

**ANALISIS PERAWATAN MESIN SEWING DI PT. GLOBALINDO  
INTIMATES DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED  
MAINTENANCE* (RCM II)**

**(Studi Kasus: PT. Globalindo Intimates)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1  
Pada Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri**



**Disusun Oleh :**

**Nama : Nugroho Wisnu Pramono**

**No Mahasiswa : 13 522 132**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2017**

## LEMBAR PERNYATAAN

Demi Allah, saya akui bahwa karya ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang setiap salah 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 kekayaan intelektual maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 08 Agustus 2017



**Nugroho Wisnu Pramono**

**SURAT KETERANGAN****GLOBALINDO Intimates**

Jl. Raya Solo - Jogja, Mlese, Mlese, Ceper, Klaten  
Telp. 0272 - 331120, 0272 - 331121  
Fax. 0272 - 331120  
Kode Pos : 57465

**SURAT KETERANGAN PENELITIAN**

No : SK-378/HRD-GI/VIII/2017  
Hal : Surat Keterangan Penelitian

Yang bertanda tangan dibawah ini adalah manajemen dari PT. Globalindo Intimates Klaten, menyatakan bahwa :

Nama : Nugroho Wisnu Pramono  
No. Mahasiswa : 13 522 132  
Perguruan Tinggi : Universitas Islam Indonesia  
Jurusan : Teknik Industri  
Judul : *Analisis Perawatan mesin sewing di PT. Globalindo Intimates dengan menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM II)*

Telah melaksanakan penelitian pada bulan Mei - Juni 2017 di PT. Globalindo Intimates, Klaten. Demikian surat penelitian ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Klaten, 01 Agustus 2017

  
Puji Purwaningsih  
HRD Manager

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

ANALISIS PERAWATAN MESIN SEWING DI PT. GLOBALINDO  
INTIMATES DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED  
MAINTENANCE* (RCM II)

(STUDI KASUS: PT. GLOBALINDO INTIMATES)

TUGAS AKHIR



Nama : Nugroho Wisnu Pramono

No. Mahasiswa : 13 522 132

Yogyakarta, 5 September 2017

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Sunaryo. MP

Dian Janari, S.T., M.T

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

ANALISIS PERAWATAN MESIN SEWING DI PT. GLOBALINDO  
INTIMATES DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED  
MAINTENANCE* (RCM II)

(STUDI KASUS: PT. GLOBALINDO INTIMATES)

## TUGAS AKHIR

Oleh

Nama : Nugroho Wisnu Pramono

No. Mahasiswa : 13522132

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri

Yogyakarta, 6 September 2017

Tim Penguji

Ir. Sunaryo. MP

Ketua

Dian Janari, S.T., M.T

Anggota I

Yuli Agusti Rochman, S.T., M.Eng

Anggota II

Muchammad Sugarindra, S.T., M.T.I

Anggota III

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Industri

Universitas Islam Indonesia



Yuli Agusti Rochman, S.T., M.Eng.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Untuk kedua Orangtua saya yang tercinta, Bapak Mujadi dan Ibu Lismiwati terimakasih atas segala doa dan dukungan yang telah kalian berikan. untuk adikku Zulfa Salsabila serta untuk Sahabat – sahabatku Rudiansyah, Septiansyah, Bill Edward, Gerry Frilla Alfian, Zuhdi Allamsyah dan Iqbal Praja yang selalu mensupport.*

*Untuk keluarga besar Keluarga Teknik Industri 2013, Keluarga Kita-kita Balikpapan, Keluarga KKN 198 dan seluruh kawan-kawan seperjuangan.*

## MOTTO



QS. Al-Insyirah Ayat 5-6 :

*“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.*

*“Hidup ini bukanlah suatu jalan yang datar dan di taburi bunga melainkan adakalanya disirami air mata dan darah”*

(Buya Hamka)

*“Besi akan berkarat karena tidak digunakan, air yang diam akan kehilangan kemurniannya dan dalam cuaca dingin menjadi beku; Begitu pula dengan pikiran, jika tak diasah dan digunakan, lambat laun akan menjadi tumpul dan lamban.”*

-Leonardo da Vinci-

## KATA PENGANTAR



### **Assalamu'alaikum. Wr. Wb**

Puji syukur kehadiran Allah SWT. yang telah memberi rahmat serta hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Perawatan Mesin Sewing Di PT. Globalindo Intimates Dengan Menggunakan Metode *Relability Centered Maintenance* (RCM II)(Studi Kasus: PT. Globalindo Intimates)”. Tak lupa sholawat dan salam senantiasa penulis panjatkan kepada nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, serta para pengikutnya yang telah berjuang dan membimbing kita keluar dari kegelapan menuju jalan terang benderang untuk menggapai ridho Allah SWT dan semoga diyaumul akhir nanti mendapatkan syafa'atnya.

Tugas Akhir merupakan syarat wajib yang tempuh oleh mahasiswa Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Dengan tujuan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Strata-1.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang selama ini telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung dalam kelancaran terlaksananya penelitian tugas akhir. Adapun pihak-pihak tersebut antara lain :

1. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc selaku Dekan Fakultas Teknologi.
2. Bapak Yuli Agusti Rochman, S.T, M.Engselaku Ketua Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
3. Ir. Sunaryo. MPselaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.  
Terimakasih atas segala bimbingan pengetahuan dan nasehat yang sangat bermanfaat selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Dian Janari, S.T., M.Tselaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.  
Terimakasih atas segala bimbingan pengetahuan dan nasehat yang sangat bermanfaat selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. PT. Globalindo Intimates, yang telah menyediakan data penelitian, serta terkhusus Ibu Puji dan Mas Hartanto, Terimakasih atas waktu yang diberikan untuk membimbing dalam observasi dan wawancara.
6. Terimakasih kepada kedua orang tua, adik-adikku serta keluarga besar Mujadi dan Lismiwati yang selalu memberikan doa, perhatian, kasih sayang, semangat dan nasehat – nasehat yang sangat bermanfaat bagi penulis.
7. Terimakasih untuk kawan seperjuangan mengambil data yang selalu menemani pengerjaan laporan Asmaul Husna.
8. Terimakasih untuk teman satu tim sepakbola FTI yang selalu mensupport saya.
9. Terimakasih untuk sahabat – sahabatku kos sawojajar Gery, Bill yang selalu menemani suka maupun duka.
10. Terimakasih untuk kawan-kawan seperjuangan dari Balikpapan Reza, Bintang, Septi, Afrizal, Farul, Agung, Iqbal, Boho, Ihsan, Ivan dan Rayhan.

11. Terimakasih untuk teman yang selalu membantuku dalam mengerjakan skripsi ini Zuhdi Allamsyah, Septiansyah.
12. Terimakasih buat teman yang selalu membimbing dan mengajarkanku dengan sabar selama kuliah Adhe Rizky Anugrah
13. Terimakasih kepada seluruh dosen Teknik Industri atas ilmunya yang bermanfaat. Semoga ilmu yang diberikan menjadi amal jariyah untukmu.
14. Terimakasih kepada seluruh Keluarga mahasiswa Teknik Industri Angkatan 2013 atas kekeluargaan yang telah dijalin selama ini.
15. Terimakasih untuk keluarga KKN 198 yang selalu menyemangatiku.
16. Serta semua pihak yang banyak membantu penulis selama penelitian tugas akhir ini yang tidak mampu penulis sampaikan disini sebab takkan cukup menggambarkan rasa terima kasih melalui kata pengantar ini.

Akhirnya dengan segala kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari rekan-rekan sekalian serta dari semua pihak sebagai perbaikan untuk penyusunan Tugas Akhir yang akan datang. Semoga hasil penelitian Tugas Akhir ini dapat berguna bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya, Amin.

***Billahitaufiqwalhidayah***

***Wassalammu'alaikum. Wr. Wb***

Yogyakarta, 5 September 2017

(Nugroho Wisnu Pramono)

## ABSTRAK

*Seiring perkembangan dunia industri, penerapan perencanaan produksi yang tepat, efisien dan optimal sangatlah penting, salah satunya adalah tentang penerapan sistem manajemen perawatan (Maintenance Management) yang tepat. Maintenance mesin pada perusahaan merupakan faktor yang penting dalam menjaga kestabilan produksi. PT. Globalindo Intimates memiliki kapasitas produksi sebesar 350.000 pcs/bulan dan dapat menghasilkan 180 produk/jam. Namun pada saat kegiatan produksi sering terjadi kerusakan mesin sehingga berpengaruh pada operasional perusahaan dan dapat menghasilkan biaya kehilangan produksi/jam yaitu sebesar Rp. 62.327.163,6/jam dan didapatkan biaya kerugian pergantian komponen sebesar Rp. 528.658.174. Pada penelitian ini peneliti memfokuskan pada mesin yang mengalami downtime dan frekuensi kerusakan yang tinggi dalam kurun waktu dari bulan Maret 2016 sampai Februari 2017. Maka perusahaan membutuhkan untuk membuat sebuah kebijakan dalam melakukan perawatan mesin yang efektif dan jadwal interval perawatan yang sesuai sehingga, dapat mengurangi biaya perawatan pada downtime. Pada penelitian ini menggunakan metode RCM II dengan menggunakan analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif untuk menentukan Function Block Diagram (FBD) pada mesin bertujuan untuk memberikan pengetahuan secara umum bagian mesin dan fungsinya. Sedangkan tabel Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) dan Logic Tree Analysis (LTA) berfungsi untuk menentukan jenis kegagalan fungsi, akibat kegagalan fungsi dan efek kegagalan fungsi serta tindakan yang harus dilakukan. Penggabungan FMEA dan LTA kedalam RCM II Worksheet untuk menentukan konsekuensi terhadap kegagalan. Sedangkan, analisis kuantitatif adalah untuk menentukan jenis distribusi, pengujian parameter TTF dan TTR. Hasil dari perhitungan indeks of it(r) TTF dan TTR didapatkan hasil distribusi weibull yang tertinggi, sedangkan untuk uji Goodness of fit didapatkan hasil bahwa kedua distribusi weibull tersebut berdistribusi normal sehingga menghasilkan MTTF sebesar 727,35 jam dan MTTR sebesar 0,5953 jam. Maka dari identifikasi yang dilakukan didapat hasil mesin jahit zigzag menjadi mesin kritis dan komponen kritis adalah komponen rotary dengan waktu interval penggantian terbaru sebesar 675 jam, dan besarnya biaya sebelum penentuan interval penggantian yaitu sebesar Rp 528.658.174. sedangkan, biaya penghematan setelah mendapatkan waktu interval penggantian perubahan pada komponen rotary mesin jahit zigzag adalah 26,73% atau sebesar Rp 141.330.214.*

**Kata Kunci :** *downtime, produksi, komponen kritis, RCM II, waktu interval*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	<b>i</b>
<b>SURAT KETERANGAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Batasan Masalah .....	6
1.4 Tujuan Penelitian .....	6
1.5 Manfaat Penelitian .....	6
1.6 Sistematika Penelitian .....	7
<b>BAB II KAJIAN LITERATUR</b> .....	<b>9</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	9
2.2 Definisi Perawatan .....	10
2.2.1 Tujuan Perawatan.....	11
2.2.2 Bentuk – Bentuk Perawatan .....	11
2.2.3 Lingkup Kegiatan Perawatan .....	12
2.2.4 Tugas Perawatan .....	13
2.3 Diagram Pareto .....	14
2.4 <i>Reliability Centred Maintenance (RCM)</i> .....	14
2.4.1 Metodologi RCM .....	17
2.4.1.1 Pemeliharaan Sistem dan Pengumpulan Informasi.....	18
2.4.1.2 Mendefinisikan Batasan Sistem .....	18
2.4.1.3 Deskripsikan sistem dan <i>Function Block Diagram</i> .....	18
2.4.1.4 Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsi .....	18
2.4.1.5 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i> .....	18

2.4.1.6	<i>Logic Tree Analysis (LTA)</i> .....	24
2.4.1.7	<i>RCM II Decision Worksheet</i> .....	25
2.5	Keandalan.....	27
2.6	Fungsi Ditribusi Kegagalan.....	28
2.6.1	Distribusi Weibull .....	28
2.6.2	Distribusi Normal.....	30
2.6.3	Distribusi Lognormal .....	31
2.6.4	Distribusi Eksponensial.....	32
2.7	Uji Kecocokan Distribusi .....	33
2.7.1	Uji Barlett Test Untuk Pengujian Distribusi Eksponensial .....	34
2.7.2	Uji Mann's Test Untuk Pengujian Distribusi Weibull .....	34
2.7.3	Uji Kolmogorov-Smirnov Test .....	35
2.8	Identifikasi Parameter Distribusi .....	36
2.8.1	Identifikasi Distribusi Awal .....	36
2.8.2	Estimasi Parameter.....	37
2.9	Mean Time to Failure (MTTF) .....	39
2.10	Mean Time to Repair (MTTR) .....	41
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>43</b>
3.1	Obyek Penelitian .....	43
3.2	Sumber Data.....	43
3.3	Pengumpulan Data .....	43
3.4	Pengolahan Data .....	44
3.5	Alat Analisa.....	49
3.6	Diagram Alir Penelitian .....	50
3.7	Diskripsi Alir Penelitian.....	52
3.7.1	Latar Belakang .....	52
3.7.2	Studi Pustaka.....	52
3.7.3	Perumusan Masalah .....	52
3.7.4	Tujuan Penelitian .....	52
3.7.5	Pengumpulan Data .....	52
3.7.6	<i>Reliability Centered Maintenance II</i> .....	52
3.7.7	Penentuan Komponen Kritis .....	53
3.7.8	Menentukan Jenis Distribusi .....	53
3.7.9	Uji Kecocokan <i>Goodness Of Fit</i> .....	53
3.7.10	Identifikasi <i>Maximum Mikelihood Estimator</i> .....	53

3.7.11 Penentuan Interval Waktu Pergantian Dan Biaya Pergantian Komponen .....	53
3.7.12 <i>Reliability</i> .....	53
3.7.13 Pembahasan.....	54
3.7.14 Kesimpulan Dan Saran.....	54
<b>BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>	<b>55</b>
4.1 Latar Belakang Perusahaan .....	55
4.1.1 Sejarah Singkat Perusahaan .....	55
4.1.2 Lokasi Perusahaan.....	56
4.1.3 Visi & Misi Perusahaan .....	58
4.2 Pengumpulan Data .....	61
4.2.1 Downtime Mesin Sewing.....	61
4.2.2 Data Jumlah Kerusakan Mesin Zigzag.....	64
4.2.3 Data Kerusakan Komponen Mesin Zigzag .....	66
4.3 Pengolahan Data .....	69
4.3.1 Function Block Diagram .....	69
4.3.2 <i>Failure Mode And Effect Analysis</i> .....	71
4.3.3 <i>Logic Tree Analysis (LTA)</i> .....	73
4.3.4 <i>RCM II Worksheet</i> .....	75
4.3.5 Penentuan Komponen Kritis .....	79
4.3.6 Penentuan Jenis Distribusi <i>Time to Failure</i> .....	80
4.3.7 Uji Kecocokan <i>Goodness of Fit</i> Data Kerusakan Komponen ( <i>Time to Failure</i> ) .....	85
4.3.8 Perhitungan Parameter dari Distribusi Waktu Antar Kerusakan ( <i>Mean Time to Failure</i> ) .....	86
4.3.9 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan ( <i>Mean Time to Failure</i> ) .....	88
4.3.10 Penentuan Jenis <i>Distribusi Time to Repair</i> .....	88
4.3.11 Uji Kecocokan <i>Goodness of Fit</i> Data Perbaikan Komponen ( <i>Time to Repair</i> ) .....	93
4.3.12 Perhitungan Parameter dari Distribusi Waktu Antar Perbaikan ( <i>Mean Time to Repair</i> ) .....	94
4.3.13 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Antar Perbaikan ( <i>Mean Time to Repair</i> ) .....	96
4.3.14 Perhitungan Interval Waktu Penggantian dan Pencegahan untuk Meminimalkan Biaya .....	96
4.3.15 Perbandingan Biaya Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen.....	102
4.3.16 Perbandingan <i>Reliability</i> Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen .....	102

<b>BAB V PEMBAHASAN .....</b>	<b>106</b>
5.1 <i>Function Block Diagram</i> (FBD) .....	106
5.2 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) .....	106
5.3 <i>Logic Tree Analysis</i> (LTA) .....	107
5.4 RCM II <i>Worksheet</i> .....	107
5.5 Komponen Kritis.....	108
5.6 Penentuan Jenis Distribusi <i>Time to Failure</i> dan <i>Time to Repair</i> .....	108
5.7 Analisa Uji Kecocokan <i>Goodness of Fit</i> .....	109
5.8 Analisa Perhitungan Parameter dan Waktu Antar Kerusakan ( <i>Mean Time to Failure</i> )... 110	
5.9 Analisa Perhitungan Parameter dan Waktu Antar Perbaikan ( <i>Mean Time to Repair</i> ) .... 110	
5.10 Analisa Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Untuk Meminimumkan Biaya .....	111
5.11 Analisa Perbandingan Biaya Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen .....	111
5.12 Analisa Perbandingan Reliability Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen .....	112
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>113</b>
6.1 Kesimpulan .....	113
6.2 Saran.....	113
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>114</b>
<b>LAMPIRAN SPESIFIKASI MESIN .....</b>	<b>117</b>
<b>LAMPIRAN KOMPONEN .....</b>	<b>125</b>
<b>LAMPIRAN TABEL :.....</b>	<b>127</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel FMEA .....	20
Tabel 2.2 Rating <i>Severity</i> .....	21
Tabel 2.3 Rating <i>Occurance</i> .....	23
Tabel 2.4 Rating <i>Detection</i> .....	23
Tabel 2.5 RCM II <i>Decision Worksheet</i> .....	27
Tabel 2.6 Nilai – Nilai Parameter $\beta$ .....	28
Tabel 4.1 <i>Business Connections With Main Clients</i> .....	56
Tabel 4.2 Jam Kerja Karyawan di PT. Globalindo Intimates .....	61
Tabel 4.3 Tabel Frekuensi <i>Downtime</i> Mesin Sewing .....	61
Tabel 4.4 Tabel Jumlah Frekuensi <i>Downtime</i> Mesin Sewing .....	61
Tabel 4.5 Tabel Jumlah Frekuensi <i>Downtime</i> Kumulatif Mesin Sewing .....	63
Tabel 4.6 Tabel Frekuensi <i>Downtime</i> Mesin Zigzag.....	64
Tabel 4.7 Tabel Jumlah Total Frekuensi <i>Downtime</i> Mesin Zigzag.....	65
Tabel 4.8 Tabel Jumlah Frekuensi <i>Downtime</i> Kumulatif Mesin Zigzag.....	65
Tabel 4.9 Tabel Frekuensi <i>Downtime</i> Komponen Mesin Zigzag.....	66
Tabel 4.10 Tabel Jumlah Frekuensi <i>Downtime</i> Komponen Mesin Zigzag.....	66
Tabel 4.11 Tabel Jumlah Frekuensi <i>Downtime</i> Kumulatif Mesin Zigzag.....	68
Tabel 4.12 Tabel FMEA Mesin Jahit Zigzag .....	72
Tabel 4.13 Tabel <i>Logic Tree Analysis (LTA)</i> Mesin Jahit Zigzag .....	74
Tabel 4.14 Tabel RCM II <i>Worksheet</i> .....	76
Tabel 4.15 Daftar Komponen Kritis Mesin Zig-zag.....	79
Tabel 4.16 Perhitungan <i>Time to Failure</i> Distribusi <i>Eksponensial</i> .....	81
Tabel 4.17 Perhitungan <i>Time to Failure</i> Distribusi <i>Normal</i> .....	82
Tabel 4.18 Perhitungan <i>Time to Failure</i> Distribusi <i>Log Normal</i> .....	83
Tabel 4.19 Perhitungan <i>Time to Failure</i> Distribusi <i>Weibull</i> .....	84
Tabel 4.20 Tabel <i>Indeks of Fit</i> .....	85
Tabel 4.21 Tabel Perhitungan Uji <i>Mann’s Test</i> .....	86
Tabel 4.22 Perhitungan Parameter MTTF .....	87
Tabel 4.23 Perhitungan <i>Time to Repair</i> Distribusi <i>Eksponensial</i> .....	89
Tabel 4.24 Perhitungan <i>Time to Repair</i> Distribusi <i>Normal</i> .....	90
Tabel 4.25 Perhitungan <i>Time to Repair</i> Distribusi <i>Log Normal</i> .....	91
Tabel 4.26 Perhitungan <i>Time to Repair</i> Distribusi <i>Weibull</i> .....	92
Tabel 4.27 Tabel <i>Indeks of Fit</i> .....	93
Tabel 4.28 Perhitungan Uji <i>Kolmogorov-Smirnov Test</i> .....	94
Tabel 4.29 Tabel Perhitungan Parameter dari Distribusi <i>Mean Time to Repair</i> .....	95
Tabel 4.30 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Komponen Rotary Pada Mesin Jahit Zigzag.....	99
Tabel 4.31 Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis Mesin Jahit Zigzag .....	101
Tabel 4.32 Tabel Perbandingan Penggantian Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu.....	102
Tabel 4.33 Perhitungan Keandalan Sebelum dan Sesudah Interval Penggantian Pencegahan Komponen Rotary.....	104
Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Nilai <i>Indeks of Fit (R)</i> Data Waktu Kerusakan.....	108
Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Nilai <i>Indeks of Fit (R)</i> Data Waktu Perbaikan.....	109

Tabel 5.3 Tabel Hasil Nilai Parameter MTTF .....	110
Tabel 5.4 Tabel Hasil Nilai Parameter MTTR .....	110
Tabel 5.5 Tabel Interval Waktu Penggantian .....	111
Tabel 5.6 Perbandingan Biaya Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu .....	111

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur <i>Logic Tree Analysis</i> .....	25
Gambar 2.2 <i>Decision Diagram</i> .....	26
Gambar 2.3 <i>Bathtub Curve</i> .....	27
Gambar 2.4 Distribusi <i>Weibull</i> .....	29
Gambar 2.5 Distribusi <i>Normal</i> .....	30
Gambar 2.6 Distribusi <i>Lognormal</i> .....	31
Gambar 2.7 Distribusi <i>Eksponensial</i> .....	33
Gambar 2.8 Kurva <i>Mean Time to Failure</i> (MTTF) .....	39
Gambar 2.9 <i>Mean Time to Repair</i> (MTTR).....	41
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	51
Gambar 4.1 Lokasi PT. Globalindo Intimates .....	56
Gambar 4.2 Gedung PT. Globalindo Intimates .....	57
Gambar 4.3 Produk Bra .....	58
Gambar 4.4 Produk Dress & Top .....	59
Gambar 4.5 Produk Pant & Short .....	59
Gambar 4.6 Diagram Pareto Mesin Sewing .....	63
Gambar 4.7 Diagram Pareto Mesin Zigzag .....	66
Gambar 4.8 Diagram Pareto Komponen Mesin Zigzag .....	69
Gambar 4.9 <i>Function Block Diagram</i> .....	70
Gambar 4.10 Diagram Pareto Komponen Kritis .....	80
Gambar 4.11 Grafik Reliability Kondisi Sebelum dan Sesudah Interval Waktu Penggantian Komponen Rotary pad Mesih Jahit Zigzag.....	104
Gambar 5.1 Grafik Reliability Sebelum Dan Sesudah Penentuan Interval Waktu pada Komponen Rotary.....	112

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Era globalisasi saat ini industri manufaktur merupakan industri yang sangat penting karena menjadi pendukung salah satu pendukung di sektor perekonomian. Sebab selain mampu menghasilkan produk yang bermanfaat untuk masyarakat, pada sektor industri juga banyak menyerap tenaga kerja dalam hal kegiatan produksinya. Seiring berjalannya waktu dengan perkembangan suatu industri penerapan perencanaan produksi yang tepat, efisien dan optimal sangat penting. Termasuk salah satu di dalamnya adalah tentang penerapan sistem manajemen perawatan (*Maintenance Management*) yang tepat. Manajemen perawatan (*Maintenance Management*) menjadi sangatlah penting diterapkan ketika sistem produksi yang menggunakan peralatan dalam jumlah besar, kompleks, nilai investasi besar dan beresiko tinggi. Menurut (Assauri, 2016) kegiatan pemeliharaan fasilitas industri serta pembetulan, pengaturan atau penggantian yang dibutuhkan agar aktivitas produksi sesuai dengan yang dijadwalkan adalah suatu bentuk perawatan.

*Maintenance* mesin pada perusahaan merupakan faktor yang penting dalam menjaga kestabilan produksi. Menurut (Sudrajat, 2011) *maintenance* dapat didefinisikan sebagai suatu aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas pemeliharaan suatu fasilitas agar fasilitas tersebut tetap dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi siap pakai. Kondisi mesin dan peralatan yang prima serta kemampuan sumber daya manusia yang baik merupakan faktor kunci terciptanya produktivitas yang tinggi. Hal ini dapat dicapai dengan cara mengurangi kekerusakan atau kendala sekecil mungkin pada mesin, sehingga mesin dapat bekerja secara efisien dan efektif. Oleh karena itu, keandalan komponen (*Reability*) merupakan ukuran kemampuan suatu komponen atau peralatan untuk beroperasi secara terus menerus tanpa adanya kerusakan. Menurut (Kapur, 2016) keandalan suatu sistem adalah probabilitistik dimana

ketika operasi berada pada kondisi lingkungan tertentu, sistem akan menunjukkan kemampuannya sesuai dengan fungsi yang diharapkan dalam selang waktu tertentu. Dalam hal ini untuk selalu menjamin keandalan komponen dan mesin (*Reability*) pada perusahaan maka harus dilakukan *preventive maintenance*. Menurut (Ebeling C. E., 2014) *Preventive maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal. *Perancangan preventive maintenance* juga membutuhkan perhitungan *mean time to failure* (MTTF) sehingga secara tidak langsung keandalan komponen (*Reability*) mempengaruhi *preventive maintenance* dalam penjadwalan perawatan. Menurut (Ebeling C. , 2015) MTTF adalah nilai rata - rata atau nilai yang diekspektasikan terjadinya kegagalan pertama setelah suatu sistem beroperasi.

PT. Globalindo Intimates didirikan pada tahun 2008 merupakan sebuah perusahaan manufaktur swasta yang bergerak dibidang *garment underwear manufacture* untuk skala *export/internasional* yang terletak di Kota Klaten. Perusahaan ini memenuhi kebutuhan *export brand underwear* diberbagai negara seperti *brand Hanesbrand Inc* dan *H&M* yang diekspor ke USA, Canada, Germany dan berbagai negara di Asia. PT. Globalindo Intimates memiliki beberapa divisi, salah satunya adalah Divisi Produksi membawahi Divisi Mekanik, Sewing, dan Packing. Pada divisi ini terdapat beberapa mesin yang berperan penting dalam jalannya suatu proses produksi yaitu seperti mesin yang ada pada divisi sewing seperti Mesin Single Needle, Double Needle, Bartack, Zigzag, Obras/Overlock. Mesin pada divisi sewing merupakan salah satu mesin utama dalam kegiatan produksi pada perusahaan. PT. Globalindo Intimates memiliki kapasitas produksi disetiap bulannya sebesar 350.000 pcs/bulan dan dapat menghasilkan 180 produk/jam. Namun pada saat kegiatan produksi sedang berlangsung sering kali terjadi kerusakan mesin yang tidak terduga hal ini menyebabkan terjadinya *downtime* sehingga berpengaruh pada operasional perusahaan yang menyebabkan kerugian yang signifikan dan dapat menghasilkan biaya kehilangan produksi/jam yaitu sebesar Rp. 62.327.163,6/jam dan didapatkan biaya kerugian pergantian komponen sebesar Rp. 528.658.174 . Oleh karena itu, dengan melakukan penjadwalan perawatan mesin secara *preventive* sangatlah diperlukan untuk menunjang tercapainya kegiatan operasional perusahaan sehingga tidak terjadi kerugian yang signifikan.

Penelitian mengenai *preventive maintenance* dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pernah dilakukan sebelumnya, diantaranya

oleh (Wresni & Risvaldi, 2016) dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk menentukan komponen kritis mesin web pada PT. Riau Graindo Pekanbaru merupakan perusahaan percetakan dan penerbitan koran dengan hasil penelitian menunjukkan urutan komponen mesin web yang paling kritis, yaitu; Roll Tinta, Roll Air, Blangket, Gear Besar, Gear Kecil, Bealting Utama, Bealting Kecil Dan Bearing Roll Air. Nilai *reliabilitydowntime* komponen saat dilakukan penggantian adalah Roll Tinta 0.46; Roll Air 0.45; Blangket 0.44; Gear Besar 0.42; Gear Kecil 0.47; Bealting Utama 0.49; Bealting Kecil 0.49; dan Bearing Roll Air 0.47. Maka diusulkan penjadwalan penggantian komponen, yaitu Roll Tinta 104.5 jam; Roll Air 118.5 jam; Blangket 114.5 jam; Gear Besar 536.8 jam; Gear Kecil 415.3 jam; Bealting Utama 176 jam, Bealting Kecil 218 jam, dan Bearing Roll Air 206.5 jam, sehingga dengan adanya penjadwalan penggantian komponen, kerusakan-kerusakan komponen kritis selama proses produksi koran berlangsung dapat dihindari.

Penelitian selanjutnya, oleh (Bagus, et all., 2014) penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk mengurangi kerusakan mesin sehingga dapat menentukan komponen kritis pada mesin Blowing OM pada PT. Industri Sandang Nusantara Unit Patal Lawang hasil pengolahan data menunjukkan bahwa komponen kritis pada mesin Blowing OM berdasarkan frekuensi kerusakan mesin dan total *downtime* adalah komponen flat belt dan spike lattice. Analisis interval perawatan menunjukkan bahwa jenis kerusakan permukaan karet flat belt tidak rata memiliki interval perawatan yang optimal sebesar 510 jam, karet flat belt longgar 260 jam, flat belt putus 580 jam, kayu spike lattice patah 620 jam, dan paku spike lattice patah 500 jam. Dari perhitungan total biaya perawatan optimal diperoleh hasil dengan jenis kerusakan permukaan karet flat belt tidak rata sebesar Rp 7.973.519,82, karet flat belt longgar Rp 11.000.673,81, flat belt putus sebesar Rp 14.061.553,06, kayu spike lattice patah sebesar Rp 19.170330,63, dan paku spike lattice patah sebesar 30.880.512,66. Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II dibandingkan dengan total biaya perawatan sebelumnya terjadi penurunan biaya perawatan dalam mesin Blowing OM sebesar 10,27%.

Selanjutnya oleh, (Ardhikayana, et all., 2015) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk menemukan komponen kritis penyebab kegagalan mesin serta meminimumkan waktu dengan *total minimum downtime* yang diperoleh

pada minggu ke 9, mendekati waktu *standar cycle* mesin menjadi dasar dilakukannya perawatan secara berkala pada minggu tersebut. Pentingnya melakukan perawatan pencegahan dan penggantian untuk mengurangi kegagalan yang terjadi secara dini, dapat dilihat dari peningkatan efisiensi produktivitas sebesar 0,13%.

Selanjutnya, (Ratna Bhakti & Kromodihardjo , 2015) penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk menurunkan tingkat *breakdown* mesin dan *downtime* produksi pada PLTU Paiton Unit 3. Berdasarkan analisis data secara *Reliability Centered Maintenance* (RCM) terdapat 12 *failure mode* yang terjadi pada pulverizer. 3 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled restoration task*, 8 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled discard task*, dan 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *redesign*. Analisis kuantitatif menggunakan distribusi kegagalan dengan perangkat lunak Weibull++6 didapatkan MTBF (*Mean Time Between Failure*) grinding roller 2880,66 jam, MTBF hydraulic pump 5075,06 jam, MTBF gearbox 5381,65 jam dan MTBF coal feeder 525,17 jam.

Dan selanjutnya oleh, (Syahrudin , 2013) penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk meningkatkan keandalan pada komponen-komponen kritis dan menghitung interval perawatan optimal. Data yang dikumpulkan adalah data kualitatif dan data kuantitatif. Data kualitatif identifikasi melalui proses penyusunan *functional block diagram*, *system failure and function failure* dan *failure mode and effect analysis*. Data kuantitatif yaitu data waktu antar kerusakan dan lama waktu perbaikan diuji distribusinya. Hasil uji distribusi, data biaya kerusakan dan biaya perawatan digunakan untuk menghitung interval perawatan optimal. Hasilnya dituangkan dalam RCM *Decision Worksheet* yang digunakan sebagai sumber informasi tindakan perawatan yang akan dilakukan. Peningkatan terbesar pada *exhaust valve rocker arm* yaitu: 66,00% dan terkecil pada *exhaust valve seat* yaitu: 7.63%. Selain itu terjadi penurunan total biaya perawatan pada komponen-komponen kritis. Berdasarkan hasil perhitungan penurunan terbesar pada gasket yaitu: 45.85% dan terkecil pada *exhaust valve rocker arm* yaitu: 10,29%. Dalam hal ini interval perawatan untuk seluruh komponen kritis dapat dijadikan dasar kebijakan perawatan yang optimal. Pada saat ini perusahaan PT. Globalindo Intimates telah menerapkan *preventive maintenance* dalam kegiatan memelihara mesin dan peralatan. Namun terkadang dilapangan aktivitas produksi sering mengalami hambatan karena tidak berfungsinya

mesin produksi pada divisi sewing sesuai dengan standar perusahaan. Karena proses produksi terjadi secara kontinuitas disetiap harinya, maka apabila pada salah satu komponen mesin mengalami kerusakan akan menyebabkan terhentinya keseluruhan fungsi sistem pada mesin. Kegagalan dalam operasi mesin mengakibatkan *downtime* yang dapat menurunkan *performance* perusahaan dalam menghasilkan produk. *Downtime* pada mesin akan merugikan perusahaan karena akan menghambat proses produksi yang berlangsung. Terlihat dari data perusahaan selama periode bulan Maret 2016 sampai Februari 2017, rata – rata total lama downtime mesin pada divisi sewing adalah sebesar 20534 menit/tahun. Berdasarkan data kerusakan pada Divisi Sewing PT. Globalindo Intimates (01 Maret 2016 – 28 Februari 2017), kerusakan mesin tertinggi pada Divisi Sewing yaitu pada mesin zigzag dengan 215 kali frekuensi kerusakan dengan total *downtime* 7465 menit. Mesin zigzag dipilih dalam penelitian ini oleh penulis karena memiliki jumlah frekuensi dan *downtime* tertinggi dibandingkan mesin produksi divisi sewing lainnya. Mesin zigzag pada divisi sewing memiliki 4 merek yaitu merek singer, juki, zoje dan yamata. Dari keempat merek tersebut kerusakan mesin tertinggi terjadi pada mesin zigzag merek juki dengan 74 kali frekuensi kerusakan dan total *downtime* sebesar 2935 menit. Sedangkan komponen yang sering mengalami kerusakan tertinggi pada mesin zigzag merek juki yaitu komponen rotary dengan kerusakan yang terjadi karena tumpulnya pisau pengait benang dan tidak pasnya setelan antar pisau pengait benang dan jarum benang sehingga menghasilkan 12 kali frekuensi dan total downtime sebesar 500 menit. Komponen yang menjadi pokok kajian pada penelitian ini adalah komponen yang memiliki kerugian biaya investasi terbesar atau yang dinamakan komponen kritis.

Penelitian ini akan memfokuskan pada evaluasi manajemen perawatan mesin dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) ini digunakan untuk menentukan kegiatan dan waktu interval perawatan mesin berdasarkan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) yang berfungsi untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan serta efek yang akan ditimbulkan. Pendekatan perawatan yang digunakan yaitu menggunakan perawatan pencegahan. Jenis perawatan ini lebih efisien dan efektif karena dapat menentukan kegiatan waktu perawatannya dan biaya perawatannya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat diidentifikasi yang menjadi pokok permasalahan dalam penelitian pada PT. Globalindo Intimates adalah bagaimana menentukan interval waktu perawatan mesin zigzag terhadap komponen paling kritis sehingga dapat mengurangi *downtime* mesin dan biaya minimum yang dikeluarkan dalam pergantian komponen?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terfokus dan tidak menyimpang dari yang di harapkan maka perlu dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Data yang digunakan adalah data historis kerusakan mesin, penggantian suku cadang dan harga komponen suku cadang mesin serta data kegiatan perawatan mesin selama periode bulan Maret 2016 sampai Februari 2017.
2. Proses kegiatan produksi diasumsikan berjalan secara normal sesuai dengan loading kapasitas produksi yang berlaku pada jam kerja selama periode bulan Maret 2016 sampai Februari 2017.
3. Peneliti di fokuskan pada komponen kritis pada mesin kritis.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi komponen kritis pada mesin kritis
2. Menentukan waktu interval perawatan mesin kritis
3. Mengitung besarnya biaya perawatan sebelum maupun sesudah dilakukan perubahan interval waktu perawatan.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan akan mempunyai manfaat dan kegunaan bagi semua pihak, adapun manfaat yang diharapkan oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Bagi Universitas  
Memperkaya wawasan pengetahuan sebagai bahan studi bagi rekan-rekan mahasiswa dan juga sebagai pertimbangan bagi mahasiswa.
2. Bagi perusahaan

Menyajikan informasi lengkap mengenai kegiatan dan waktu perawatan dan menentukan besarnya biaya perawatan berdasarkan metode *Reliability Centered Maintenance* serta dapat digunakan sebagai pertimbangan bagi pihak perusahaan dalam merencanakan manajemen perawatan mesin.

