	0.070937736	0.48659846	362.804	0.001454332
530	1.150812409	0.87509529	0.12490471	0.069638897	0.4878973	361.8382	0.00145419
540	1.161852058	0.87735222	0.12264778	0.068380578	0.48915562	360.9074	0.001454075
550	1.172689134	0.87953975	0.12046025	0.067160947	0.49037525	360.0098	0.001453986
560	1.183330937	0.88166099	0.11833901	0.065978281	0.49155792	359.1436	0.001453923
570	1.193784379	0.88371884	0.11628116	0.064830957	0.49270524	358.3073	0.001453883
580	1.204056013	0.88571604	0.11428396	0.063717448	0.49381875	357.4993	0.001453867
590	1.214152055	0.88765517	0.11234483	0.062636311	0.49489989	356.7184	0.001453871
600	1.224078407	0.88953867	0.11046133	0.061586188	0.49595001	355.9631	0.001453896
610	1.23384068	0.89136886	0.10863114	0.060565792	0.49697041	355.2322	0.001453941

Keterangan :

tf = waktu untuk melakukan perbaikan kerusakan komponen

Tp = waktu untuk melakukan penggantian *preventif*

t_p = panjang interval waktu untuk melakukan pergantian

$R(t_p)$ = probabilitas terjadinya siklus pencegahan

$F(t_p)$ = probabilitas terjadinya siklus kerusakan

$D(t_p)$ = total *downtime* per unit waktu

Langkah – langkah perhitungan sebagai berikut :

$$R(t_p) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) = 1 - \phi\left(\frac{1}{1.693181716} \ln \frac{580}{75.51584318}\right) = 1.204056013$$

$$M(580) = \frac{MTTF}{1 - R(t_p)} = \frac{316.6428997}{1 - 0.22586} = 357.50129$$

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

$$D(580) = \frac{0.557536201}{383.4879384} = 0.001453856$$

Dari tabel perhitungan dihasilkan :

a. Min D (tp) = 0.001453867

b. Age Replacement = 580 jam

4.6 Penentuan Frekuensi dan Interval Waktu Pemeriksaan Dengan Kriteria Minimasi *Downtime*

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan, diketahui bahwa waktu Ppemeriksaan komponen *filling valve* pada mesin filler adalah 60 menit atau 1 jam.

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan:

1. Perhitungan jumlah kerusakan (k)

a. Frekuensi kerusakan komponen = 31 kali

b. Periode penelitian = 32 bulan

$$c. K = \frac{\text{Frekuensi jumlah kerusakan}}{\text{Periode jumlah kerusakan}} = \frac{31}{32} = 0,96875$$

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

a. MTTR = 0.56779818 jam

b. Jam kerja per bulan (1 minggu = 5 hari kerja, 1 bulan = 4 minggu kerja, dan 1 hari = 12 jam kerja), sehingga jam kerja per bulan = $4 \times 5 \times 12 = 240$ jam/bulan.

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

$$= \frac{\text{MTTR}}{\text{jam kerja per bulan}} = \frac{0.56779818}{240} = 0.0023658$$

$$d. \mu = \frac{1}{0.0023658} = 422.685398$$

3. Waktu rata-rata untuk melakukan pemeriksaan ($1/i$)

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

b. Jam kerja/bulan = 240 jam/bulan

c. Rata-rata waktu pemeriksaan = $\frac{1}{240} = 0.0041666$

d. $i = \frac{1}{0.0041666} = 240 \text{ jam}$

4. Perhitungan frekuensi (n) dan Interval Pemeriksaan (I/n)

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

b. $n = \sqrt{\frac{0.986875 \times 240}{422.685398}} = 0.741656583 = 1 \text{ pemeriksaan/bulan}$

c. interval waktu pemeriksaan = $\frac{1}{n} \times \text{jam kerja}$
 $= \frac{1}{1} \times 240 = 240 \text{ jam}$

4.7 Perhitungan Availability (Ketersediaan)

Total *availability* atau ketersediaan komponen kritis diperoleh dari hasil kali *availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan dengan *availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan. Langkah perhitungannya:

- *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan

$$D(n) = \frac{k}{n \circ \mu} + \frac{n}{i}$$

$$D(n) = \frac{0.986875}{1 \times 422.6853982} + \frac{1}{240} = 0.00645856$$

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

$$A(n) = 1 - 0.00645856 = 0.99354144$$

- *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan

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

$$A(tp) = 1 - 0.001453856 = 0.997541358$$

- *Availability* total

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

$$\text{Availability total} = 0.99354144 \times 0.997541358 = 0.991098677$$

Dari hasil didapat nilai *availability* total adalah 0.991098677 yang menunjukkan probabilitas komponen *filling valve* dapat berfungsi seperti yang diharapkan setelah dilakukan tindakan penggantian pencegahan dan pemeriksaan adalah sebesar 99.1098 %.

4.8 Perhitungan Reliability (Keandalan) Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan

Perhitungan keandalan (*reliability*) komponen 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:

- a. $MTTF = 316.6428897$

- b. $t_{med} = 75.5158438$

c. $s = 1.693281716$

d. Nilai t dimulai dari waktu 580 jam

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Keandalan Sebelum Dan Sesudah Dilakukan

Tindakan Perawatan Pencegahan

t (jam)	Sebelum	n	Sesudah
0	0.994675	0	0.994675
145	0.35001	0	0.350006
290	0.2134	0	0.2134
435	0.15053	0	0.150533
580	0.11428	1	0.994675
725	0.0908	1	0.350006
870	0.07444	1	0.2134
1015	0.06245	1	0.150533
1160	0.05333	2	0.994675
1305	0.04619	2	0.350006
1450	0.04047	2	0.2134
1595	0.03581	2	0.150533
1740	0.03195	3	0.994675

Contoh perhitungan keandalan dengan menggunakan distribusi Lognormal

pada nilai $t = 580$ jam, dan berdasarkan persamaan :

1. Reliability kondisi awal

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

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{1.693281716} \ln \frac{580}{75.5158438}\right)$$

$$R(t) = 1 - \Phi(1.20405601)$$

$$R(t) = 1 - 0.88571604$$

$$R(t) = 1 - 0.11428396$$

dimana nilai 0.885716035 didapat dari $\Phi(1.204056012)$ tabel standardized normal probabilities.

2. Reliability setelah usulan

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

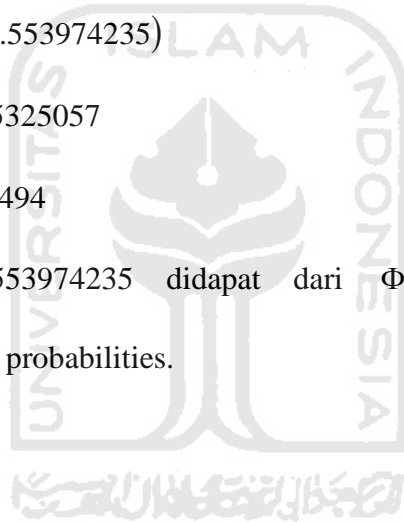
$$R(t - nT) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{1.693181716} \ln \frac{580 - (1 * 580)}{75.51584318}\right)$$

$$R(t - nT) = 1 - \Phi(-2.553974235)$$

$$R(t - nT) = 1 - 0.005325057$$

$$R(t - nT) = 0.99467494$$

dimana nilai -2.553974235 didapat dari $\Phi(-2.553974235)$ tabel standardized normal probabilities.



BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Analisis Terhadap Penentuan Komponen Kritis

penentuan komponen kritis berdasarkan jumlah *downtime* terbesar dan frekuensi kerusakan terbanyak, hanya saja jumlah *downtime* dan frekuensi kerusakan yang dihitung adalah jumlah *downtime* dan frekuensi kerusakan komponen-komponen dari mesin kritis. Dan berdasarkan data jumlah *downtime* dan frekuensi kerusakan tiap-tiap komponen pada mesin filler, dapat diketahui bahwa komponen yang memiliki jumlah *downtime* terbesar dan frekuensi kerusakan terbanyak adalah komponen *filling valve* sebanyak 31 frekuensi dan jumlah *downtime* yaitu 16.167 jam. Sehingga dapat ditentukan bahwa komponen kritis adalah komponen *filling valve*.

5.2 Analisa Pemilihan Sistem dan Sub Sistem

Kerusakan yang terjadi pada suatu sistem atau komponen sangat sulit untuk memprediksinya, tetapi secara umum kerusakan akan meningkat seiring dengan bertambahnya usia dari sistem atau komponen tersebut. Untuk itu perlu adanya suatu kegiatan perawatan yang optimal terhadap komponen atau sistem, karena berpengaruh pada pengoperasiannya. Apabila intisintas dan kapasitas pengoperasiannya tinggi, maka perawatan akan menjadi intisnsif.

Sistem pada mesin *filler* berfungsi untuk melakukan pengisian minuman kedalam botol, dari mulai pengisian sampai penutupan minuman kedalam botol. Dalam sistem ini terdapat beberapa sub sistem sistem yang bekerja sama yaitu:

- a. Sub sistem power
- b. Sub sistem mekanik
- c. Sub sistem pendukung (pengaturan pengisian).
- d. Sub sistem pengisian.
- e. Sub sistem penutupan.

5.3 Analisa Defenisi batasan sistem

Sistem mesin *filler* terbentuk dari beberapa subsistem yang saling bekerja sama antara sub sistem yang saling bekerja sama antara sub sistem yang satu dengan yang lain. Perlu diketahui batasan dari sistem sehingga diketahui hubungan antara beberapa sub sistem yang ada adalah :

- a. Sub sistem power

Sub sistem power berhubungan dengan arus listrik yang terdapat pada tombol cable control yang berfungsi untuk menghidupkan mesin filler dalam beroprasi pemroduksian produk minuman.

- b. Sub sistem mekanik (penggerak)

Sub sistem mekanik (penggerak) terdiri dari rantai double, gear transmittion, bearing gear box, rantai rs 60,dan nipple dreas. Pada sub sistem semua komponen akan bergerak ketika mesin dinyalakan. Rantai double akan

menggerakkan rantai yang berada dibawah mesin filler sehingga mesin dapat berputar, gear transmittion akan menggerakkan gear starner dengan penggerak gear pada bowl, selama mesin bekerja bearing gear box akan mengencang semua baut yang ada, setelah itu rantai RS 60 mengerakan strawell dan mengatur jalannya botol menuju pengisian, dan nipple dreas dreas digunakan sebagai pelumas pada mesin sehingga produksi menjadi lancar.

c. Sub sistem pendukung (pengaturan pengisian).

Sub sitem pendukung (pengaturan pengisian) terdiri dari glide star well dan timming screw. Timming screw bekerja mengatur jalannya botol dan mengatur jarak dalam botol agar tidak bertabrakan ke strawell , di timing screw penggerak motor saling berhubungan. selanjutnya glide starwell bekerja mengempaskan (mengatur) botol pada saat berjalan ke crowner ataupun ke bowl.

d. Sub sistem pengisian

Filling valve digunakan pada saat pengisian dalam botol. Di dalam mesin filler suhu minuman sekitar 95°C , suhu ini di jaga konstan atau lebih tinggi (tidak lebih dari 100°C) agar saat pengisian akan di dapat suhu standart dan pengisian tidak foaming . Minuman kemudian diisikan ke dalam botol (dengan filling height tertentu), dengan persyaratan suhu pengisian adalah 98°C .

e. Sub sistem penutupan

Setelah proses pengisian selanjutnya selling had akan menutup botol yang sudah terisi minuman dengan crown.

5.4 Analisa Fungsi sistem dan Kegagalan Fungsi

Fungsi sistem dan kegagalan fungsi menjelaskan uraian fungsi dan jenis kegagalan yang mungkin terjadi dari masing-masing sub sistem pada mesin filler. Dari sub sistem yang ada maka hasil analisa tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruhnya dengan elemen sistem lainnya.

5.5 Analisa *Failure Mode Effect and Analysis (FMEA)*

FMEA ini berfungsi untuk menganalisa sistem peralatan berdasarkan fungsi sub sistem yang dalam hal ini komponen atau unit akibat dari kerusakan yang terjadi. Dalam menentukan *failure mode effect and analysis* terlebih dahulu membuat matrik kegagalan fungsi. Matrik ini menjelaskan hubungan antara kegagalan fungsi yang terjadi dengan peralatan atau komponen pada sub sistem tersebut . Dari matrik tersebut kegagalan fungsi dengan peralatan tersebut dapat dibuat FMEA sehingga diketahui metode kerusakan dan akibat yang ditimbulkan oleh kegiatan tersebut. Adapun mode kerusakan dan penyebab pada setiap komponen sebagai berikut :

- a. Cabel control mengalami konslet dan saklar pada mesin mati sehingga menyebabkan kemaacet pada mesin.

- b. Rantai double mengalami putus pada partnya menyebabkan timing bisa berubah, mesin macet, gear pada rompal sehingga mesin menjadi macet.
- c. Gear transmision mengalami perubahan pada timing bowl mengakibatkan gigi gear transmision bisa rompak. Sehingga botol pecah pada saat pengisian, Terselip botol di starwell, dan Proses pengisian minuman berhenti karena minuman banyak yang tumpah pada saat pengisian.
- d. Bearing gear box mengalami kendur dan vbelt yang terdapat didalamnya dapat putus sehingga mesin mudah terjepit dan macet atau berhenti
- e. Rantai RS 60 mengalami perubahan pada timing, sehingga menyebabkan botol pecah pada saat pengisian.
- f. Nipple dreas mengalami tersumbat menyebabkan keausan sehingga mesin banyak yang aus dan mesin menjadi macet.
- g. Glide star well mengalami perubahan posisi, sehingga botol terjepit dan mengakibatkan pecah.
- h. Timing srew mengalami keausan, menyebabkan botol sering keselip mengakibatkan susahya botol bergerak menuju starwell. Sehingga botol akan pecah di bowl khususnya pada timing screw.
- i. Filling valve terdapat silk yang sobek menyebabkan pengisian tidak stabil sehingga tekanan pada saat pengisian minuman yang terlalu besar. Spring pada filling valve (model berbentuk per) apabila sudah lemas, tidak mau mengisi pada minuman. Kebocoran pada filling valve minuman harus segera dikosongkan. Dan dari kualitas bahan silk yang sobek. Apabila Phenomatik

rusak, AS buter fly terbuka terus menerus Dari kualitas bahan silk yang sobek. produk banyak mengalami kecacatan (reject).

- j. Selling had klo crowner macet, banyak botol yang pecah dan minuman tidak tertutup Product menjadi rusak atau reject .

5.6 Analisa Decision Diagram

Decision Diagram merupakan dokumen lembar kerja yang penting dalam RCM, sehingga kumpulan dari jawaban tersebut akan dapat ditentukan jenis kegiatan perawatan pada masing-masing komponen. Adapun dibawah ini adalah hasil jenis kegiatan yang yang dilakukan sebagai berikut:

Tabel 5.1 Jenis kegiatan perawatan

No	Komponen	Mode Kerusakan	Kegiatan perawatan
1	Cabel control	Konslet dan saklar yang terdapat pada mesin filler mati	<i>Schedule on condition maintance task</i>
2	Rantai double	Rantai putus.	<i>Schedule on condition maintance task</i>
3	Gear transmision	perubahan pada timming	<i>Schedule on condition maintance task</i>
4	bearing gear box	kendor pada komponen	<i>Schedule on condition maintance task</i>
		v-belt yang terdapat di dalamnya dapat putus	<i>Scheduled failure finding</i>
5	Rantai RS 60	perubahan pada timming	<i>Schedule on condition maintance task</i>
6	Nipple dreas	keausan pada komponen	<i>Schedule on condition maintance task</i>

7	Glide star well	botol pecah di starwell karena posisinya tidak pas.	<i>Schedule on condition maintance task</i>
8	Timming srew	apabila aus, botol sering keselip	<i>Schedule restroration task</i>
9	Filling valve	Apabila terdapat silk yang sobek menyebabkan pengisian tidak stabil	<i>Scheduled failure finding</i>
		Kebocoran pada filling valve minuman harus segera dikosongkan	<i>Schedule discard task</i>
		Apabila Phenomatik rusak, AS buter fly terbuka terus menerus	<i>Schedule on condition maintance task</i>
10	Selling had	macet pada penutupan (<i>crown</i>)	<i>Schedule on condition maintance task</i>