### 3. Bagi peneliti

Mengaplikasikan teori manajemen perawatan yang telah diperoleh selama perkuliahan serta dapat menambah pengetahuan tentang penerapan manajemen perawatan di lapangan.

## 1.6 Sistematika Penelitian

Untuk menyelaraskan susunan hasil penelitian ini, maka dibuatlah sistematika penulisan. Adapun sistematika penulisan adalah sebagai berikut :

### **BAB I            PENDAHULUAN**

Memuat kajian singkat tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II            KAJIAN LITERATUR**

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

### **BAB III           METODELOGI PENELITIAN**

Bagian ini berisi tentang objek penelitian, pembangunan model, analisis model, program yang ingin dikembangkan, perencanaan penelitian dan tahapan – tahapan penelitian, bahan dan alat – alat yang digunakan, prosedur pelaksanaan, dan cara pengolahan data serta analisis data.

**BAB IV            PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

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

**BAB V            PEMBAHASAN**

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

**BAB VI            PENUTUP**

Pada bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan saran – saran yang dapat menyempurnakan penelitian.

**DAFTAR PUSTAKA**

Pada bab ini berisi tentang semua literatur, buku, jurnal, artikel dan lain – lain yang digunakan untuk mendukung penelitian ini.

**LAMPIRAN**

Memuat keterangan tabel, data perusahaan dan hal – hal lain yang perlu dilampirkan.

## BAB II

### KAJIAN LITERATUR

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai perawatan *preventive* mesin pernah dilakukan oleh (Pamungkas et al., 2014) yang berjudul Pengembangan Program *Preventive Maintenance* dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM II) dan Perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) Di Plant Ammonia PT Pupuk Kujang 1A. Penelitian ini berfokus pada menentukan kegiatan interval perawatan mesin berdasarkan pada RCM II *Decision Worksheet* sesuai dengan fungsi dan sistem kerja pada *equipment* kritis dan FMEA digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan dan efek yang ditimbulkan dari kegagalan tersebut. Hasil analisis Menggunakan Metode RCM yaitu memberikan usulan 66 kegiatan *scheduled on condition* dan 2 kegiatan *scheduled restoration* dengan waktu yang bervariasi tergantung pada karakteristik *equipment* tersebut. Total biaya untuk *preventive maintenance* adalah Rp. 15.220.719.538,60 dan *corrective maintenance* adalah Rp. 7.760.567.269,30 maka selisih dari biaya *preventive maintenance* dengan *corrective maintenance* adalah Rp. 7.460.152.269,30. Sehingga, biaya perawatan yang dikeluarkan oleh perusahaan akan berkurang 49% jika perusahaan menggunakan kebijakan *preventive maintenance* jika dibandingkan dengan kebijakan *corrective maintenance*.

Penelitian yang dilakukan oleh (Herdiani et al., 2015) yang berjudul Perancangan Kebijakan Perawatan Mesin Mitsubishi 1f-15000 dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM II) (Studi Kasus : PT Xyz). Penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM II) dengan melakukan analisis kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif berupa pengujian parameter TTF & TTR, perhitungan MTTF/MTBF dan MTTR. Analisis kualitatif berupa RCM II *Information Worksheet* dan RCM II *Decision Worksheet* agar dapat mengetahui kegiatan *preventive maintenance* yang tepat dan interval perawatan yang

sesuai berdasarkan reliability dari masing-masing komponen. Hasil dari penelitian ini adalah penentuan sistem kritis, *task selection* untuk setiap komponen, interval kegiatan perawatan, dan biaya perawatan usulan. *Task selection* yang terpilih untuk komponen-komponen mesin ada 3 jenis yaitu *schedule on condition task*, *schedule restoration task*, dan *schedule discard task* dengan total biaya perawatan usulan sebesar Rp 598.406.736 biaya tersebut lebih mahal daripada biaya perawatan existing yang berjumlah Rp 103.500.000, hal ini dikarenakan kegiatan perawatan usulan yang direncanakan memperhatikan karakteristik kerusakan dari setiap komponen sehingga hal tersebut dapat mengurangi resiko kerusakan komponen di masa yang akan datang dan dapat meminimalisasi kerugian perusahaan akibat lamanya waktu *downtime* mesin.

Penelitian selanjutnya, dilakukan oleh (Rahmawan et al., 2015) yang berjudul Optimasi Kebijakan Perawatan Base Transceiver Station (BTS) dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Studi Kasus : PT Telkomsel Kota Bandung. Penelitian ini memfokuskan terhadap kebijakan *maintenance* untuk komponen kritis pada subsistem transmisi adalah 9 *scheduled on-condition* dan 3 *run to failure*. Berdasarkan hasil pengukuran kuantitatif didapatkan interval *maintenance* masing-masing komponen yaitu Link GPON interval *maintenance*-nya adalah 61,92 jam, komponen Fiber Optik selama 464,84 jam, komponen OMUX selama 555,145 jam, komponen RL Simpul selama 370,191 jam, komponen E1 selama 257,745 jam, komponen RL RTN selama 76,488 jam, komponen FMUX selama 132 jam, komponen Modul RMJ selama 129,653 jam, dan Link Infratel selama 39,37 jam. Dan untuk komponen RL NEC, ODU, dan IDU tidak memiliki interval *maintenance* karena kebijakan *maintenance* yang diusulkan adalah *run to failure*. Dan hasil perhitungan biaya perawatan *preventive maintenance existing* adalah sebesar Rp. 37.512.000 per tahun, biaya perawatan *corrective maintenance* adalah sebesar Rp. 659.788.956 per tahun. Sedangkan, perhitungan usulan biaya perawatan *preventive maintenance (scheduled on condition)* adalah Rp. 181.064.293. Biaya perawatan *preventive maintenance* yang didapatkan ternyata lebih besar dibandingkan dengan biaya *existing* karena frekuensi kegiatan *preventive maintenance* yang dilakukan perusahaan adalah konstan yaitu satu bulan per kegiatan untuk seluruh komponen.

## 2.2 Definisi Perawatan

Perawatan atau *maintenance* merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menjaga atau memperbaiki setiap fasilitas agar tetap dalam keadaan yang dapat diterima menurut

standar yang berlaku pada tingkat biaya yang wajar (Supandi, 2015). Sedangkan, menurut (Assauri S., 1993) perawatan dapat diartikan sebagai salah satu kegiatan pemeliharaan fasilitas pabrik serta mengadakan perbaikan, penyesuaian atau pergantian yang diperlukan agar suatu keadaan operasi produksi sesuai dengan yang direncanakan.

### **2.2.1 Tujuan Perawatan**

Dalam istilah perawatan (*maintenance*) disebutkan bahwa tercakup dua pekerjaan yaitu perawatan dan perbaikan. Perawatan dimaksudkan sebagai aktifitas untuk mencegah kerusakan, sedangkan istilah perbaikan dimaksudkan sebagai tindakan untuk memperbaiki kerusakan. Kegiatan *maintenance* memiliki tujuan utama yaitu (Corder, 1988):

- a. Memperpanjang usia kegiatan asset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya).
- b. Menjamin kesediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu.
- c. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

### **2.2.2 Bentuk – Bentuk Perawatan**

Kegiatan *maintenance* memiliki banyak bentuknya tergantung jenis kegiatan apa yang sering dilakukan. Menurut (Sudrajat, 2011) tentang bentuk – bentuk perawatan yaitu:

1. *Preventive maintenance* 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 saat proses produksi.
2. *Corrective maintenance* atau *breakdown maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan atau kelainan pada fasilitas sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik.

Sedangkan, menurut (Corder, 1988) perawatan (*maintenance*) dibagi menjadi dua, yaitu perawatan terencana dan perawatan tidak terencana.

a. Perawatan Terencana (*Planned Maintenance*)

Perawatan terencana adalah perawatan yang diorganisir dengan perkiraan ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya, perawatan ini terbagi 2 yaitu:

1. Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Pemeliharaan yang dilakukan pada selang waktu yang sudah ditentukan sebelumnya.

2. Perawatan Perbaikan (*Corrective Maintenance*)

Pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian yang berhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima.

Menurut (Ebeling C. , 2015) ada empat jenis *planned maintenance*, yaitu *preventive maintenance*, *corrective maintenance*, *improvement maintenance*, dan *condition based maintenance*.

b. Perawatan Tidak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

Perawatan tidak terencana merupakan perawatan darurat dimana pemeliharaan yang harus segera dilakukan untuk mencegah hilangnya produksi, kerusakan besar atau untuk keselamatan kerja.

### 2.2.3 Lingkup Kegiatan Perawatan

Menurut(Sudrajat, 2011) ruang lingkup kegiatan industri dapat digolongkan ke dalam beberapa kategori diantaranya berdasarkan :

a. Kebijakan perawatan yang diterapkan, kegiatan yang dilakukan di antaranya meliputi:

- Perawatan terjadwal
- Perawatan *breakdown*
- Perawatan prediktif

b. Urutan kegiatan, berdasarkan langkah-langkah perawatan maka ruang lingkupnya meliputi :

- Pemeriksaan/evaluasi awal
- Pembongkaran/ *disassembling*
- Pencucian
- Inspeksi

- Perakitan/*assembling*
- Inspeksi akhir

c. Penggolongan kegiatan, berdasarkan jenis kegiatan didapat :

- Instalasi
- Operasi mesin
- Inpeksi
- *Trouble shooting*
- Monitoring
- Pelumasan
- Perawatan dan perbaikan
- *Semi overhaule*
- *Overhaule*
- Pengujian/kalibrasi

#### **2.2.4 Tugas Perawatan**

Menurut (Kurniawan, 2013) kegiatan pemeliharaan/perawatan dapat digolongkan ke dalam salah satu dari lima tugas pokok, yaitu :

1. Kegiatan inspeksi adalah kegiatan pengecekan atau pemeriksaan secara berkala (*routine schedule check*) bangunan dan peralatan pabrik sesuai dengan rencana serta melakukan pelaporan terhadap kerusakan dari hasil pengecekan. Tujuan inspeksi yakni mengetahui kesiapan perusahaan dalam menyediakan fasilitas produksi yang baik untuk menjamin kelancaran produksi.
2. Kegiatan teknik (*Engineering*) adalah kegiatan percobaan untuk peralatan baru, kegiatan – kegiatan pengembangan peralatan atau komponen yang perlu diganti dan melakukan penelitian terhadap kemungkinan pengembangan. Tujuan dari kegiatan ini mengetahui kemampuan mengadakan perubahan dan perbaikan fasilitas produksi yang mengalami kerusakan.
3. Kegiatan produksi (*Production*) adalah kegiatan pemeliharaan yang sebenarnya, yaitu melakukan perbaikan terhadap mesin – mesin /peralatan produksi. Secara fisik, melakukan pekerjaan yang disarankan atau diusulkan

dalam kegiatan inspeksi dan teknik (*engineering*), melakukan kegiatan *service* dan pelumasan. Kegiatan produksi ini dimaksudkan agar kegiatan pengolahan/pabrik dapat berjalan lancar sesuai dengan rencana.

4. Pekerjaan administrasi (*Clerical work*) adalah kegiatan yang berhubungan dengan pencatatan – pencatatan mengenai biaya yang muncul dari kegiatan pemeliharaan dan pekerjaan pemeliharaan, komponen atau *spare parts* yang dibutuhkan, *progress report* tentang apa yang telah dikerjakan, waktu inspeksi dan perbaikan serta lama perbaikan, komponen yang ada di bagian pemeliharaan.
5. Pemeliharaan bangunan (*House keeping*) adalah kegiatan menjaga bangunan kantor maupun pabrik, melakukan pembersihan lingkungan perusahaan dan melakukan kegiatan pemeliharaan peralatan yang tidak termasuk dalam kegiatan teknik dan produksi.

### 2.3 Diagram Pareto

Seperti halnya teknik *multi-voting* kelompok nominal (NGT), pareto chart merupakan metode untuk menentukan masalah mana yang harus dikerjakan lebih dahulu. Pareto chart, mendasari keputusan pada data kuantitatif. Gunakan pareto chart untuk mengidentifikasi beberapa isu vital dengan menerapkan aturan perbandingan 80:20, artinya 80% peningkatan dapat dicapai dengan memecahkan 20% masalah terpenting yang dihadapi (Yamit, 2010).

Menurut (Yamit, 2010) Pareto chart sangat tepat digunakan jika menginginkan hal-hal berikut ini :

1. Menentukan prioritas karena keterbatasan sumber daya.
2. Menggunakan kearifan tim secara kolektif.
3. Menghasilkan konsesus atas keputusan akhir.
4. Menempatkan keputusan pada data kuantitatif.

### 2.4 *Reliability Centred Maintenance (RCM)*

Menurut (Moubray J. , 2015) *Reliability Centred Maintenance (RCM)* merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan keperluan perawatan terhadap aset-aset fisik yang dimiliki perusahaan dalam konteks operasi yang dilakukan. Tujuan utama dari RCM adalah untuk mempertahankan fungsi sistem. RCM mempertahankan fungsi

tersebut dengan cara mengidentifikasi mode kegagalan (*failure mode*) dan memprioritaskan tingkat kepentingan dari mode kegagalan.

Menurut (Kurniawan, 2013) Terdapat beberapa manfaat bagi perusahaan, apabila melaksanakan RCM, antara lain :

- a. Meningkatkan kinerja operasi, sehingga mampu menghasilkan produk yang berkualitas.
- b. Meningkatkan keselamatan dan perlindungan terhadap lingkungan kerja.
- c. Efisiensi terhadap layanan pemeliharaan.
- d. Memperpanjang umur pemakaian peralatan dan mesin, khususnya mesin dengan biaya yang mahal.
- e. Memperbaiki sistem database pada departemen perawatan, sehingga dapat lebih teratur.
- f. Meningkatkan kerjasama antar karyawan dan memotivasi individu untuk dapat bekerja dengan lebih baik.

Secara umum, langkah-langkah RCM terdiri dari 7 langkah seperti dijabarkan berikut ini (Kurniawan, 2013):

- a. Pemilihan sistem dan pengumpulan informasi.  
Bila keseluruhan sistem yang ada ingin diperbaiki, maka akan memakan waktu yang cukup lama dan membutuhkan biaya yang tinggi. Dengan demikian untuk menyederhakan permasalahan perlu ditentukan sistem yang akan dianalisis secara mendetail.
- b. Definisi batasan sistem.  
Definisi batasan sistem dilakukan untuk mengetahui apa yang termasuk dan tidak termasuk ke dalam sistem yang diamati.
- c. Deskripsi sistem dan *Functional Diagram Block* (FDB).  
Pendesripsian sistem bertujuan untuk mengidentifikasi dan mendokumentasikan detail penting dari sistem seperti data historis dari sistem, cara kerja sistem bersangkutan, *input* dan *output* sistem, dsb.
- d. Penentuan fungsi dan kegagalan fungsional.  
Fungsi dapat diartikan sebagai apa yang dilakukan oleh suatu peralatan yang merupakan harapan pengguna. Kegagalan (*failure*) dapat diartikan sebagai ketidakmampuan suatu peralatan untuk melakukan apa yang diharapkan oleh

pengguna. Sedangkan kegagalan fungsional dapat diartikan sebagai ketidakmampuan suatu peralatan untuk memenuhi fungsinya pada performansi standar yang dapat diterima oleh pengguna.

e. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

FMEA bertujuan untuk menentukan mode kegagalan yang signifikan dan efek kerusakan tersebut pada sistem. *Failure effect* merupakan akibat yang ditimbulkan oleh mode kegagalan yang terjadi. Hubungan antar kegagalan fungsi serta penyebab terjadi kegagalan tersebut dapat ditentukan dengan cara mendata kegagalan fungsi yang telah terjadi (data historis). Selanjutnya analisa tersebut digunakan untuk menentukan konsekuensi dan memutuskan apa yang akan dilakukan untuk mengantisipasi, mencegah, mendeteksi atau memperbaikinya.

f. *Logic Tree Analysis* (LTA)

*Logic Tree Analysis* merupakan suatu pengukuran kualitatif yang digunakan untuk mengklasifikasi-kan mode kegagalan. Namun dalam penelitian ini, *Logic Tree Analysis* digantikan oleh *Risk Matrix* karena fungsinya yang hampir sama.

g. *Task selection* (pemilihan kegiatan perawatan).

*Task Selection* dilakukan untuk menentukan kebijakankebijakan yang mungkin untuk diterapkan (efektif) dan memilih task yang paling efisien untuk setiap mode kegagalan.

Menurut((IAEA), 2008) penelitian mengenai RCM pada dasarnya berusaha menjawab 7 pertanyaan utama tentang item/peralatan yan diteliti. Ketujuh pertanyaan mendasar tersebut adalah:

1. Apakah fungsi dan hubungan performansi standar dari item dalam konteks pada saat ini (*system function*)?
2. Bagaimana item/peralatan tersebut rusak dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*)?
3. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi tersebut (*failure mode*)?
4. Apakah yang terjadi pada saat terjadi kerusakan (*failure effect*)?
5. Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut terjadi (*failure consequence*)?

6. Apakah yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah masing-masing kegagalan tersebut (*proactive task and task interval*)?
7. Apakah yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tidak berhasil ditemukan?

Prinsip – prinsip dalam *Reliability Centered Maintenance* adalah

1. RCM memelihara fungsional sistem, bukan sekedar memelihara suatu sistem/alat agar beroperasi tetapi memelihara agar fungsi sistem/alat tersebut sesuai dengan harapan.
2. RCM lebih fokus kepada fungsi sistem daripada suatu komponen tunggal, yaitu apakah sistem masih dapat menjalankan fungsi utama jika suatu komponen mengalami kegagalan.
3. RCM berbasiskan pada kehandalan yaitu kemampuan suatu sistem/equipment untuk terus beroperasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan.
4. RCM bertujuan menjaga agar kehandalan fungsi sistem tetap sesuai dengan kemampuan yang didesain untuk sistem tersebut.
5. RCM mengutamakan keselamatan (*safety*) baru kemudian untuk masalah ekonomi.
6. RCM mendefinisikan kegagalan (*failure*) sebagai kondisi yang tidak memuaskan (*unsatisfactory*) atau tidak memenuhi harapan, sebagai ukurannya adalah berjalannya fungsi sesuai *performance standart* yang ditetapkan.
7. RCM harus memberikan hasil-hasil yang nyata/jelas. Tugas yang dikerjakan harus dapat menurunkan jumlah kegagalan (*failure*) atau paling tidak menurunkan tingkat kerusakan akibat kegagalan.

#### **2.4.1 Metodologi RCM**

Menurut (Moubray J. ,1997) metode RCM memiliki 7 tahapan dalam penyusannya. Tahapan tersebut antara lain:

#### **2.4.1.1 Pemeliharaan Sistem dan Pengumpulan Informasi**

Pemeliharaan sistem dapat didasarkan pada beberapa aspek kriteria yaitu:

1. Sistem yang mendapatkan perhatian yang tinggi karena berkaitan dengan masalah keselamatan (*safety*) dan lingkungan.
2. Sistem yang memiliki *preventive maintenance* dan biaya *preventive maintenance* yang tinggi.
3. Sistem yang memiliki tindakan *corrective maintenance* dan biaya *corrective maintenance* yang banyak.
4. Sistem yang memiliki kontribusi yang besar atas terjadinya full atau *partial outage* atau *shutdown*.

#### **2.4.1.2 Mendefinisikan Batasan Sistem**

Definisi batas sistem (*system boundary defination*) digunakan untuk mendefinisikan batasan-batasan suatu sistem yang akan dianalisis dengan *Reliability Centered Maintenance* (RCM).

#### **2.4.1.3 Deskripsikan sistem dan *Function Block Diagram***

Deskripsi sistem dan diagram blok merupakan representasi dari fungsi-fungsi utama sistem yang berupa blok-blok yang berisi fungsi-fungsi dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut.

#### **2.4.1.4 Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsi**

Fungsi (*Function*) adalah kerja (*performance*) yang diharapkan oleh suatu sistem untuk dapat beroperasi *Functional Failure* (FF) didefinisikan sebagai ketidak mampuan suatu komponen/sistem untuk memenuhi standar prestasi (*performance standard*) yang diharapkan.

#### **2.4.1.5 *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)**

*Failure Mode* dapat diartikan sebagai sebuah teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan kegagalan potensial, error dan masalah yang diketahui dari sistem, desain, proses atau jasa sebelum hal tersebut sampai ke konsumen. Menurut (Moubray J. ,2014)*Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan yang mungkin menyebabkan setiap kegagalan fungsi dan untuk memastikan pengaruh kegagalan berhubungan dengan setiap bentuk kegagalan.

Secara umum, FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) didefinisikan sebagai teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu:

1. Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk dan proses selama siklus hidupnya.
2. Efek dari kegagalan tersebut.
3. Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk dan proses.

Tujuan yang dicapai dengan penerapan FMEA oleh perusahaan adalah:

1. Untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan tingkat keparahan efeknya.
2. Untuk mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan.
3. Untuk mengurutkan pesanan desain potensial dan efisiensi proses.
4. Untuk membantu fokus engineer dalam mengarahkan perhatian terhadap produk dan proses dan membantu mencegah timbulnya permasalahan.

Output dari proses FMEA adalah:

1. Daftar *mode* kegagalan yang potensial pada proses.
2. Daftar *critical characteristic* dan *significant characteristic*.
3. Daftar tindakan yang direkomendasikan untuk menghilangkan penyebab munculnya mode kegagalan atau untuk mengurangi tingkat kejadian dan untuk meningkatkan deteksi terhadap produk cacat bila kapabilitas proses tidak dapat ditingkatkan.

Menurut (Ebeling, 2015) Tahapan FMEA yaitu:

- a. Menentukan dan mendefinisikan sistem yang akan dianalisis.
- b. Mengidentifikasi *failure mode* (mode kegagalan) dari sistem yang diamati berdasarkan komponen atau fungsi.
- c. Mengidentifikasi penyebab (*potential cause*) dari *failure mode* yang terjadi pada proses yang berlangsung.
- d. Mengidentifikasi akibat (*potential effect*) yang ditimbulkan *potential failure mode*.
- e. Menetapkan nilai-nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Untuk ketiga penilaian tersebut dilakukan berdasarkan kriteria penilaian dari Huber dalam jurnalnya yaitu FMEA-FMECA.

- f. Membuat lembar kerja FMEA. Lembar kerja ini dibuat untuk mempermudah pelaksanaan analisis kegagalan dengan FMEA. Lembar kerja FMEA dapat disesuaikan dengan kondisi serta kebutuhan dalam penelitian yang dilakukan. Lembar kerja ini tidak terpaku pada suatu tabel tertentu melainkan dapat dimodifikasi sesuai dengan keperluan penelitian.
- g. Membuat matriks resiko untuk menunjukkan seberapa parah atau kritis kegagalan yang terjadi. Matriks ini dibuat berdasarkan nilai *severity* dan *occurrences* yang telah ditetapkan pada langkah sebelumnya. Matriks ini menggambarkan fungsi dari nilai *occurrence* terhadap nilai *severity*.
- h. Langkah terakhir dari pelaksanaan FMEA adalah menentukan tindakan korektif yang diperlukan untuk mengatasi mode kegagalan yang terjadi.

Kerusakan suatu alat atau komponen pada mesin akan memiliki dampak yang cukup besar bagi perusahaan dalam proses produksinya. Karena bermacam-macam kerusakan akan memiliki efek dan akibat terhadap kinerja mesin. Oleh karena itu, penyebab kerusakan pada mesin dapat dicari dan bukan tidak mungkin bisa diantisipasi dan dicegah. Berikut contoh tabel *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA):

Tabel 2.1Tabel FMEA

RCM II		Sistem :							
Information		Sub-sistem :							
Worksheet		Fungsi Sub-sistem :							
No.	Equipment	Function	Function Failure	Failure Mode	Effect of Failure	S	O	D	RPN

Sumber : (Gasperz, 2002)

Pada tabel diatas, untuk kolom equipment diisikan dari nama komponennya, kolom function diisi fungsi dari komponen tersebut, kolom *function failure* diisi kegagalan atau kerusakan komponen dalam menjalankan fungsinya, kolom *failure mode* diisi penyebab dari kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada komponen dan *effect of failure* diisikan kemungkinan-kemungkinan yang terjadi apabila terjadi kegagalan atau kerusakan. Sedangkan untuk pengisian S (*severity*), O (*occurance*) dan D (*detection*) perlu disesuaikan dengan tabel.

Hal utama dalam FMEA adalah *Risk Priority Number* (RPN). RPN merupakan produk matematis dari keseriusan *effect* (*severity*), kemungkinan terjadinya *cause* akan menimbulkan kegagalan yang berhubungan dengan *effect* (*occurance*), dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi (*detection*).

Skala pertama yaitu tingkat keparahan (*severity*). *Severity* adalah penilaian terhadap keseriusan dari efek yang ditimbulkan. Dalam arti setiap kegagalan yang timbul akan dinilai seberapa besarkah tingkat keseriusannya. Terdapat hubungan langsung antara efek dan *severity*. Sebagai contoh, apabila efek yang terjadi adalah efek yang kritis, maka nilai *severity* pun akan tinggi. Dengan demikian, apabila efek yang terjadi bukan merupakan efek yang kritis, maka nilai *severity* pun akan sangat rendah.

Skala kedua yaitu kejadian (*Occurance*). *Occurance* adalah kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan produk. *Occurance* merupakan nilai rating yang disesuaikan dengan frekuensi yang diperkirakan dan angka kumulatif dari kegagalan yang dapat terjadi.

Skala ketiga yaitu metode deteksi (*Detection*). Nilai *detection* diasosiasikan dengan pengendalian saat ini. *Detection* adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan atau mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Setelah rating ditentukan selanjutnya hasil RPN menunjukkan tingkatan prioritas peralatan yang dianggap beresiko tinggi, sebagai petunjuk kearah tindakan perbaikan. RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut (Gasperz, 2002):

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection \dots \dots \dots (2.1)$$

Berikut merupakan tabel penilaian untuk S (*Severity*), O (*Occurance*) dan D (*Detection*):

Tabel 2.2 Rating *Severity*

<b>Rating <i>Severity</i> Pada FMEA Perawatan</b>			
<b>Ranking</b>	<b>Akibat</b>	<b>Kriteria Verbal</b>	<b>Akibat Pada Produksi</b>
1	Tidak ada akibat	Tidak mengakibatkan apa-apa (tidak akibat), penyesuaian yang diperlukan	Proses dalam pengendalian dengan tanpa perawatan
2	Akibat sangat	mesin tetap beroperasi dan aman, hanya terjadi sedikit	proses dalam pengendalian, hanya

<b>Rating Severity Pada FMEA Perawatan</b>			
<b>Ranking</b>	<b>Akibat</b>	<b>Kriteria Verbal</b>	<b>Akibat Pada Produksi</b>
	ringan	gangguan peralatan yang tidak berarti, akibat hanya dapat diketahui oleh operator berpengalaman	membutuhkan sedikit perawatan
3	Akibat ringan	Mesin tetap beroperasi dan aman, hanya terjadi sedikit gangguan peralatan yang tidak berarti, akibat hanya dapat diketahui oleh rata-rata operator	Proses telah berada diluar pengendalian, beberapa penyesuaian diperlukan
4	Akibat minor	Mesin tetap beroperasi dan aman, hanya terjadi sedikit gangguan, akibat hanya dapat diketahui oleh semua operator	Kurang dari 30 menit downtime atau tidak ada kehilangan waktu produksi
5	Akibat moderat	Mesin tetap beroperasi dan aman, namun telah menimbulkan kegagalan produk. Operator merasa tidak puas, karena tingkat kerja berkurang	30-60 menit <i>downtime</i>
6	Akibat signifikan	Mesin tetap dapat beroperasi dan aman, tetapi menimbulkan kegagalan produk. Operator merasa sangat tidak puas dengan kinerja mesin.	1-2 jam <i>downtime</i>
7	Akibat major	Mesin tetap dalam beroperasi, tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh. Operator merasa sangat tidak puas.	2-4 jam <i>downtime</i>
8	Akibat ekstrim	Mesin tetap dalam beroperasi, telah kehilangan fungsi utama mesin	4-8 jam <i>downtime</i>
9	Akibat serius	Mesin gagal beroperasi, serta tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja	> 8 jam <i>downtime</i>
10	Akibat berbahaya	Mesin tidak layak di operasikan karena dapat menimbulkan kecelakaan secara tiba-tiba dan bertentangan dengan peraturan keselamatan kerja.	> 8 jam <i>downtime</i>

Sumber : (Gasperz, 2002)

Tabel 2.3 Rating Occurance

<b>Rating Severity Pada FMEA Perawatan</b>			
<b>Ranking</b>	<b>Kejadian</b>	<b>Kriteria Verbal</b>	<b>Tingkat kejadian kerusakan</b>
1	Hampir tidak pernah	Kerusakan hampir tidak pernah terjadi	> 10.000 jam operasi
2	Remote	Kerusakan jarang terjadi	6.001-10.000 jam operasi
3	Sangat sedikit	Kerusakan terjadi sangat sedikit	3.001-6.000 jam operasi
4	Sedikit	Kerusakan terjadi sedikit	2.001-3.000 jam operasi
5	Rendah	Kerusakan terjadi pada tingkat rendah	1.001-2.000 jam operasi
6	Medium	Kerusakan terjadi pada tingkat medium	401-1.000 jam operasi
7	Agak tinggi	Kerusakan terjadi agak rusak	101-100 jam operasi
8	Tinggi	Kerusakan terjadi tinggi	11-10 jam operasi
9	Sangat tinggi	Kerusakan terjadi sangat tinggi	2-10 jam operasi
10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi	< 2 jam operasi

Sumber : (Gasperz, 2002)

Tabel 2.4 Rating Detection

<b>Rating Detection</b>		
<b>Ranking</b>	<b>Kejadian</b>	<b>Kriteria Verbal</b>
1	Hampir pasti	Perawatan <i>preventive</i> akan selalu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
2	Sangat tinggi	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
3	Tinggi	Perawatan <i>preventive</i> memiliki menungkinan tinggi untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
4	<i>Moderately high</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>moderate high</i> untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
5	<i>Moderate</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>moderate</i> untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau

<b>Rating Detection</b>		
<b>Ranking</b>	<b>Kejadian</b>	<b>Kriteria Verbal</b>
		mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat rendah	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
8	<i>Remote</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>remote</i> untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme dan mode kegagalan
9	<i>Very remote</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>very remote</i> untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme dan mode kegagalan
10	Tidak pasti	Perawatan <i>preventive</i> akan selalu tidak mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan metode kegagalan

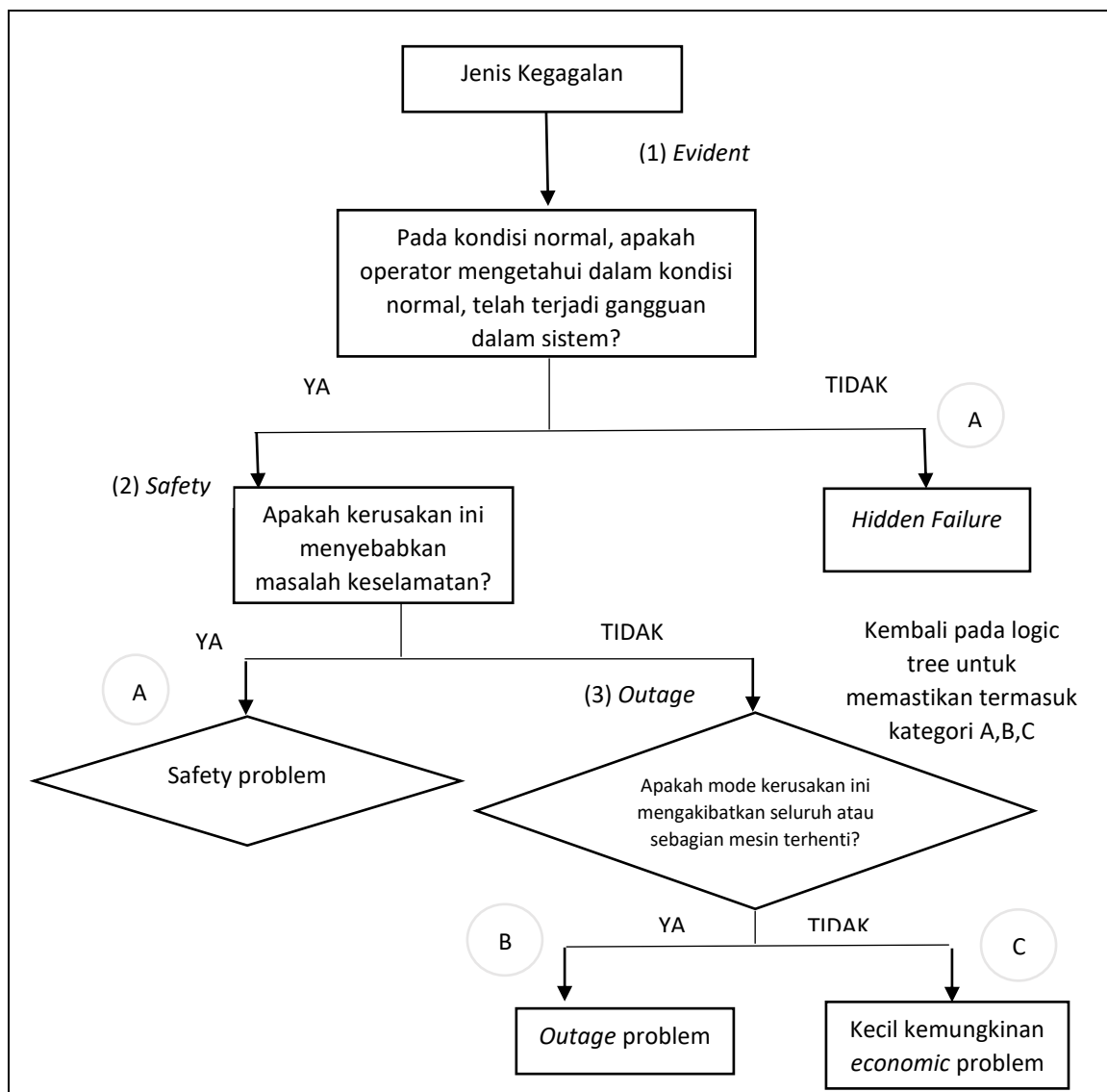
Sumber : (Gasperz, 2002)

#### 2.4.1.6 Logic Tree Analysis (LTA)

Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA) bertujuan untuk membedakan prioritas setiap jenis kerusakan dan melakukan tinjauan fungsi dan kegagalan fungsi. Prioritas pada setiap jenis kerusakan diketahui dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan yang ada LTA. Menurut (Smith & Gleen, 2003) analisis analisis kekritisan menentukan setiap jenis kerusakan ke dalam empat kategori. Keempat analisis kekritisan itu sebagai berikut:

1. *Evident*, yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem?
2. *Safety*, yaitu apakah kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?
3. *Outage*, yaitu apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin terhenti?
4. *Category*, yaitu pengkategorian setelah menjawab pertanyaan-pertanyaan yang diajukan. Pengkategorian terbagi menjadi 4 kategori yaitu:
  - a) Kategori A (*Safety Problem*)
  - b) Kategori B (*Outage Problem*)
  - c) Kategori C (*Economic Problem*)
  - d) Kategori D (*Hidden Problem*)

Berikut merupakan pertanyaan pada *Logic Tree Analysis* (LTA) :

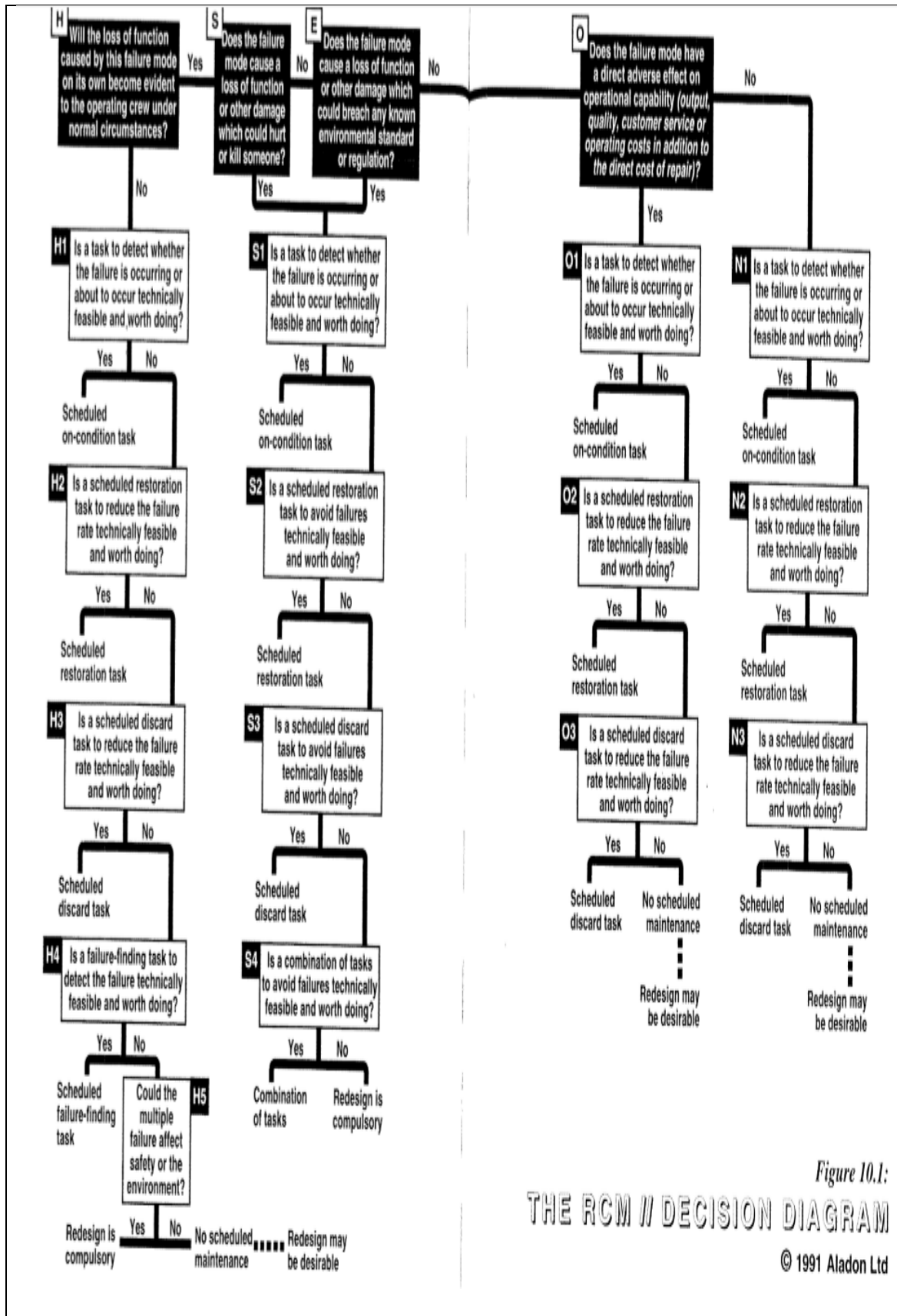


Gambar 2.1 Struktur *Logic Tree Analysis*

Sumber : (Smith & Gleen, 2003)

#### 2.4.1.7 RCM II *Decision Worksheet*

Pada tahap ini merupakan penggabungan dan analisa dengan tabel FEMA dan mengetahui konsekuensi kegagalan pada tahap LTA serta dengan menggunakan RCM *decision diagram*. Penggunaan RCM *decision diagram* untuk menentukan tugas atau task yang diusulkan pada kejadian kegagalan yang ada. Ada 4 bagian dalam task di antaranya *scheduled discard task*, *scheduled restoration task*, *scheduled on-condition task* dan *combination of task*. Berikut ini adalah *decision diagram* dalam menentukan tugas atau task yang diusulkan dan tabel *worksheet diagram* :



Gambar 2.2 Decision Diagram

Sumber: (Moubray J. ,1997)

Tabel 2.5 RCM II *Decision Worksheet*

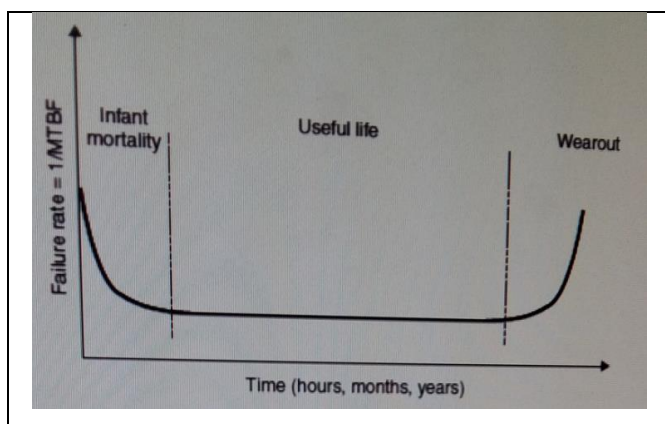
RCM II Decision Worksheet		Sistem :								Date :	Sheet No
		Sub-sistem :									
		Fungsi Sub-sistem :									
Information Referance	Consequenc e evaluation	H			Default Action	Proposed Task	Initial Interval (hours)	Can be done by			
		1	2	3							
No.	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	H	H	S
									1	2	3
									4	5	4
									1	2	3

Sumber: (Moubray J. ,1997)

RCM II *Decision Worksheet* pengisian kolom F,FF dan FM diisi sesuai dengan tabel FMEA. Untuk kolom H, S, E, O, H1, H2, H3, S1, S2, S3, E1, E2, E3, O1, O2, O3, H4, H5, H6 dan S4 diisi berdasarkan hasil *decision diagram* atau *logic tree analysis*.