5.7 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 Welbull, Ekspensial, Normal dan Longnormal. 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 *index of fit* dari setiap distribusi untuk data TTF dan TTR adalah sebagai berikut :

Tabel 5.2 Nilai *Index of Fit* Masing-Masing Distribusi Untuk Data TTF

Distribusi	<i>Index of Fit</i>	Distribusi Terpilih
Weibull	0.8996	Eksponensial
Eksponensial	0.9546	
Normal	0.8443	
Lognormal	0.9512	

Table 5.3 Nilai *Index of Fit* Masing-Masing Distribusi Untuk Data TTR

Distribusi	<i>Index of Fit</i>	Distribusi Terpilih
Weibull	0.92599	Lognormal
Eksponensial	0.97845	
Normal	0.87729	
Lognormal	0.98121	

5.8 Analisis Uji Kecocokan Distribusi (*Goodness of Fit*)

Setelah mendapatkan distribusi yang mewakili data komponen baik TTF maupun TTR dengan melihat dari nilai *index of fit* yang terbesar dari masing-masing distribusi untuk data TTF dan TTR, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian kecocokan distribusi atau uji *Goodness of Fit* untuk mengetahui dan memastikan apakah distribusi yang telah didapatkan untuk mewakili penyebaran data telah benar.

Uji kecocokan distribusi yang digunakan untuk masing-masing distribusi adalah sebagai berikut :

1. *Mann's Test* dengan $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi Weibull
2. *Kolmogorov – Smirnov Test* dengan $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi Normal dan Longnormal
3. *Bartlett Test* dengan $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi Eksponensial

Untuk Data TTF dilakukan uji *Bartlett Test* karena distribusi terpilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar adalah distribusi Eksponensial, dan tetapi hasilnya H_0 ditolak, yang berarti data TTF tidak berdistribusi Eksponensial. Oleh karena itu dilakukan uji berikutnya yaitu nilai *index of fit* terbesar kedua yang berdistribusi Lognormal dengan uji *Kolmogorov-Smirnov test*, dan tetapi hasilnya H_0 diterima yang berarti data berdistribusi Lognormal. Sedangkan untuk data TTR dilakukan uji *Kolmogorov – Smirnov Test* karena distribusi terpilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar adalah distribusi Lognormal, dan hasilnya H_0 diterima yang berarti data TTR berdistribusi Lognormal.

5.9 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 rata-rata waktu antar kerusakan (MTTF) dan nilai rata-rata waktu perbaikan (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 = 316.6428997 jam

Untuk waktu perbaikan (TTR) :

- a. Distribusi terpilih = Distribusi Lognormal
- b. MTTR = 0.557536 jam

5.10 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) = 0.001453867
- b. Age Replacement = 580 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 580 jam yang berarti penggantian komponen *filling valve* dilakukan kira-kira setiap 580 jam dihitung dari waktu komponen *filling valve* pertama kali beroperasi. Dipilihnya komponen *filling valve* dikerenakan komponen adalah komponen paling kritis.

5.11 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 = 240 jam

Pada perhitungan interval waktu pemeriksaan dan frekuensi pemeriksaan diperoleh hasil 240 jam dan 1 pemeriksaan/bulan, maksudnya interval waktu pemeriksaan dilakukan setiap 240 jam atau dilakukan rata-rata 1 pemeriksaan/bulan dari waktu komponen *filling valve* mulai beroperasi.

5.12 Analisis Perhitungan *Availability* (Ketersediaan)

Setelah diketahui interval waktu penggantian pencegahan serta frekuensi dan interval waktu pemeriksaan, maka dapat dihitung nilai *availability* total komponen *filling valve* 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 :

- *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan

$$A(n) = 0.99354144$$

- *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan

$$A(tp) = 0.997541358$$

- *Availability* total

$$Availability\ total = 0.99354144 \times 0.997541358 = 0.991098677$$

Dari hasil didapat nilai *availability* total adalah 0.991098677 yang menunjukkan probabilitas komponen *filling valve* dapat berfungsi seperti yang diharapkan setelah dilakukan tindakan penggantian pencegahan dan pemeriksaan adalah sebesar 99.1098 %.

5.10 Analisis Perhitungan *Reliability* (Keandalan) 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.

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Keandalan Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan

Perawatan Pencegahan

t (jam)	Sebelum	n	Sesudah
0	0.994675	0	0.994675
145	0.35001	0	0.350006
290	0.2134	0	0.2134
435	0.15053	0	0.150533
580	0.11428	1	0.994675
725	0.0908	1	0.350006
870	0.07444	1	0.2134
1015	0.06245	1	0.150533
1160	0.05333	2	0.994675
1305	0.04619	2	0.350006
1450	0.04047	2	0.2134
1595	0.03581	2	0.150533
1740	0.03195	3	0.994675

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.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

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

1. Dari hasil analisa Penentuan Komponen kritis dipilih adalah komponen *filling valve* yang memiliki total downtime dan frekuensi kerusakan terbesar dari mesin kritis. Adapun komponen kritis tersebut adalah *filling valve* dengan total downtime sebesar 16,67 jam dan jumlah frekuensi kerusakan sebanyak 31 kali.
2. Berdasarkan *Realibility Centered Maintance* didapat hasil kebijakan perawatan yang dilakukan untuk mengantisipasi dan mengatasi kegagalan yang terjadi pada komponen yang terdapat pada mesin filler adalah *preventive task* yang meliputi : *Schedule on condition maintance task*, *Scheduled failure finding*, *Schedule restroration task*, dan *Schedule discard task*.
3. Interval waktu penggantian pencegahan komponen kritis berdasarkan kriteria minimasi *downtime* adalah 580 jam, sedangkan frekuensi pemeriksaan optimal sebanyak 1 pemeriksaan/bulan, dan interval waktu pemeriksaan optimal adalah 240 jam. Berdasarkan hasil

perhitungan keandalan sebelum dan sesudah dilakukan tindakan perawatan, dapat diketahui bahwa setelah dilakukan tindakan perawatan pencegahan nilai keandalan mesin tetap dalam kondisi yang baik, dimana probabilitas keandalannya mendekati nilai 1, yang artinya keandalan mesin dalam kondisi yang baik.

6.2 Saran

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

1. Diperlukan pencatatan secara berkala pada kegiatan perawatan yang dilakukan dengan baik, *Schedule on condition maintance task*, *Scheduled failure finding*, *Schedule restroration task*, dan *Schedule discard task*. Hal ini sangat penting untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan potensial.
2. Perusahaan sebaiknya lebih memperhatikan mesin dan komponen kritis dengan membuat jadwal perawatan yang lebih optimal sehingga kerusakan mesin dapat ditekan sekecil mungkin
3. Perusahaan diharapkan dapat lebih menerapkan kegiatan penggantian komponen dan kegiatan pemeriksaan sesuai jadwal waktu penggantian dan pemeriksaan yang telah diusulkan sehingga proses distribusi dapat

berjalan dengan lancar dan hambatan-hambatan berupa kerusakan mesin dapat dikurangi.



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.
- Balbir, S. D., and Hans, R., 1985, *Reliability and Maintainability Management*, Wan Nestrand Reinhold Co, Inc.
- Chulho Bae, Taeyoon Koo, Youngtak Son, Kyjun Park, Jongdeok Jung, Seokyoung 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.
- Ebeling, Charles. E. 1997. *an introduction to reliability and maintainability engineering*. McGraw-Hill Book Co, Singapura.
- Jardine, A. K. S. 1973, *Maintenance Replacement and reliability*, Pitman Publishing, London.
- Marsellinus Bachtiar, Esenia Leonilla Ayuningtyas, Ronald Sukwadi , dan Trifenaus Prabu Hidayat., 2009, *The Analysis of Maintenance System Using Risk Based Inspection Approach. Proceeding, International Seminar on Industrial Engineering and Management, 10 -11 Desember 2009, Bali*.
- Mohammad Tahril Azis, 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.