**2.5 Keandalan**

Keandalan adalah probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan menginformasikan suatu fungsi yang dibutuhkan dalam periode tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi (Ebellling, 1997). Secara umum konsep keandalan dapat digambarkan dalam *Bathtub Curve* yang menjelaskan siklus hidup *item* atau komponen.



Gambar 2.3Bathtub Curve

Sumber:(Moubray J. ,1997)

Fase *mortality*, merupakan fase dimana suatu sistem mengalami penurunan, yang biasanya hal ini merupakan ciri awal penggunaan mesin. Pada fase ini menunjukkan terjadinya kerusakan dini dan probabilitas kerusakan pada saat ini akan lebih besar dibandingkan disaat yang akan datang. Fase kedua yaitu fase *useful life* merupakan fase dimana laju kerusakan yang terjadi cenderung konstan. Kerusakan yang terjadi biasanya diakibatkan oleh pembebanan yang tiba-tiba yang besarnya diluar batas kemampuan komponen atau kondisi ekstrim lainnya. Pada fase ketiga yaitu fase *wearout*, pada fase ini laju kerusakan yang akan meningkat tajam. Hal ini dikarenakan mulai memburuknya kondisi alat atau komponen yang biasanya pemakaiannya melebihi umur komponen.

**2.6 Fungsi Distribusi Kegagalan**

Menurut (Ebellling, 1997) terdapat 4 macam distribusi yang dapat digunakan untuk mengetahui pola data yang terbentuk diantaranya distribusi *Weibull*, *normal*, *lognormal* dan *eksponensial*.

**2.6.1 Distribusi Weibull**

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi yang paling banyak digunakan untuk waktu kerusakan karena distribusi ini baik digunakan untuk laju kerusakan yang meningkat maupun laju kerusakan yang menurun. Terdapat dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini yaitu  $\theta$  yang disebut dengan parameter skala (*scale parameter*) dan  $\beta$  yang disebut dengan parameter bentuk (*shape parameter*). Fungsi *Reliability* yang terdapat dalam distribusi *Weibull* yaitu:

$$Reliability\ function : R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana  $\theta > 0$ ,  $\beta > 0$ , dan  $t \geq 0$

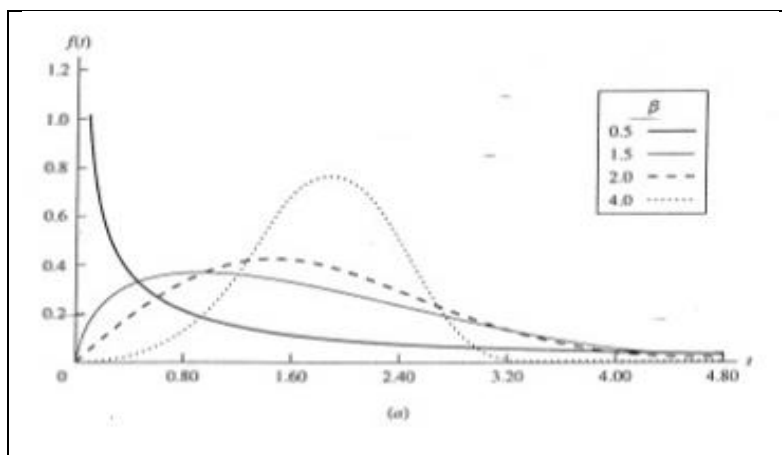
Dalam distribusi *Weibull* yang menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk adalah parameter  $\beta$ . Nilai-nilai  $\beta$  menunjukkan laju kerusakan terdapat dalam tabel berikut:

Tabel 2.6 Nilai – Nilai Parameter  $\beta$

Nilai	Laju Kerusakan
$0 < \beta < 1$	Pengaruh laju kerusakan (DFR)
$\beta = 1$	Distribusi Eksponensial
$1 < \beta < 2$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), <i>Konkaf</i>

Nilai	Laju Kerusakan
$\beta = 2$	Distribusi <i>Rayleigh</i>
$\beta > 2$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), <i>Konskaf</i>
$3 \leq \beta \leq 4$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), mendekati kurva normal

Jika parameter  $\beta$  mempengaruhi laju kerusakan maka parameter  $\theta$  mempengaruhi nilai tengah dari pola data.



Gambar 2.4 Distribusi Weibull

Sumber: (Ebellling, 1997)

Fungsi – fungsi dalam distribusi weibull adalah sebagai berikut:

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \dots \dots \dots (2.3)$$

untuk  $t \geq 0$

- b. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \dots \dots \dots (2.4)$$

- c. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \dots \dots \dots (2.5)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \dots \dots \dots (2.6)$$

- d. Fungsi Laju Kerusakan

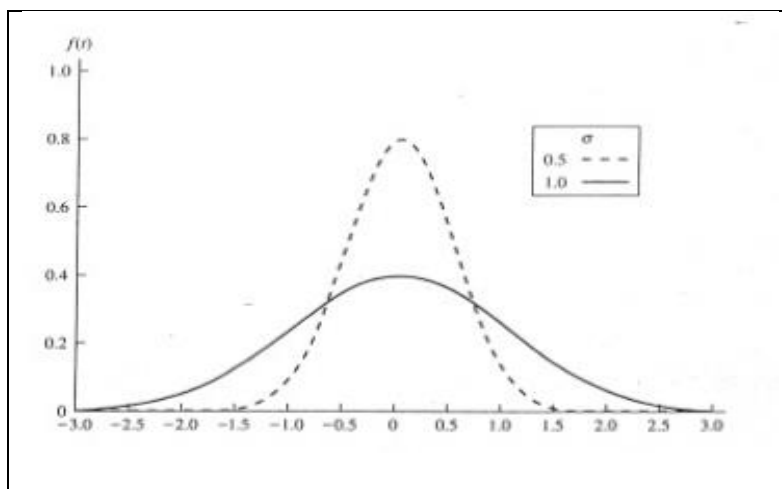
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \dots \dots \dots (2.7)$$

**2.6.2 Distribusi Normal**

Distribusi Normal cocok untuk digunakan dalam memodelkan fenomena keausan (kelelahan) atau kondisi wear out dari suatu item. Sebenarnya distribusi ini bukanlah distribusi reliabilitas murni karena variabel acaknya memiliki range antara minus tak hingga sampai plus tak hingga. Akan tetapi, karena hampir untuk semua nilai  $\mu$  dan  $\sigma$ , peluang untuk variabel acak yang memiliki nilai negatif dapat diabaikan, maka distribusi normal dapat digunakan sebagai pendekatan yang baik untuk proses kegagalan. Parameter yang digunakan adalah  $\mu$  (nilai tengah) dan  $\sigma$  (standar deviasi). Karena hubungannya dengan distribusi lognormal, distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisa probabilitas lognormal. Fungsi reliability yang terdapat dalam distribusi normal yaitu:

$$Reliability\ function : R(t) = \phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana  $\mu > 0$ ,  $\sigma > 0$ , dan  $t > 0$



Gambar 2.5 Distribusi Normal

Sumber: (Ebellling, 1997)

Fungsi – fungsi dalam distribusi normal adalah sebagai berikut:

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(t - \mu)^2}{\sigma^2}\right) \dots \dots \dots (2.9)$$

untuk  $-\infty < t < \infty$  dimana  $t = waktu$

b. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = \phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \dots \dots \dots (2.10)$$

c. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \dots \dots \dots (2.11)$$

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \dots \dots \dots (2.12)$$

d. Fungsi Laju Kerusakan

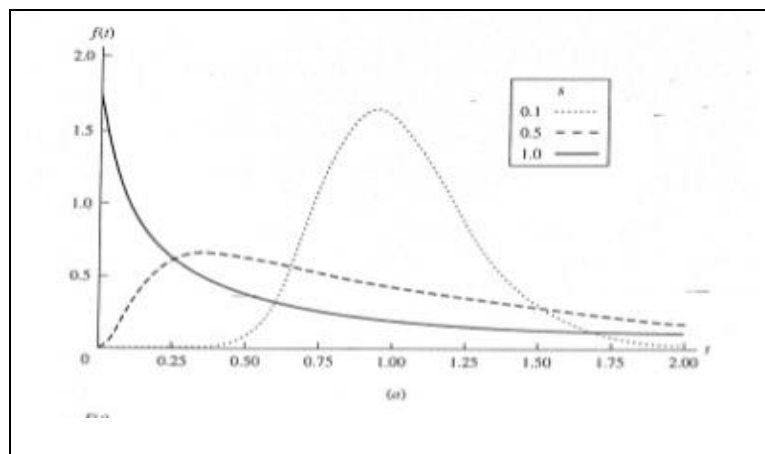
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)} \dots \dots \dots (2.13)$$

**2.6.3 Distribusi Lognormal**

Distribusi Lognormal menggunakan dua parameter yaitu *s* yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) dan *tmed* sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi *weibull* juga sesuai dengan distribusi lognormal. Fungsi *reliability* yang terdapat pada distribusi lognormal yaitu:

$$Reliability\ function : R(t) = 1 - \phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana  $s > 0$ ,  $t_{med} > 0$  dan  $t > 0$



Gambar 2 6Distribusi Lognormal

Sumber: (Ebellling, 1997)

Fungsi – fungsi dalam distribusi lognormal adalah sebagai berikut:

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

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

Atau,

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi t\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2s^2} \ln\left(\frac{t}{t_{med}}\right)^2\right] \dots \dots \dots (2.16)$$

- b. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = \phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right) \dots \dots \dots (2.17)$$

Atau,

$$F(t) = \phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \dots \dots \dots (2.18)$$

- c. Fungsi Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)} \dots \dots \dots (2.19)$$

Atau,

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)} \dots \dots \dots (2.20)$$

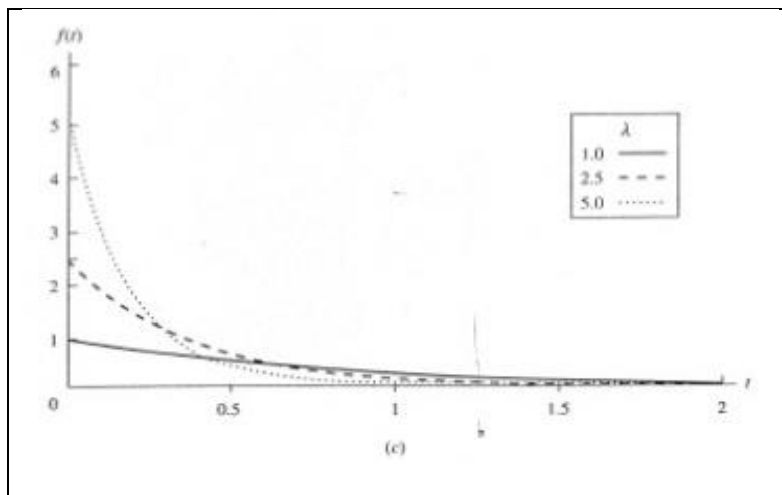
#### 2.6.4 Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ini merupakan distribusi yang paling mudah untuk dianalisa. Parameter yang digunakan dalam distribusi Eksponensial adalah  $\lambda$ , yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi.

Fungsi reliability yang terdapat dalam distribusi eksponensial yaitu:

$$\text{Reliability function : } R(t) = e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana  $t > 0, \lambda > 0$



Gambar 2.7 Distribusi Ekspensial

Sumber: (Ebellling, 1997)

Fungsi-fungsi dalam distibusi eksponensial adalah sebagai berikut:

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \dots \dots \dots (2.22)$$

Untuk:  $t \geq 0$ ;  $\lambda \geq 0$ ; dan dengan  $t =$  waktu

- b. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t) \dots \dots \dots (2.23)$$

- c. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \dots \dots \dots (2.24)$$

- d. Fungsi Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \dots \dots \dots (2.25)$$

**2.7 Uji Kecocokan Distribusi**

Uji kecocokan distribusi dimaksudkan untuk mengetahui atau memastikan bahwa distribusi data yang telah dipilih benar – benar mewakili data. Pengujian kecocokan distribusi yang dilakukan adlah uji spesifikasi *Goodness of Fit*. *Goodness of Fit* dipilih karena uji tersebut memiliki probabilitas yang lebih besar dalam menolak suatu distribusi yang tidak sesuai (Ebellling, 1997).

Uji *Goodness of Fitter*bagi menjadidua, yaitu *General Test* (uji umum) dan *Spesific Test* (uji khusus). *General Test*biasanya menggunakan *Chi Square Test* dengan ukuran

sampel yang relatif besar. Sedangkan, *Specific Test* menggunakan *Least Square Test* dengan ukuran sampel yang relatif kecil. Yang merupakan uji khusus yaitu *Bartlett's Test* untuk distribusi eksponensial, *Mann's Test* untuk distribusi *Weibull*, *Kolmogorov-Smirnov's Test* untuk distribusi normal dan lognormal (Ebellling, 1997).

**2.7.1 Uji Barlett Test Untuk Pengujian Distribusi Eksponensial**

Barlett Test termasuk pengembangan tes yang spesifik untuk distribusi eksponensial.

Hipotesisnya berupa:

H0 : Data *time to failure* berdistribusi Eksponensial

H1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi Eksponensial

Uji statistiknya:

$$B = \frac{2r [ \ln(1/r) \sum_n^r t_i - (1/r) \sum_n^r \ln t_i ]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \dots \dots \dots (2.26)$$

- Dimana :  $t_i$  adalah waktu kerusakan ke-1
- $r$  adalah jumlah kerusakan
- $B$  adalah nilai uji statistik untuk uji *Barlett Test*

Data waktu antar kerusakan mengikuti distribusi eksponensial jika  $X^2 (1 - \alpha/2, x - 1) < B < X^2 (\frac{\alpha}{2}, x - 1)$

**2.7.2 Uji Mann's Test Untuk Pengujian Distribusi Weibull**

Menurut (Ebellling, 1997), Hipotesis untuk melakukan uji ini yaitu :

H0 : Data *time to failure* berdistribusi *Weibull*

H1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi *Weibull*

Uji statistiknya :

$$M = \frac{k_1 \sum [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}{k_2 \sum [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]} \dots \dots \dots (2.27)$$

; dengan :

$$k_1 = \left\lceil \frac{r}{2} \right\rceil \dots \dots \dots (2.28)$$

$$k_1 = \left\lceil \frac{r-1}{2} \right\rceil \dots \dots \dots (2.29)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \dots \dots \dots (2.30)$$

$$Z_i = \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \dots \dots \dots (2.31)$$

Dimana:

- ti = data antar waktu kerusakan ke-i
- n = jumlah data antar kerusakan suatu komponen
- Mi = nilai pendekatan Mann untuk data ke-i
- M = nilai perhitungan distribusi *Weibull*
- M<sub>0,05;k<sub>1</sub>;k<sub>2</sub></sub> = nilai distribusi *Weibull*
- r = banyaknya data
- r/2 = bilangan bulat
- k1 = r/2
- k2 = (r-1)/2

Bila  $M_{hitung} < F_{crit}$  maka  $H_0$  diterima. Nilai  $F_{crit}$  diperoleh dari tabel distribusi F dengan  $\alpha = 0,05$ .

### 2.7.3 Uji Kolmogorov-Smirnov Test

Uji Kolmogorov-Smirnov Test dikembangkan oleh H.W Liefors pada tahun 1967.

Menurut (Ebellling, 1997), hipotesis untuk melakukan uji ini yaitu:

$H_0$  : Data *time to failure* berdistribusi normal (lognormal)

$H_1$  : Data *time to failure* tidak berdistribusi normal (lognormal)

Test statistik:  $D_n = \max (D_1, D_2)$

Dimana:

$$D_1 = \max \left( \frac{t_i - \pi}{s} \right) - \left( \frac{i-1}{n} \right) \dots \dots \dots (3.32)$$

$$D_2 = \max \left( \frac{i}{n} \right) - \left( \frac{t_i - \pi}{s} \right) \dots \dots \dots (2.33)$$

$$Cumulative\ probability\ F(t) = \left( \frac{t_i - \pi}{\sigma} \right)$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} \dots \dots \dots (2.34)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} \dots \dots \dots (2.35)$$

Keterangan :

- ti = *time to failure* ke-i
- μ = rata – rata *time to failure*
- s = standar deviasi
- n = banyaknya data

Jika  $D_n < D_{crit}$  maka  $H_0$  diterima. Nilai  $D_{crit}$  diperoleh dari tabel *critical values for Kolmogrov-Smirnov Test for Normality (Liliefors Test)*. Perbedaan penggunaan pengujian ini untuk distribusi normal dan log normal adalah pada distribusi lognormal nilai  $t_i = \ln(t_i)$ .

**2.8 Identifikasi Parameter Distribusi**

Cara mengidentifikasi parameter distribusi kerusakan dapat dilakukan dalam dua tahap, yaitu identifikasi distribusi awal dan estimasi parameter.

**2.8.1 Identifikasi Distribusi Awal**

Identifikasi dilakukan dengan menggunakan metode least square. Dengan metode least square (nilai korelasi) antara  $t_i$  (atau  $\ln t_i$ ) sebagai x dengan y yang merupakan fungsi dari distribusi teoritis terhadap x. Kemudian distribusi yang dipilih adalah distribusi yang memiliki index of fit (r) terbesar.

Perhitungan umum pada metode least square yaitu:

- a. Nilai tengah kerusakan (*Median Rank*) (Ebellling, 1997)

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \dots \dots \dots (3.36)$$

- Dimana: i = data waktu ke-t
- n = jumlah data kerusakan

- b. *Index of Fit*

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \dots \dots \dots (2.37)$$

(Walpole, 1995)

Menurut (Ebellling, 1997) perhitungan identifikasi distribusi awal untuk masing-masing distribusi adalah sebagai berikut:

1. Distribusi *Weibull*

$$\times i = \ln (t_i) \dots \dots \dots (2.38)$$

$$Y_i = \ln[\ln(\frac{1}{1 - F(t_i)})] \dots \dots \dots (2.39)$$

2. Distribusi Normal

$$X_i = t_i$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] = \frac{t_i - \mu}{\sigma} \dots \dots \dots (2.40)$$

Dimana  $t_i$  adalah data ke  $i$

Nilai  $Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$  didapat dari tabel *Standard Normal Probabilities*.

3. Distribusi Lognormal

$$X_i = \ln(t_i)$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] = \Phi^{-1} \left[ \left( \frac{1}{s} \right) \ln t_i - \left( \frac{1}{s} \right) \ln t_{med} \right] \dots \dots \dots (2.41)$$

Nilai  $Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$  didapat dari tabel *Standard Normal Probabilities*.

4. Distribusi Eksponensial

$$X_i = t_i$$

$$Y_i = \ln \left[ \frac{1}{1 - F(t_i)} \right] \dots \dots \dots (2.42)$$

**2.8.2 Estimasi Parameter**

Estimasi parameter distribusi dilakukan dengan menggunakan metode Maximum Likelihood Estimator (MLE). Menurut (Ebellling, 1997) estimasi parameter masing-masing distribusi sebagai berikut:

a. Distribusi Weibull

Parameter untuk distribusi Weibull adalah  $\beta$  (*shape parameter*) dan  $\alpha = \theta$  (*scale parameter*)

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^\beta \ln(t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(t_i) = 0 \dots \dots \dots (2.43)$$

$$\alpha = \left[ \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n t_i \right) \right]^{\frac{1}{\beta}} \dots \dots \dots (2.44)$$

Keterangan :

$t_i$  = data waktu kerusakan ke-i

b. Distribusi Normal

Parameter untuk distribusi normal adalah  $\mu$  dan  $\alpha$

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

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n}} \dots \dots \dots (2.46) ; \text{ untuk } n > 30$$

dan

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n-1}} \dots \dots \dots (2.47) ; \text{ untuk } n \leq 30$$

Keterangan :

$t_i$  = data waktu kerusakan ke-i

$n$  = banyaknya data kerusakan

$\mu$  = nilai tengah

$\sigma$  = standar deviasi

c. Distribusi Lognormal

Parameter untuk distribusi lognormal adalah  $s$  (*parameter bentuk*) dan  $t_{med}$  (*parameter lokasi*).

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i)}{n} \dots \dots \dots (2.48)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\ln(t_i) - \mu]^2}{n}} \dots \dots \dots (2.49)$$

$$t_{med} = e^{\mu} \dots \dots \dots (2.50)$$

Keterangan :

- ti = data waktu kerusakan ke-i
- n = banyaknya data kerusakan
- μ = nilai tengah
- s = standar deviasi

d. Distribusi Eksponensial

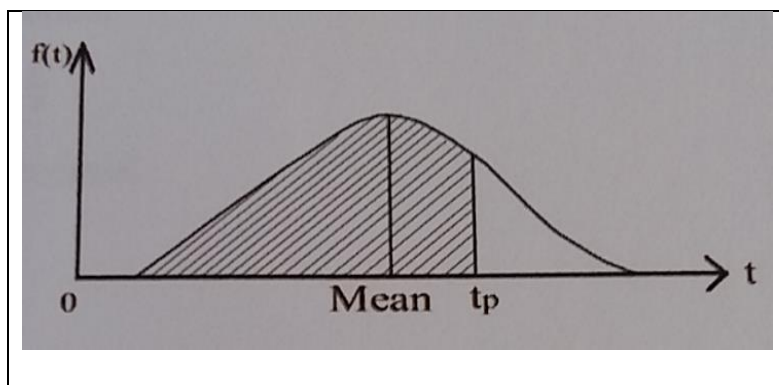
Parameter untuk distribusi eksponensial adalah λ

$$\lambda = \frac{n}{T} \dots \dots \dots (2.51)$$

- Dimana : n = jumlah kerusakan
- T =  $\sum_{ti=1}^n ti$  yaitu jumlah waktu kerusakan

**2.9 Mean Time to Failure (MTTF)**

*Mean Time to Failure* merupakan rata-rata selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan dimana rata-rata waktu ini merupakan waktu ekspektasi terjadinya kerusakan dari unit-unit identik yang beroperasi pada kondisi normal.



Gambar 2.8 Kurva Mean Time to Failure (MTTF)

Sumber: (Ebellling, 1997)

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa MTTF bagi suatu distribusi penuh adalah (Ebellling, 1997):

$$MTTF ; E(t) = \int_0^{\infty} tf(t)dt \dots \dots \dots (2.52)$$

Sedangkan (Ebellling, 1997):

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{dR(t)}{dt} \dots \dots \dots (2.53) \text{ sehingga,}$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} -\frac{dR(t)}{dt} t dt \dots \dots \dots (2.54)$$

$$MTTF = -tR(t)|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \dots \dots \dots (2.55)$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \dots \dots \dots (2.56)$$

Dimana,

t = waktu kerusakan

f(t) = fungsi kepadatan probabilitas

R(t) = fungsi keandalan

Berikut ini adalah perhitungan nilai MTTF untuk masing-masing distribusi adalah (Ebellling, 1997):

a. Distribusi *Weibull*

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots \dots \dots (2.57)$$

Nilai  $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \rightarrow$  didapat dari  $\Gamma(x)$  = tabel dari fungsi Gamma (lihat di lampiran)

b. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \dots \dots \dots (2.58)$$

c. Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{x^2}{2}} \dots \dots \dots (2.59)$$

d. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \dots \dots \dots (2.60)$$

**2.10 Mean Time to Repair (MTTR)**

Dalam menghitung rata-rata atau penentuan nilai tengah dari fungsi probabilitas untuk waktu perbaikan, sangatlah perlu diperhatikan distribusi data perbaikannya. Penentuan untuk pengujian ini dilakukan dengan cara yang sama dengan yang sudah dijelaskan sebelumnya. Menurut (Ebellling, 1997) MTTR diperoleh dengan rumus:

$$MTTR = \int_0^{\infty} t \cdot h(t)dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t))dt \dots \dots \dots (2.61)$$

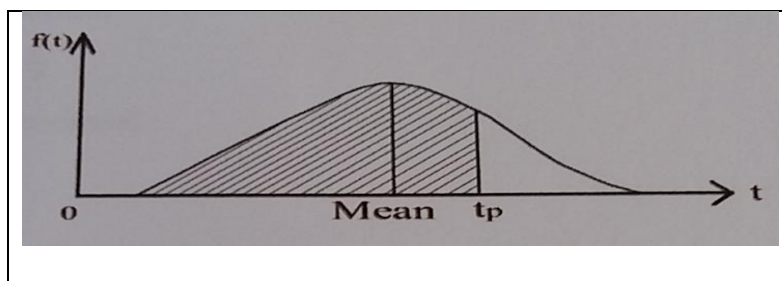
Dimana:

$h(t)$  adalah fungsi kepadatan peluang untuk data waktu perbaikan (TTR)

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

$t$  adalah waktu perbaikan yang dibutuhkan terhadap komponen yang rusak.

Pada dasarnya bentuk kurva MTTR adalah sama dengan bentuk kurva MTTF yaitu:



Gambar 2.9 Mean Time to Repair (MTTR)

Sumber: (Ebellling, 1997)

Berikut ini adalah perhitungan nilai MTTR untuk masing-masing distribusi (Ebellling, 1997):

a. Distribusi Weibull

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots \dots \dots (2.61)$$

Nilai  $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \rightarrow$  didapat dari  $\Gamma(x)$  = tabel dari fungsi Gamma (lihat di lapiran)

b. Distribusi Normal

$$\text{MTTF} = \mu \dots \dots \dots (2.62)$$

c. Distribusi Lognormal

$$\text{MTTF} = t_{med} \cdot e^{\frac{x^2}{2}} \dots \dots \dots (2.63)$$

d. Distribusi Eksponensial

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \dots \dots \dots (2.64)$$

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Obyek Penelitian

Penelitian ini membahas mengenai perencanaan perawatan mesin secara *preventive* yang dilakukan pada bagian divisi sewing PT. Globalindo Intimates. PT. Globalindo Intimates yang bergerak dalam bidang *garment underwear manufacture* untuk skala *export/ internasional* yang berlokasi di Jl. Raya Solo KM. 4,5, Jombor, Ceper, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah 57465. Penelitian dilaksanakan pada tanggal 1 Mei 2017 sampai Juni 2017

#### 3.2 Sumber Data

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

1. Sumber data primer, melalui *interview* (wawancara langsung) yaitu dengan mengadakan wawancara langsung dalam hal ini dengan pihak – pihak yang berkaitan dengan masalah yang akan diteliti, dalam hal ini ada pihak perusahaan dari bagian *departement maintenance* sebagai pembimbing dalam penelitian tersebut.
2. 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 dilakukan dengan wawancara langsung dengan pihak perusahaan, serta melakukan pengamatan secara langsung dengan mengamati jalannya proses produksi pada bagian divisi *sewing*. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data kerusakan mesin dan penyebabnya, data komponen mesin dan data harga komponen mesin.

### 3.4 Pengolahan Data

Langkah – langkah dalam pengolahan data dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. *Function Block Diagram*

*Function blok diagram* dibuat untuk mendeskripsikan mesin utama yang berupa blok-blok yang berisi fungsi-fungsi dari subsistem yang menyusun mesin tersebut.

2. *Failure Mode and Effect Analysis*

Pengisian tabel atau *form* dari masing-masing fungsi komponen mesin beserta kegagalan dari fungsi masing-masing komponen, penyebab kegagalan fungsi dan tindakan yang harus dilakukan untuk mencegah kegagalan fungsi. Pemberian bobot dari masing-masing komponen sesuai untuk memperoleh nilai RPN.

3. *Logic Tree Analysis*

Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA) digunakan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing-masing *failure mode* pada masing-masing komponen.

4. RCM II *Decision Worksheet*

RCM II *Decision Worksheet* merupakan penggabungan dari tabel FMEA dan LTA dan diisi siapa yang bertanggung jawab pengerjaan dari setiap komponen.

5. Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis berdasarkan pada data downtime mesin yang diakibatkan kerusakan komponen dengan frekuensi terbesar. Penentuan komponen kritis menggunakan diagram pareto.

6. Penentuan Jenis Distribusi

Penentuan pemilihan distribusi dilakukan dengan metode *Least Square Curve* yaitu berdasarkan *indeks of fit* (r) terbesar. Berikut rumus yang digunakan dalam menghitung *indeks of fit* (r) (Walpole,1982):

a. Distribusi *Weibull*

$$r_{weibull} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[\ln \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][\ln \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana nilai  $x_i$  dan  $y_i$  ditentukan dengan rumus dibawah ini:

$$\times i = \ln (t_i)$$

$$Y_i = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] \dots \dots \dots (3.2)$$

b. Distribusi Normal

$$r_{normal} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i z_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[\ln \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][\ln \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana nilai  $x_i$  dan  $y_i$  ditentukan dengan rumus dibawah ini:

$$X_i = t_i$$

$$Y_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \dots \dots \dots (3.6) \rightarrow \text{diperoleh dari tabel } \Phi(z)$$

c. Distribusi Lognormal

$$r_{lognormal} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[\ln \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][\ln \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \dots \dots \dots (3.4)$$

Dimana nilai  $x_i$  dan  $y_i$  ditentukan dengan rumus dibawah ini:

$$X_i = t_i$$

$$Y_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \dots \dots \dots (3.5) \rightarrow \text{diperoleh dari tabel } \Phi(z)$$

d. Distribusi Eksponensial

$$r_{eksponensial} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[\ln(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][\ln(\sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \dots \dots \dots (3.6)$$

Dimana nilai  $x_i$  dan  $y_i$  ditentukan dengan rumus dibawah ini:

$$x_i = t_i$$

$$Y_i = \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] \dots \dots \dots (3.7)$$

7. Melakukan Uji *Goodness Of Fit*

Melakukan pengujian *Goodness Of Fit* untuk mengetahui data sesuai atau mendekati distribusi dari nilai r terbesar berdasarkan pemilihan distribusi sebelumnya (Ebeling, 1997)

a. Uji *Barlett Test* Untuk Pengujian Distribusi Eksponensial

*Barlett Test* termasuk pengembangan tes yang spesifik untuk distribusi eksponensial.