Moubray, John, 1997. *Reliability centered maintenance*. Industrial press inc. 2nd edition. New York.

Prilo Paskah Agung Nugroho., 2009., *perencanaan Pemeliharaan Mesin Sanding Master Dengan Metode Reliability Centered Maintance (RCM) Studi Kasus di PT. Tosalena Eksporindo Yogyakarta*. Skripsi, tidak diterbitkan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran “, Yogyakarta.

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.

LAMPIRAN



DATA KERUSAKAN MESIN FILLER

1. Filling Valve

Komponen Filling Valve				
No	Tanggal	Waktu <i>Downtime</i>	Total <i>downtime</i>	keterangan kerusakan
1	9/1/2008	20.00-22.00	2	phenomatik sirkulasi valve filler rusak
2	23/1/2008	14.00 - 16.30	1	troubel open viling valve
3	23/4/2008	13.00-14.00	1.5	filling valve
5	23/10/2008	20.30-22.30	1	open filling valve
6	13/01/2009	15.00-16.00	2	tiang support closed filling
7	6/4/2009	19.40-19.50	0.16667	open filling valve
8	27/4/2009	23.40-23.50	0.16667	open filling valve
9	1/5/2009	01.30-01.44	0.23333	open filling valve
10	2/5/2009	17.00-17.20	0.33333	open filling valve
11	29/6/2009	15.45-15.51	0.1	filling valve
12	13/7/2009	15.10-15.16	0.7	filling valve
13	28/7/2009	10.00-10.15	0.25	open filling valve
14	29/7/2009	10.15-10.45	0.5	valve sirkulasi
15	3/8/2009	17.00-17.15	0.25	filling valve
16	4/8/2009	09.15-09.23	0.13333	open filling valve
17	21/12/2009	19.00-19.30	0.5	filling valve
18	23/3/2010	17.00 - 17.26	0.43333	Buka OPV no 5, 6, 9, 10, 11
19	26/3/2010	20.30 - 20.36	0.1	Buka filing valve no 38
20	30/3/2010	19.05 - 19.10	0.08333	Ganti sensor FV
21	31/3/2010	19.35 - 19.59.	0.23333	Repair FV no 4
22	9/4/2010	17.05 - 17.15	0.16667	Buka FV no 39
23	30/4/2010	18.00-18.08	0.13333	buka filling valve (bocor)
24	6/5/2010	17.05 - 17.15	0.16667	Buka FV no 39
25	7/5/2010	00.06 - 00.10	0.06667	As OPV aus
26	10/5/2010	20.05 - 20.20	0.25	open filling valve
27	26/5/2010	09.00-09.30	0.5	Buka FV No 7,
28	7/7/2010	20.00-21.01	1.01667	Ganti slevee seal FV no 40 = 6x

29	21/7/2010	18.00-18.49	0.81667	Service FV no.4
30	22/7/2010	12.05-12.18	0.21667	Ganti spring OPV
31	30/7/2010	14.10-14.19	0.15	Buka FV no 29
Total			16.167	

2. Bearing Gear Box

Bearing Gear Box				
No	Tanggal	Waktu <i>Downtime</i>	Total <i>downtime</i>	keterangan kerusakan
1	24/1/2008	00.00-00.30	0.5	V belt kendur
2	29/10/2008	12.00-13.00	1	But gera box kendur
3	2/7/2009	16.30-16.42	0.2	v belt selop
Total			1.7	

3. Selling Head

Selling Head				
No	Tanggal	Waktu <i>Downtime</i>	Total <i>downtime</i>	keterangan kerusakan
1	19/2/2010	02.00-02.17	0.28333	perbaiki selling head
2	17/03/2010	18.38-20.00	1.06666	Stel sealing head no,3,6,8
Total			1.35	

4. Kabel Kontrol

Kabel Kontrol				
No	Tanggal	Waktu <i>Downtime</i>	Total <i>downtime</i>	keterangan kerusakan
1	4/6/2008	17.00-18.00	1	cable control putus
Total			1	

5. Nipple Dreas

Nipple Grease				
No	Tanggal	Waktu <i>Downtime</i>	Total <i>downtime</i>	keterangan kerusakan
1	21/10/2008	17.00-18.00	1	nipple bocor
2	8/4/2010	21.20 - 21.30	0.16667	Repair naple grease star whell out feed
Total			1.16667	

6. Gear Transmition

Gear Transmition				
No	Tanggal	Waktu <i>Downtime</i>	Total <i>downtime</i>	keterangan kerusakan
7	19/7/2008	16.00-17.00	2	gear transmition conveyer
Total			2	

7. Time Screw

Timing Screw				
No	Tanggal	Waktu <i>Downtime</i>	Total <i>downtime</i>	keterangan kerusakan
1	5/6/2008	19.00-19.30	0.5	timing screw
2	14/10/2008	02.00-03.00	1	timing screw
3	15/5/2009	21.30-22.00	0.5	timing screw
4	3/8/2009	19.00-19-16	0.53333	timing screw
5	11/8/2009	09.51-11.00	1.9	timing screw
6	17/03/2010	23.10 - 00.50	1.6667	Stel timing screw
7	18/3/2010	21.35 - 21.45	0.1667	Stel timing screw
8	25/3/2010	20.00 - 20.05	0.0833	Justing timing starweel
9	31/3/2010	23.10 - 23.45	0.5833	Stel timing screw
10	10/6/2010	18.10-18.22	0.2	Timing staewhel slip
11	25/6/2010	05.00-05.20	0.3333	Stel timing screw
12	15/7/2010	19.00-20.07	1.1167	Justing timing screw

13	16/7/2010	22.10-22.36	0.4333	timing screw
14	6/8/2010	20.00-21.01	0.5167	Repair timing screw
Total			9.5333	

8. Rantai Doubel

Rantai Doubel				
No	Tanggal	Waktu Downtime	Total downtime	keterangan kerusakan
1	25/1/2008	19.46-20.10	0.4	rantai Transmisi filler 2 putus
2	19/11/2008	20.00-20.20	0.6333333	rantai doubel putus
3	21/12/2009	00.35-01.35	1	main drive/rantai doubel
4	11/8/2010	21.00-22.25	1.25	rantai doubel
Total			3.2833333	

9. Rantai RS 60

Rantai RS 60				
No	Tanggal	Waktu Downtime	Total downtime	keterangan kerusakan
1	12/3/2009	17.40-18.00	0.3333	rantai infrared RS 60 (putus)
2	26/5/2009	22.00-22.10	0.3333	rantai rs 60 putus/ infeed
3	18/3/2010	20.02 - 20.10	0.1333	Ganti sambungan Rantai RS 60
Total			0.6333	

10. Glide starwell

Glide Star Well				
No	Tanggal	waktu kerusakan	total (menit)	keterangan kerusakan
1	22/10/2008	22.30-23.00	0.5	gliede starwell bengkok
2	6/1/2009	21.00-21.30	0.5	guide starwell bengkok

3	31/08/2009	07.10-07.50	0.666666667	guide starwell bengkok
4	6/4/2009	20.31-21.00	0.483333333	guide starwell whel
5	14/09/2009	24.00-03.13	3.216666667	guide starwell
6	25/09/2009	17.30-20.30	3	service starwell clip
7	12/2/2010	04.00-04.50	0.833333333	starwhell bengkok
8	15/4/2010	18.00-18.25	0.416666667	Jasting stae whel dan nambah oil lifs silinder
9	3/8/2010	20.00-20.06	0.1	Justing timing star whel
Total			9.71667	



OUTPUT MINITAP

Distribution Analysis: TTF

Variable: TTF

Censoring Information Count
 Uncensored value 30

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	0.860164	0.0906012	0.699719	1.05740
Scale	143.646	33.6022	90.8191	227.201

Log-Likelihood = -190.162

Goodness-of-Fit
 Anderson-Darling (adjusted) = 3.876
 Correlation Coefficient = 0.900

Characteristics of Distribution

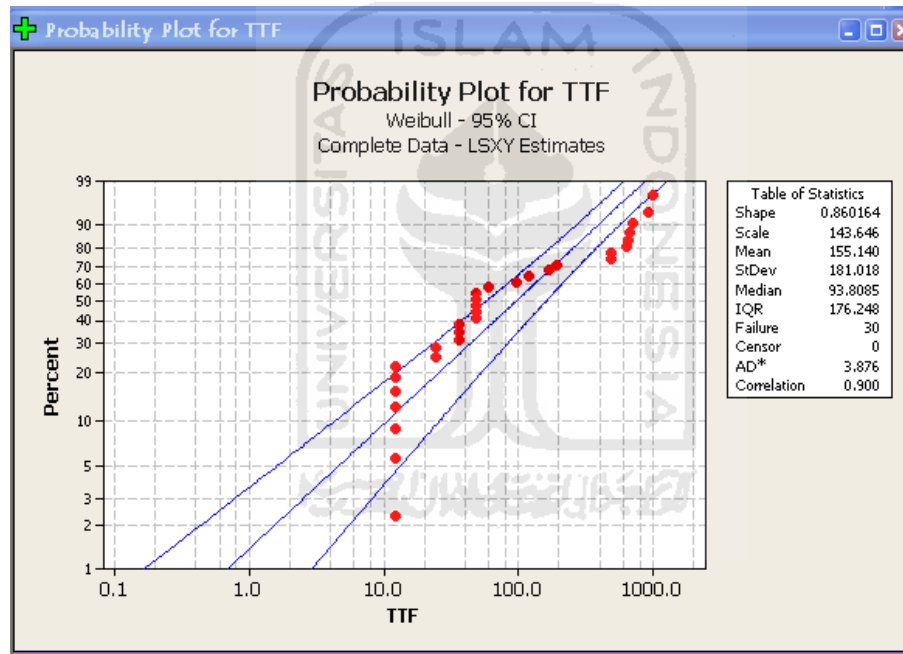
	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTTF)	155.140	31.2439	104.544	230.223
Standard Deviation	181.018	34.0578	125.191	261.741
Median	93.8085	24.7374	55.9473	157.291
First Quartile(Q1)	33.7475	11.7643	17.0418	66.8297
Third Quartile(Q3)	209.996	44.5019	138.620	318.123
Interquartile Range(IQR)	176.248	34.6718	119.860	259.164

Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	0.683424	0.498823	0.163459	2.85740
2	1.53892	0.996537	0.432527	5.47541
3	2.48034	1.48711	0.765889	8.03262
4	3.48628	1.97172	1.15067	10.5627
5	4.54621	2.45145	1.58000	13.0810
6	5.65392	2.92716	2.04958	15.5968
7	6.80534	3.39955	2.55646	18.1159
8	7.99766	3.86921	3.09855	20.6428
9	9.22889	4.33663	3.67428	23.1807
10	10.4976	4.80224	4.28249	25.7325
20	25.1176	9.42680	12.0369	52.4131
30	43.3291	14.1516	22.8440	82.1840
40	65.7870	19.1747	37.1573	116.476

50	93.8085	24.7374	55.9473	157.291
60	129.764	31.2214	80.9757	207.948
70	178.244	39.3562	115.630	274.764
80	249.785	50.8798	167.564	372.350
90	378.786	71.8842	261.130	549.454
91	399.010	75.2858	275.663	577.550
92	421.790	79.1629	291.971	609.330
93	447.824	83.6564	310.526	645.828
94	478.143	88.9765	332.017	688.583
95	514.353	95.4564	357.512	740.000
96	559.158	103.669	388.795	804.171
97	617.668	114.717	429.205	888.885
98	701.457	131.171	486.215	1011.98
99	847.935	161.646	583.571	1232.06

Probability Plot for TTF



Distribution Analysis: TTF

Variable: TTF

Censoring Information Count
 Uncensored value 30

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	270.559	54.6312	182.133	401.917

Log-Likelihood = -192.542

Goodness-of-Fit
 Anderson-Darling (adjusted) = 7.079

Characteristics of Distribution

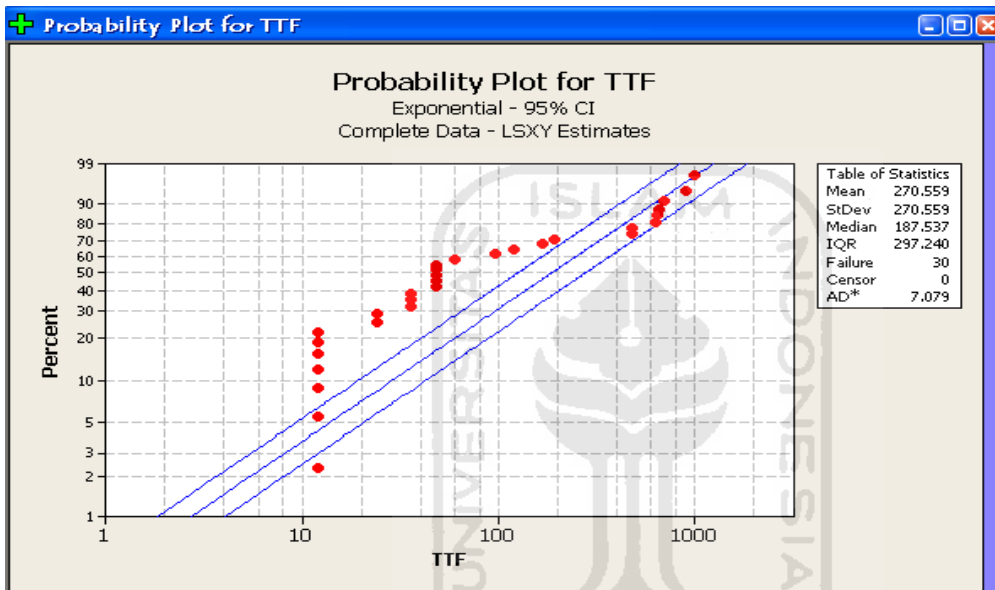
	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTTF)	270.559	54.6312	182.133	401.917
Standard Deviation	270.559	54.6312	182.133	401.917
Median	187.537	37.8674	126.245	278.588
First Quartile(Q1)	77.8351	15.7164	52.3964	115.624
Third Quartile(Q3)	375.075	75.7349	252.490	557.176
Interquartile Range(IQR)	297.240	60.0185	200.093	441.551

Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	2.71921	0.549062	1.83050	4.03940
2	5.46603	1.10370	3.67958	8.11982
3	8.24102	1.66402	5.54762	12.2421
4	11.0448	2.23015	7.43503	16.4071
5	13.8779	2.80221	9.34220	20.6157
6	16.7410	3.38033	11.2695	24.8688
7	19.6347	3.96462	13.2175	29.1674
8	22.5597	4.55524	15.1865	33.5125
9	25.5166	5.15230	17.1771	37.9051
10	28.5063	5.75597	19.1896	42.3462
20	60.3736	12.1906	40.6418	89.6852
30	96.5017	19.4856	64.9622	143.354
40	138.209	27.9070	93.0381	205.310
50	187.537	37.8674	126.245	278.588
60	247.911	50.0580	166.887	368.273
70	325.746	65.7744	219.283	483.897
80	435.448	87.9255	293.132	646.861
90	622.986	125.793	419.376	925.449
91	651.492	131.549	438.566	967.795

92	683.359	137.984	460.018	1015.13
93	719.488	145.278	484.339	1068.80
94	761.194	153.700	512.415	1130.76
95	810.523	163.660	545.621	1204.04
96	870.897	175.851	586.263	1293.72
97	948.732	191.567	638.660	1409.35
98	1058.43	213.718	712.508	1572.31
99	1245.97	251.586	838.753	1850.90

Probability Plot for TTF



Distribution Analysis: TTF

Variable: TTF

Censoring Information Count
 Uncensored value 30

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	4.32434	0.279715	3.77611	4.87257
Scale	1.53206	0.200015	1.18618	1.97881