Hipotesisnya berupa:

$H_0$  : Data *time to failure* berdistribusi Eksponensial

$H_1$  : Data *time to failure* tidak berdistribusi Eksponensial

Hipotesisnya berupa:

$$B = \frac{2r \left[ \ln \left( \frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i - \left( \frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \dots \dots \dots (3.8)$$

Keterangan :  $t_i$  = waktu kerusakan ke-1

$r$  = jumlah kerusakan

Data waktu antar kerusakan mengikuti distribusi eksponensial jika

$$X^2 (1 - \alpha / 2) < B < X^2 (\frac{\alpha}{2}, x - 1)$$

b. Uji Mann’s Test Untuk Pengujian Distribusi Weibull

Hipotesis untuk melakukan uji ini yaitu :

$H_0$  : Data *time to failure* berdistribusi Weibull

$H_1$  : Data *time to failure* tidak berdistribusi Weibull

Uji statistiknya :

$$M = \frac{k_1 \sum [(\ln t_{i+1} - \ln t_i) / M_i]}{k_2 \sum [(\ln t_{i+1} - \ln t_i) / M_i]} \dots \dots \dots (3.9)$$

; dengan :

$$k_1 = \left[ \frac{r}{2} \right] \dots \dots \dots (3.10)$$

$$k_2 = \left[ \frac{r - 1}{2} \right] \dots \dots \dots (3.11)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \dots \dots \dots (3.12)$$

$$Z_i = \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{i - 0,5}{n + 0,25} \right) \right] \dots \dots \dots (3.14)$$

Keterangan :

$t_i$  = data antar waktu kerusakan ke-i

$n$  = jumlah data antar kerusakan suatu komponen

$M_1$  = nilai pendekatan Mann untuk data ke-i

$M$  = nilai perhitungan distribusi *Weibull*

$M_0,0_5;k_1;k_2$  = nilai distribusi *Weibull*

$r$  = banyaknya data

$$r/2 = \text{bilangan bulat}$$

$$k_1 = r/2$$

$$k_2 = (r-1)/2$$

c. Uji Kolmogorov-Smirnov Test

Hipotesis untuk melakukan uji ini yaitu:

$H_0$  : Data *time to failure* berdistribusi normal (lognormal)

$H_1$  : Data *time to failure* tidak berdistribusi normal (lognormal)

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

$$D_1 = \max \left( \Phi \left( \frac{t_i - \pi}{s} \right) - \left( \frac{i-1}{n} \right) \right) \dots \dots \dots (3.15)$$

$$D_2 = \max \left( \left( \frac{i}{n} \right) - \Phi \left( \frac{t_i - \pi}{s} \right) \right) \dots \dots \dots (3.16)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n-1}} \dots \dots \dots (3.17)$$

Keterangan :

- $t_i$  = time to failure ke-i
- $\mu$  = rata – rata time to failure
- $s$  = standar deviasi
- $n$  = banyaknya data

8. Estimasi parameter menggunakan metode Maximum Likelihood Estimator (MLE), untuk parameter masing-masing distribusinya adalah sebagai berikut:

a. Distibusi Weibull

$$\beta = b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots \dots \dots (3.18)$$

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - \frac{b \sum x_i}{n} \dots \dots \dots (3.19)$$

$$\theta = \exp^{-a/\beta} \dots \dots \dots (3.20)$$

Keterangan :

- $t_i$  = data waktu kerusakan ke-i

b. Distribusi Normal

$$\mu = \sum_{i=1}^n t_i \dots \dots \dots (3.21)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n - 1}} \dots \dots \dots (3.22)$$

Keterangan :

- ti = Data waktu kerusakan ke-
- n = Banyaknya data kerusakan
- $\mu$  = Nilai tengah
- $\sigma$  = Standard deviasi

c. Distribusi Lognormal

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} \dots \dots \dots (3.23)$$

$$\hat{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \hat{\mu})^2}{n}} \dots \dots \dots (3.24)$$

$$t_{med} = e^{\mu} \dots \dots \dots (3.25)$$

Keterangan :

- ti = Data waktu kerusakan ke-
- N = Banyaknya data kerusakan
- $\mu$  = Nilai tengah
- s = Standard deviasi

d. Distribusi Eksponensial

$$\lambda = \frac{n}{T} \dots \dots \dots (3.26)$$

Keterangan :

- n = Jumlah kerusakan
- T =  $\sum_{ti}^r$  ti yaitu jumlah waktu kerusakan

9. Penentuan Interval Waktu Pergantian Dan Biaya Pergantian Komponen

Model penentuan interval penggantian pencegahan dengan kriteria minimasi biaya dapat dirumuskan sebagai berikut (Jardine, 1973) :

$$C_{(tp)} = \frac{(C_p \cdot R_{(tp)}) + [C_f \cdot (1 - R_{(tp)})]}{[(t_p + T_p) \cdot R_{(tp)}] + [(M_{(tp)} + T_f) \cdot (1 - R_{(tp)})]} \dots \dots \dots (3.27)$$

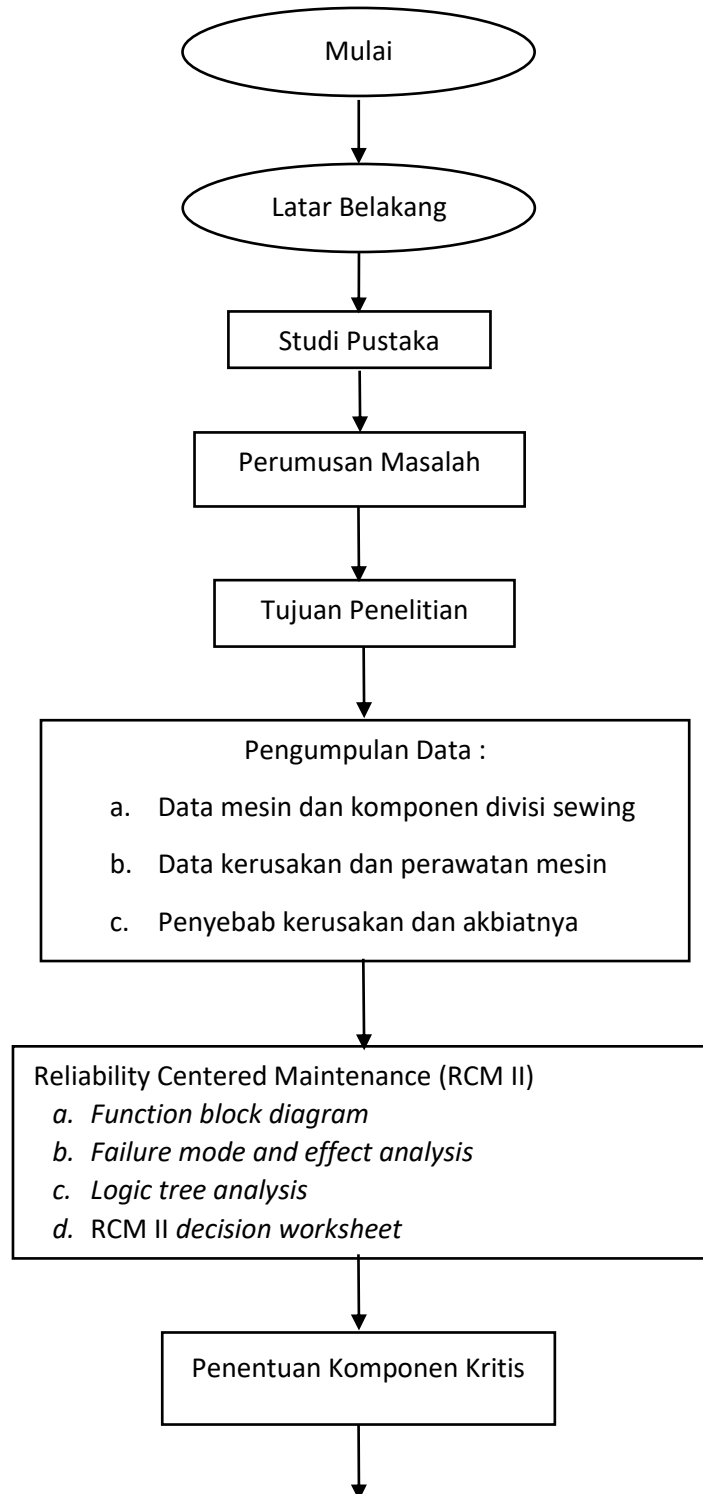
Keterangan:

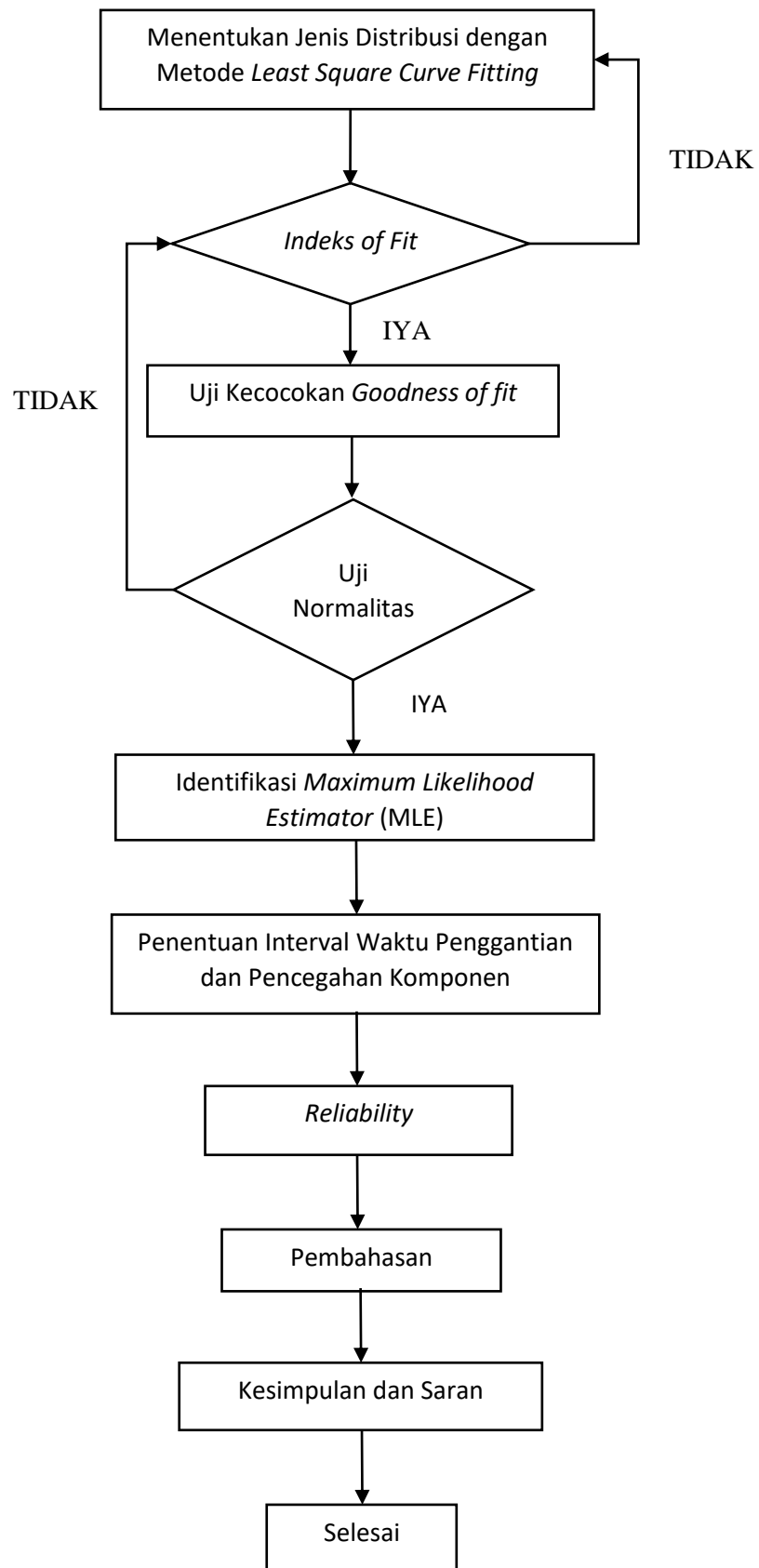
- $t_p$  = Interval waktu penggantian pencegahan  
 $T_p$  = Waktu untuk melakukan penggantian *preventive* (pencegahan)  
 $T_f$  = Waktu untuk melakukan penggantian *corrective* (kerusakan)  
 $C_p$  = Biaya penggantian *preventive*  
 $C_f$  = Biaya penggantian *corrective*  
 $R_{(tp)}$  = Probabilitas terjadinya penggantian pencegahan pada saat  $t_p$   
 $T_p+t_p$  = Panjang siklus pencegahan

### 3.5 Alat Analisa

Pada penelitian ini untuk melakukan analisa data yaitu menggunakan *Microsoft excel*. *Microsoft excel* digunakan untuk menghitung keandalan komponen mesin dan *mean time failure*.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### **3.7 Diskripsi Alir Penelitian**

#### **3.7.1 Latar Belakang**

Langkah awal dalam melakukan penelitian adalah menentukan latar belakang permasalahan yang ada dalam tempat penelitian. Dengan melakukan penelitian dan observasi terhadap permasalahan yang ada dalam tempat penelitian.

#### **3.7.2 Studi Pustaka**

Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh hasil penelitian yang sesuai dengan permasalahan yang dibahas dengan cara mempelajari teori-teori yang relevan dengan topik permasalahan yang dibahas.

#### **3.7.3 Perumusan Masalah**

Merumuskan permasalahan berdasarkan latar belakang permasalahan yang dikaji. Merumuskan ruang lingkup permasalahan. Sehingga menjadi penentu bahasan yang dilakukan didalam penelitian.

#### **3.7.4 Tujuan Penelitian**

Menentukan beberapa tujuan untuk memfokuskan permasalahan dengan hasil akhir berupa laporan tugas akhir. Adapun tujuan penelitian ini adalah dijelaskan pada bab sebelumnya dan hasil dari tujuan penelitian ini bagi perusahaan untuk mengidentifikasi komponen kritis yang ada pada mesin Zigzag beserta waktu interval kegiatan perawatan serta menghitung biaya perawatannya.

#### **3.7.5 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara wawancara tanya jawab secara langsung dengan pihak – pihak yang berhubungan dengan permasalahan yang diangkat dalam penelitian. Observasi yaitu mengumpulkan data dengan pengamatan dan pencatatan secara langsung terhadap objek penelitian.

#### **3.7.6 *Reliability Centered Maintenance II***

Melakukan identifikasi objek penelitian yaitu berupa mesin produksi. Mengidentifikasi fungsi-fungsi utama sistem, bentuk kegagalan mesin dari penyebabnya hingga akibat yang ditimbulkan dari kegagalan beserta tindakan perbaikan yang dilakukan.

### **3.7.7 Penentuan Komponen Kritis**

Menentukan komponen-komponen yang mengalami kegagalan mesin produksi. Hingga menentukan komponen yang paling kritis berdasarkan total *downtime* dan pengeluaran yang diakibatkan kegagalan komponen tersebut.

### **3.7.8 Menentukan Jenis Distribusi**

Menentukan jenis distribusi waktu kerusakan dan perbaikan berdasarkan komponen kritis. Terdapat 4 macam distribusi yang digunakan untuk mengetahui pola data yang terbentuk. Distribusi itu adalah *weibull*, normal, lognormal dan eksponensial. Penentuan jenis distribusi ditentukan dengan nilai  $r$  atau *indeks of fit* yang terbesar.

### **3.7.9 Uji Kecocokan *Goodness Of Fit***

Untuk mengetahui apakah distribusi pengamatan sesuai dengan yang diharapkan, maka perlu untuk mempertimbangkan distribusi menurut pengamatan dengan distribusi nilai-nilai teoritis. Pengujian kecocokan distribusi yang digunakan adalah uji *Goodness of Fit*. Pengujian distribusi menggunakan uji *Barlett Test* untuk distribusi Eksponensial, *Mann's Test* untuk distribusi *Weibull* dan *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk distribusi normal dan Lognormal.

### **3.7.10 Identifikasi *Maximum Mikelihood Estimator***

Pengidentifikasi parameter untuk distribusi kerusakan sesuai dengan distribusi yang terpilih. Identifikasi parameter dapat dalam dua tahap, yaitu identifikasi distribusi awal dan estimasi parameter.

### **3.7.11 Penentuan Interval Waktu Pergantian Dan Biaya Pergantian Komponen**

Melakukan perhitungan dalam penentuan waktu interval pergantian komponen kritis dan dengan biaya yang paling minimum. Dalam perhitungan ini menggunakan model *age replacement*.

### **3.7.12 *Reliability***

*Reliability* atau keandalan komponen dalam mengikuti model keandalan ini diasumsikan sistem kembali ke kondisi semua atau baru setelah menjalani perawatan

pengecehan. Membandingkan kondisi awal sebelum adanya perbaikan dengan sesudah dilakukannya perbandingan.

### **3.7.13 Pembahasan**

Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap data-data yang telah diolah dan menganalisa mengenai komponen kritis tentang interval waktu pergantian komponen dan biaya minimum perbaikannya. Analisa hasil pengolahan data akan dijadikan sebagai dasar untuk menarik kesimpulan dan saran.

### **3.7.14 Kesimpulan Dan Saran**

Setelah dilakukan pengumpulan dan pengolahan data, maka dapat ditarik kesimpulan yang hasilnya dapat diragamkan dalam suatu penelitian. Kesimpulan menjawab rumusan masalah yang ada. Saran diberikan untuk perusahaan didasarkan pada hasil penelitian, untuk saran penelitian disarankan pada kelemahan dan hambatan yang dihadapi penelitian dalam pelaksanaan penelitian.

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1 Latar Belakang Perusahaan

##### 4.1.1 Sejarah Singkat Perusahaan

PT Globalindo Intimates merupakan salah satu perusahaan swasta *garment manufacture* yang bergerak dibidang *underwear*. PT Globalindo Intimates didirikan pada tahun 2008 untuk memenuhi kebutuhan *export brand underwear* diberbagai negara seperti brand Hanesbrand Inc dan H&M yang diekspor ke USA, Canada, Germany dan berbagai negara di Asia.

PT Globalindo Intimates didirikan oleh Teti Yani Hartono yang mempunyai visi “Lakukan dengan benar sejak dari awal” yang menginginkan PT Globalindo Intimates menjadi menjalan seluruh kegiatan proses dilakukan benar dari awal agar *output* yang dihasilkan dapat memiliki kualitas yang baik. Mempunyai 1300 pekerja untuk semua operator. PT. Globalindo Intimatates terbagi menjadi 2 gedung yaitu GI 1 untuk memproduksi *Ladies Underware* (bra) dan GI 2 memproduksi *Men’s underwaer, short, pyjama, ladies blouse*.

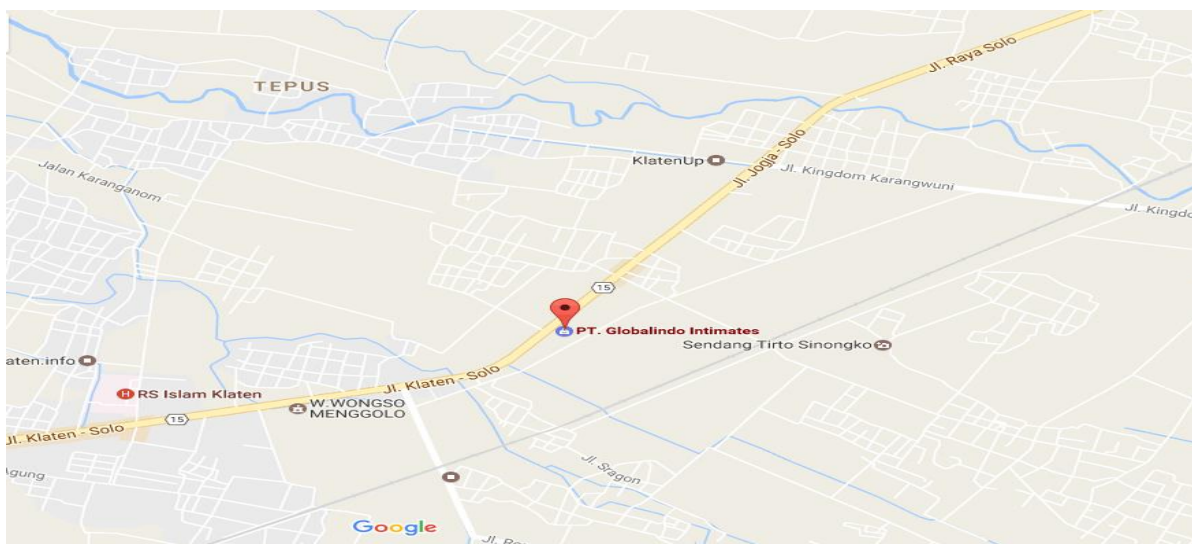
Kegiatan utama perusahaan adalah untuk produksi *Ladies Underware, Men’s underwaer, short, pyjama, ladies blouse*. Dan produksi produk berkualitas tinggi untuk semua barang yang di ekspor. Proses produksi di PT. Globalindo Untimates terdiri dari *Fabrics Inspection, cutting, moulding, sewing, finishing, folding* dan *packing*. Dan telah mendapat *Gold Certificate Of Compliance* dari WRAP (*Worldwide Responsible Accredited Production*) dari tahun 2012, BSCI dan Others (e.g. ISO9000).

Pembayaran di PT Globalindo Intimates dilakukan dengan hitungan USD dan kapasitas produksi setiap bulan sebanyak 350.000pcs/bulan. Beberapa *clients* yang bekerja sama dengan PT. Globalindo Intimates.

Tabel 4.1 *Business Connections With Main Clients*

Client Name	Country Range	Since ( Date )	Turnover Share (%)
HBI	CND, INDIA, PHIL, USA	2008	40 %
H&M	ASIA, USA, EU	2008	40 %
SPEIDEL	GERMANY	2010	5 %
CANADELLE	CANADA, USA	2010	5 %
BONPRIX	GERMANY	2014	5 %
OTHERS			5 %

#### 4.1.2 Lokasi Perusahaan



Gambar 4.1 Lokasi PT. Globalindo Intimates

PT. Globalindo Intimates menempatkan pabrik dan kantornya dalam lokasi yang sama. Berada di Jl. Raya Solo – Jogja, Ngaran, Mlese, Ceper, Klaten, Jawa Tengah. Terdiri dari mesin-mesin produksi, ruang bahan baku dan gudang, sebelum barang jadi

dimasukkan ke gudang yang lebih besar di lantai 1. Mesin - mesin di lantai produksi diatur sedemikian rupa sehingga mempermudah pekerjaan, menghemat waktu dan tenaga. Ruang - ruang lain yang terletak di lantai 1 adalah ruang loker, ruang antara yang berguna untuk menjaga kesterilan sebelum bekerja memasuki pabrik, juga kantor supervisor, untuk mempermudah supervisor mengawasi jalannya produksi secara langsung. Lantai 2 digunakan sebagai ruangan kantor dan produksi sewing. Lantai satu dan lantai dua dihubungkan dengan tangga. Kantor Pusat dari PT. Globalindo Intimates terletak dipaling depan pintu masuk. Hal tersebut disebabkan untuk memudahkan bagian pemasaran untuk memasarkan produk *Underwear Industries* dengan mudah.

Pemilihan lokasi pabrik PT. Globalindo Intimates didasarkan pertimbangan - pertimbangan berikut :

- a. Berada dikawasan kota industri yang sangat strategis untuk mengangkut barang untuk distribusinya. sehingga memudahkan dalam mendapatkan tenaga kerja sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan, dan telah tersedianya sarana transportasi dan komunikasi yang memadai.
- b. Disesuaikan dengan kebijakan pemerintah dalam hubungannya dengan usaha peningkatan dan pemerataan pembangunan.
- c. Berada dekat dari pemukiman penduduk sehingga PT. Globalindo Intimates dapat memberikan mata pencaharian baru bagi para penduduk.



Gambar 4.2 Gedung PT. Globalindo Intimates

### 4.1.3 Visi & Misi Perusahaan

#### 4.1.3.1 Visi Perusahaan

Menjadi Perusahaan global dalam industri garment yang selalu melakukan perbaikan secara terus menerus dalam aspek kualitas, kemananan dan keselamatan kerja serta legalitas dengan berorientasi pada hubungan jangka panjang yang saling menguntungkan untuk internal dan external.

#### 4.1.3.2 Misi Perusahaan

Melalui peningkatan produktifitas, pengembangan kompetensi karyawan, perbaikan dan peremajaan mesin serta pengelolaan dan penerapan sistem management yang terkendali, terukur dan terarah untuk memenuhi keinginan konsumen

#### 4.1.3.3 Hasil Produksi

Produk utama yang paling banyak diproduksi oleh PT. Globalindo Intimates adalah *Bra* dan *Panties* untuk brand luar negeri seperti Hanesbrands, H&M dll. Hasil produksi dari perusahaan keseluruhan nantinya akan di *export* ke luar negeri.

##### 1. Bra (Ladies Underwear)



Gambar 4.3 Produk Bra

Fitur bra mulus, berjajar, cangkir underwire dengan panel sisi dukungan untuk mendukung payudara wanita penuh angka dan tali bahu empuk untuk kenyamanan. Berkomitmen untuk memenuhi dan kenyamanan. Bra yang dibuat sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan oleh *buyer* lalu setelah produk jadi selalu ada inspeksi pada setiap proses untuk mempertahankan kualitas dari Bra.

## 2. Panties

Pakaian dalam yang dirancang untuk wanita dan gadis. Pakaian dalam wanita digunakan untuk menutupi di daerah selangkangan di bawah pinggang. Memproduksi dengan mempertahankan kualitas pabrik dan tidak mengecewakan *buyer*.

## 3. Produk lainnya



Gambar 4.4 Produk Dress & Top



Gambar 4.5 Produk Pant & Short

Produk lainnya akan diproduksi jika orderan yang masuk tidak terlalu banyak. Pemasaran produk ini hanya dilakukan didalam negeri tujuannya untuk menutupi biaya yang kurang untuk kebutuhan PT. Globalindo Intimates. Tetapi untuk sekarang, PT. Globalindo Intimates lebih fokus terhadap produksi *Bra* dan *panties*.

#### 4.1.3.4 Pemasaran

Dalam hal pemasaran dan penjualan PT. Globalindo Intimates telah memiliki buyer tersendiri berdasarkan brand – brand yang telah melakukan permintaan disini. Komitmen perusahaan PT. Globalindo Intimates bahwa didalam memenuhi target penjualannya selama kondisi perusahaan memungkinkan akan selalu mengikuti atau berpartisipasi pada setiap *brand* yang bekerja sama ada hubungannya dengan produk dan *service* yang dihasilkan baik diluar negeri atau PT. Globalindo Intimates akan tunduk dan patuh pada semua ketentuan yang tercantum terhadap kriteria produk dan perjanjian terhadap *brand* yang bekerja sama. PT. Globalindo Intimates langsung memasarkan kepada *brand – brand* tersebut. Dalam kata lain PT. Globalindo Intimates hanya membuat produk sesuai dengan permintaan *buyer*. Beberapa brand – brand yang bekerja sama dengan PT. Globalindo Intimates.

##### *Bra & Panties*

1. Vanity Fair	60%
2. Hanna Branda	30%
3. H&M	7%
4. Wolf	3%

##### *Outerwear, T-shirt, Boxer brief*

1. Royne	100%
2. Puma	100%
3. Spalding	100%

Negara – negara yang di Export oleh PT. Gloablindo Intimates yaitu USA (95%) , German dan Canada (5%).

Selanjutnya dengan cara pameran. Pameran merupakan salah satu cara untuk memperkenalkan kepada masyarakat dan konsumen mengenai produk – produk yang diproduksi oleh PT. Globalindo Intimates dengan adanya pameran, penduduk sekitar akan tahu apa yang diproduksi oleh PT. Globalindo Intimates yaitu *bra & panties*. Dan produk lainnya seperti *t-shirt* dan celana yang dijual didalam negeri.

#### 4.1.3.5 Pengaturan Jam Kerja

PT. Globalindo Intimates menerapkan waktu kerja maksimal 7 jam per hari. Waktu kerja perusahaan adalah 6 hari dalam seminggu yaitu hari Senin sampai dengan Sabtu. Setiap hari terdapat waku istirahat pekerja. Waktu istirahat hari Senin hingga Jumat di mulai jam 12.00 WIB hingga 13.00 WIB, sedangkan untuk hari Sabtu istirahat tidak menggunakan waktu istirahat karena pulang cepat. Berikut ini merupakan tabel penjelasan tentang jam kerja dan istirahat karyawan di PT. Globalindo Intimates.

Tabel 4.2 Jam Kerja Karyawan di PT. Globalindo Intimates

No	Hari Kerja	Shift Kerja	Jam Kerja
1	Senin - Jumat	Shift 1	07.00 – 14.30
		Istirahat	12.00 – 13.00
		Shift 2	14.30 – 22.15
		Istirahat	18.00 – 18.30
2	Sabtu	Shift 1	07.00 – 12.00
		Shift 2	12.45 – 16.45

## 4.2 Pengumpulan Data

### 4.2.1 Downtime Mesin Sewing

Jumlah data frekuensi *downtime* mesin pada bagian departemen sewing yang diambil selama 1 tahun kebelakang mulai dari bulan Maret 2016 – bulan Februari 2017.

Penjelasan :

1. Single needle : 15 kali frekuensi kerusakan terjadi pada tanggal 6,14,20,27 Maret 2016 dengan mesin yang sama maupun dengan mesin yang berbeda lama *downtime* sebesar 315 menit.

Tabel 4. 3 Tabel Frekuensi *Downtime* Mesin Sewing

No	Mesin	Frekuensi	Tanggal Kerusakan	Lama Downtime Mesin (Menit)
1	Single needle (Tabel lampiran spesifikasi mesin Hal.116 No. 1)	15	6,14,20,27 Maret 2016	315
		12	3,6,20,30 April 2016	210
		7	4,11,17,20,26 Mei 2016	180
		12	4,10,28 Juni 2016	180
		15	6,10,19,23 Juli 2016	150
		7	7,21,26 Agustus 2016	180
		4	10,24 September 2016	150
		3	12,23 Oktober 2016	60
		8	3,12,25,28 November 2016	240
		7	7,9,21,28 Desember 2016	240
		11	3,7,17,27,29 Januari 2017	360
		9	9.13,19,24,29 Februari 2017	300
2	Double needle (Tabel lampiran spesifikasi mesin	10	4,7,10,18,21,30 Maret 2016	296
		19	2,7,11,14,23,27 April 2016	520
		14	2,9,18,19,26,30 Mei 2016	372

No	Mesin	Frekuensi	Tanggal Kerusakan	Lama Downtime Mesin (Menit)
	Hal.117 No. 2)	12	4,9,18,27 Juni 2016	300
		11	2,11,16,22,27 Juli 2016	315
	Double needle (Tabel lampiran spesifikasi mesin Hal. 117 No. 2)	13	3,8,18,22,29 Agustus 2016	382
		7	3,5,16 September 2016	180
		6	8,10,21,25 Oktober 2016	210
		7	4,7,10,16,22,29 November 2016	390
		10	1,8,13,20,28 Desember 2016	240
		4	3,11,13 Januari 2017	100
		8	1,20,27 Februari 2017	210
		13	5,16,18,19,22,28 Maret 2016	330
3	Bartack (Tabel lampiran spesifikasi mesin Hal.118 No. 3)	11	4,11,13,15,29 April 2016	310
		9	4,7,11,20,27 Mei 2016	230
		18	2,6,13,27 Juni 2016	520
		8	1,14,22,28 Juli 2016	210
		20	4,8,13,18,30 Agustus 2016	562
		11	3,6,10,21 September 2016	270
		9	8,15,19,21 Oktober 2016	253
		11	5,17,21,24,30 November 2016	392
		12	6,13,19,24,29 Desember 2016	390
		11	4,10,13,16,18 Januari 2017	370
4	ZigZag (Tabel lampiran spesifikasi mesin Hal.119 No. 4)	8	8,15,16,25,27 Februari 2016	270
		19	1,4,10,12,18,19,21,24,29 Maret 2016	660
		17	1,5,11,14,15,18,20,22,29,30 April 2016	840
		14	4,9,10,12,18,20,21,25,30 Mei 2016	570
		39	1,3,6,8,9,16,17,18,20,23,27,29,30 Juni 2016	810
		7	1,11,13,28 Juli 2016	390
		16	4,6,10,13,16,18,19,23,24,25,26 Agustus 2016	535
		15	3,6,9,13,20,24,30 September 2016	510
		16	4,8,10,11,17,24,28 Oktober 2016	600
		10	2,4,7,12,19,21,29 November 2016	330
5	Obras/Overlock (Tabel lampiran spesifikasi mesin Hal.121 No. 5)	23	3,8,9,10,15,27,30 Desember 2016	780
		25	5,6,7,9,10,12,13,14,16,21,23,26,31 Januari 2017	930
		14	3,5,6,7,10,11,18,19,20,25 Februari 2017	510
		8	4,5,10,17,24 Maret 2016	280
		10	4,6,11,19,26 April 2016	300
		17	7,9,10,23,27 Mei 2016	440
		7	4,6,13,22 Juni 2016	240
		8	9,13,20,25 Juli 2016	240
		5	5,16,24 Agustus 2016	180

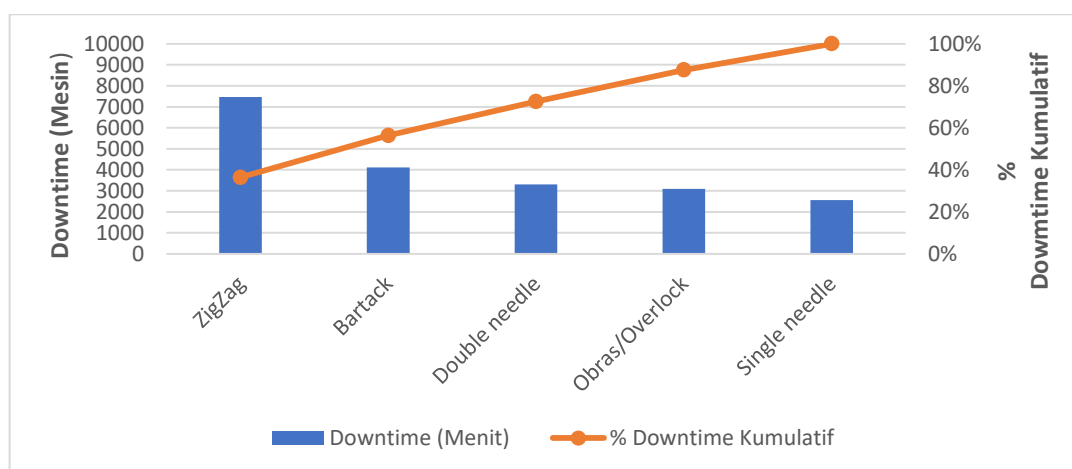
No	Mesin	Frekuensi	Tanggal Kerusakan	Lama Downtime Mesin (Menit)
		8	7,8,17,20,27 September 2016	190
		11	3,11,17,19,26,30 Oktober 2016	210
	Obras/Overlock (Tabel lampiran spesifikasi mesin Hal.121 No. 5)	22	3,5,7,11,15,21,28 November 2016	462
		9	5,14,23 Desember 2016	250
		6	12,20,30 Januari 2017	210
		7	11,15,24 Februari 2017	90

Tabel 4.4 Tabel Jumlah Frekuensi Downtime Mesin Sewing

No	Mesin	Frekuensi	Downtime (Menit)	% Downtime
1	Single needle	110	2565	12%
2	Double needle	121	3305	16%
3	Bartack	141	4107	20%
4	ZigZag	215	7465	36%
5	Obras/Overlock	118	3092	15%
	Total	705	20534	100%

Tabel 4.5 Tabel Jumlah Frekuensi *Downtime* Kumulatif Mesin Sewing

No	Mesin	Frekuensi	Downtime (Menit)	% Downtime	% Downtime Kumulatif
1	ZigZag	215	7465	36%	36%
2	Bartack	141	4107	20%	56%
3	Double needle	121	3305	16%	72%
4	Obras/Overlock	118	3092	15%	88%
5	Single needle	110	2565	12%	100%
	Total	705	20534	100%	



Gambar 4.6 Diagram Pareto Mesin Sewing

Dari pengolahan data diatas didapatkan frekuensi tertinggi pada mesin sewing adalah mesin jahit zigzag. sehingga dapat dilanjutkan dalam mengidentifikasi kerusakan pada merek mesin zigzag.

#### 4.2.2 Data Jumlah Kerusakan Mesin Zigzag

Jumlah data kerusakan komponen mesin zigzag yang diambil selama 1 tahun terakhir kebelakang dari bulan Maret 2016 – bulan Februari 2017.

Penjelasan :

1. Mesin merek singer : 2 kali frekuensi kerusakan terjadi pada tanggal 24 Maret 2016 dengan merek mesin yang sama maupun dengan merek mesin yang berbeda lama *downtime* sebesar 60 menit.

Tabel 4.6 Tabel Frekuensi *Downtime* Merek Mesin Zigzag

Merek	Frekuensi	Tanggal Kerusakan	Lama Downtime Mesin (Menit)
Singer (Tabel lampiran spesifikasi mesin Hal.121)	2	24-Mar-16	60
	5	1,5,11,22 April 2016	180
	2	4,10 Mei 2016	60
	5	3,8,20,30 Juni 2016	180
	2	13-Jul-16	120
	1	13-Agu-16	60
	1	20-Sep-16	30
	4	04-Okt-16	60
	2	4,21 November 2016	60
	5	3,10,15,27 Desember 2016	180
	4	5,9,14,26 Januari 2017	30
	4	6,19,20,25 Februari 2017	120
	Juki (Tabel lampiran spesifikasi mesin Hal.120)	11	1,12,19,21,24,29 Maret 2016
12		14,15,18,20,30 April 2016	320
8		9,12,18,20,21,25 Mei 2016	300
8		1,3,6,9,18,27 Juni 2016	280
6		1,11,13,28 Juli 2016	185
6		4,6,19,23,24,26 Agustus 2016	270
7		3,6,9,13,20,24 September 2016	230
6		4,8,17,28 Oktober 2016	210
2		29-Nov-16	60
6		4,8,10,15,26,30 Desember 2016	240
Yamata (Tabel)	10	6,7,9,12,14,16,21,26,31 Januari 2017	360
	3	3,5 Februari 2017	60
	3	4,10,18 Maret 2016	120
	6	5,11,14,20,22 April 2016	210

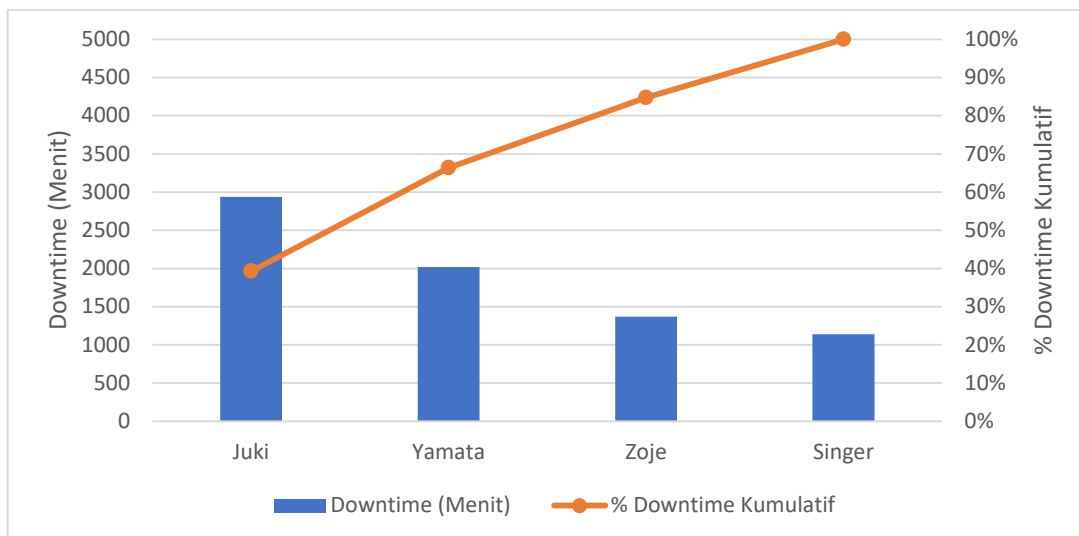
Merek	Frekuensi	Tanggal Kerusakan	Lama Downtime Mesin (Menit)
lampiran spesifikasi mesin Hal.119)	4	4,10,12,21 Mei 2016	150
	5	3,17,29 Juni 2016	260
	3	13,28 Juli 2016	90
	6	10,16,18,23,25 Agustus 2016	210
	5	3,9,13,30 September 2016	180
	5	4,10,11,17,28 Oktober 2016	180
	3	2,12,29 November 2016	120
	2	9,30 Desember 2016	60
	7	5,7,10,13,20,23,25 Januari 2017	240
	5	7,10,11,18,25 Februari 2017	200
Zoje (Tabel lampiran spesifikasi mesin Hal.120)	2	10,12 Maret 2016	90
	4	5,11,18,20 April 2016	120
	3	4,12 Mei 2016	90
	4	8,16,23,27 Juni 2016	150
	3	1,11,28 Juli 2016	180
	2	24-Agu-16	30
	1	09-Sep-16	30
	4	17,28 Oktober 2016	90
	2	7,21 November 2016	90
	8	3,8,9,10,15,27,30 Desember 2016	270
3	5,21,26 Januari 2017	110	
3	10,25 Februari 2017	120	

Tabel 4.7 Tabel Jumlah Total Frekuensi *Downtime* Merek Mesin Zigzag

No	Merek	Frekuensi	Downtime (Menit)	% Downtime
1	Juki	85	2935	39%
2	Yamata	54	2020	27%
3	Zoje	39	1370	18%
4	Singer	37	1140	15%
	Total	215	7465	

Tabel 4.8 Tabel Jumlah Total Frekuensi *Downtime* Kumulatif Merek Mesin Zigzag

No	Merek	Frekuensi	Downtime (Menit)	% Downtime	% Downtime Kumulatif
1	Juki	85	2935	39%	39%
2	Yamata	54	2020	27%	66%
3	Zoje	39	1370	18%	85%
4	Singer	37	1140	15%	100%
	Total	215	7465		



Gambar 4.7 Diagram Pareto Merek Mesin Zigzag

Pada pengolahan data diatas didapatkan frekuensi tertinggi pada merek mesin zigzag adalah mesin merek juki sehingga dapat dilanjutkan dalam mengidentifikasi kerusakan pada komponen mesin zigzag merek juki.