Log-Likelihood = -184.876

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 1.560

Correlation Coefficient = 0.951

Characteristics of Distribution

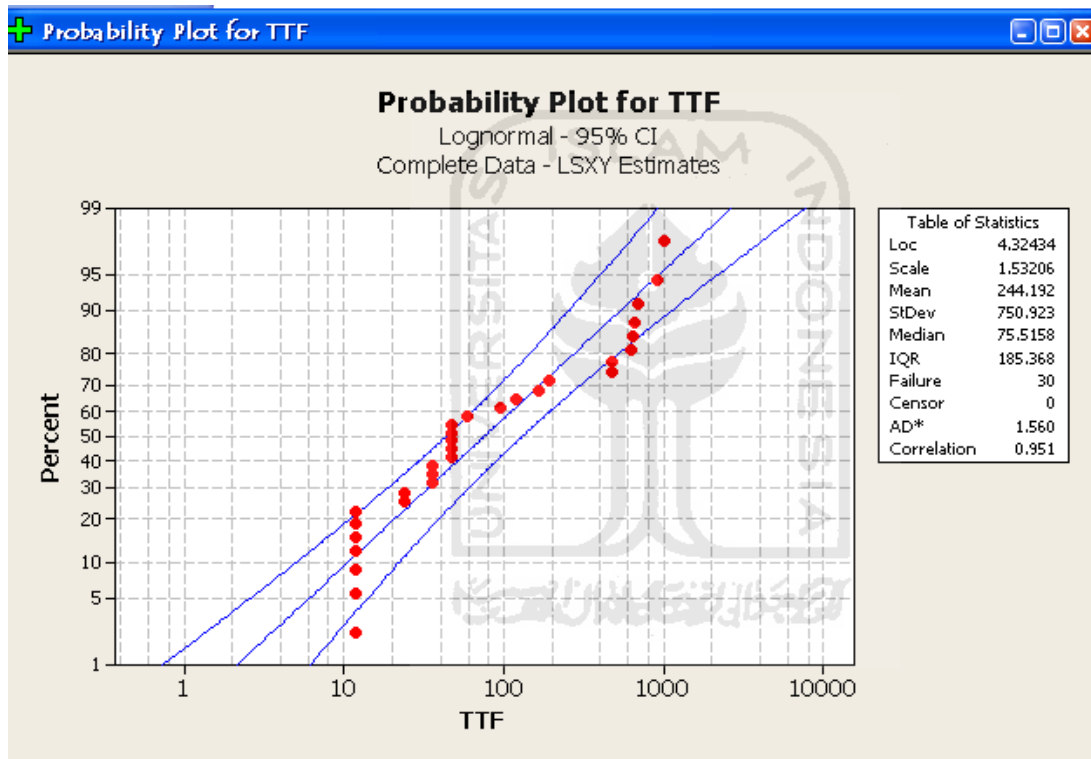
	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTTF)	244.192	101.316	108.284	550.675
Standard Deviation	750.923	528.119	189.213	2980.16
Median	75.5158	21.1229	43.6459	130.657
First Quartile(Q1)	26.8692	8.34421	14.6189	49.3850
Third Quartile(Q3)	212.237	65.9101	115.473	390.087
Interquartile Range(IQR)	185.368	61.0654	97.1907	353.545

Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	2.13876	1.16115	0.737970	6.19850
2	3.24744	1.61389	1.22608	8.60131
3	4.23272	1.98423	1.68885	10.6084
4	5.16641	2.31542	2.14638	12.4357
5	6.07584	2.62374	2.60634	14.1639
6	6.97498	2.91741	3.07265	15.8334
7	7.87219	3.20130	3.54769	17.4681
8	8.77303	3.47861	4.03309	19.0836
9	9.68153	3.75159	4.53005	20.6911
10	10.6007	4.02193	5.03952	22.2989
20	20.7994	6.79023	10.9690	39.4400
30	33.8158	10.1019	18.8294	60.7299
40	51.2235	14.5612	29.3427	89.4209
50	75.5158	21.1229	43.6459	130.657
60	111.329	31.6472	63.7731	194.346
70	168.639	50.3781	93.9018	302.859
80	274.173	89.5074	144.590	519.889

90	537.948	204.098	255.737	1131.59
91	589.023	228.247	275.608	1258.85
92	650.020	257.740	298.824	1413.96
93	724.404	294.586	326.461	1607.42
94	817.586	341.970	360.166	1855.94
95	938.576	405.307	402.618	2187.99
96	1103.79	494.684	458.569	2656.86
97	1347.27	631.579	537.561	3376.64
98	1756.04	872.704	662.997	4651.13
99	2666.33	1447.57	920.003	7727.47

Probability Plot for TTF



Distribution Analysis: TTF

Variable: TTF

Censoring Information Count
 Uncensored value 30

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	221.2	48.9379	125.283	317.117
StDev	268.044	29.5053	216.028	332.586

Log-Likelihood = -214.058

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 4.955

Correlation Coefficient = 0.844

Characteristics of Distribution

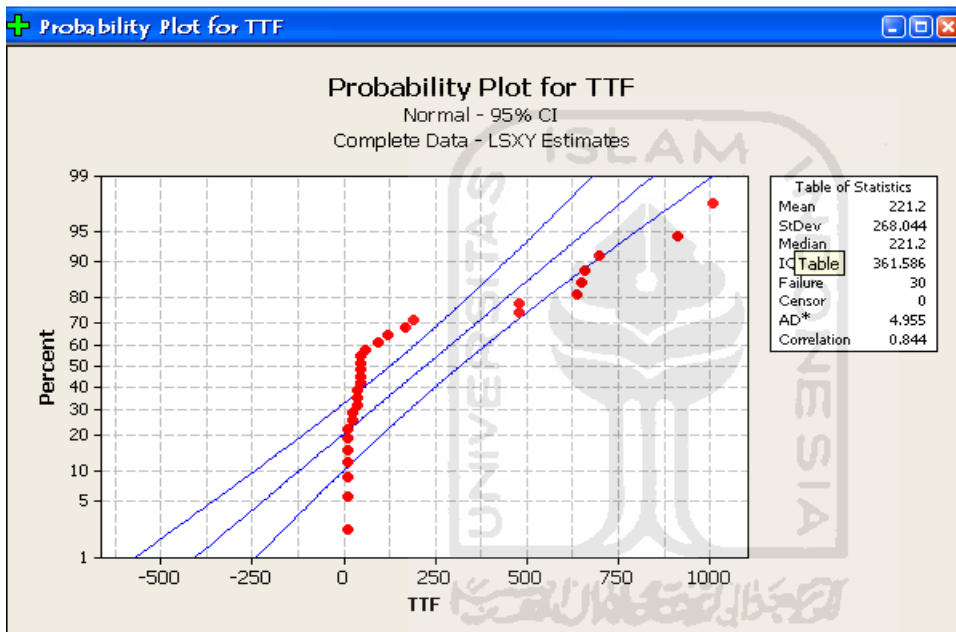
	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTTF)	221.2	48.9379	125.283	317.117
Standard Deviation	268.044	29.5053	216.028	332.586
Median	221.2	48.9379	125.283	317.117
First Quartile(Q1)	40.4070	52.8296	-63.1372	143.951
Third Quartile(Q3)	401.993	52.8296	298.449	505.537
Interquartile Range(IQR)	361.586	39.8020	291.417	448.651

Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	-402.364	84.2989	-567.587	-237.141
2	-329.295	77.8900	-481.957	-176.634
3	-282.936	73.9894	-427.952	-137.919
4	-248.061	71.1555	-387.523	-108.599
5	-219.693	68.9221	-354.778	-84.6084
6	-195.548	67.0772	-327.017	-64.0791
7	-174.377	65.5055	-302.766	-45.9887
8	-155.421	64.1374	-281.128	-29.7142
9	-138.182	62.9274	-261.517	-14.8460
10	-122.312	61.8442	-243.525	-1.09991
20	-4.39164	54.8777	-111.950	103.167
30	80.6375	51.3257	-19.9589	181.234
40	153.292	49.5055	56.2627	250.321
50	221.2	48.9379	125.283	317.117
60	289.108	49.5055	192.079	386.137
70	361.762	51.3257	261.166	462.359
80	446.792	54.8777	339.233	554.350

90	564.712	61.8442	443.500	685.925
91	580.582	62.9274	457.246	703.917
92	597.821	64.1374	472.114	723.528
93	616.777	65.5055	488.389	745.166
94	637.948	67.0772	506.479	769.417
95	662.093	68.9221	527.008	797.178
96	690.461	71.1555	550.999	829.923
97	725.336	73.9894	580.319	870.352
98	771.695	77.8900	619.034	924.357
99	844.764	84.2989	679.541	1009.99