#### 4.2.3 Data Kerusakan Komponen Mesin Zigzag

Jumlah data kerusakan komponen mesin zigzag yang diambil selama 1 tahun terakhir kebelakang mulai dari bulan Maret 2016 – bulan Februari 2017.

Penjelasan:

1. Komponen rotary telah terjadi kerusakan sebanyak 14 kali kerusakan pada tanggal 1 maret 2016 dengan komponen pada mesin yang sama maupun dengan komponen pada mesin yang berbeda lama *downtime* sebesar 60 menit.

Tabel 4.9 Tabel Frekuensi *Downtime* Komponen Merek Juki Mesin Zigzag

No.	Komponen	Frekuensi	Tanggal Kerusakan	Lama Downtime (Menit)
1	Rotary (Tabel lampiran komponen hal. 124)	14	01-Mar-16	60
			18-Apr-16	40
			9,21 Mei 2016	50
			18,27 Juni 2017	90
			6,24 September 2016	60
			4,10 Desember 2017	60
			6,7,9 Januari 2017	120
			03-Feb-17	30
2	Sepatu (Tabel	8	12-Mar-16	40
			30-Apr-16	40

No.	Komponen	Frekuensi	Tanggal Kerusakan	Lama Downtime (Menit)
	lampiran komponen hal. 124)		09-Jun-16	30
			1,13 Juli 2016	65
			04-Agu-16	35
			08-Okt-16	40
			08-Des-16	30
3	Plat + Gigi (Tabel lampiran komponen hal. 124)	11	19-Mar-16	25
			15,30 April 2016	60
			12-Mei	60
			06-Jun-16	30
			28-Jul-16	40
			9,20 September 2016	60
			28-Nov-16	60
			12, 26 Januari 2017	60
			1,12,24 Maret 2016	75
			20-Apr-16	50
			20,25 Mei 2016	70
03-Sep-16	40			
4	Skoci (Tabel lampiran komponen hal. 124)	10	17,28 Oktober 2016	60
			30-Des-16	60
			14-Apr-16	30
			12-Mei-16	40
			03-Jun-16	45
5	Spull (Tabel lampiran komponen hal. 125)	5	06-Agu-16	30
			15-Des-16	40
			15,20 April 2016	60
			23-Agu-16	40
			12,31 Januari 2017	65
6	Dinamo (Tabel lampiran komponen hal. 124)	5	14,18 April 2016	60
			26-Agu-16	40
			04-Okt-16	35
			21-Jan-17	40
			05-Feb-17	30
7	Tiang Benang (Tabel lampiran komponen hal. 124)	6	27-Jun-16	30
			23-Agu-16	25
			4,17 Oktober 2016	90
			14, 26 Desember 2016	60
			16-Jan-16	30
8	Tombol On/Off (Tabel lampiran komponen hal. 125)	7	21-Mar-16	30
			18-Mei-16	35
			27-Jun-16	30
9	Tension Benang (Tabel	6		

No.	Komponen	Frekuensi	Tanggal Kerusakan	Lama Downtime (Menit)
	lampiran komponen hal. 125)		11-Jul-16	40
			9,13 September 2016	60
10	Jarum DP 75 (Tabel lampiran komponen hal. 125)	8	12,21 Mei 2016	55
			06-Jun-16	30
			6,24 September 2016	40
			17-Okt-16	35
			14,31 Januari 2017	80
11	Fully (Tabel lampiran komponen hal. 125)	5	19-Mar-16	30
			9,16 Juni 2016	75
			06-Agu-16	30
			21-Jan-17	35

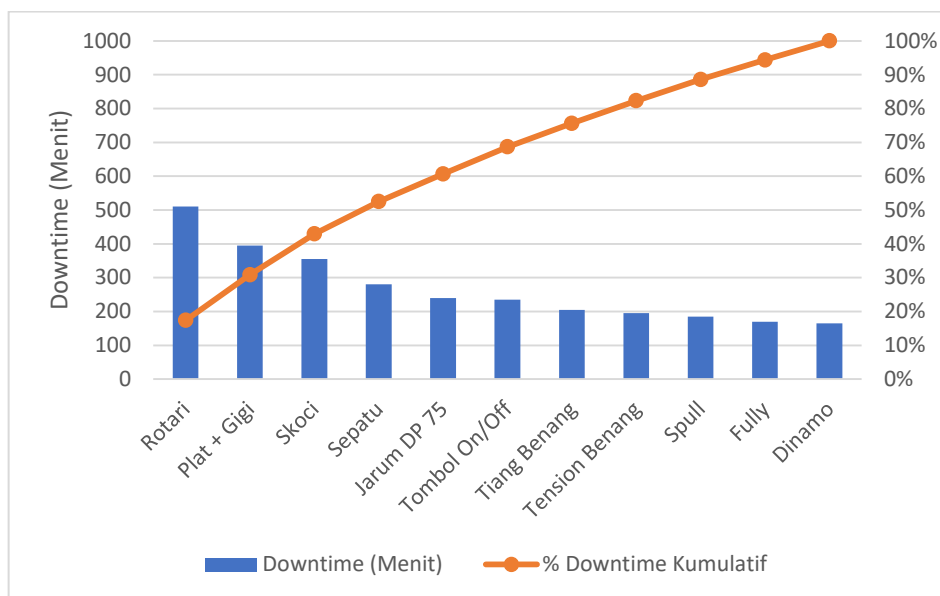
Tabel 4.10 Tabel Jumlah Total Frekuensi *Downtime* Merek Juki Mesin Zigzag

No	Mesin	Frekuensi	Downtime (Menit)
1	Rotary	14	510
2	Sepatu	8	280
3	Plat + Gigi	11	395
4	Skoci	10	355
5	Spull	5	185
6	Dinamo	5	165
7	Tiang Benang	6	205
8	Tombol On/Off	7	235
9	Tension Benang	6	195
10	Jarum DP 75	8	240
11	Fully	5	170
	Total	85	2935

Tabel 4.11 Tabel Jumlah Total Frekuensi *Downtime* Kumulatif Merek Juki Mesin Zigzag

No	Mesin	Frekuensi	Downtime (Menit)	% Downtime	% Downtime Kumulatif
1	Rotary	14	510	17%	17%
2	Plat + Gigi	11	395	13%	31%
3	Skoci	10	355	12%	43%
4	Sepatu	8	280	10%	52%
5	Jarum DP 75	8	240	8%	61%
6	Tombol On/Off	7	235	8%	69%
7	Tiang Benang	6	205	7%	76%

8	Tension Benang	6	195	7%	82%
9	Spull	5	185	6%	89%
10	Fully	5	170	6%	94%
11	Dinamo	5	165	6%	100%
Total		85	2935		

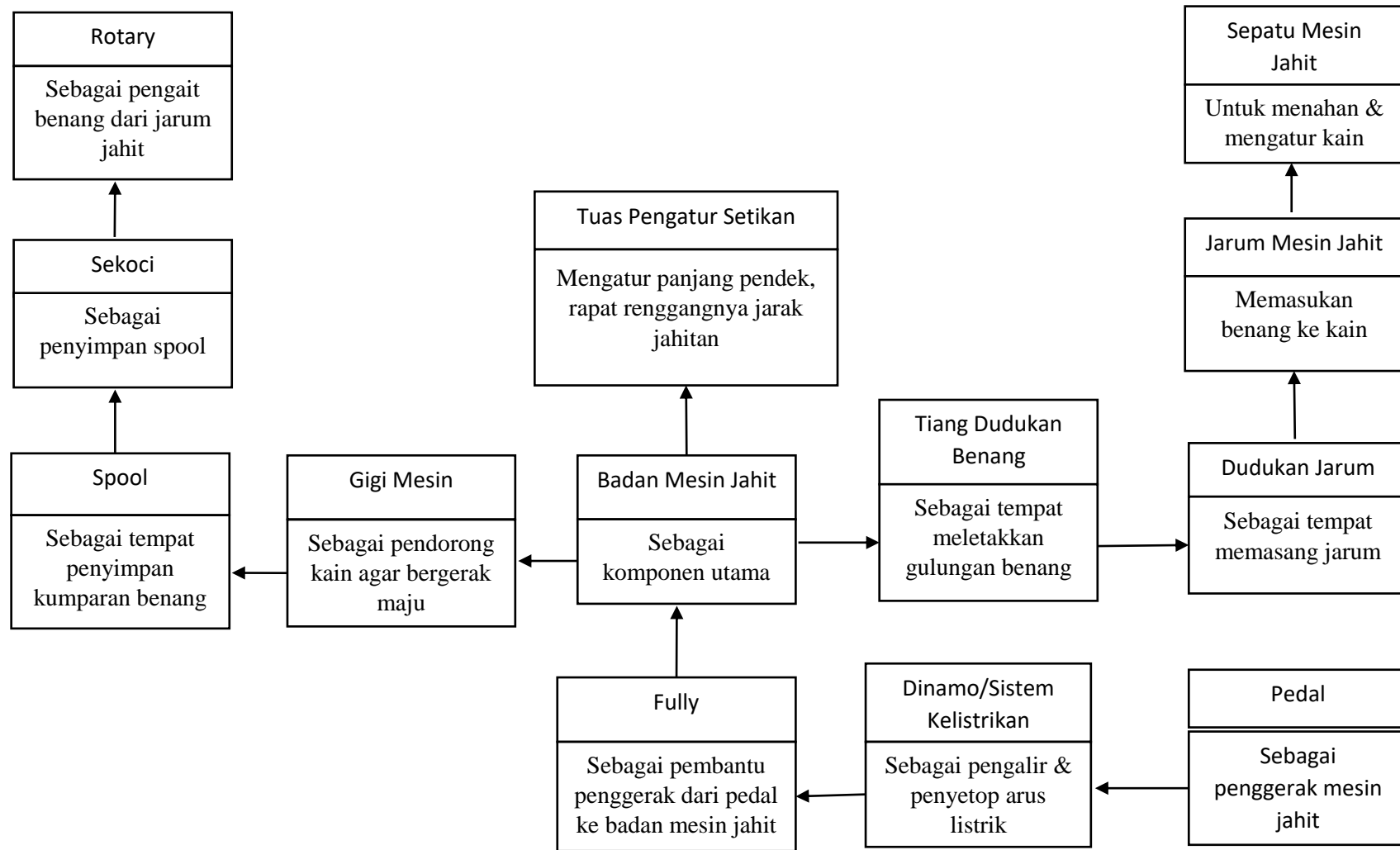


Gambar 4.8 Diagram Pareto Komponen Mesin Zigzag

### 4.3 Pengolahan Data

#### 4.3.1 Function Block Diagram

*Function Block Diagram* (FBD) Mesin Jahit Zigzag ditunjukkan untuk memberikan pengetahuan secara umum mengenai bagian dan fungsi utama dari mesin jahit zigzag. Gambar dibawah ini menunjukkan *Function Block Diagram* (FBD) pada mesin jahit zigzag.

Gambar 4.9 *Function Block Diagram*

### 4.3.2 Failure Mode And Effect Analysis

Pada tahap ini caranya dengan mengidentifikasi dari kegagalan fungsi dan dari penyebab setiap kegagalan pada Mesin Jahit Zigzag. Dalam melakukan pengisian untuk equipment Badan Mesin Jahit setelah mengisi kolom function selanjutnya adalah mengisi kolom function failure, failure mode dan effect failure. Dan selanjutnya mengisi pada kolom *severity* (S), *occurance* (O), *detection* (D).

Pada pengisian kolom *severity* (S), *occurance* (O), *detection* (D) menggunakan tabel penilaian dengan cara mencocokkan dengan kriteria – kriteria pada setiap penilaian. Setelah mendapatkan nilai pada kolom *severity* (S), *occurance* (O), *detection* (D) selanjutnya mengalikan masing – masing penilaian tersebut sehingga mendapatkan nilai RPN

Contoh penyelesaian :

<b>Equipment : Badan Mesin Jahit</b>				
<b>Keterangan</b>	<b>Rangking</b>	<b>Akibat/Kejadian</b>	<b>Kriteria Verbal</b>	<b>Akibat Pada Produksi</b>
<b>S</b> ( <i>Severity</i> )	3	Akibat ringan	Mesin tetap beroperasi dan aman, hanya terjadi sedikit gangguan peralatan yang tidak berarti, akibat hanya dapat diketahui oleh rata-rata operator	Proses telah berada diluar pengendalian, beberapa penyesuaian diperlukan
<b>O</b> ( <i>Occurance</i> )	1	Hampir tidak pernah	Kerusakan hampir tidak pernah terjadi	> 10.000 jam operasi
<b>D</b> ( <i>Detection</i> )	10	Tidak pasti	Perawatan <i>preventive</i> akan selalu tidak mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan metode kegagalan	
<b>RPN = S x O x D = 3 x 1 x 10 = 30</b>				

Tabel 4.12 Tabel FMEA Mesin Jahit Zigzag

No	Equipment	Function	Funtion Failure	Failure mode	Effect of Failure	S	O	D	RPN
1	Badan Mesin Jahit	Sebagai komponen utama (1)	komponen bergerak(1)	baut kendor (1)	mesin jahit tidak dapat digunakan (1)	3	1	10	30
2	Sepatu Mesin Jahit	Untuk menahan & mengatur kain (1)	sepatu mesin jahit kendor (1)	baut kendor	jarum, spool, sekoci, Rotary & gigi mesin berhenti berputar (1)	4	5	3	60
3	Tiang dudukan benang	Sebagai tempat meletakkan gulungan benang (1)	tiang goyang (1)	tiang kurang kencang (1)	benang jarum tersendat (1)	1	2	8	16
4	Dudukan Jarum	Sebagai tempat memasang jarum (1)	pengunci jarum kendor (1)	baut pengunci kendor (1)	jarum tidak dapat di operasikan (1)	3	3	7	63
5	Jarum	Memasukan benang ke kain (1)	jarum patah (1)	benang, spool, sekoci & Rotary berhenti berputar (1)	benang tidak dapat dimasukan ke jarum & mesin berhenti (1)	4	3	5	60
6	Tuas Pengatur Setikan	Mengatur panjang pendek, rapat renggangnya jarak jahitan (1)	setikan tidak pas (1)	jarak jahitan tidak sesuai (1)	jarum, spool, sekoci, Rotary berhenti berputar (1)	1	2	4	8
7	Gigi Mesin	Sebagai pendorong kain agar bergerak maju (1)	kain jahitan tersendat (1)	gigi aus (1)	kain jahitan tidak rapi (1)	4	2	8	64
8	Spool	Sebagai tempat penyimpanan kumparan benang (1)	benang kusut (1)	spool kendor dari sekoci (1)	spool, sekoci, Rotary berhenti berputar (1)	2	3	6	36
9	Sekoci	Sebagai penyimpan spool (1)	sekoci kendor & bertagar (1)	pemasangan sekoci tidak pas pada rumah sekoci (1)	spool & Rotary tidak dapat di operasikan (1)	1	3	9	27
10	Rotary	Sebagai pengait	tidak bisa mengait	pisau tumpul (1)	jarum, spool, sekoci,	5	8	3	120

No	Equipment	Function	Funtion Failure	Failure mode	Effect of Failure	S	O	D	RPN
		benang dari jarum jahit (1)	benang dari jarum (1)		Rotary berhenti berputar (1)				
11	Fully	Sebagai pembantu penggerak dari pedal ke badan mesin jahit (1)	tali fully kendor (1)	tali fully aus (1)	tidak bisa meneruskan gerakan dari pedal ke badan mesin (1)	3	4	7	84
12	Dinamo/sistem kelistrikan	Sebagai pengalir & penyetop arus listrik (1)	terjadi konslet (1)	kabel ada yang terbakar (1)	mesin jahit mati tidak dapat digunakan (1)	6	3	4	72
13	Pedal	Sebagai penggerak mesin jahit (1)	pedal tersendat saat di injak (1)	pedal kurang pelumasan oli (1)	tidak bisa menggerakkan mesin jahit (1)	2	1	9	18

#### 4.3.3 Logic Tree Analysis (LTA)

*Logic Tree Analysis* (LTA) merupakan tindak lanjut dari tabel FMEA untuk mengisi prioritas dari setiap kerusakan untuk komponen yang menyebabkan kegagalan fungsi sistem Mesin Jahit Zigzag. Penilaian ini menjawab disetiap pertanyaan seperti untuk *Equipment* badan mesin jahit dapat menjawab pertanyaan sebagai berikut :

1. **Evident** (E), Apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem? Yes
2. **Safety** (S), Apakah kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan? No
3. **Outage** (O), Apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin berhenti? No
4. **Category** (C), yaitu pengkategorian setelah menjawab pertanyaan -pertanyaan yang diajukan. Pengkategorian terbagi menjadi 4 kategori yaitu :
  - a. Kategori A (*Safety Problem*)
  - b. Kategori B (*Cutage Problem*)
  - c. Kategori C (*Economic Problem*)
  - d. Kategori D (*Hidden Problem*)

Dengan menjawab hasil pertanyaan – pertanyaan tersebut maka dikategorikan kedalam Kategori D yaitu (*Hidden problem*). Berikut ini merupakan penilaian pengelompokan kategori dari seluruh *equipment* :

Tabel 4.13 Tabel Logic Tree Analysis (LTA) Mesin Jahit Zigzag

No	Equipment	Function	Funtion Failure	Failure mode	Effect of Failure	Critical analysis			
						E	S	O	C
1	Badan Mesin Jahit	Sebagai komponen utama (1)	komponen bergerak(1)	baut kendor (1)	mesin jahit tidak dapat digunakan (1)	Y	N	N	D
2	Sepatu Mesin Jahit	Untuk menahan & mengatur kain (1)	sepatu mesin jahit kendor (1)	baut kendor	jarum, spool, sekoci, Rotary & gigi mesin berhenti berputar (1)	Y	N	Y	B
3	Tiang dudukan benang	Sebagai tempat meletakkan gulungan benang (1)	tiang goyang (1)	tiang kurang kencang (1)	benang jarum tersendat (1)	Y	N	Y	D
4	Dudukan Jarum	Sebagai tempat memasang jarum (1)	pengunci jarum kendor (1)	baut pengunci kendor (1)	jarum tidak dapat di operasikan (1)	Y	N	Y	B
5	Jarum	Memasukan benang ke kain (1)	jarum patah (1)	benang, spool, sekoci & Rotary berhenti berputar (1)	benang tidak dapat dimasukan ke jarum & mesin berhenti (1)	Y	N	Y	B
6	Tuas Pengatur Setikan	Mengatur panjang pendek, rapat renggangnya jarak jahitan (1)	setikan tidak pas (1)	jarak jahitan tidak sesuai (1)	jarum, spool, sekoci, Rotary berhenti berputar (1)	Y	N	Y	D
7	Gigi Mesin	Sebagai pendorong kain agar bergerak maju (1)	kain jahitan tersendat (1)	gigi aus (1)	kain jahitan tidak rapi (1)	Y	N	Y	B
8	Spool	Sebagai tempat penyimpanan kumparan benang (1)	benang kusut (1)	spool kendor dari sekoci (1)	spool, sekoci, Rotary berhenti berputar (1)	Y	N	Y	B
9	Sekoci	Sebagai penyimpanan spool (1)	sekoci kendor & bertagar (1)	pemasangan sekoci tidak pas pada rumah sekoci (1)	spool & Rotary tidak dapat di operasikan (1)	Y	N	Y	B
10	Rotary	Sebagai	tidak bisa	pisau	jarum, spool,	Y	N	Y	B

No	Equipment	Function	Funtion Failure	Failure mode	Effect of Failure	Critical analysis			
						E	S	O	C
		pengait benang dari jarum jahit (1)	mengait benang dari jarum (1)	tumpul (1)	sekoci, Rotary berhenti berputar (1)				
11	Fully	Sebagai pembantu penggerak dari pedal ke badan mesin jahit (1)	tali fully kendor (1)	tali fully aus (1)	tidak bisa meneruskan gerakan dari pedal ke badan mesin (1)	Y	N	Y	B
12	Dinamo/sistem kelistrikan	Sebagai pengalir & penyetop arus listrik (1)	terjadi konslet (1)	kabel ada yang terbakar (1)	mesin jahit mati tidak dapat digunakan (1)	Y	Y	Y	A
13	Pedal	Sebagai penggerak mesin jahit (1)	pedal tersendat saat di injak (1)	pedal kurang pelumasan oli (1)	tidak bisa menggerakkan mesin jahit (1)	Y	N	Y	B

#### 4.3.4 RCM II Worksheet

Tahapini merupakan penggabungan dari analisa dengan tabel FMEA dan dapat mengetahui konsekuensi kegagalan pada tahap LTA dengan menambahkan RCM *decision diagram*. Contoh pengisian pada tabel RCM *decision diagram* untuk *Equipment* Badan Mesin Jahit pada kolom adalah F = *Failure*, FF = *Functional Failure* dan FM = *Failure Mode*. Pengisian ini sama halnya dengan tabel FMEA dan tabel LTA. Sedangkan untuk kolom yang lain pada RCM *decision diagram* kolom *Hidden failure consequences* (H) = Y, *Safety consequences* (S) = N, *Enviromental consequences* (E) = N, *Operational consequences* (O) = N, dan *On condition task* (H1/H2/O1/N1) = Y. Selanjutnya pada kolom *Proposed task* diisikan *Schedule On Condition*, dengan interval awal 3 jam yang akan dikerjakan oleh mekanik. Berikut dibawah ini adalah tabel RCM II *worksheet* :

Tabel 4.14 Tabel RCM II Worksheet

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Mesin Zigzag											Date :	Sheet No			
		Sub-sistem : Badan Mesin Jahit, Sepatu Mesin Jahit, Tiang dudukan benang, Dudukan Jarum, Gigi Mesin, Spool, Sekoci, Rotary, Fully, Dinamo/sistem kelistrikan, Pedal															
Information Reference		Consequence evaluation							Default Action			Proposed Task	Initial Interval (hours)	Can be done by			
No.	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	H 1	H 2	H 3				H 4	H 5	S 4
1	Badan Mesin Jahit	1	1	1	Y	N	N	N	Y	-	-	-	-	-	Schedule On	3	Mekanik
2	Sepatu Mesin Jahit	1	1	1	Y	N	N	Y	Y	-	-	-	-	-	Schedule On	2	Mekanik
3	Tiang dudukan benang	1	1	1	Y	N	N	Y	Y	-	-	-	-	-	Schedule On	1	Mekanik
4	Dudukan Jarum	1	1	1	Y	N	N	Y	Y	-	-	-	-	-	Schedule On	1	Mekanik
5	Jarum	1	1	1	Y	N	N	Y	Y	-	-	-	-	-	Schedule On	2	Mekanik
6	Tuas Pengatur Setikan	1	1	1	Y	N	N	Y	Y	-	-	-	-	-	Schedule On	1	Mekanik

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Mesin Zigzag											Date :	Sheet No				
		Sub-sistem : Badan Mesin Jahit, Sepatu Mesin Jahit, Tiangudukan benang, Dudukan Jarum, Gigi Mesin, Spool, Sekoci, Rotary, Fully, Dinamo/sistem kelistrikan, Pedal												Of.				
Information Reference		Consequence evaluation							H H H 1 2 3			Default Action			Proposed Task		Initial Interval (hours)	Can be done by
No.	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	E E E 1 2 3			H	H	S	Condition		Initial Interval (hours)	Can be done by
									O	O	O				4	5		
7	Gigi Mesin	1	1	1	Y	N	N	Y	Y	-	-	-	-	-	On	1	Mekanik	
8	Spool	1	1	1	Y	N	N	Y	Y	-	-	-	-	-	On	1	Mekanik	
9	Sekoci	1	1	1	Y	N	N	Y	Y	-	-	-	-	-	On	1	Mekanik	
10	Rotary	1	1	1	Y	N	N	Y	Y	-	-	-	-	-	On	2	Mekanik	
11	Fully	1	1	1	Y	N	N	Y	Y	-	-	-	-	-	On	3	Mekanik	
12	Dinamo/sistem kelistrikan	1	1	1	Y	Y	N	Y	Y	-	-	-	-	-	On	4	Mekanik	

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Mesin Zigzag											Date :	Sheet No			
		Sub-sistem : Badan Mesin Jahit, Sepatu Mesin Jahit, Tiang dudukan benang, Dudukan Jarum, Gigi Mesin, Spool, Sekoci, Rotary, Fully, Dinamo/sistem kelistrikan, Pedal															
Information Reference		<i>Consequence evaluation</i>								Default Action			Proposed Task	Initial Interval (hours)	Can be done by		
No.	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	H	H	H	H	H	S			
									1	2	3					4	5
13	Pedal	1	1	1	Y	N	N	Y	Y	-	-	-	-	-	Schedule On Condition	2	Mekanik

#### 4.3.5 Penentuan Komponen Kritis

Data Komponen kritis didapatkan dari data kerusakan mesin zig-zag selama 1 tahun terakhir pada PT.Globalindo Intimates. Dalam penentuan pada komponen kritis diurutkan berdasarkan total harga komponen dari yang terbesar ke terkecil.

Contoh penyelesaian komponen kritis mesin zigzag :

1. Rotary :

- **Harga komponen** = Frekuensi Kerusakan x Harga Komponen

$$\text{Harga Komponen} = 14 \times \text{Rp. } 325.000,00 = \text{Rp. } 4.550.000,00$$

- **Persentase** = Total Harga Rotary ÷ Jumlah Total Harga

$$\text{Persentase} = \text{Rp. } 4.550.000,00 \div \text{Rp. } 11.025.300 = 41,27\%$$

- **Akumulasi**

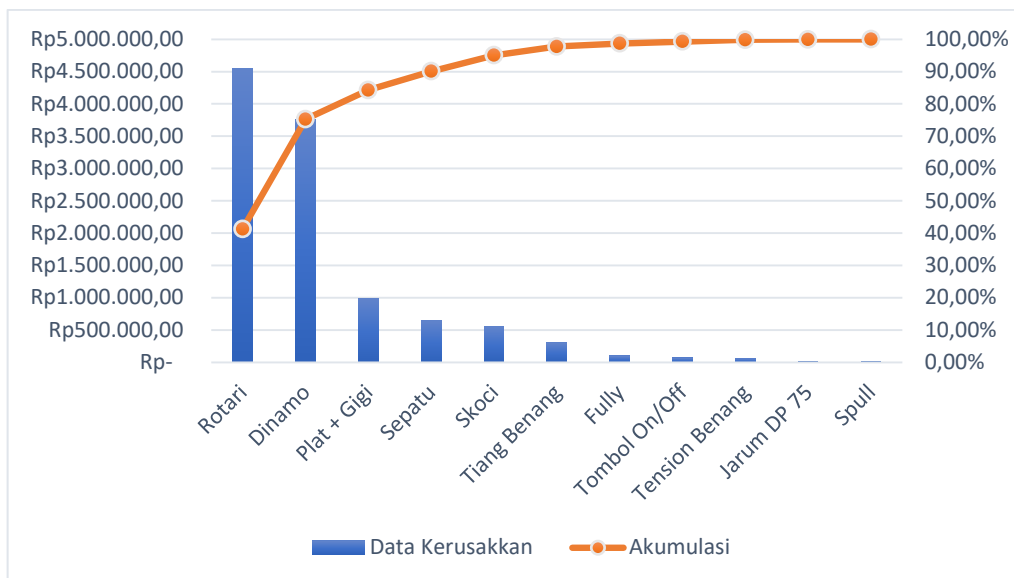
**Akumulasi 1** = Persentase ke – 1 yaitu 41,27%, sedangkan

**Akumulasi 2** = Akumulasi ke – 1 + Persentase ke – 2

$$= 41,27\% + 34,01\% = 75,28\%$$

Tabel 4.15 Daftar Komponen Kritis Mesin Zig-zag

No	Data Kerusakkan	Frekuensi Kerusakkan	Harga Komponen	Total Harga	Persentase	Akumulasi
1	Rotary	14	Rp 325.000,00	Rp 4.550.000,00	41,27%	41,27%
2	Dinamo	5	Rp 750.000,00	Rp 3.750.000,00	34,01%	75,28%
3	Plat + Gigi	11	Rp 90.000,00	Rp 990.000,00	8,98%	84,26%
4	Sepatu	8	Rp 80.000,00	Rp 640.000,00	5,80%	90,07%
5	Skoci	10	Rp 55.000,00	Rp 550.000,00	4,99%	95,05%
6	Tiang Benang	6	Rp 50.000,00	Rp 300.000,00	2,72%	97,78%
7	Fully	5	Rp 20.000,00	Rp 100.000,00	0,91%	98,68%
8	Tombol On/Off	7	Rp 10.000,00	Rp 70.000,00	0,63%	99,32%
9	Tension Benang	6	Rp 10.000,00	Rp 60.000,00	0,54%	99,86%
10	Jarum DP 75	8	Rp 975,00	Rp 7.800,00	0,07%	99,93%
11	Spull	5	Rp 1.500,00	Rp 7.500,00	0,07%	100,00%
	TOTAL	85		Rp 11.025.300,00		



Gambar 4.10 Diagram Pareto Komponen Kritis

Berdasarkan pada data komponen kritis diatas dengan menggunakan diagram pareto terdapat satu komponen mesin zigzag yang tertinggi yaitu komponen Rotary.

#### 4.3.6 Penentuan Jenis Distribusi *Time to Failure*

Pemilihan jenis distribusi dilakukan dengan menggunakan metode *Least Square Curva Fitting* yang berdasarkan nilai paling besar *index of fit* ( $r$ ).

##### 1. Distribusi *Exponensial*

$$i - 0,3 = 1 - 0,3 = 0,7$$

$$n + 0,4 = 13 + 0,4 = 13,4$$

$$X_i = t_i$$

$$X_i = 1100$$

$$X_i^2 = 1100^2 = 1.210.000$$

$$F(t_i) = i - 0,3 \div n + 0,4$$

$$= 1 - 0,3 \div 13 + 0,4$$

$$= 0,52238$$

$$Y_i = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] = \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - 0,052239} \right) \right] = 0,53653$$

$$Y_i^2 = 0,53653^2 = 0,00287861$$

$$X_i Y_i = 1100 \times 0,53653 = 59,01798$$

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

$$r_{\text{eksponensial}} = \frac{(13 \cdot 795896,2) - (487735 \cdot 12,22453)}{\sqrt{[(13 \cdot 32195770475) - 3278854302][13 \cdot 20,17777] - 149,4391}} = 0,97091$$

Tabel 4.16 Perhitungan *Time to Failure* Distribusi *Eksponensial*

No	ti	Xi= ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	1100	1100	1210000	0,052238806	0,053653	0,00287861	59,01798
2	3230	3230	10432900	0,126865672	0,135666	0,01840523	438,2007
3	8280	8280	68558400	0,201492537	0,225011	0,05062993	1863,091
4	13270	13270	176092900	0,276119403	0,323129	0,10441224	4287,919
5	17540	17540	307651600	0,350746269	0,431932	0,18656498	7576,082
6	26070	26070	679644900	0,425373134	0,554034	0,30695409	14443,68
7	29885	29885	893113225	0,5	0,693147	0,48045301	20714,7
8	35735	35735	1276990225	0,574626866	0,854789	0,73066343	30545,87
9	39115	39115	1529983225	0,649253731	1,047692	1,09765894	40980,48
10	40025	40025	1602000625	0,723880597	1,286922	1,65616794	51509,05
11	69275	69275	4799025625	0,798507463	1,602003	2,5664134	110978,8
12	101785	101785	10360186225	0,873134328	2,064626	4,2626824	210148
13	102425	102425	10490880625	0,947761194	2,95193	8,71388866	302351,4
TOTAL		487735	32195770475		12,22453	20,1777729	795896,2
					<b>r</b>		0,97091

## 2. Distribusi Normal

$$i - 0,3 = 1 - 0,3 = 0,7$$

$$n + 0,4 = 13 + 0,4 = 13,4$$

$$X_i = t_i$$

$$X_i = 1100$$

$$X_i^2 = 1100^2 = 1.210.000$$

$$\begin{aligned} F(t_i) &= i - 0,3 \div n + 0,4 \\ &= 1 - 0,3 \div 13 + 0,4 \\ &= 0,52238 \end{aligned}$$

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

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}[0,52239] = -1,62352$$

$$Y_i^2 = -1,62352^2 = 2,635828$$

$$X_i Y_i = 1100 \times -1,62352 = -1785,88$$

Keterangan :  $Y_i$  didapatkan dengan melihat tabel *standardized normal probabilitas*

$$r_{\text{normal}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i z_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[\ln(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][\ln(\sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$r_{\text{normal}} = \frac{(13 \cdot 353989,7) - (487735 \cdot 0)}{\sqrt{[(13 \cdot 32195770475) - 237885430225](13 \cdot 10,34704) - 0,00}} = 0,93352$$

Tabel 4.17 Perhitungan *Time to Failure* Distribusi Normal

No	ti	Xi= ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	1100	1100	1210000	0,052239	-1,62352	2,635828	-1785,88
2	3230	3230	10432900	0,126866	-1,14133	1,302641	-3686,51
3	8280	8280	68558400	0,201493	-0,8363	0,699401	-6924,58
4	13270	13270	176092900	0,276119	-0,59441	0,353322	-7887,8
5	17540	17540	307651600	0,350746	-0,38331	0,146924	-6723,2
6	26070	26070	679644900	0,425373	-0,18817	0,035407	-4905,5
7	29885	29885	893113225	0,5	0	0	0
8	35735	35735	1276990225	0,574627	0,188166	0,035407	6724,124
9	39115	39115	1529983225	0,649254	0,383306	0,146924	14993,03
10	40025	40025	1602000625	0,723881	0,594409	0,353322	23791,21
11	69275	69275	4799025625	0,798507	0,836302	0,699401	57934,82
12	101785	101785	10360186225	0,873134	1,141333	1,302641	116170,6
13	102425	102425	10490880625	0,947761	1,623523	2,635828	166289,4
TOTAL		487735	32195770475		0	10,34704	353989,7
						<b>r</b>	<b>0,93352</b>

## 3. Distribusi Lognormal

$$i - 0,3 = 1 - 0,3 = 0,7$$

$$n + 0,4 = 13 + 0,4 = 13,4$$

$$t_i = 1100$$

$$X_i = \ln t_i$$

$$X_i = \ln 1100 = 7,003065$$

$$X_i^2 = 7,003065^2 = 49,04293$$

$$F(t_i) = i - 0,3 \div n + 0,4$$

$$= 1 - 0,3 \div 13 + 0,4$$

$$= 0,52238$$

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

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}[0,52239] = -1,62352$$

$$Y_i^2 = -1,62352^2 = 2,635828$$

$$X_i Y_i = 7,003065 x - 1,62352 = -11,3696$$

$$\Gamma_{\text{lognormal}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i z_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[\ln(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][\ln \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$\Gamma_{\text{lognormal}} = \frac{(13 \cdot 14,09829) - (129,7128 \cdot 0,00)}{\sqrt{[(13 \cdot 1315,249) - 16825,41048](13 \cdot 10,34704) - 0,00}} = 0,956725$$

Tabel 4.18 Perhitungan *Time to Failure* Distribusi *Log Normal*

No	ti	Xi=ln ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	1100	7,003065	49,04293	0,052239	-1,62352	2,635828	-11,3696
2	3230	8,080237	65,29024	0,126866	-1,14133	1,302641	-9,22224
3	8280	9,021598	81,38923	0,201493	-0,8363	0,699401	-7,54478
4	13270	9,493261	90,12201	0,276119	-0,59441	0,353322	-5,64288
5	17540	9,772239	95,49666	0,350746	-0,38331	0,146924	-3,74576
6	26070	10,16854	103,3992	0,425373	-0,18817	0,035407	-1,91338
7	29885	10,30511	106,1953	0,5	0	0	0
8	35735	10,48389	109,9119	0,574627	0,188166	0,035407	1,972714
9	39115	10,57426	111,815	0,649254	0,383306	0,146924	4,053183
10	40025	10,59726	112,3019	0,723881	0,594409	0,353322	6,299103
11	69275	11,14584	124,2297	0,798507	0,836302	0,699401	9,321287
12	101785	11,53062	132,9552	0,873134	1,141333	1,302641	13,16028
13	102425	11,53689	133,0997	0,947761	1,623523	2,635828	18,7304
TOTAL		129,7128	1315,249		0	10,34704	14,09829
						<b>r</b>	0,956725

#### 4. Distribusi *Weibull*

$$i - 0,3 = 1 - 0,3 = 0,7$$

$$n + 0,4 = 13 + 0,4 = 13,4$$

$$t_i = 1100$$

$$X_i = \ln t_i$$

$$X_i = \ln 1100 = 7,003065$$

$$X_i^2 = 7,003065^2 = 49,04292582$$

$$F(t_i) = i - 0,3 \div n + 0,4$$

$$= 1 - 0,3 \div 13 + 0,4$$

$$= 0,52238$$

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

$$Y_i = \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1 - 0,052239}\right)\right] = -2,92522$$

$$Y_i^2 = -2,92522^2 = 8,55693097$$

$$Y_i X_i = -2,92522 \times 7,003065 = -20,4855$$

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

$$r_{Weibull} = \frac{(13 \times (-51,1722)) - (129,7128 \times (-6,92002))}{\sqrt{[13 \times 1315,249016] - 16825,41048} \sqrt{[13 \times 19,2458645] - 47,8866768}} = 0,989101$$

Tabel 4.19 Perhitungan *Time to Failure* Distribusi *Weibull*

No	ti	Xi=ln ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	1100	7,003065	49,04292582	0,052238806	-2,92522	8,55693097	-20,4855
2	3230	8,080237	65,2902367	0,126865672	-1,99756	3,99024711	-16,1408
3	8280	9,021598	81,38923494	0,201492537	-1,49161	2,22488888	-13,4567
4	13270	9,493261	90,12200683	0,276119403	-1,1297	1,2762316	-10,7246
5	17540	9,772239	95,49666027	0,350746269	-0,83949	0,70473985	-8,20368
6	26070	10,16854	103,399216	0,425373134	-0,59053	0,34872396	-6,00481
7	29885	10,30511	106,1953325	0,5	-0,36651	0,13433172	-3,77696
8	35735	10,48389	109,9118631	0,574626866	-0,1569	0,02461798	-1,64493
9	39115	10,57426	111,8150021	0,649253731	0,04659	0,00217061	0,492653
10	40025	10,59726	112,3019097	0,723880597	0,252253	0,06363169	2,673193
11	69275	11,14584	124,2297353	0,798507463	0,471255	0,22208097	5,252529
12	101785	11,53062	132,955152	0,873134328	0,724949	0,52555151	8,359114
13	102425	11,53689	133,0997409	0,947761194	1,082459	1,17171765	12,48821
TOTAL		129,7128	1315,249016		-6,92002	19,2458645	-51,1722
					<b>r</b>		0,989101

Hasil perhitungan *indeks of fit* ( $r$ ) untuk data *time to failure* komponen Rotary dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.20 Tabel *Indeks of Fit*

No.	Distribusi	Index of Fit
1	<i>Eksponensial</i>	0,970909583
2	Normal	0,933519999
3	Log Normal	0,9567254
4	<i>Weibull</i>	0,989100804

Berdasarkan hasil perhitungan *indeks of fit* ( $r$ ) maka jenis distribusi yang akan digunakan adalah distribusi weibull karena memiliki nilai *indeks of fit* tertinggi.

#### 4.3.7 Uji Kecocokan *Goodness of Fit* Data Kerusakan Komponen (*Time to Failure*)

Pengujian distribusi *goodness of fit test* untuk menentukan uji hipotesis terhadap pola distribusi yang terpilih. Distribusi yang terpilih pada uji kecocokan *goodness of fit* adalah distribusi weibull maka akan dilanjutkan menggunakan uji *Mann's Test*.

Hipotesa untuk melakukan uji *Mann's Test* adalah

$H_0$  : Data *time to failure* berdistribusi weibull

$H_1$  : Data *time to failure* tidak berdistribusi weibull

$\alpha$  : 0,05

Penerimaan  $H_0$  jika  $M < F_{crit}$ , yaitu  $M < F_{crit}$ ,  $k_1$ ,  $k_2$

Perhitungan :

$$n = 13$$

$$k_1 = \left\lceil \frac{r}{2} \right\rceil = \left\lceil \frac{13}{2} \right\rceil = 6,5$$

$$k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{13-1}{2} \right\rfloor = 6$$

$$t_i = 1100$$

$$X_i = \ln t_i$$

$$X_i = \ln 1100 = 7,003065$$

$$F(t_i) = 1 - (i - 0,5)/(n + 0,25)$$

$$= 1 - (1 - 0,5)/(13 + 0,25) = 0,962264151$$

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

$$Z_i = \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1 - 0,5}{13 + 0,25} \right) \right] = -3,25797$$

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

$$M_i = -2,11906 - (-3,25797) = 1,138912$$

$$\ln t + 1 - \ln t = 8,080237 - 7,003065 = 1,077171957$$

$$\frac{(\ln t + 1 - \ln t)}{M_i} = \frac{1,077171957}{1,138912} = 0,945790676$$

Tabel 4.21 Tabel Perhitungan Uji Mann's Test

No	ti	ln ti	$\frac{1 - ((i - 0,5)/(n + 0,25))}{1}$	Zi	Mi	ln t+1 - ln t	$\frac{(\ln t+1 - \ln t)}{M_i}$
1	1100	7,003065	0,962264151	-3,25797	1,138912	1,077171957	0,945790676
2	3230	8,080237	0,886792453	-2,11906	0,55408	0,941360831	1,698962672
3	8280	9,021598	0,811320755	-1,56498	0,383195	0,47166288	1,230867886
4	13270	9,493261	0,735849057	-1,18179	0,302174	0,278978139	0,923235331
5	17540	9,772239	0,660377358	-0,87961	0,256559	0,396301241	1,544677136
6	26070	10,16854	0,58490566	-0,62305	0,229203	0,136571454	0,595854887
7	29885	10,30511	0,509433962	-0,39385	0,213284	0,178773918	0,838195045
8	35735	10,48389	0,433962264	-0,18057	0,20609	0,090375424	0,438523512
9	39115	10,57426	0,358490566	0,025524	0,207365	0,022998234	0,110907082
10	40025	10,59726	0,283018868	0,232889	0,219712	0,548579832	2,496816642
11	69275	11,14584	0,20754717	0,452601	0,252663	0,384778655	1,522890509
12	101785	11,53062	0,132075472	0,705264	0,349633	0,006268078	0,017927606
13	102425	11,53689	0,056603774	1,054897			
<b>Total</b>	487735	129,7128	6,622641509				12,36464899

$$M = \frac{k_1 \sum[(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}{k_2 \sum[(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}$$

$$M = \frac{6,5 * 12,36464899}{6 * 12,36464899} = 1,08333$$

Jadi, keputusan  $M < F_{crit}$ .  $1,08333 < 4,21$ , maka  $H_0$  diterima.

#### 4.3.8 Perhitungan Parameter dari Distribusi Waktu Antar Kerusakan (*Mean Time to Failure*)

Perhitungan Parameter dari distribusi waktu antar kerusakan menggunakan dua parameter. Distribusi ini diantaranya  $\alpha$ (scale parameter) dan  $\beta$ (shape parameter).

Dibawah ini hasil perhitungan dari kedua parameter tersebut.

Contoh penyelesaian :

$$t_i (\text{jam}) = 18,333$$

$$i - 0,3 = 1 - 0,3 = 0,7$$

$$n + 0,4 = 13 + 0,4 = 13,4$$

$$F(t_i) = (i - 0,3)/(n + 0,4)$$

$$= (1 - 0,3)/(13 + 0,4) = 0,0522$$

$$X_i = \ln(t_i)$$

$$X_i = \ln 18,333 = 2,9087$$

$$Y_i = \ln[\ln(1/(1 - F(t_i)))] = \ln[\ln(1/(1 - 0,0522))] = -2,925223$$

$$X_i^2 = 2,9087^2 = 8,460657$$

$$X_i Y_i = 2,9087 \times -2,925223 = -8,5086579$$

$$Y_i^2 = -2,925223^2 = 8,556931$$

$$\text{Jumlah } X^2 = 76,4863^2 = 5850,158$$

$$\text{Jumlah } Y^2 = -6,920018^2 = 47,88665$$

Tabel 4.22 Perhitungan Parameter MTTF

i	t <sub>i</sub> (Jam)	i-0,3	n+0,4	F(t <sub>i</sub> )	X <sub>i</sub> =ln(t <sub>i</sub> )	Y <sub>i</sub> =ln[ln(1/(1-F(t <sub>i</sub> )))]	X <sub>i</sub> <sup>2</sup>	X <sub>i</sub> *Y <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	18,333	0,7	13,4	0,0522	2,9087	-2,925223	8,460657	-8,5086579	8,556931
2	53,833	1,7	13,4	0,1269	3,9859	-1,997560	15,88734	-7,9620613	3,990247
3	138,000	2,7	13,4	0,2015	4,9273	-1,491606	24,27783	-7,3495219	2,224889
4	221,167	3,7	13,4	0,2761	5,3989	-1,129704	29,1483	-6,0991788	1,276232
5	292,333	4,7	13,4	0,3507	5,6779	-0,839488	32,23849	-4,7665236	0,70474
6	434,500	5,7	13,4	0,4254	6,0742	-0,590529	36,89586	-3,5869861	0,348724
7	498,083	6,7	13,4	0,5000	6,2108	-0,366513	38,57363	-2,2763265	0,134332
8	595,583	7,7	13,4	0,5746	6,3895	-0,156901	40,82624	-1,0025265	0,024618
9	651,917	8,7	13,4	0,6493	6,4799	0,046590	41,98932	0,3018983	0,002171
10	667,083	9,7	13,4	0,7239	6,5029	0,252253	42,2879	1,6403813	0,063632
11	1154,583	10,7	13,4	0,7985	7,0515	0,471255	49,72358	3,3230499	0,222081
12	1696,417	11,7	13,4	0,8731	7,4363	0,724949	55,29816	5,3909214	0,525552
13	1707,083	12,7	13,4	0,9478	7,4425	1,082459	55,39142	8,0562466	1,171718
<b>Total</b>	8128,9167				76,4863	-6,920018	470,9987	-22,8392850	19,24586
							<b>Jumlah X<sup>2</sup></b>		5850,158
							<b>Jumlah Y<sup>2</sup></b>		47,88665
							<b>r</b>		0,97091

1.  $a$  (scale parameter)

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - \frac{b \sum x_i}{n}$$

$$a = \frac{-6,920018}{13} - \frac{0,851738 * 76,4863}{13}$$

$$a = -5,54357$$

$$\theta = \exp^{-a/\beta}$$

$$\theta = \exp^{-(-5,54357)/0,851738}$$

$$\theta = 607,8404$$

2.  $\beta$  (shape parameter)

$$\beta = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i) (\sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$\beta = \frac{13 * 22,8392850 - (76,4863 * -6,920018)}{13 * 470,9987 - 5850,158} = 0,851738$$

#### 4.3.9 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan (*Mean Time to Failure*)

Menghitung nilai MTTF yang sesuai dengan distribusi weibull terhadap data *time to failure* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \theta \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 607,840444 * \Gamma \left( 1 + \frac{1}{0,851738} \right) \\ &= 607,840444 * \Gamma(2,17) \rightarrow \text{tabel fungsi gamma} \\ &= 607,840444 * 1,08423854 \\ &= 727,35 \text{ jam} \end{aligned}$$

#### 4.3.10 Penentuan Jenis Distribusi *Time to Repair*

Pemilihan jenis distribusi dilakukan dengan menggunakan metode *Least Square CurvaFitting* yang berdasarkan nilai paling besar *index of fit* ( $r$ ).

1. Distribusi *Exponensial*

$$i - 0,3 = 1 - 0,3 = 0,7$$

$$n + 0,4 = 14 + 0,4 = 14,4$$

$$X_i = t_i$$

$$X_i = 15$$

$$X_i^2 = 15^2 = 225$$

$$\begin{aligned} F(t_i) &= (i - 0,3)/(n + 0,4) \\ &= (1 - 0,3)/(14 + 0,4) = 0,048611 \end{aligned}$$

$$Y_i = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] = \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - 0,048611} \right) \right] = 0,049832$$

$$Y_i^2 = 0,049832^2 = 0,002483$$

$$X_i Y_i = 15 \times 0,049832 = 0,747486$$

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

$$r_{\text{eksponensial}} = \frac{(14 \cdot 617,3002) - (500 \cdot 13,21002)}{\sqrt{[(14 \cdot 20350) - 250000][14 \cdot 22,00728 - 174,5046]}} = 0,943454$$

Tabel 4.23 Perhitungan *Time to Repair* Distribusi *Eksponensial*

No	ti	Xi= ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	15	15	225	0,048611	0,049832	0,002483	0,747486
2	15	15	225	0,118056	0,125626	0,015782	1,884393
3	25	25	625	0,1875	0,207639	0,043114	5,190984
4	30	30	900	0,256944	0,296984	0,0882	8,909534
5	30	30	900	0,326389	0,395102	0,156106	11,85307
6	30	30	900	0,395833	0,503905	0,25392	15,11716
7	35	35	1225	0,465278	0,626008	0,391886	21,91028
8	35	35	1225	0,534722	0,765121	0,58541	26,77922
9	35	35	1225	0,604167	0,926762	0,858888	32,43667
10	40	40	1600	0,673611	1,119666	1,253651	44,78663
11	40	40	1600	0,743056	1,358895	1,846597	54,35582
12	50	50	2500	0,8125	1,673976	2,802197	83,69882
13	60	60	3600	0,881944	2,1366	4,565059	128,196
14	60	60	3600	0,951389	3,023903	9,14399	181,4342
TOTAL		500	20350		13,21002	22,00728	617,3002
					<b>r</b>		0,943454

## 2. Distribusi Normal

$$i - 0,3 = 1 - 0,3 = 0,7$$

$$n + 0,4 = 14 + 0,4 = 14,4$$

$$X_i = t_i$$

$$X_i = 15$$

$$X_i^2 = 15^2 = 225$$

$$\begin{aligned} F(t_i) &= (i - 0,3)/(n + 0,4) \\ &= (1 - 0,3)/(14 + 0,4) = 0,048611 \end{aligned}$$

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

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}[0,048611] = -1,65847$$

$$Y_i^2 = -1,65847^2 = 2,75053$$

$$X_i Y_i = 15 \times -1,65847 = -24,8771$$

$Y_i$  didapatkan dengan melihat tabel *standardized normal probabilitas*

$$\begin{aligned} r_{\text{normal}} &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i z_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[\ln(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] [\ln(\sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \\ r_{\text{normal}} &= \frac{(14 \cdot 162,472) - (500 \cdot 0)}{\sqrt{[(14 \cdot 3600) - 20350](14 \cdot 11,29429) - 0,00}} = 0,967941 \end{aligned}$$

Tabel 4.24 Perhitungan Time to Repair Distribusi Normal

No	$t_i$	$X_i = t_i$	$X_i^2$	$F(t_i)$	$Y_i$	$Y_i^2$	$X_i Y_i$
1	15	15	225	0,048611	-1,65847	2,75053	-24,8771
2	15	15	225	0,118056	-1,18476	1,403664	-17,7714
3	25	25	625	0,1875	-0,88715	0,787029	-22,1787
4	30	30	900	0,256944	-0,65279	0,42614	-19,5838
5	30	30	900	0,326389	-0,44991	0,202416	-13,4972
6	30	30	900	0,395833	-0,26415	0,069774	-7,92441
7	35	35	1225	0,465278	-0,08715	0,007594	-3,05011
8	35	35	1225	0,534722	0,087146	0,007594	3,050106
9	35	35	1225	0,604167	0,264147	0,069774	9,245144
10	40	40	1600	0,673611	0,449907	0,202416	17,99626
11	40	40	1600	0,743056	0,652794	0,42614	26,11177
12	50	50	2500	0,8125	0,887147	0,787029	44,35733
13	60	60	3600	0,881944	1,184763	1,403664	71,08579
14	60	60	3600	0,951389	1,658472	2,75053	99,50832
TOTAL		500	20350		0	11,29429	162,472
					<b>r</b>		0,967941

### 3. Distribusi Lognormal

$$i - 0,3 = 1 - 0,3 = 0,7$$

$$n + 0,4 = 14 + 0,4 = 14,4$$

$$X_i = \ln t_i$$

$$X_i = \ln 15 = 2,70805$$

$$X_i^2 = 2,70805^2 = 7,333536$$

$$F(t_i) = (i - 0,3)/(n + 0,4) \\ = (1 - 0,3)/(14 + 0,4) = 0,048611$$

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

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}[0,048611] = -1,65847$$

$$Y_i^2 = -1,65847^2 = 2,75053$$

$$X_i Y_i = 2,70805 \times -1,65847 = -4,49123$$

$$r_{\text{lognormal}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i z_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[\ln(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][\ln(\sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$r_{\text{lognormal}} = \frac{(14 \cdot 4,91443) - (48,98308 \cdot 0,00)}{\sqrt{[(14 \cdot 173,7011) - 2399,3421](14 \cdot 11,29429) - 0,00}} = 0,960174$$

Tabel 4.25 Perhitungan Time to Repair Distribusi Log Normal

No	Ti	Xi=ln ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	15	2,70805	7,333536	0,048611	-1,65847	2,75053	-4,49123
2	15	2,70805	7,333536	0,118056	-1,18476	1,403664	-3,2084
3	25	3,218876	10,36116	0,1875	-0,88715	0,787029	-2,85561
4	30	3,401197	11,56814	0,256944	-0,65279	0,42614	-2,22028
5	30	3,401197	11,56814	0,326389	-0,44991	0,202416	-1,53022
6	30	3,401197	11,56814	0,395833	-0,26415	0,069774	-0,89842
7	35	3,555348	12,6405	0,465278	-0,08715	0,007594	-0,30983
8	35	3,555348	12,6405	0,534722	0,087146	0,007594	0,309834
9	35	3,555348	12,6405	0,604167	0,264147	0,069774	0,939134
10	40	3,688879	13,60783	0,673611	0,449907	0,202416	1,659651
11	40	3,688879	13,60783	0,743056	0,652794	0,42614	2,40808
12	50	3,912023	15,30392	0,8125	0,887147	0,787029	3,470538
13	60	4,094345	16,76366	0,881944	1,184763	1,403664	4,850829
14	60	4,094345	16,76366	0,951389	1,658472	2,75053	6,790356
TOTAL		48,98308	173,7011		0	11,29429	4,91443
					<b>r</b>		0,960174

#### 4. Distribusi Weibull

$$i - 0,3 = 1 - 0,3 = 0,7$$

$$n + 0,4 = 14 + 0,4 = 14,4$$

$$X_i = \ln t_i$$

$$X_i = \ln 15 = 2,70805$$

$$X_i^2 = 2,70805^2 = 7,333535$$

$$F(t_i) = (i - 0,3)/(n + 0,4) \\ = (1 - 0,3)/(14 + 0,4) = 0,048611$$

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

$$Y_i = \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1 - 0,048611}\right)\right] = -2,99909$$

$$Y_i^2 = -2,99909^2 = 8,994543$$

$$X_i Y_i = 2,70805 \times -2,99909 = -8,12169$$

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

$$r_{Weibull} = \frac{(14 \cdot (-20,1028)) - (48,98308 \cdot (-7,48504))}{\sqrt{[14 \cdot 173,7010658] - 2399,4321} [14 \cdot 21,04489] - (-56,0258)}} = 0,968278$$

Tabel 4.26 Perhitungan *Time to Repair* Distribusi Weibull

No	ti	Xi=ln ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	15	2,70805	7,333535892	0,048611	-2,99909	8,994543	-8,12169
2	15	2,70805	7,333535892	0,118056	-2,07444	4,303319	-5,6177
3	25	3,218876	10,36116158	0,1875	-1,57195	2,471035	-5,05992
4	30	3,401197	11,56814363	0,256944	-1,21408	1,473979	-4,12931
5	30	3,401197	11,56814363	0,326389	-0,92861	0,862317	-3,15839
6	30	3,401197	11,56814363	0,395833	-0,68537	0,469728	-2,33107
7	35	3,555348	12,64049984	0,465278	-0,46839	0,219391	-1,6653
8	35	3,555348	12,64049984	0,534722	-0,26772	0,071675	-0,95184
9	35	3,555348	12,64049984	0,604167	-0,07606	0,005785	-0,27041
10	40	3,688879	13,60783163	0,673611	0,11303	0,012776	0,416955
11	40	3,688879	13,60783163	0,743056	0,306672	0,094048	1,131277
12	50	3,912023	15,30392399	0,8125	0,515202	0,265433	2,015482
13	60	4,094345	16,76365739	0,881944	0,759216	0,576409	3,108491
14	60	4,094345	16,76365739	0,951389	1,106548	1,224449	4,530591
TOTAL		48,98308	173,7010658		-7,48504	21,04489	-20,1028
					<b>r</b>		0,968278

Hasil perhitungan *indeks of fit* (r) untuk data *Time to Repair* komponen Rotary dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.27 Tabel *Indeks of Fit*

Distribusi	Index of Fit
<i>Eksponensial</i>	0,94345366
Normal	0,967941265
Log Normal	0,960174438
<i>Weibull</i>	0,968278474

Berdasarkan hasil perhitungan *indeks of fit* ( $r$ ) maka jenis distribusi yang akan digunakan adalah distribusi *weibull* karena memiliki nilai *indeks of fit* tertinggi.

#### 4.3.11 Uji Kecocokan *Goodness of Fit Data Perbaikan Komponen (Time to Repair)*

Pengujian distribusi *goodness of fit test* untuk menentukan uji hipotesis terhadap pola distribusi yang terpilih. Distribusi yang terpilih pada uji kecocokan *goodness of fit* adalah distribusi *weibull* maka akan dilanjutkan menggunakan uji *Mann's Test*.

Hipotesa untuk melakukan uji *Mann's Test* adalah

$H_0$  : Data *time to failure* berdistribusi *weibull*

$H_1$  : Data *time to failure* tidak berdistribusi *weibull*

$\alpha$  : 0,05

Penerimaan  $H_0$  jika  $M < F_{crit}$ , yaitu  $M < F_{crit}, k_1, k_2$

Perhitungan :

$$n = 14$$

$$k_1 = \left[ \frac{r}{2} \right] = \left[ \frac{14}{2} \right] = 7$$

$$k_2 = \left[ \frac{r-1}{2} \right] = \left[ \frac{14-1}{2} \right] = 6,5$$

$$t_i = 15$$

$$X_i = \ln t_i$$

$$X_i = \ln 15 = 2,70805$$

$$F(t_i) = 1 - (i - 0,5)/(n + 0,25)$$

$$= 1 - (1 - 0,5)/(14 + 0,25) = 0,964912281$$

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

$$Z_i = \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1 - 0,5}{14 + 0,25} \right) \right] = -3,3321$$

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

$$M_i = -2,19619 - (-3,3321) = 1,135904$$

$$\ln t + 1 - \ln t = 2,70805 - 2,70805 = 0$$

$$\frac{(\ln t + 1 - \ln t)}{M_i} = \frac{0}{1,135904} = 0$$

Tabel 4.28 Perhitungan Uji *Uji Mann's Test*

No	ti	ln ti	$\frac{1 - (i - 0,5)}{(n + 0,25)}$	Zi	Mi	ln t+1 - ln t	$\frac{(\ln t+1 - \ln t)}{M_i}$
1	15	2,70805	0,964912281	-3,3321	1,135904	0	0
2	15	2,70805	0,894736842	-2,19619	0,55063	0,510825624	0,927711146
3	25	3,218876	0,824561404	-1,64556	0,379188	0,182321557	0,480820784
4	30	3,401197	0,754385965	-1,26638	0,297448	0	0
5	30	3,401197	0,684210526	-0,96893	0,25088	0	0
6	30	3,401197	0,614035088	-0,71805	0,222216	0,15415068	0,693696174
7	35	3,555348	0,543859649	-0,49583	0,204429	0	0
8	35	3,555348	0,473684211	-0,2914	0,194404	0	0
9	35	3,555348	0,403508772	-0,097	0,191047	0,133531393	0,698946435
10	40	3,688879	0,333333333	0,094048	0,194884	0	0
11	40	3,688879	0,263157895	0,288932	0,208903	0,223143551	1,06816764
12	50	3,912023	0,192982456	0,497835	0,24274	0,182321557	0,751098625
13	60	4,094345	0,122807018	0,740575	0,339343	0	0
14	60	4,094345	0,052631579	1,079918			
<b>Total</b>	500	48,98308	7,122807018				4,620440804

$$M = \frac{k_1 \sum [(\ln t_{i+1} - \ln t_i) / M_i]}{k_2 \sum [(\ln t_{i+1} - \ln t_i) / M_i]}$$

$$M = \frac{7 * 4,620440804}{6,5 * 4,620440804} = 1,0769$$

Jadi, keputusan  $M < F_{crit}$ .  $1,0769 < 3,79$ , maka  $H_0$  diterima.

#### 4.3.12 Perhitungan Parameter dari Distribusi Waktu Antar Perbaikan (*Mean Time to Repair*)

Perhitungan Parameter dari distribusi waktu antar kerusakan menggunakan dua parameter. Distribusi ini diantaranya  $\alpha$  (*scale parameter*) dan  $\beta$  (*shape parameter*). Dibawah ini hasil perhitungan dari kedua parameter tersebut.

Contoh penyelesaian :

$$t_i \text{ (jam)} = 0,250$$

$$i - 0,3 = 1 - 0,3 = 0,7$$

$$n + 0,4 = 14,4$$

$$F(t_i) = (i - 0,3)/(n + 0,4) \\ = (1 - 0,3)/(14 + 0,4) = 0,0486$$

$$X_i = \ln(t_i)$$

$$X_i = \ln 0,250 = -1,3863$$

$$Y_i = \ln[\ln(1/(1 - F(t_i)))] = \ln[\ln(1/(1 - 0,0486))] = -2,99909$$

$$X_i^2 = (-1,3863)^2 = 1,921812$$

$$X_i Y_i = -1,3863 \times -2,99909 = 4,157622153$$

$$Y_i^2 = (-2,99909)^2 = 8,994543$$

$$\text{Jumlah } X^2 = 8,33774^2 = 69,5179$$

$$\text{Jumlah } Y^2 = 7,485044506^2 = 56,0259$$

Tabel 4.29 Tabel Perhitungan Parameter dari Distribusi *Mean Time to Repair*

i	t <sub>i</sub> (Jam)	i-0,3	N+0,4	F(t <sub>i</sub> )	X <sub>i</sub> =ln(t <sub>i</sub> )	Y <sub>i</sub> =ln[ln(1/(1-F(t <sub>i</sub> )))]	X <sub>i</sub> <sup>2</sup>	X <sub>i</sub> *Y <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	0,250	0,7	14,4	0,0486	-1,3863	-2,99909	1,921812	4,157622153	8,994543
2	0,250	1,7	14,4	0,1181	-1,3863	-2,07444	1,921812	2,875790496	4,303319
3	0,417	2,7	14,4	0,1875	-0,8755	-1,57195	0,766446	1,376195294	2,471035
4	0,500	3,7	14,4	0,2569	-0,6931	-1,21408	0,480453	0,841532973	1,473979
5	0,500	4,7	14,4	0,3264	-0,6931	-0,92861	0,480453	0,643663755	0,862317
6	0,500	5,7	14,4	0,3958	-0,6931	-0,68537	0,480453	0,475060316	0,469728
7	0,583	6,7	14,4	0,4653	-0,5390	-0,46839	0,290517	0,252461823	0,219391
8	0,583	7,7	14,4	0,5347	-0,5390	-0,26772	0,290517	0,144301063	0,071675
9	0,583	8,7	14,4	0,6042	-0,5390	-0,07606	0,290517	0,040995241	0,005785
10	0,667	9,7	14,4	0,6736	-0,4055	0,11303	0,164402	0,045829785	0,012776
11	0,667	10,7	14,4	0,7431	-0,4055	0,30667	0,164402	0,124344858	0,094048
12	0,833	11,7	14,4	0,8125	-0,1823	0,51520	0,033241	0,093932411	0,265433
13	1,000	12,7	14,4	0,8819	0,0000	0,75922	0	0	0,576409
14	1,000	13,7	14,4	0,9514	0,0000	1,10655	0	0	1,224449
<b>Total</b>	8,333				-8,3377	-7,48504	7,285025	10,54351606	21,04489
								<b>Jumlah X<sup>2</sup></b>	69,51791
								<b>Jumlah Y<sup>2</sup></b>	56,02589
								<b>r</b>	0,97091

1.  $a$  (scale parameter)

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - \frac{b \sum x_i}{n}$$

$$a = \frac{-7,48504}{14} - \frac{2,624 * -8,33774}{14}$$

$$a = 1,028$$

$$\theta = \exp^{-a/\beta}$$

$$\theta = \exp^{-1,028/2,624}$$

$$\theta = 0,67$$

2.  $\beta$  (shape parameter)

$$\beta = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i) (\sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$\beta = \frac{14 \times -10,54352 - (-8,33774 \times -7,48504)}{14 \times 7,285025 - (69,51791)} = 2,624$$

#### 4.3.13 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Antar Perbaikan (*Mean Time to Repair*)

Menghitung nilai MTTR yang sesuai dengan distribusi normal terhadap data *time to repair* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \theta \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 0,67 * \Gamma \left( 1 + \frac{1}{2,624} \right) \\ &= 0,67 * \Gamma(1,38) \rightarrow \text{tabel fungsi gamma} \\ &= 0,67 * 0,88854 \\ &= 0,5963 \text{ jam} \end{aligned}$$

#### 4.3.14 Perhitungan Interval Waktu Penggantian dan Pencegahan untuk Meminimalkan Biaya

Perhitungan interval waktu penggantian minimasi biaya perawatan membutuhkan data – data yang telah dihitung sebagai berikut :

1) Data waktu kerusakan MTTF berdistribusi *weibull* yaitu 727,35 jam

- 2) Waktu rata – rata penggantian kerusakan ( $T_f$ ) adalah 0,60 jam dan waktu penggantian ( $T_p$ ) adalah 0,5953jam
- 3) Harga komponen Rotary adalah Rp. 350.000,-
- 4) Upah tenaga kerja per jam:  
 = Upah per bulan / ( Jumlah hari perbulan x Jumlah jam kerja perhari)  
 = Rp.1.500.000,- / (25 x 8 jam)  
 = Rp. 7500,-
- 5) Biaya kehilangan produksi/jam  
 = 180 produk/jam x \$ 26,00 → Rp. 364.262,02  
 = Rp. 62.327.163,6/jam  
 \*keterangan : \$ 1,00 = Rp.13.317,77
- 6) Biaya kehilangan produksi per penggantian kerusakan komponen  
 = Waktu penggantian kerusakan ( $T_f$ ) x jumlah Biaya kehilangan produksi/jam  
 = 0,60 x Rp. 62.327.163,6/jam  
 = Rp. 37.396.298,16
- 7) Biaya kehilangan produksi akibat pencegahan  
 = Waktu penggantian ( $T_p$ ) x jumlah Biaya kehilangan produksi/jam  
 = 0,5953 x Rp. 62.327.163,6/jam  
 = Rp. 37.103.360,49
- 8) Data *Cost of Failure* ( $C_f$ ) dan *Cost of Preventive/Repair* ( $C_p$ )
- a. *Cost of Failure* ( $C_f$ )  
 $C_f = ( \text{Jumlah tenaga kerja} \times \text{biaya tenaga kerja} ) + \text{Biaya komponen} + \text{Biaya kehilangan Produksi Akibat Penggantian Kerusakan}$   
 = ( 2 x Rp. 7.500,- ) + Rp. 350.000,- + Rp. 37.396.298,16  
 = Rp. 37.761.298,16
- b. *Cost of Preventive/Repair* ( $C_p$ )  
 $C_p = ( \text{Jumlah tenaga kerja} \times \text{biaya tenaga kerja} ) + \text{Biaya komponen} + \text{Biaya kehilangan Produksi Akibat Penggantian Kerusakan}$   
 = ( 2 x Rp. 7.500,- ) + Rp. 350.000,- + Rp. 37.358.901,86  
 = Rp. 37.153.360,49

Setelah data – data tersebut dikumpulkan, maka langkah selanjtnya adalah melakukan perhitungan interval waktu penggantian dan biayanya. Hasilnya dilihat pada Tabel 4.27

Tabel 4.30 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Komponen Rotary Pada Mesin Jahit Zigzag

tp (jam)	R(tp)	F(tp)=1- R(tp)	(tp+Tp)R(tp)	M(tp)=MTTF/(1- R(tp))	(M(tp)+Tf)*(1- R(tp))	(Cp*R(tp))+Cf(1- R(tp))	C(tp)
1	0,850	0,150	0,239	4864,218	727,4397	37244265,84	27451743,1
25	0,821	0,179	4,592	4053,912	727,4577	37262436,23	1774874,9
50	0,791	0,209	10,597	3472,885	727,4757	37280685,02	932773,0
75	0,762	0,238	18,019	3051,525	727,4930	37298266,24	648529,0
100	0,734	0,266	26,780	2732,161	727,5097	37315204,34	506250,6
125	0,707	0,293	36,807	2481,913	727,5258	37331522,82	421182,9
150	0,681	0,319	48,028	2280,661	727,5414	37347244,36	364851,6
175	0,656	0,344	60,376	2115,404	727,5563	37362390,79	324999,0
200	0,632	0,368	73,787	1977,364	727,5707	37376983,15	295478,5
225	0,609	0,391	88,199	1860,406	727,5846	37391041,72	272868,6
250	0,587	0,413	103,557	1760,106	727,5979	37404586,01	255113,5
275	0,565	0,435	119,803	1673,199	727,6108	37417634,83	240904,0
300	0,545	0,455	136,887	1597,219	727,6232	37430206,32	229366,8
325	0,525	0,475	154,758	1530,272	727,6352	37442317,94	219897,0
350	0,505	0,495	173,370	1470,876	727,6467	37453986,50	212062,9
375	0,487	0,513	192,678	1417,856	727,6578	37465228,22	205547,9
400	0,469	0,531	212,639	1370,269	727,6685	37476058,70	200115,0
425	0,452	0,548	233,214	1327,350	727,6788	37486493,00	195582,9
450	0,435	0,565	254,364	1288,469	727,6887	37496545,60	191811,3
525	0,389	0,611	320,914	1191,260	727,7163	37524550,32	184059,2
550	0,375	0,625	344,022	1164,099	727,7249	37533210,76	182421,9
575	0,361	0,639	367,542	1139,079	727,7331	37541554,38	181169,7

tp (jam)	R(tp)	F(tp)=1- R(tp)	(tp+Tp)R(tp)	M(tp)=MTTF/(1- R(tp))	(M(tp)+Tf)*(1- R(tp))	(Cp*R(tp))+Cf(1- R(tp))	C(tp)
600	0,348	0,652	391,447	1115,970	727,7411	37549592,79	180263,3
625	0,335	0,665	415,710	1094,577	727,7487	37557337,15	179670,1
650	0,323	0,677	440,307	1074,728	727,7561	37564798,21	179362,8
<b>675</b>	<b>0,311</b>	<b>0,689</b>	<b>465,215</b>	<b>1056,274</b>	<b>727,7632</b>	<b>37571986,35</b>	<b>179318,5</b>
700	0,300	0,700	490,411	1039,084	727,7700	37578911,53	179517,7
725	0,289	0,711	515,873	1023,045	727,7766	37585583,38	179944,1
726	0,289	0,711	516,897	1022,426	727,7768	37585845,12	179965,7
<b>727,351</b>	<b>0,288</b>	<b>0,712</b>	<b>518,281</b>	<b>1021,592</b>	<b>727,7772</b>	<b>37586198,11</b>	<b>179995,4</b>
728	0,288	0,712	518,946	1021,193	727,7774	37586367,43	180009,9
729	0,287	0,713	519,971	1020,578	727,7776	37586628,00	180032,5
730	0,287	0,713	520,996	1019,966	727,7779	37586888,18	180055,4
740	0,283	0,717	531,271	1013,930	727,7804	37589468,77	180303,2
741	0,282	0,718	532,301	1013,336	727,7807	37589724,72	180329,8
742	0,282	0,718	533,331	1012,743	727,7809	37589980,29	180356,7
743	0,281	0,719	534,361	1012,151	727,7812	37590235,47	180384,0
744	0,281	0,719	535,392	1011,561	727,7814	37590490,28	180411,6
745	0,281	0,719	536,423	1010,973	727,7817	37590744,71	180439,5
750	0,278	0,722	541,584	1008,054	727,7829	37592011,18	180583,9
775	0,268	0,732	567,523	994,021	727,7890	37598203,83	181425,3
800	0,258	0,742	593,673	980,866	727,7949	37604169,96	182458,3