Probability Plot for TTF



Distribution Analysis: TTR

Variable: TTR

Censoring Information Count
 Uncensored value 31

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	0.521505	0.0877737	0.349472	0.693539
StDev	0.488703	0.0556729	0.390910	0.610962

Log-Likelihood = -24.300

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 3.167

Correlation Coefficient = 0.877

Characteristics of Distribution

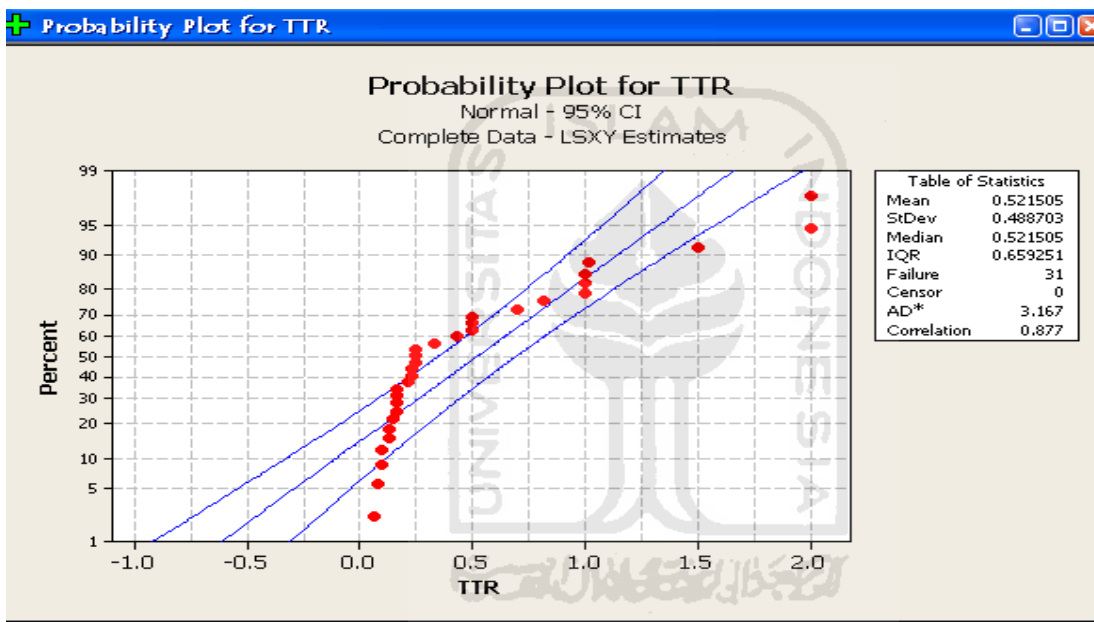
	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTF)	0.521505	0.0877737	0.349472	0.693539
Standard Deviation	0.488703	0.0556729	0.390910	0.610962
Median	0.521505	0.0877737	0.349472	0.693539
First Quartile(Q1)	0.191880	0.0954688	0.0047646	0.378995
Third Quartile(Q3)	0.851131	0.0954688	0.664015	1.03825
Interquartile Range(IQR)	0.659251	0.0751016	0.527330	0.824175

Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	-0.615389	0.156455	-0.922035	-0.308742
2	-0.482169	0.144144	-0.764685	-0.199652
3	-0.397645	0.136632	-0.665438	-0.129851
4	-0.334061	0.131163	-0.591136	-0.0769856
5	-0.282340	0.126846	-0.530954	-0.0337261
6	-0.238318	0.123275	-0.479932	0.0032961
7	-0.199719	0.120228	-0.435361	0.0359236
8	-0.165158	0.117572	-0.395596	0.0652799
9	-0.133726	0.115221	-0.359555	0.0921031
10	-0.104793	0.113114	-0.326492	0.116906
20	0.110202	0.0994970	-0.0848084	0.305213
30	0.265229	0.0925017	0.0839290	0.446529
40	0.397694	0.0888997	0.223453	0.571934
50	0.521505	0.0877737	0.349472	0.693539
60	0.645317	0.0888997	0.471077	0.819557
70	0.777782	0.0925017	0.596482	0.959082
80	0.932809	0.0994970	0.737798	1.12782

90	1.14780	0.113114	0.926105	1.36950
91	1.17674	0.115221	0.950908	1.40257
92	1.20817	0.117572	0.977731	1.43861
93	1.24273	0.120228	1.00709	1.47837
94	1.28133	0.123275	1.03971	1.52294
95	1.32535	0.126846	1.07674	1.57397
96	1.37707	0.131163	1.12000	1.63415
97	1.44066	0.136632	1.17286	1.70845
98	1.52518	0.144144	1.24266	1.80770
99	1.65840	0.156455	1.35175	1.96505

Probability Plot for TTR



Distribution Analysis: TTR

Variable: TTR

Censoring Information Count
 Uncensored value 31

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	1.32432	0.136293	1.08241	1.62030
Scale	0.503112	0.0742675	0.376715	0.671917

Log-Likelihood = -12.809

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 2.405

Correlation Coefficient = 0.940

Characteristics of Distribution

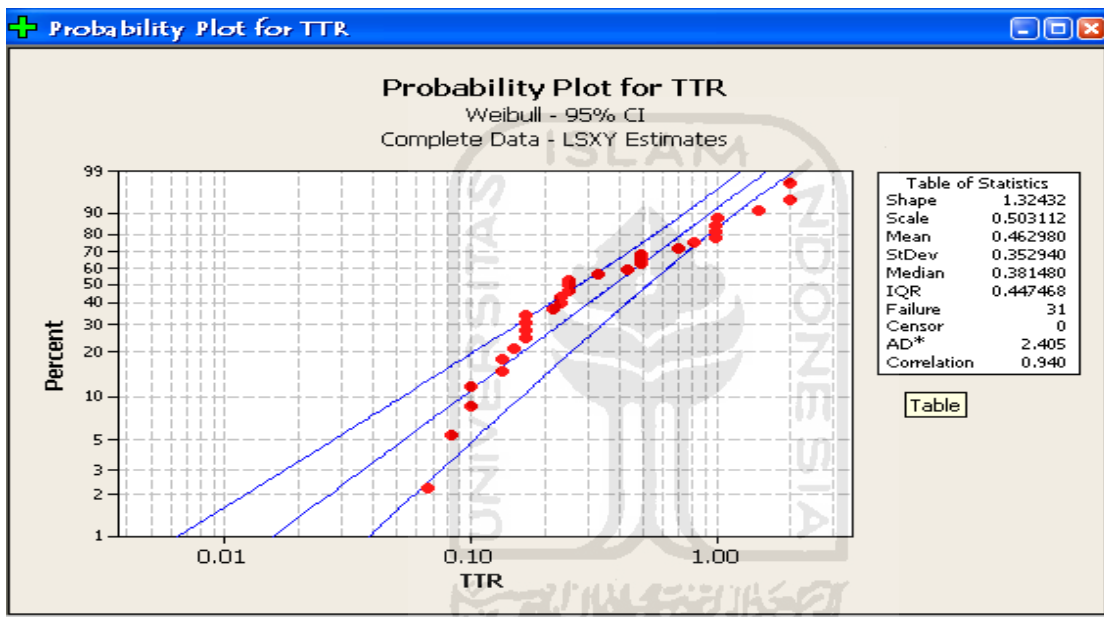
	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTF)	0.462980	0.0636463	0.353628	0.606147
Standard Deviation	0.352940	0.0443813	0.275844	0.451582
Median	0.381480	0.0631178	0.275826	0.527603
First Quartile(Q1)	0.196376	0.0427504	0.128169	0.300879
Third Quartile(Q3)	0.643843	0.0868130	0.494320	0.838596
Interquartile Range(IQR)	0.447468	0.0544204	0.352566	0.567915

Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	0.0155992	0.0071400	0.0063606	0.0382568
2	0.0264285	0.0107209	0.0119338	0.0585286
3	0.0360342	0.0135250	0.0172674	0.0751973
4	0.0449516	0.0159076	0.0224657	0.0899438
5	0.0534105	0.0180139	0.0275765	0.103446
6	0.0615368	0.0199206	0.0326276	0.116061
7	0.0694098	0.0216745	0.0376372	0.128004
8	0.0770833	0.0233067	0.0426180	0.139421
9	0.0845963	0.0248390	0.0475799	0.150411
10	0.0919782	0.0262876	0.0525302	0.161050
20	0.162098	0.0379854	0.102403	0.256593
30	0.230985	0.0471324	0.154845	0.344565
40	0.302956	0.0552548	0.211901	0.433138
50	0.381480	0.0631178	0.275826	0.527603
60	0.470973	0.0713883	0.349924	0.633896
70	0.578813	0.0809945	0.439975	0.761463
80	0.720651	0.0938511	0.558306	0.930203

90	0.944442	0.116165	0.742128	1.20191
91	0.976894	0.119679	0.768364	1.24202
92	1.01276	0.123654	0.797224	1.28658
93	1.05294	0.128221	0.829371	1.33677
94	1.09871	0.133573	0.865764	1.39433
95	1.15206	0.140013	0.907872	1.46192
96	1.21628	0.148056	0.958117	1.54401
97	1.29750	0.158676	1.02096	1.64893
98	1.40925	0.174094	1.10620	1.79533
99	1.59398	0.201529	1.24413	2.04222

Probability Plot for TTR



Distribution Analysis: TTR

Variable: TTR

Censoring Information Count
 Uncensored value 31

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	0.555249	0.102901	0.386135	0.798429

Log-Likelihood = -10.878

Goodness-of-Fit
 Anderson-Darling (adjusted) = 1.226

Characteristics of Distribution

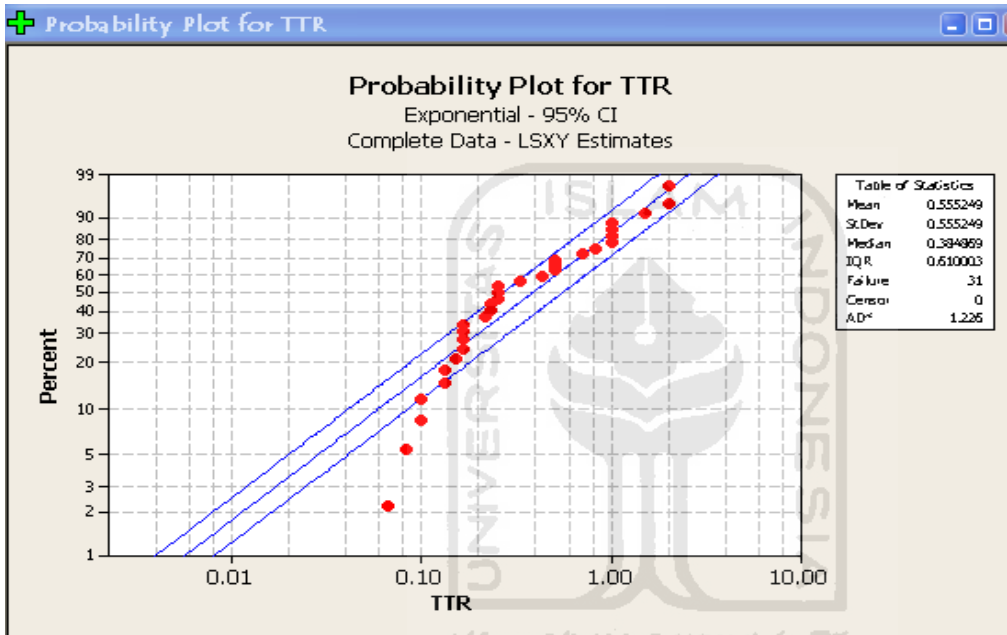
	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTTF)	0.555249	0.102901	0.386135	0.798429
Standard Deviation	0.555249	0.102901	0.386135	0.798429
Median	0.384869	0.0713258	0.267648	0.553429
First Quartile(Q1)	0.159735	0.0296029	0.111084	0.229694
Third Quartile(Q3)	0.769738	0.142652	0.535296	1.10686
Interquartile Range(IQR)	0.610003	0.113049	0.424212	0.877164

Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	0.0055804	0.0010342	0.0038808	0.0080245
2	0.0112175	0.0020789	0.0078010	0.0161304
3	0.0169124	0.0031343	0.0117614	0.0243195
4	0.0226664	0.0042006	0.0157628	0.0325935
5	0.0284805	0.0052781	0.0198061	0.0409540
6	0.0343562	0.0063671	0.0238922	0.0494031
7	0.0402948	0.0074676	0.0280221	0.0579425
8	0.0462975	0.0085801	0.0321965	0.0665743
9	0.0523659	0.0097047	0.0364166	0.0753004
10	0.0585013	0.0108417	0.0406833	0.0841229
20	0.123900	0.0229618	0.0861634	0.178164
30	0.198043	0.0367023	0.137725	0.284780
40	0.283635	0.0525646	0.197247	0.407858
50	0.384869	0.0713258	0.267648	0.553429
60	0.508769	0.0942875	0.353812	0.731593
70	0.668504	0.123890	0.464896	0.961286
80	0.893638	0.165613	0.621460	1.28502
90	1.27851	0.236939	0.889108	1.83845
91	1.33701	0.247781	0.929791	1.92257

92	1.40241	0.259901	0.975271	2.01661
93	1.47655	0.273641	1.02683	2.12323
94	1.56214	0.289504	1.08636	2.24631
95	1.66338	0.308265	1.15676	2.39188
96	1.78728	0.331227	1.24292	2.57004
97	1.94701	0.360829	1.35400	2.79974
98	2.17215	0.402552	1.51057	3.12347
99	2.55701	0.473878	1.77822	3.67690

Probability Plot for TTR



Distribution Analysis: TTR

Variable: TTR

Censoring Information Count
 Uncensored value 31

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	-1.10504	0.176481	-1.45093	-0.759141
Scale	0.982603	0.132041	0.755084	1.27868

Log-Likelihood = -8.083

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 0.921

Correlation Coefficient = 0.981

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean(MTF)	0.536718	0.117563	0.349380	0.824506
Standard Deviation	0.684421	0.261743	0.323443	1.44826
Median	0.331199	0.0584502	0.234351	0.468068
First Quartile(Q1)	0.170709	0.0337457	0.115876	0.251491
Third Quartile(Q3)	0.642569	0.127023	0.436169	0.946640
Interquartile Range(IQR)	0.471859	0.110367	0.298345	0.746288

Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	0.0336779	0.0119307	0.0168189	0.0674360
2	0.0440224	0.0142433	0.0233490	0.0829999
3	0.0521771	0.0158964	0.0287178	0.0948001
4	0.0592928	0.0172440	0.0335311	0.104847
5	0.0657908	0.0184115	0.0380151	0.113861
6	0.0718796	0.0194594	0.0422830	0.122193
7	0.0776802	0.0204223	0.0464010	0.130045
8	0.0832701	0.0213220	0.0504118	0.137545
9	0.0887025	0.0221732	0.0543448	0.144782
10	0.0940156	0.0229867	0.0582213	0.151816
20	0.144856	0.0302103	0.0962529	0.218000
30	0.197836	0.0375055	0.136438	0.286864
40	0.258211	0.0463808	0.181585	0.367173
50	0.331199	0.0584502	0.234351	0.468068
60	0.424817	0.0763069	0.298749	0.604084
70	0.554461	0.105114	0.382385	0.803970
80	0.757253	0.157929	0.503175	1.13963

90	1.16675	0.285269	0.722535	1.88406
91	1.23663	0.309125	0.757641	2.01845
92	1.31731	0.337307	0.797500	2.17593
93	1.41210	0.371245	0.843497	2.36401
94	1.52606	0.413139	0.897701	2.59424
95	1.66729	0.466592	0.963393	2.88550
96	1.85001	0.538036	1.04622	3.27136
97	2.10231	0.640494	1.15709	3.81967
98	2.49174	0.806199	1.32160	4.69795
99	3.25711	1.15386	1.62662	6.52198

Probability Plot for TTR