Melakukan perhitungan interval waktu pergantian komponen dan biayanya. Berikut adalah contoh perhitungan untuk  $t_p = 675$  jam:

$$1. \mathbf{R}(t_p) = \exp \left[ \left( -\frac{t}{\theta} \right) \beta \right] = \exp \left( -\frac{675}{670,8404} \right) 0,851738 = 0,311$$

Parameter distribusi *Weibull*:

$$\theta \text{ (scale parameter)} = 670,8404$$

$$\beta \text{ (shape parameter)} = 0,851738$$

$$2. \mathbf{F}(t_p) = 1 - \mathbf{R}(t_p) = 1 - 0,311 = 0,689$$

$$3. (\mathbf{t}_p + \mathbf{T}_p) \times \mathbf{R}(t_p) = (675 \text{ jam} + 0,5953) \times 0,311 = 465,213$$

$$4. \mathbf{M}(t_p) = \frac{\mathbf{MTTF}}{1 - \mathbf{R}(t_p)} = \frac{727,351}{1 - 0,31140004} = 1056,274$$

5. Ekspetasi panjang siklus kerusakan

$$= (\mathbf{M}(t_p) + \mathbf{T}_f) \times (1 - \mathbf{R}(t_p))$$

$$= (1056,274 + 0,60) \times (1 - 0,31140004)$$

$$= 727,7632$$

$$6. (\mathbf{C}_p \times \mathbf{R}(t_p)) + \mathbf{C}_f(1 - \mathbf{R}(t_p)) = (37.153.360,49 \times 0,31140004) + 37.761.298,16(1 - 0,31140004) = 37.571.186,35$$

$$7. \mathbf{C}(t_p) = \frac{(\mathbf{C}_p \times \mathbf{R}(t_p)) + \mathbf{C}_f(1 - \mathbf{R}(t_p))}{[(\mathbf{t}_p + \mathbf{T}_p) \times \mathbf{R}(t_p)] + [(\mathbf{M}(t_p) + \mathbf{T}_f) \times (1 - \mathbf{R}(t_p))]}$$

$$\mathbf{C}(650) = \frac{(\text{Rp.}37.153.360,49 \times 0,31140004) + \text{Rp.}37.761.298,16 \times (1 - 0,31140004)}{[(675 + 0,5953) \times 0,31140004] + [1056,274 + 0,60] \times (1 - 0,31140004)}$$

$$= \text{Rp. } 179.318,5/\text{jam}$$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh bahwa  $C(t_p)$  yang paling minimum adalah Rp. 179.318,5/jam. Sehingga interval waktu penggantian pencegahan komponen Rotary dengan kriteria biaya yang paling minimum adalah 675 jam seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.28 :

Tabel 4.31 Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis Mesin Jahit Zigzag

Komponen	Interval Waktu Penggantian (jam)	C(tp)Minimum
Rotary	675	Rp. 179.318,5

#### 4.3.15 Perbandingan Biaya Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen

Membandingkan biaya total sebelum dan biaya total sesudah dilakukan penentuan interval waktu penggantian komponen. Perhitungan dilakukan sebagai berikut :

- $C(t)$  sebelum interval waktu penggantian = jumlah penggantian komponen x  $C_f$  (*Cost Failure*)
- $C(t)$  sebelum interval waktu penggantian =  $14 \times \text{Rp. } 37.761.298,16$   
=  $\text{Rp. } 528.658.174,2$
- $C(t)$  sesudah interval waktu penggantian = biaya pergantian per satuan waktu x jumlah satuan waktu kerja  
=  $\text{Rp. } 179.318,5 \times 2160(\text{Jam})$   
=  $\text{Rp. } 387.327.960$

\*keterangan: jumlah satuan waktu kerja = 3 bulan x 30 hari x 24 jam = 2160 jam

Perbandingan dari hasil perhitungan  $C(t)$  biaya sebelum dan sesudah interval waktu penggantian komponen Rotary dan perolehan besarnya penghematan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.32 Tabel Perbandingan Penggantian Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu

Mesin	Komponen	Biaya Penggantian		Penghematan	%
		Sebelum	Sesudah		
Jahit Zigzag	Rotary	Rp. 528.658.174	Rp. 387.327.960	Rp141.330.214	26,73%

#### 4.3.16 Perbandingan *Reliability* Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen

Perawatan pencegahan dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan suatu mesin atau komponen sehingga dapat mengetahui umur optimal pada suatu mesin/komponen. Maka rumus yang digunakan adalah dengan menggunakan *failure time* dari komponen yang berdistribusi *weibull*:

- a. *Reliability* kondisi sebelum interval waktu penggantian  
*Reliability* kondisi rill adalah kondisi awal pada saat belum diterapkan penggantian atau pencegahan. Rumus yang digunakan adalah:

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

b. Reliability kondisi sesudah interval waktu penggantian

Reliability kondisi usulan adalah kondisi dimana telah diterapkannya usulan penggantian pencegahan. Rumus yang digunakan adalah:

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

Diketahui :

n : Jumlah perawatan pencegahan yang telah dilakukan saat ini

T : interval waktu perawatan pencegahan

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

Contoh perhitungan:

$t = 675$  jam, maka:

$n = 1$

$$\begin{aligned} \mathbf{R(t)} &= \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \\ &= \exp\left[-\left(\frac{675}{670,8404}\right)^{0,851738}\right] \\ &= 0,424425 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R(t - nT)} &= \exp\left[-\left(\frac{t-nT}{\theta}\right)^\beta\right] \\ &= \exp\left[-\left(\frac{675-1*675}{670,8404}\right)^{0,851738}\right] \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\mathbf{R(t)^n} = 0,424425^1 = 0,365943$$

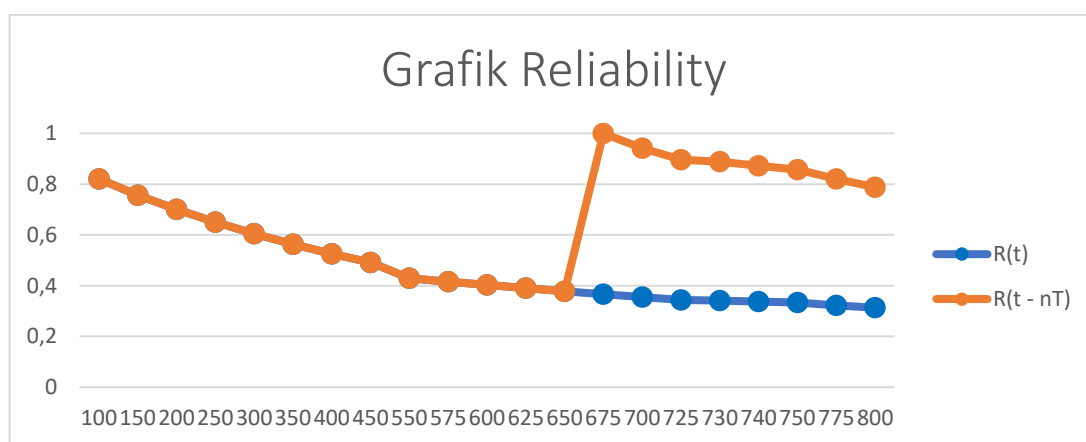
$$\mathbf{Rm(t)} = R(t)$$

$$\mathbf{Rm(t)} = 0,424425$$

Maka perhitungan selanjutnya dengan nilai (t) yang berbeda dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.33 Perhitungan Keandalan Sebelum dan Sesudah Interval Penggantian Pencegahan Komponen Rotary

t (jam)	N	R(t)	R(t-nT)	R(T)^n	Rm(t)
100	0	0,820642	0,820642	1	0,820642
150	0	0,756386	0,756386	1	0,756386
200	0	0,699964	0,699964	1	0,699964
250	0	0,649601	0,649601	1	0,649601
300	0	0,604187	0,604187	1	0,604187
350	0	0,562949	0,562949	1	0,562949
400	0	0,525305	0,525305	1	0,525305
450	0	0,490804	0,490804	1	0,490804
550	0	0,429829	0,429829	1	0,429829
575	0	0,41605	0,416050	1	0,41605
600	0	0,402797	0,402797	1	0,402797
625	0	0,390044	0,390044	1	0,390044
650	0	0,377767	0,377767	1	0,377767
<b>675</b>	<b>1</b>	<b>0,365943</b>	<b>1</b>	<b>0,365943</b>	<b>0,365943</b>
700	1	0,35455	0,941112	0,35455	0,35455
725	1	0,34357	0,896254	0,34357	0,34357
730	1	0,341422	0,887991	0,341422	0,341422
740	1	0,337172	0,872007	0,337172	0,337172
750	1	0,332983	0,856662	0,332983	0,332983
775	1	0,322772	0,820642	0,322772	0,322772
800	1	0,312921	0,787380	0,312921	0,312921



Gambar 4.11 Grafik Reliability Kondisi Sebelum dan Sesudah Interval Waktu Penggantian Komponen Rotary pad Mesih Jahit Zigzag

Keterangan :

$R(t)$  = Kondisi Sebelum Interval Waktu Penggantian

$R(t - nT)$  = Kondisi Sesudah Interval Waktu Penggantian

## BAB V

### PEMBAHASAN

#### **5.1 *Function Block Diagram (FBD)***

*Function Block Diagram* digunakan untuk memberikan informasi dan cara mesin berfungsi dan bekerja. Pada bab sebelumnya pada Gambar 4.3 memberikan gambaran tentang fungsi – fungsi pada setiap bagian komponen mesin. Pada mesin jahit zigzag terdapat 13 bagian yaitu badan mesin jahit, sepatu mesin jahit, tiang dudukan benang, dudukan jarum, jarum, tuas pengatur setikan, gigi mesin, spool, sekoci, rotary, fully, dinamo/sistem kelistrikan, pedal.

Pada mesin jahit zigzag bagian badan mesin merupakan bagian utama mesin karena beberapa komponen penyusun mesin jahit zigzag melekat pada badan mesin jahit. Untuk bagian pedal, dinamo/sistem kelistrikan dan fully merupakan bagian penggerak mesin jahit untuk beroperasi. Sedangkan, pada bagian tuas pengatur setikan berfungsi sebagai pengatur panjang pendeknya dan rapat renggangnya jahitan pada saat mesin jahit zigzag beroperasi.

#### **5.2 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)***

*Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)* digunakan untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan yang dapat menyebabkan setiap kegagalan fungsi dan untuk memastikan pengaruh kegagalan terhadap setiap bentuk kegagalan. Maka dengan mengetahui dampak dan penyebabnya dari setiap kegagalan diharapkan dapat mencegahnya terlebih dahulu. Pada tabel *Failure Mode and Effect Analysis* dapat diuraikan masing – masing equipment yaitu : badan mesin jahit, sepatu mesin jahit, tiang dudukan benang, dudukan jarum, jarum, tuas pengatur setikan, gigi mesin, spool, sekoci, rotary, fully, dinamo/sistem kelistrikan, pedal. Selanjutnya menguraikan berupa fungsi, penyebab dari kegagalan fungsi dan dampak yang ditimbulkan dari kegagalan fungsi.

Pemberian bobot pada setiap equipment sesuai dengan tabel setiap kriteria *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Perolehan nilai *Risk Priority Number (RPN)*

dihasilkan dari perkalian setiap masing – masing kriteria. Nilai bobot pada setiap *Risk Priority Number* (RPN) didapatkan hasil sebagai berikut :badan mesin jahit sebesar 30, sepatu mesin jahit sebesar 60, tiang dudukan benang sebesar 16, dudukan jarum sebesar 63, jarum sebesar 60, tuas pengatur setikan sebesar 8, gigi mesin sebesar 64, spool sebesar 36, sekoci sebesar 27, rotary sebesar 120, fully sebesar 84, dinamo/sistem kelistrikan sebesar 72, pedal sebesar 18. Dengan diketahui nilai bobot *Risk Priority Number* (RPN) yang paling besar yaitu pada rotary sebesar 120 maka rotary menjadi prioritas untuk mendapatkan perhatian lebih yaitu pada equipment mesin jahit zigzag.

### **5.3 Logic Tree Analysis (LTA)**

Analisa *Logic Tree Analysis* (LTA) merupakan lanjutan dari analisa yang sudah dilakukan sebelumnya pada tabel FMEA tentang mengenai kegagalan dan prioritas yang lebih diperhatikan dalam setiap melakukan kegiatan perawatan. Analisa *Logic Tree Analysis* (LTA) mengklasifikasikan setiap kemungkinan terjadi kegagalan sesuai dengan konsekuensinya yang didapat berdasarkan kategori yang sudah ditentukan. Berdasarkan dari hasil analisa pada tabel *Logic Tree Analysis* LTA diperoleh kategori kegagalan untuk setiap masing – masing *equipment* mesin. Hasil dari keseluruhan *equipment* rata – rata dikategorikan ke dalam ketegori B (*Outage Problem*) yaitu komponen yang dapat mengakibatkan kegagalan pada seluruh atau sebagian pada sistem sedangkan hanya beberapa yang masuk dalam ketegori A (*Safety Problem*) yaitu dinamo/pengantar listrik dan ketegori D (*Hidden Problem*) yaitu tiang dudukan benang dan tuas pengatur setikan.

### **5.4 RCM II Worksheet**

RCM II *Worksheet* merupakan tabel penggabungan dan analisa dari tabel FMEA dan tabel LTA untuk mengetahui konsekuensi yang didapat dari kegagalan dengan menggunakan RCM decision diagram. Sehingga dapat mengetahui tindakan dan tugas apa saja yang harus dilakukan dalam penanganan kegagalan serta menentukan siapa yang dapat menangani dan menyelesaikan tugas apabila terjadi kegagalan pada komponen mesin.

### 5.5 Komponen Kritis

Berdasarkan penentuan dalam menentukan komponen kritis dengan menggunakan metode diagram pareto pada mesin jahit zigzag dengan cara frekuensi kerusakan dikalikan dengan harga komponen dan selanjutnya dihitung besarnya persentase dari keseluruhan pada setiap komponen. Komponen kritis mesin jahit zigzag dapat dilihat pada tabel 4.12 sedangkan pada gambar 4.9 dapat dilihat diagram pareto komponen kritis.

Komponen mesin zigzag yang paling kritis dapat ditentukan dengan menggunakan *pareto principle* 80/20 dengan mendapatkan hasil komponen yang paling kritis adalah komponen rotary dengan persentase biaya sebesar 41,27%. Sehingga komponen rotary sebagai prioritas untuk selanjutnya dicari interval jadwal perawatan dan biaya minimum perawatan.

### 5.6 Penentuan Jenis Distribusi *Time to Failure* dan *Time to Repair*

Penentuan jenis distribusi dilakukan dengan cara melakukan pengujian disetiap distribusi eksponensial, distribusi normal, distribusi log normal dan distribusi *weibull*. Pengujian jenis distribusi dilakukan dengan cara menggunakan data waktu antar kerusakan (*time to failure*) dan data waktu perbaikan (*time to repair*) pada komponen Rotary yang menjadi komponen paling kritis. Dalam menentukan jenis distribusi *time to failure* dan *time to repair* menggunakan metode *Least Square Curva Fitting* yaitu dengan berdasarkan nilai terbesar *indeks of fit* ( $r$ ). Berikut merupakan hasil perhitungan *indeks of fit* data waktu kerusakan (*time to failure*) komponen Rotary :

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Nilai *Indeks of Fit* ( $r$ ) Data Waktu Kerusakan

No.	Distribusi	Index of Fit
1	<i>Eksponensial</i>	0,970909583
2	Normal	0,933519999
3	Log Normal	0,9567254
4	<i>Weibull</i>	0,989100804

Jenis distribusi yang dipilih untuk data waktu antar kerusakan dipilih berdasarkan hasil dari *indeks of fit* ( $r$ ) terbesar. Berdasarkan pada tabel diatas maka distribusi

*weibull* yang terpilih sebagai *indeks of fit* terbesar. Sedangkan, untuk hasil perhitungan *indeks of fit* ( $r$ ) data waktu perbaikan (*time to repair*) komponen Rotary dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Nilai *Indeks of Fit* ( $r$ ) Data Waktu Perbaikan

Distribusi	Index of Fit
<i>Eksponensial</i>	0,94345366
Normal	0,967941265
Log Normal	0,960174438
<i>Weibull</i>	0,968278474

Jenis distribusi yang dipilih untuk data waktu antar kerusakan dipilih berdasarkan hasil dari *indeks of fit* ( $r$ ) terbesar. Berdasarkan pada tabel diatas maka distribusi *weibull* yang terpilih sebagai *indeks of fit* terbesar.

### 5.7 Analisa Uji Kecocokan *Goodness of Fit*

Setelah melakukan pengujian *indeks of fit* didapatkan hasil dengan nilai tertinggi selanjutnya yang perlu dilakukan adalah uji kecocokan data sehingga jenis distribusi yang sudah terpilih bisa saja terjadi perbedaan pada saat dilakukan uji kecocokan data. Pada uji kecocokan data ini menggunakan uji *goodness of fit* untuk memastikan apakah distribusi yang dipilih sudah sesuai dengan data waktu kerusakan.

Data waktu kerusakan (*time to failure*) yang terpilih adalah distribusi *weibull* oleh karena itu uji kecocokan yang digunakan adalah uji *Mann's Test*. Maka hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.18 dengan hasil keputusan  $M < F_{crit}$ .  $1,08333 < 4,21$ , maka  $H_0$  diterima.

Sedangkan, untuk data waktu perbaikan (*time to repair*) distribusi yang terpilih adalah distribusi *weibull* oleh karena itu uji kecocokan yang digunakan adalah uji *Mann's Test*. Maka hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.25 dengan hasil keputusan  $M < F_{crit}$ .  $1,0769 < 3,79$ , maka  $H_0$  diterima.

### 5.8 Analisa Perhitungan Parameter dan Waktu Antar Kerusakan (*Mean Time to Failure*)

Perhitungan parameter distribusi dilakukan untuk mendapatkan nilai MTTF (*Mean Time to Failure*). Data waktu kerusakan komponen Rotary berdasarkan uji kecocokan yang telah dilakukan dengan distribusi weibull, maka hasil perhitungan nilai MTTF (*Mean Time to Failure*) adalah sebagai berikut :

Tabel 5.3 Tabel Hasil Nilai Parameter MTTF

Komponen	$\theta$ (ScaleParameter)	$\beta$ (ShapeParameter)	MTTF (Jam)
Rotary	607,8404	0,851738	727,35

Hasil perhitungan MTTF (*Mean Time to Failure*) sebesar 727,35 jam, berarti komponen akan mengalami kerusakan apabila telah melebihi waktu beroperasi selama 727,35 jam.

### 5.9 Analisa Perhitungan Parameter dan Waktu Antar Perbaikan (*Mean Time to Repair*)

Perhitungan parameter distribusi dilakukan untuk mendapatkan nilai MTTR (*Mean Time to Repair*). Data waktu kerusakan komponen Rotary berdasarkan uji kecocokan yang telah dilakukan dengan distribusi normal, maka hasil perhitungan nilai MTTR (*Mean Time to Repair*) adalah sebagai berikut :

Tabel 5.4 Tabel Hasil Nilai Parameter MTTR

Komponen	$\theta$ (ScaleParameter)	$\beta$ (ShapeParameter)	MTTR (Jam)
Rotary	0,67	2,624	0,5953

Hasil perhitungan MTTR (*Mean Time to Repair*) sebesar 0,5953jam, berarti komponen akan mengalami kerusakan apabila telah melebihi waktu beroperasi selama 0,5953jam.

### 5.10 Analisa Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Untuk Meminimumkan Biaya

Dalam melakukan perhitungan untuk menentukan interval waktu penggantian pencegahan dengan kriteria minimasi biaya yaitu dengan menggunakan parameter dengan distribusi yang telah diuji kecocokannya. Pada perhitungan ini model yang digunakan adalah dengan menggunakan model *age replacement* dengan hasil output perhitungan yang menghasilkan biaya minimum. Hasil perhitungan interval waktu penggantian komponen Rotary pada mesin jahit zigzag adalah sebagai berikut:

Tabel 5.5 Tabel Interval Waktu Penggantian

Komponen	Interval Waktu Penggantian (Jam)	C(tp) Minimum
Rotary	675	Rp. 179.318,5

### 5.11 Analisa Perbandingan Biaya Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen

Membandingkan hasil perhitungan biaya penggantian sebelum dan sesudah dilakukan penggantian maka dengan menghitung selisihnya akan memperoleh hasil penghematan yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

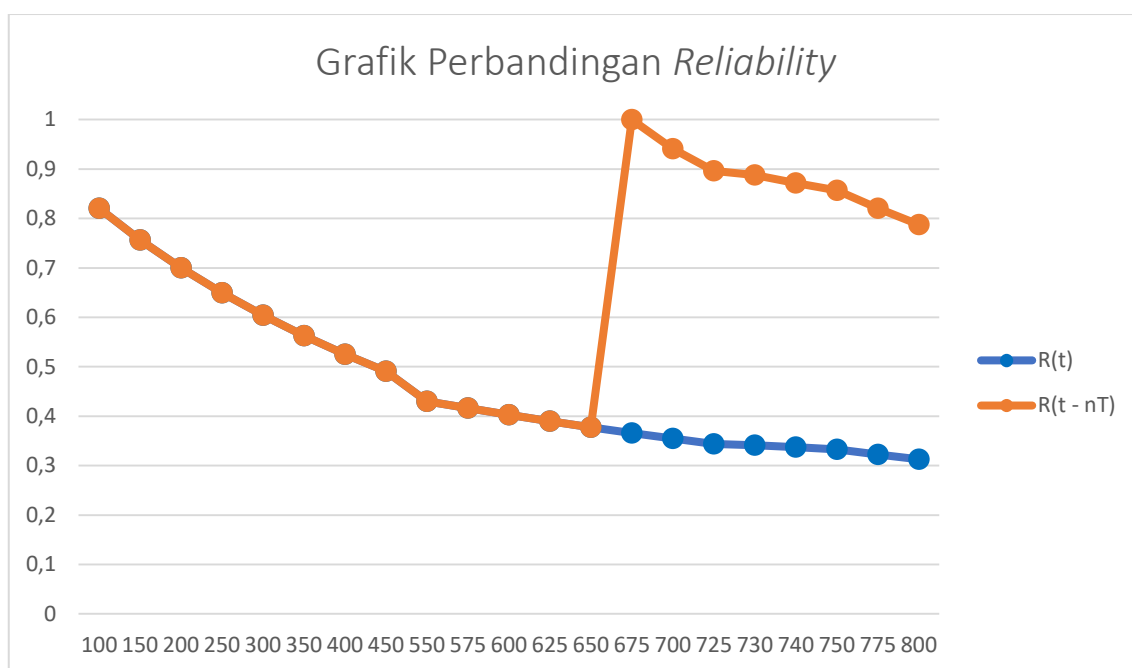
Tabel 5.6 Perbandingan Biaya Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu

Mesin	Komponen	Biaya Penggantian		Penghematan	%
		Sebelum	Sesudah		
Jahit Zigzag	Rotary	Rp 528.658.174	Rp. 387.327.960	Rp141.330.214	26,73%

Dari tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa perawatan *preventive* dapat menghasilkan biaya jauh lebih kecil dibandingkan dengan melakukan perawatan *corrective*.

### 5.12 Analisa Perbandingan Reliability Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen

Untuk meningkatkan keandalan suatu komponen kritis sebaiknya dengan melakukan perawatan *preventive*. Maka hasil nilai keandalan (*Reliability*) pada suatu komponen baru adalah 1, nilai keandalan akan semakin berkurang seiring dengan penggunaan yang terus menerus. Perawatan *preventive* dapat meningkatkan keandalan yaitu dengan menghitung tingkat keandalan sebelum dan sesudah dilakukan perawatan dengan interval waktu tertentu. Berikut dibawah ini merupakan grafik perbandingan *reliability* sebelum dan sesudah penentuan interval waktu :



Gambar 5.1 Grafik *Reliability* Sebelum Dan Sesudah Penentuan Interval Waktu pada Komponen Rotary

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang terdapat pada rumusan masalah maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Mesin jahit zigzag menjadi mesin kritis dan komponen Rotary menjadi komponen paling kritis.
2. Berdasarkan perhitungan waktu interval perawatan maka waktu interval pada komponen kritis mesin zigzag adalah sebesar 675 jam.
3. Besarnya biaya sebelum penentuan interval kerusakan yaitu sebesar Rp 528.658.174. sedangkan, biaya penghematan setelah mendapatkan waktu interval perawatan perubahan pada komponen Rotary mesin jahit zigzag adalah 26,73% atau sebesar Rp 141.330.214.

#### 6.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Pihak perusahaan diharapkan untuk lebih mendata secara lengkap kerusakan – kerusakan yang terjadi pada mesin dan juga harus memperhatikan setiap tindakan perawatan komponen yang dilakukan oleh mekanik.
2. Untuk peneliti sebaiknya dapat lebih mengoptimalkan penelitian sehingga dapat mengetahui keandalan (*Reliability*) komponen kritis dengan menentukan seluruh interval waktu penentuan penggantian komponenpada seluruh komponen sehingga, dapat menghasilkan hasil yang lebih detail dan spesifik.



## DAFTAR PUSTAKA



- (IAEA), I. A. (2008). *Application of Reliability Centered Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants*. Vienna, Austria: IAEA.
- Ardhikayana, I. G., Winaya, I. S., & Priambadi, I. (2015). Analisa Perawatan pada Komponen Kritis Mesin Pembersih Botol 5 Gallon PT. X dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM). *Jurnal METTEK*, Vol. 1 (No. 2).
- Assauri. (2016). Evaluasi Manajemen Perawatan dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II pada Mesin Blowing I di Plant I PT. Pisma Putra Textile. *Jurnal Teknik Industri*, Vol. XI (No. 2).
- Assauri, S. (1993). *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi UI.
- Bangun, I. H., Rahman, A., & Darmawan, Z. (2014). Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm) II Pada Mesin Blowing Om. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, Vol. 2 (No. 5).
- Bhakti, R., & Kromodihardjo, S. (2017). Perancangan Sistem Pemeliharaan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada Pulverizer. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 6 (No. 1).
- Blischke, E. W., & Murthy, D. P. (2000). *Reliability Modeling, Prediction, and Optimization*. Willey Series in Probability and Statistics. Canada: John Wiley & Sons Inc.
- Corder. (1988). *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Jakarta: Erlangga.
- Ebeling. (2015). Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk Menentukan Strategi Perawatan Fasilitas Produksi Kain. *Jurnal Telematika*, Vol. 8 (No. 1).
- Ebeling, C. (2015). Upaya Penurunan Downtime pada Mesin Moulding di PT. X. *Jurnal Titra*, Vol. 3 (No. 2), 383-390.
- Ebeling, C. (2015). Usulan Pengurangan Downtime Mesin Oil Expeller PT. Sari Mas Permai. *Jurnal Tirta*.
- Ebeling, C. E. (2014). Perencanaan Preventive Maintenance Komponen Cane Cutter I dengan Pendekatan Age Replacement. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, Vol. 2 (No. 2).
- Ebeling, C. E. (1997). *An introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York: The Mc.Graw Hill Compainer Inc.
- Gasperz, V. (2002). *Total Quality Management*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.



- Herdiani, S. M., Saedudin, R. R., & Kurniawati, A. (2015). Perancangan Kebijakan Perawatan Mesin Mitsubishi 1F-15000 dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM II) (Studi Kasus : PT Xyz). *e-Proceeding of Engineering, Vol.2*, p. Page 4693.
- Jardine, A. (1973). *Maintenace, Replacement and Reliability*. London: Pitman Publishing.
- Kapur. (2016). Interval Penggantian Pencegahan Suku Cadang Bagian Diesel pada Lokomotif Kereta Api Parahyangan. *Jurnal Online Teknik Industri Itenas Bandung, Vol. 4*(No. 2).
- Kurniawan, F. (2013). *Teknik dan Aplikasi Manajemen Perawatan Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Moubray, J. (2015). Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Untuk Menentukan Strategi Perawatan Fasilitas Produksi Kain. *Jurnal Telematika, Vol. 8*(No. 1).
- Moubray, J. (1997). *Reliability Centered Maintenance 2ndEdition*. New York: Industrial Press Inc.
- Moubray, J. (2014). Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II pada Mesin Blowing Om. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri, Vol. 2*(No. 5).
- Pamungkas, I. B., Rachmat, H., & Kurniawati, A. (2014). Pengembangan Program Preventive Maintenance dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM Ii) dan Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Di Plant Ammonia PT. Pupuk Kujang 1A. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri, Volume 1* (Nomor 1).
- Rahmawan, R. S., Saedudin, R. R., & Kurniawati, A. (2015). Optimasi Kebijakan Perawatan Base Transceiver Station (BTS) dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Studi Kasus : PT Telkomsel Kota Bandung. *e-Proceeding of Engineering, Vol.2*(No.2 ), Page 4793.
- Ratna Bhakti, P. S., & Kromodihardjo, S. (2015). Perancangan Sistem Pemeliharaan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada Pulverizer pada PLTU Paiton Unit 3. *Jurnal Teknik ITS, Vol. 6* (No. 1).
- Sari, W. Y., & Prasetyawan, Y. (2012). Perancangan Kebijakan Perawatan dan Penentuan Persediaan Spare Part di Sub Sistem Evaporasi Pabrik Urea Kaltim-3 PT Pupuk Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik ITS, Vol. 1*(No. 1).
- Smith, A. M., & Gleen, H. R. (2003). *RCM - Gateway to World Class Maintenace*. London: Butterworth-Heinemann.
- Sudrajat, A. (2011). *Pedoman Praktis Manajemen Perawatan Mesin Industri*. Bandung: PT Refika Aditama.



- Supandi. (2015). Analisis Kebijakan Perawatan Mesin Cincinnati dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance di PT. Dirgantara Indonesia. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, Vol. 03*(No. 1).
- Syahrudin . (2013). Analisis Sistem Perawatan Mesin Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Sebagai Dasar Kebijakan Perawatan yang Optimal di PLTD “X”. *Jurnal Teknologi Terpadu, No. 1* (Vol. 1 ).
- Walpole, R. (1995). *Pengantar Statistika*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Wresni , A., & Risvaldi. (2016). Preventive Maintenance Pada Komponen Kritis Mesin Dengan Metode Reliability Centered Maintenance.
- Yamit, Z. (2010). *Manajemen Kualitas Produk dan Jasa*. Yogyakarta, Indonesia: Ekonisia.



### LAMPIRAN SPESIFIKASI MESIN


No.	Mesin	Merek	Spesifikasi	Foto
1	Single Needle	Brother	Dimensi keseluruhan : 64*26*63 cm	
			Max. sewing ketebalan: -	
			Stich panjang: -	
			Lebar Stich: -	
			Panjang stitch: 6.4mm	
			Berat: 50kg	
			Max. kecepatan jahit: 4000spm	
			Presser angkat:	
			Daya: 250 watt	
			Penggunaan jarum: Dp*5	
			Stich pembentukan: Kunci stitch	
			Dimensi keseluruhan : 600*230*550mm	
			Max. sewing ketebalan: 8mm	
Stich panjang: 0-10mm				
Lebar Stich: =				
Panjang stitch: 7mm				
Berat: -				
Max. kecepatan jahit: 5500spm				
Presser angkat: -				
Daya: 360 watt				



No.	Mesin	Merek	Spesifikasi	Foto
		Zoje	Penggunaan jarum: Stitch pembentukan: Kunci stitch Dimensi keseluruhan : 61*24*57 cm Max. sewing ketebalan: - Stich panjang: - Lebar Stich: - Panjang stitch: 0-5mm Berat: 37kgs Max. kecepatan jahit: 5500spm Presser angkat: 6mm (dengan tangan) Daya: 250 w Penggunaan jarum: Db * 1 Stich pembentukan: Kunci stitch	
2	Double Needle	Brother	Dimensi keseluruhan : 64*26*63 cm Kecepatan menjahit (berat): 3000spm Stich panjang: - Lebar Stich: - Panjang stitch: 6.4mm Berat: 50kg Max. kecepatan jahit: 4000spm Presser angkat: 13 mm (dengan tangan) Daya: 350 watt	

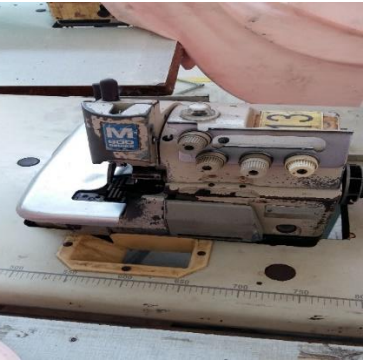
No.	Mesin	Merek	Spesifikasi	Foto
3	Bartack	Brother	Penggunaan jarum: Dp*5	
			Stitch pembentukan: Kunci stitch	
			Dimensi keseluruhan : 790*375*570 cm	
			Max. sewing ketebalan: 7mm	
			Stich panjang: 6.5-14 mm	
			Lebar Stich: 1.5-3mm	
			Panjang stitch: 7mm	
			Berat: 46kg	
			Max. kecepatan jahit: 1500 spm	
	Presser angkat: 13 mm (dengan tangan)			
	Daya: 370 watt			
	Penggunaan jarum: Dp*5			
	Stitch pembentukan: Kunci stitch			
	Dimensi keseluruhan : 790*375*570 cm			
	Max. sewing ketebalan: 7mm			
	Stich panjang: 8-16mm			
	Lebar Stich: 1.5-3mm			
	Juki	Panjang stitch: 7mm		
	Berat: 55kgs			
Max. kecepatan jahit: 1800spm				
Presser angkat: 13 mm (dengan tangan)				
Daya: 370 w				
				

No.	Mesin	Merek	Spesifikasi	Foto
		Zoje	Penggunaan jarum: Dp*5 Stitch pembentukan: Kunci stitch Dimensi keseluruhan : 61*24*57 cm Max. sewing ketebalan: 7mm Stich panjang: - Lebar Stich: - Panjang stitch: 0-5mm Berat: 37kgs Max. kecepatan jahit: 5500 sti/min Presser angkat: 6mm (dengan tangan) Daya: 250 w Penggunaan jarum: Db * 1 Stich pembentukan: Kunci stitch	
4	Zigzag	Yamata	Dimensi keseluruhan : 250*160 cm Max. sewing ketebalan: 15 - 25mm Stich panjang: - Lebar Stich: - Panjang stitch: 0-5mm Berat: 35 kg Max. kecepatan jahit: 2000 rpm Presser angkat: - Daya: 400 w	






No.	Mesin	Merek	Spesifikasi	Foto
		Juki	Penggunaan jarum: Dp*1 Stitch pembentukan: Zigzag Dimensi keseluruhan : 75*34*93 cm Max. sewing ketebalan: 7mm Stich panjang: - Lebar Stich: - Panjang stitch: 5mm Berat: 35 kg Max. kecepatan jahit: 5,000 rpm Presser angkat: 12mm (dengan tangan) Daya: 250 w Penggunaan jarum: 2.4-5mm Stich pembentukan: Zigzag Max. lebar zigzag: 10mm (dengan penambahan sebesar 0.1 mm) Jumlah pola: 8 jenis/14 pola	
		Zoje	Dimensi keseluruhan : 61*24*48 cm Max. sewing ketebalan: 5mm Stich panjang: - Lebar Stich: - Panjang stitch: 0-5mm Berat: 35 kg	

No.	Mesin	Merek	Spesifikasi	Foto
			Max. kecepatan jahit: 5000spm Presser angkat: - Daya: 250 w Penggunaan jarum: 2.4-5mm Stitch pembentukan: Zigzag Max. lebar zigzag: - Jumlah pola: -	
			Dimensi keseluruhan : 61*24*57 cm Max. sewing ketebalan: 7mm Stich panjang: - Lebar Stich: - Panjang stitch: 7mm Berat: 35kgs	
		Singer	Max. kecepatan jahit: 5500spm Presser angkat: 6mm (dengan tangan) Daya: 250 w Penggunaan jarum: Db * 1 Stich pembentukan: Zigzag Max. lebar zigzag: - Jumlah pola: -	
5	Obras/Overlock	Pegasus	Dimensi keseluruhan : 600*230*550 Max. sewing ketebalan: 5.5mm	





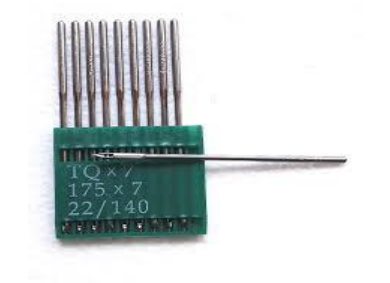

No.	Mesin	Merek	Spesifikasi	Foto
			<p>Stich panjang: 0.5-3.8mm</p> <p>Lebar Stich: -</p> <p>Panjang stitch: 0.5-3.8mm</p> <p>Berat: 52kgs</p> <p>Max. kecepatan jahit: 4000 rpm</p> <p>Presser angkat: -</p> <p>Daya: 250 w</p> <p>Penggunaan jarum: -</p> <p>Stich pembentukan: Overlock stitch</p> <p>Jumlah benang: 4</p>	
		Kasai	<p>Dimensi keseluruhan : 60*39*63 cm</p> <p>Max. sewing ketebalan: 7mm</p> <p>Stich panjang: 4.4mm</p> <p>Lebar Stich: -</p> <p>Panjang stitch: 7mm</p> <p>Berat: 52kgs</p> <p>Max. kecepatan jahit: 6000spm</p> <p>Presser angkat: 6.3mm (dengan tangan)</p> <p>Daya: 250 w</p> <p>Penggunaan jarum: -</p> <p>Stich pembentukan: Overlock stitch</p> <p>Jumlah benang: 4</p>	

No.	Mesin	Merek	Spesifikasi	Foto
		Zoje	Dimensi keseluruhan : 63*25*56 cm	
			Max. sewing ketebalan: 15mm	
			Stich panjang: -	
			Lebar Stich: -	
			Panjang stitch: 0-8mm	
			Berat: 37/44	
			Max. kecepatan jahit: 4500 rpm	
			Presser angkat: 6.3mm (dengan tangan)	
			Daya: 250 W/400 W	
			Penggunaan jarum: -	
			Stitch pembentukan: Overlock stitch	
			Jumlah benang: 4	

### LAMPIRAN KOMPONEN

No.	Mesin	Komponen	Foto
1		Rotary	
2		Dinamo	
3	Mesin Zigzag	Plat + gigi	
4		Sepatu	
5		Skoci	
6		Tiang benang	

---

		
7	Fully	
8	Tombol on/off	
9	Tension benang	
10	Jarum DP 75	
11	Spull	

---

## LAMPIRAN TABEL :

**LAMPIRAN 1**  
**TABEL KOLMOGOROV-SMIRNOV**

Sample size, n	$\alpha$				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
4	0.300	0.319	0.352	0.381	0.417
5	0.285	0.299	0.315	0.337	0.405
6	0.265	0.277	0.294	0.319	0.364
7	0.247	0.258	0.276	0.300	0.348
8	0.233	0.244	0.261	0.285	0.331
9	0.223	0.233	0.249	0.271	0.311
10	0.215	0.224	0.239	0.258	0.294
11	0.206	0.217	0.230	0.249	0.284
12	0.199	0.212	0.233	0.242	0.275
13	0.190	0.202	0.214	0.234	0.268
14	0.183	0.194	0.207	0.227	0.261
15	0.177	0.187	0.201	0.220	0.257
16	0.173	0.182	0.195	0.213	0.250
17	0.169	0.177	0.189	0.206	0.245
18	0.166	0.173	0.184	0.200	0.239
19	0.163	0.169	0.179	0.195	0.235
20	0.160	0.166	0.174	0.190	0.231
25	0.149	0.153	0.165	0.180	0.203
30	0.131	0.136	0.144	0.161	0.187
n > 30	$\frac{0.736}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.768}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.805}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.886}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.031}{\sqrt{n}}$

*Sumber : Ebeling C.E An Introduction to Reliability And Maintainability  
Engineering, Mc. Graw-Hill, 1997*

## LAMPIRAN 2

### TABEL GAMMA

$x$	$\Gamma(x)$	$x$	$\Gamma(x)$	$x$	$\Gamma(x)$	$x$	$\Gamma(x)$
1.01	0.99433	1.51	0.88659	2.01	1.00427	2.51	1.33875
1.02	0.98884	1.52	0.88704	2.02	1.00862	2.52	1.34830
1.03	0.98355	1.53	0.88757	2.03	1.01306	2.53	1.35798
1.04	0.97844	1.54	0.88818	2.04	1.01758	2.54	1.36779
1.05	0.97350	1.55	0.88887	2.05	1.02218	2.55	1.37775
1.06	0.96874	1.56	0.88964	2.06	1.02687	2.56	1.38784
1.07	0.96415	1.57	0.89049	2.07	1.03164	2.57	1.39807
1.08	0.95973	1.58	0.89142	2.08	1.03650	2.58	1.40844
1.09	0.95546	1.59	0.89243	2.09	1.04145	2.59	1.41896
1.10	0.95133	1.60	0.89352	2.10	1.04649	2.60	1.42962
1.11	0.94740	1.61	0.89468	2.11	1.05161	2.61	1.44044
1.12	0.94359	1.62	0.89592	2.12	1.05682	2.62	1.45140
1.13	0.93993	1.63	0.89724	2.13	1.06212	2.63	1.46251
1.14	0.93642	1.64	0.89864	2.14	1.06751	2.64	1.47377
1.15	0.93304	1.65	0.90012	2.15	1.07300	2.65	1.48519
1.16	0.92980	1.66	0.90167	2.16	1.07857	2.66	1.49677
1.17	0.92670	1.67	0.90330	2.17	1.08424	2.67	1.50851
1.18	0.92373	1.68	0.90500	2.18	1.09000	2.68	1.52040
1.19	0.92089	1.69	0.90678	2.19	1.09585	2.69	1.53246
1.20	0.91817	1.70	0.90864	2.20	1.10180	2.70	1.54469
1.21	0.91558	1.71	0.91057	2.21	1.10785	2.71	1.55708
1.22	0.91311	1.72	0.91258	2.22	1.11399	2.72	1.56964
1.23	0.91075	1.73	0.91467	2.23	1.12023	2.73	1.58237
1.24	0.90852	1.74	0.91683	2.24	1.12657	2.74	1.59528
1.25	0.90640	1.75	0.91906	2.25	1.13300	2.75	1.60836
1.26	0.90440	1.76	0.92137	2.26	1.13954	2.76	1.62162
1.27	0.90250	1.77	0.92376	2.27	1.14618	2.77	1.63506
1.28	0.90072	1.78	0.92623	2.28	1.15292	2.78	1.64868
1.29	0.89904	1.79	0.92877	2.29	1.15976	2.79	1.66249
1.30	0.89747	1.80	0.93138	2.30	1.16671	2.80	1.67649
1.31	0.89600	1.81	0.93408	2.31	1.17377	2.81	1.69068
1.32	0.89464	1.82	0.93685	2.32	1.18093	2.82	1.70506
1.33	0.89338	1.83	0.93969	2.33	1.18819	2.83	1.71963
1.34	0.89222	1.84	0.94261	2.34	1.19557	2.84	1.73441
1.35	0.89115	1.85	0.94561	2.35	1.20305	2.85	1.74938
1.36	0.89018	1.86	0.94869	2.36	1.21065	2.86	1.76456
1.37	0.88931	1.87	0.95184	2.37	1.21836	2.87	1.77994
1.38	0.88854	1.88	0.95507	2.38	1.22618	2.88	1.79553
1.39	0.88785	1.89	0.95838	2.39	1.23412	2.89	1.81134
1.40	0.88726	1.90	0.96177	2.40	1.24217	2.90	1.82736
1.41	0.88676	1.91	0.96523	2.41	1.25034	2.91	1.84359
1.42	0.88636	1.92	0.96877	2.42	1.25863	2.92	1.86005
1.43	0.88604	1.93	0.97240	2.43	1.26703	2.93	1.87673
1.44	0.88581	1.94	0.97610	2.44	1.27556	2.94	1.89363
1.45	0.88566	1.95	0.97988	2.45	1.28421	2.95	1.91077
1.46	0.88560	1.96	0.98374	2.46	1.29298	2.96	1.92814
1.47	0.88563	1.97	0.98769	2.47	1.30188	2.97	1.94574
1.48	0.88575	1.98	0.99171	2.48	1.31091	2.98	1.96358
1.49	0.88595	1.99	0.99581	2.49	1.32006	2.99	1.98167
1.50	0.88623	2.00	1.00000	2.50	1.32934	3.00	2.00000

Sumber : Ebeling, C.E, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*,  
Mc Graw-Hill, New York, 1997

## LAMPIRAN 3

## TABEL F DISTRIBUTION

The F distribution ( $\alpha = 0.10, 0.05, \text{ and } 0.01$ )

		$V_1$ (numerator)																					
$V_2$	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	19	20	24	30	50	100	500	$\infty$
1	0.10	39.9	49.5	53.6	55.8	57.2	58.2	58.9	59.4	59.9	60.2	60.5	60.7	61.1	61.2	61.6	61.7	62.0	62.3	62.7	63.0	63.3	63.3
	0.05	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	246	248	248	249	250	252	253	254
2	0.10	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.40	9.41	9.42	9.42	9.44	9.44	9.45	9.46	9.47	9.48	9.49	9.49
	0.05	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
	0.01	98.5	99.0	99.2	99.2	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
3	0.10	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.22	5.20	5.2	5.18	5.18	5.18	5.17	5.15	5.14	5.14	5.13
	0.05	10.1	9.55	9.28	9.12	9.10	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.71	8.70	8.67	8.66	8.64	8.62	8.58	8.55	8.53	8.53
	0.01	34.1	30.8	29.5	28.7	28.2	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	27.1	27.1	26.9	26.9	26.7	26.7	26.6	26.5	26.4	26.2	26.1	26.1
4	0.10	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87	3.84	3.84	3.83	3.82	3.80	3.78	3.76	3.76
	0.05	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.87	5.86	5.81	5.80	5.77	5.75	5.70	5.66	5.64	5.63
	0.01	21.2	18.0	16.7	16.0	15.5	15.2	15.0	14.8	14.7	14.5	14.4	14.4	14.2	14.2	14.0	14.0	13.9	13.8	13.7	13.6	13.5	13.5
5	0.10	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.28	3.27	3.25	3.24	3.21	3.21	3.19	3.17	3.15	3.13	3.11	3.10
	0.05	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.71	4.68	4.64	4.62	4.57	4.56	4.53	4.50	4.44	4.41	4.37	4.36
	0.01	16.25	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.96	9.89	9.77	9.72	9.58	9.55	9.47	9.38	9.24	9.13	9.04	9.02
6	0.10	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.92	2.90	2.88	2.87	2.84	2.84	2.82	2.80	2.77	2.75	2.73	2.72
	0.05	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.96	3.94	3.88	3.87	3.84	3.81	3.75	3.71	3.68	3.67
	0.01	13.74	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.60	7.56	7.42	7.40	7.31	7.23	7.09	6.99	6.90	6.88
7	0.10	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.68	2.67	2.64	2.63	2.60	2.59	2.58	2.56	2.52	2.50	2.48	2.47
	0.05	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.53	3.51	3.46	3.44	3.41	3.38	3.32	3.27	3.24	3.23
	0.01	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.54	6.47	6.36	6.31	6.18	6.16	6.07	5.99	5.86	5.75	5.67	5.65
8	0.10	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.52	2.50	2.47	2.46	2.43	2.42	2.40	2.38	2.35	2.32	2.30	2.29
	0.05	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.24	3.22	3.16	3.15	3.12	3.08	3.02	2.97	2.94	2.93
	0.01	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.73	5.67	5.56	5.52	5.38	5.36	5.28	5.20	5.07	4.96	4.88	4.86
9	0.10	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.40	2.38	2.35	2.34	2.31	2.30	2.28	2.25	2.22	2.19	2.17	2.16
	0.05	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.03	3.01	2.95	2.94	2.90	2.86	2.80	2.76	2.72	2.71
	0.01	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	5.00	4.96	4.83	4.81	4.73	4.65	4.52	4.42	4.33	4.31

		$V_i$ (numerator)																					
$V_2$	$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	19	20	24	30	50	100	500	$\infty$
10	0.10	3.28	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.30	2.28	2.25	2.24	2.21	2.20	2.18	2.16	2.12	2.09	2.06	2.06
	0.05	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.86	2.85	2.78	2.77	2.74	2.70	2.64	2.59	2.55	2.54
	0.01	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.77	4.71	4.60	4.56	4.43	4.41	4.33	4.25	4.12	4.01	3.93	3.91
11	0.10	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.23	2.21	2.18	2.17	2.13	2.12	2.10	2.08	2.04	2.00	1.98	1.97
	0.05	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.74	2.72	2.66	2.65	2.61	2.57	2.51	2.46	2.42	2.40
	0.01	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.46	4.40	4.29	4.25	4.12	4.10	4.02	3.94	3.81	3.71	3.62	3.60
12	0.10	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19	2.17	2.15	2.11	2.10	2.07	2.06	2.04	2.01	1.97	1.94	1.91	1.90
	0.05	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.64	2.62	2.56	2.54	2.51	2.47	2.40	2.35	2.31	2.30
	0.01	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.05	4.01	3.88	3.86	3.78	3.70	3.57	3.47	3.38	3.36
14	0.10	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.08	2.03	2.02	2.01	1.97	1.96	1.94	1.91	1.87	1.83	1.80	1.80
	0.05	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.48	2.46	2.40	2.39	2.35	2.31	2.24	2.19	2.14	2.13
	0.01	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.86	3.80	3.70	3.66	3.53	3.51	3.43	3.35	3.22	3.11	3.03	3.00
15	0.10	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.04	2.02	1.98	1.97	1.93	1.92	1.90	1.87	1.83	1.79	1.76	1.76
	0.05	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.42	2.40	2.34	2.33	2.29	2.25	2.18	2.12	2.08	2.07
	0.01	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.56	3.52	3.40	3.37	3.29	3.21	3.08	2.98	2.89	2.87
16	0.10	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.01	1.99	1.95	1.94	1.90	1.89	1.87	1.84	1.79	1.76	1.73	1.72
	0.05	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.37	2.35	2.29	2.28	2.24	2.19	2.12	2.07	2.02	2.01
	0.01	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.62	3.55	3.45	3.41	3.28	3.26	3.18	3.10	2.97	2.86	2.78	2.75
18	0.10	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.96	1.93	1.90	1.89	1.85	1.84	1.81	1.78	1.74	1.70	1.67	1.66
	0.05	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.29	2.27	2.20	2.19	2.15	2.11	2.04	1.98	1.93	1.92
	0.01	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.43	3.37	3.27	3.23	3.10	3.08	3.00	2.92	2.78	2.68	2.59	2.57
19	0.10	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.94	1.91	1.87	1.86	1.82	1.81	1.79	1.76	1.71	1.67	1.64	1.63
	0.05	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.26	2.23	2.17	2.16	2.11	2.07	2.00	1.94	1.89	1.88
	0.01	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.36	3.30	3.19	3.15	3.03	3.00	2.92	2.84	2.71	2.60	2.51	2.49
20	0.10	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.92	1.89	1.85	1.84	1.80	1.79	1.77	1.74	1.69	1.65	1.62	1.61
	0.05	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.22	2.20	2.14	2.12	2.08	2.04	1.97	1.91	1.86	1.84
	0.01	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.29	3.23	3.13	3.09	2.96	2.94	2.86	2.78	2.64	2.54	2.44	2.42

		V <sub>i</sub> (numerator)																					
V <sub>2</sub>	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	19	20	24	30	50	100	500	∞
24	0.10	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.85	1.83	1.79	1.78	1.74	1.73	1.70	1.67	1.62	1.58	1.54	1.53
	0.05	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.21	2.18	2.13	2.11	2.04	2.03	1.98	1.94	1.86	1.80	1.75	1.73
	0.01	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.09	3.03	2.93	2.89	2.76	2.74	2.66	2.58	2.44	2.33	2.24	2.21
30	0.10	2.88	2.49	2.28	2.14	2.05	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.79	1.77	1.73	1.72	1.68	1.67	1.64	1.61	1.55	1.51	1.47	1.46
	0.05	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.04	2.01	1.95	1.93	1.89	1.84	1.76	1.70	1.64	1.62
	0.01	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.91	2.84	2.74	2.70	2.57	2.55	2.47	2.39	2.25	2.13	2.03	2.01
50	0.10	2.81	2.41	2.20	2.06	1.97	1.90	1.84	1.80	1.76	1.73	1.70	1.68	1.64	1.63	1.58	1.57	1.54	1.50	1.44	1.39	1.34	1.33
	0.05	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.89	1.87	1.80	1.78	1.74	1.69	1.60	1.52	1.46	1.44
	0.01	7.17	5.06	4.20	3.72	3.41	3.19	3.02	2.89	2.79	2.70	2.63	2.56	2.46	2.42	2.29	2.27	2.18	2.10	1.95	1.82	1.71	1.68
100	0.10	2.76	2.36	2.14	2.00	1.91	1.83	1.78	1.73	1.70	1.66	1.63	1.61	1.57	1.56	1.50	1.49	1.46	1.42	1.35	1.29	1.23	1.21
	0.05	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.79	1.77	1.69	1.68	1.63	1.57	1.48	1.39	1.31	1.28
	0.01	6.90	4.82	3.98	3.51	3.21	2.99	2.82	2.69	2.59	2.50	2.43	2.37	2.28	2.22	2.09	2.07	1.98	1.89	1.73	1.60	1.47	1.43
500	0.10	2.72	2.31	2.10	1.96	1.86	1.79	1.73	1.68	1.64	1.61	1.58	1.56	1.52	1.50	1.45	1.44	1.41	1.36	1.28	1.21	1.12	1.09
	0.05	3.86	3.01	2.62	2.39	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85	1.81	1.77	1.71	1.69	1.61	1.59	1.54	1.48	1.38	1.28	1.16	1.11
	0.01	6.69	4.65	3.82	3.36	3.05	2.84	2.68	2.55	2.44	2.36	2.28	2.22	2.12	2.07	1.94	1.92	1.83	1.74	1.56	1.41	1.23	1.16
∞	0.10	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60	1.57	1.55	1.51	1.49	1.43	1.42	1.38	1.34	1.26	1.18	1.08	1.00
	0.05	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.79	1.75	1.69	1.67	1.59	1.57	1.52	1.46	1.35	1.24	1.11	1.00
	0.01	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.25	2.18	2.08	2.04	1.90	1.88	1.79	1.70	1.52	1.36	1.15	1.00

Sumber : Blischke, E. Wallace., Murthy, D.N. Prabhakar. (2000). *Reliability Modeling, Prediction, and Optimization*. Wiley Series in Probability and Statistics.

John Wiley & Sons, Inc, Canada

## LAMPIRAN 4

## TABEL STANDARDIZED NORMAL PROBABILITIES

z	$\Phi(z)$	$1-\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1-\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1-\Phi(z)$
-4.0000	0.00003	0.99997	-3.51000	0.00022	0.99978	-3.02000	0.00126	0.99874
-3.99000	0.00003	0.99997	-3.50000	0.00023	0.99977	-3.01000	0.00131	0.99869
-3.98000	0.00003	0.99997	-3.49000	0.00024	0.99976	-3.00000	0.00131	0.99869
-3.97000	0.00004	0.99996	-3.48000	0.00025	0.99975	-2.99000	0.00139	0.99861
-3.96000	0.00004	0.99996	-3.47000	0.00026	0.99974	-2.98000	0.00144	0.99856
-3.95000	0.00004	0.99996	-3.46000	0.00027	0.99973	-2.97000	0.00149	0.99851
-3.94000	0.00004	0.99996	-3.45000	0.00028	0.99972	-2.96000	0.00154	0.99846
-3.93000	0.00004	0.99996	-3.44000	0.00029	0.99971	-2.95000	0.00159	0.99841
-3.92000	0.00004	0.99996	-3.43000	0.00030	0.99970	-2.94000	0.00164	0.99836
-3.91000	0.00005	0.99995	-3.42000	0.00031	0.99969	-2.93000	0.00169	0.99831
-3.90000	0.00005	0.99995	-3.41000	0.00032	0.99968	-2.92000	0.00175	0.99825
-3.89000	0.00005	0.99995	-3.40000	0.00034	0.99966	-2.91000	0.00181	0.99819
-3.88000	0.00005	0.99995	-3.39000	0.00035	0.99965	-2.90000	0.00187	0.99813
-3.87000	0.00005	0.99995	-3.38000	0.00036	0.99964	-2.89000	0.00193	0.99807
-3.86000	0.00006	0.99994	-3.37000	0.00038	0.99962	-2.88000	0.00199	0.99801
-3.85000	0.00006	0.99994	-3.36000	0.00039	0.99961	-2.87000	0.00205	0.99795
-3.84000	0.00006	0.99994	-3.35000	0.00040	0.99960	-2.86000	0.00212	0.99788
-3.83000	0.00006	0.99994	-3.34000	0.00042	0.99958	-2.85000	0.00219	0.99781
-3.82000	0.00007	0.99993	-3.33000	0.00043	0.99957	-2.84000	0.00226	0.99774
-3.81000	0.00007	0.99993	-3.32000	0.00045	0.99955	-2.83000	0.00233	0.99767
-3.80000	0.00007	0.99993	-3.31000	0.00047	0.99953	-2.82000	0.00240	0.99760
-3.79000	0.00008	0.99992	-3.30000	0.00048	0.99952	-2.81000	0.00248	0.99752
-3.78000	0.00008	0.99992	-3.29000	0.00050	0.99950	-2.80000	0.00255	0.99745
-3.77000	0.00008	0.99992	-3.28000	0.00052	0.99948	-2.79000	0.00264	0.99736
-3.76000	0.00008	0.99992	-3.27000	0.00054	0.99946	-2.78000	0.00272	0.99728
-3.75000	0.00009	0.99991	-3.26000	0.00056	0.99944	-2.77000	0.00280	0.99720
-3.74000	0.00009	0.99991	-3.25000	0.00058	0.99942	-2.76000	0.00289	0.99711
-3.73000	0.00009	0.99991	-3.24000	0.00060	0.99940	-2.75000	0.00298	0.99702
-3.72000	0.00010	0.99990	-3.23000	0.00062	0.99938	-2.74000	0.00307	0.99693
-3.71000	0.00010	0.99990	-3.22000	0.00064	0.99936	-2.73000	0.00317	0.99683
-3.70000	0.00011	0.99989	-3.21000	0.00066	0.99934	-2.72000	0.00326	0.99674
-3.69000	0.00011	0.99989	-3.20000	0.00069	0.99931	-2.71000	0.00336	0.99664
-3.68000	0.00012	0.99988	-3.19000	0.00071	0.99929	-2.70000	0.00347	0.99653
-3.67000	0.00012	0.99988	-3.18000	0.00074	0.99926	-2.69000	0.00357	0.99643
-3.66000	0.00013	0.99987	-3.17000	0.00076	0.99924	-2.68000	0.00368	0.99632
-3.65000	0.00013	0.99987	-3.16000	0.00079	0.99921	-2.67000	0.00379	0.99621
-3.64000	0.00014	0.99986	-3.15000	0.00082	0.99918	-2.66000	0.00391	0.99609
-3.63000	0.00014	0.99986	-3.14000	0.00084	0.99916	-2.65000	0.00402	0.99598
-3.62000	0.00015	0.99985	-3.13000	0.00087	0.99913	-2.64000	0.00413	0.99585
-3.61000	0.00015	0.99985	-3.12000	0.00090	0.99910	-2.63000	0.00427	0.99573
-3.60000	0.00016	0.99984	-3.11000	0.00094	0.99906	-2.62000	0.00440	0.99560
-3.59000	0.00016	0.99984	-3.10000	0.00097	0.99903	-2.61000	0.00453	0.99547
-3.58000	0.00017	0.99983	-3.09000	0.00100	0.99900	-2.60000	0.00466	0.99534
-3.57000	0.00018	0.99982	-3.08000	0.00103	0.99897	-2.59000	0.00480	0.99520
-3.56000	0.00019	0.99981	-3.07000	0.00107	0.99893	-2.58000	0.00494	0.99506
-3.55000	0.00019	0.99981	-3.06000	0.00111	0.99889	-2.57000	0.00508	0.99492
-3.54000	0.00020	0.99980	-3.05000	0.00114	0.99886	-2.56000	0.00523	0.99477
-3.53000	0.00021	0.99979	-3.04000	0.00118	0.99882	-2.55000	0.00539	0.99461
-3.52000	0.00022	0.99978	-3.03000	0.00122	0.99878	-2.54000	0.00554	0.99446

Sumber : *Edging, C.E, An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering, continued*  
*Mc Graw-Hill, New York, 1997*

$z$	$\Phi(z)$	$1-\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$1-\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$1-\Phi(z)$
-2.33000	0.00570	0.99430	-2.03000	0.02118	0.97882	-1.53000	0.06301	0.93699
-2.32000	0.00587	0.99413	-2.02000	0.02169	0.97831	-1.52000	0.06426	0.93574
-2.31000	0.00604	0.99396	-2.01000	0.02222	0.97778	-1.51000	0.06552	0.93448
-2.50000	0.00621	0.99379	-2.00000	0.02275	0.97725	-1.50000	0.06681	0.93319
-2.49000	0.00639	0.99361	-1.99000	0.02330	0.97670	-1.49000	0.06811	0.93189
-2.48000	0.00657	0.99343	-1.98000	0.02385	0.97615	-1.48000	0.06944	0.93056
-2.47000	0.00676	0.99324	-1.97000	0.02442	0.97558	-1.47000	0.07078	0.92922
-2.46000	0.00695	0.99305	-1.96000	0.02500	0.97500	-1.46000	0.07215	0.92785
-2.45000	0.00714	0.99286	-1.95000	0.02559	0.97441	-1.45000	0.07353	0.92647
-2.44000	0.00734	0.99266	-1.94000	0.02619	0.97381	-1.44000	0.07493	0.92507
-2.43000	0.00755	0.99245	-1.93000	0.02680	0.97320	-1.43000	0.07636	0.92364
-2.42000	0.00776	0.99224	-1.92000	0.02743	0.97257	-1.42000	0.07780	0.92220
-2.41000	0.00798	0.99202	-1.91000	0.02807	0.97193	-1.41000	0.07927	0.92073
-2.40000	0.00820	0.99180	-1.90000	0.02872	0.97128	-1.40000	0.08076	0.91924
-2.39000	0.00842	0.99158	-1.89000	0.02938	0.97062	-1.39000	0.08226	0.91774
-2.38000	0.00866	0.99134	-1.88000	0.03005	0.96995	-1.38000	0.08379	0.91621
-2.37000	0.00889	0.99111	-1.87000	0.03074	0.96926	-1.37000	0.08534	0.91466
-2.36000	0.00914	0.99086	-1.86000	0.03144	0.96856	-1.36000	0.08692	0.91308
-2.35000	0.00939	0.99061	-1.85000	0.03216	0.96784	-1.35000	0.08851	0.91149
-2.34000	0.00964	0.99036	-1.84000	0.03288	0.96712	-1.34000	0.09012	0.90988
-2.33000	0.00990	0.99010	-1.83000	0.03362	0.96638	-1.33000	0.09176	0.90824
-2.32000	0.01017	0.98983	-1.82000	0.03438	0.96562	-1.32000	0.09342	0.90658
-2.31000	0.01044	0.98956	-1.81000	0.03515	0.96485	-1.31000	0.09510	0.90490
-2.30000	0.01072	0.98928	-1.80000	0.03593	0.96407	-1.30000	0.09680	0.90320
-2.29000	0.01101	0.98899	-1.79000	0.03673	0.96327	-1.29000	0.09853	0.90147
-2.28000	0.01130	0.98870	-1.78000	0.03754	0.96246	-1.28000	0.10027	0.89973
-2.27000	0.01160	0.98840	-1.77000	0.03836	0.96164	-1.27000	0.10204	0.89796
-2.26000	0.01191	0.98809	-1.76000	0.03920	0.96080	-1.26000	0.10383	0.89617
-2.25000	0.01222	0.98778	-1.75000	0.04006	0.95994	-1.25000	0.10565	0.89435
-2.24000	0.01255	0.98745	-1.74000	0.04093	0.95907	-1.24000	0.10749	0.89251
-2.23000	0.01287	0.98713	-1.73000	0.04182	0.95818	-1.23000	0.10935	0.89065
-2.22000	0.01321	0.98679	-1.72000	0.04272	0.95728	-1.22000	0.11123	0.88877
-2.21000	0.01355	0.98645	-1.71000	0.04363	0.95637	-1.21000	0.11314	0.88686
-2.20000	0.01390	0.98610	-1.70000	0.04457	0.95543	-1.20000	0.11507	0.88493
-2.19000	0.01426	0.98574	-1.69000	0.04551	0.95449	-1.19000	0.11702	0.88298
-2.18000	0.01463	0.98537	-1.68000	0.04648	0.95352	-1.18000	0.11900	0.88100
-2.17000	0.01500	0.98500	-1.67000	0.04746	0.95254	-1.17000	0.12100	0.87900
-2.16000	0.01539	0.98461	-1.66000	0.04846	0.95154	-1.16000	0.12302	0.87698
-2.15000	0.01578	0.98422	-1.65000	0.04947	0.95053	-1.15000	0.12507	0.87493
-2.14000	0.01618	0.98382	-1.64000	0.05050	0.94950	-1.14000	0.12714	0.87286
-2.13000	0.01659	0.98341	-1.63000	0.05155	0.94845	-1.13000	0.12924	0.87076
-2.12000	0.01700	0.98300	-1.62000	0.05262	0.94738	-1.12000	0.13136	0.86864
-2.11000	0.01743	0.98257	-1.61000	0.05370	0.94630	-1.11000	0.13350	0.86650
-2.10000	0.01786	0.98214	-1.60000	0.05480	0.94520	-1.10000	0.13567	0.86433
-2.09000	0.01831	0.98169	-1.59000	0.05592	0.94408	-1.09000	0.13786	0.86214
-2.08000	0.01876	0.98124	-1.58000	0.05705	0.94295	-1.08000	0.14007	0.85993
-2.07000	0.01923	0.98077	-1.57000	0.05821	0.94179	-1.07000	0.14231	0.85769
-2.06000	0.01970	0.98030	-1.56000	0.05938	0.94062	-1.06000	0.14457	0.85543
-2.05000	0.02018	0.97982	-1.55000	0.06057	0.93943	-1.05000	0.14686	0.85314
-2.04000	0.06178	0.93822	-1.54000	0.06178	0.93822	-1.04000	0.14917	0.85083

continued

$z$	$\Phi(z)$	$1-\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$1-\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$1-\Phi(z)$
-1.03000	0.151505	0.848495	-0.53000	0.2980559	0.7019441	-0.03000	0.48803	0.51197
-1.02000	0.1538642	0.8461358	-0.52000	0.3015318	0.6984682	-0.02000	0.49202	0.50798
-1.01000	0.1562477	0.8437523	-0.51000	0.3050257	0.6949743	-0.01000	0.49601	0.50399
-1.00000	0.1586553	0.8413447	-0.50000	0.3085375	0.6914625	0.00000	0.50000	0.50000
-0.99000	0.1610871	0.8389129	-0.49000	0.3120669	0.6879331	0.01000	0.50399	0.49601
-0.98000	0.1635431	0.8364569	-0.48000	0.3156137	0.6843863	0.02000	0.50798	0.49202
-0.97000	0.1660232	0.8339768	-0.47000	0.3191775	0.6808225	0.03000	0.51197	0.48803
-0.96000	0.1685276	0.8314724	-0.46000	0.3227581	0.6772419	0.04000	0.51595	0.48405
-0.95000	0.1710561	0.8289439	-0.45000	0.3263552	0.6736448	0.05000	0.51994	0.48006
-0.94000	0.1736088	0.8263912	-0.44000	0.3299686	0.6700314	0.06000	0.52392	0.47608
-0.93000	0.1761855	0.8238145	-0.43000	0.3335979	0.6664021	0.07000	0.52790	0.47210
-0.92000	0.1787864	0.8212136	-0.42000	0.3372428	0.6627572	0.08000	0.53188	0.46812
-0.91000	0.1814112	0.8185888	-0.41000	0.340903	0.659097	0.09000	0.53586	0.46414
-0.90000	0.1840601	0.8159399	-0.40000	0.3445783	0.6554217	0.10000	0.53983	0.46017
-0.89000	0.1867329	0.8132671	-0.39000	0.3482683	0.6517317	0.11000	0.54380	0.45620
-0.88000	0.1894296	0.8105704	-0.38000	0.3519728	0.6480272	0.12000	0.54776	0.45224
-0.87000	0.1921502	0.8078498	-0.37000	0.3556913	0.6443087	0.13000	0.55172	0.44828
-0.86000	0.1948945	0.8051055	-0.36000	0.3594236	0.6405764	0.14000	0.55567	0.44433
-0.85000	0.1976625	0.8023375	-0.35000	0.3631694	0.6368306	0.15000	0.55962	0.44038
-0.84000	0.2004541	0.7995459	-0.34000	0.3669283	0.6330717	0.16000	0.56356	0.43644
-0.83000	0.2032693	0.7967307	-0.33000	0.3707	0.6293	0.17000	0.56749	0.43251
-0.82000	0.206108	0.793892	-0.32000	0.3744842	0.6255158	0.18000	0.57142	0.42858
-0.81000	0.20897	0.79103	-0.31000	0.3782805	0.6217195	0.19000	0.57535	0.42465
-0.80000	0.2118553	0.7881447	-0.30000	0.3820886	0.6179114	0.20000	0.57926	0.42074
-0.79000	0.2147638	0.7852362	-0.29000	0.3859082	0.6140918	0.21000	0.58317	0.41683
-0.78000	0.2176954	0.7823046	-0.28000	0.3897388	0.6102612	0.22000	0.58706	0.41294
-0.77000	0.2206499	0.7793501	-0.27000	0.3935802	0.6064198	0.23000	0.59095	0.40905
-0.76000	0.2236272	0.7763728	-0.26000	0.3974319	0.6025681	0.24000	0.59483	0.40517
-0.75000	0.2266273	0.7733727	-0.25000	0.4012937	0.5987063	0.25000	0.59871	0.40129
-0.74000	0.2296499	0.7703501	-0.24000	0.4051652	0.5948348	0.26000	0.60257	0.39743
-0.73000	0.232695	0.767305	-0.23000	0.4090459	0.5909541	0.27000	0.60642	0.39358
-0.72000	0.2357624	0.7642376	-0.22000	0.4129356	0.5870644	0.28000	0.61026	0.38974
-0.71000	0.238852	0.761148	-0.21000	0.4168339	0.5831661	0.29000	0.61409	0.38591
-0.70000	0.2419636	0.7580364	-0.20000	0.4207403	0.5792597	0.30000	0.61791	0.38209
-0.69000	0.245097	0.754903	-0.19000	0.4246546	0.5753454	0.31000	0.62172	0.37828
-0.68000	0.2482522	0.7517478	-0.18000	0.4285763	0.5714237	0.32000	0.62552	0.37448
-0.67000	0.2514288	0.7485712	-0.17000	0.4325051	0.5674949	0.33000	0.62930	0.37070
-0.66000	0.2546268	0.7453732	-0.16000	0.4364405	0.5635595	0.34000	0.63307	0.36693
-0.65000	0.257846	0.742154	-0.15000	0.4403823	0.5596177	0.35000	0.63683	0.36317
-0.64000	0.2610862	0.7389138	-0.14000	0.44433	0.55567	0.36000	0.64058	0.35942
-0.63000	0.2643472	0.7356528	-0.13000	0.4482832	0.5517168	0.37000	0.64431	0.35569
-0.62000	0.2676288	0.7323712	-0.12000	0.4522415	0.5477585	0.38000	0.64803	0.35197
-0.61000	0.2709308	0.7290692	-0.11000	0.4562046	0.5437954	0.39000	0.65173	0.34827
-0.60000	0.2742531	0.7257469	-0.10000	0.4601721	0.5398279	0.40000	0.65542	0.34458
-0.59000	0.2775953	0.7224047	-0.09000	0.4641435	0.5358565	0.41000	0.65910	0.34090
-0.58000	0.2809573	0.7190427	-0.08000	0.4681186	0.5318814	0.42000	0.66276	0.33724
-0.57000	0.2843388	0.7156612	-0.07000	0.4720968	0.5279032	0.43000	0.66640	0.33360
-0.56000	0.2877397	0.7122603	-0.06000	0.4760777	0.5239223	0.44000	0.67003	0.32997
-0.55000	0.2911597	0.7088403	-0.05000	0.4800611	0.5199389	0.45000	0.67364	0.32636
-0.54000	0.2945985	0.7054015	-0.04000	0.4840465	0.5159535	0.46000	0.67724	0.32276

continued

$z$	$\Phi(z)$	$1-\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$1-\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$1-\Phi(z)$
3.47000	0.99974	0.00026	3.65000	0.99987	0.00013	3.83000	0.99994	0.00006
3.48000	0.99975	0.00025	3.66000	0.99987	0.00013	3.84000	0.99994	0.00006
3.49000	0.99976	0.00024	3.67000	0.99988	0.00012	3.85000	0.99994	0.00006
3.50000	0.99977	0.00023	3.68000	0.99988	0.00012	3.86000	0.99994	0.00006
3.51000	0.99978	0.00022	3.69000	0.99989	0.00011	3.87000	0.99995	0.00005
3.52000	0.99978	0.00022	3.70000	0.99989	0.00011	3.88000	0.99995	0.00005
3.53000	0.99979	0.00021	3.71000	0.99990	0.00010	3.89000	0.99995	0.00005
3.54000	0.99980	0.00020	3.72000	0.99990	0.00010	3.90000	0.99995	0.00005
3.55000	0.99981	0.00019	3.73000	0.99990	0.00010	3.91000	0.99995	0.00005
3.56000	0.99981	0.00019	3.74000	0.99991	0.00009	3.92000	0.99996	0.00004
3.57000	0.99982	0.00018	3.75000	0.99991	0.00009	3.93000	0.99996	0.00004
3.58000	0.99983	0.00017	3.76000	0.99992	0.00008	3.94000	0.99996	0.00004
3.59000	0.99983	0.00017	3.77000	0.99992	0.00008	3.95000	0.99996	0.00004
3.60000	0.99984	0.00016	3.78000	0.99992	0.00008	3.96000	0.99996	0.00004
3.61000	0.99985	0.00015	3.79000	0.99992	0.00008	3.97000	0.99996	0.00004
3.62000	0.99985	0.00015	3.80000	0.99993	0.00007	3.98000	0.99997	0.00003
3.63000	0.99986	0.00014	3.81000	0.99993	0.00007	3.99000	0.99997	0.00003
3.64000	0.99986	0.00014	3.82000	0.99993	0.00007	4.00000	0.99997	0.00003