

**USULAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* PADA MESIN  
*INJECTION MOLDING* DENGAN MODEL *AGE*  
*REPLACEMENT* PADA PT KARTIKA MULTI SARANA**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Syarat-Syarat Penyelesaian Program  
Pendidikan D4 Teknik dan Manajemen Industri Pada Politeknik STMI  
Jakarta**

**Disusun Oleh :**

**NAMA : NUR FATIKAH**

**NIM : 1112089**



**POLITEKNIK STMI JAKARTA  
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI  
JAKARTA  
2016**

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga pada akhirnya dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir (TA) ini dengan judul **“USULUAN PREVENTIVE MAINTENANCE PADA MESIN INJECTION MOLDING DENGAN MODEL AGE REPLACEMENT PADA PT KARTIKA MULTI SARANA”**.

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan pemenuhan salah satu persyaratan akademis untuk menyelesaikan Program Studi Diploma IV di Politeknik STMI Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, Program Studi Teknik Industri Otomotif (TIO). Tugas Akhir ini dimaksudkan agar mahasiswa dapat memahami masalah secara nyata pada perusahaan baik perusahaan industri maupun jasa serta mampu menerapkan ilmu yang sudah didapat selama di bangku kuliah.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua yang tak henti-hentinya berdoa dan memotivasi untuk kemudahan dan kelancaran dalam penyusunan Tugas Akhir ini dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan terutama pada :

- Bapak Dr. Mustofa, ST, MT selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
- Bapak Dr. Ridzky Kramanandita, S. Kom, MT selaku Pembantu Direktur I Politeknik STMI Jakarta.
- Bapak Muhammad Agus, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Otomotif Politeknik STMI Jakarta.
- Bapak Taswir Syahfoeddin, SMI, M.Si selaku Dosen Pembimbing, yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan petunjuk serta saran-saran dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
- Ibu Rita Istikowati, ST, MT selaku Asisten Dosen Pembimbing, yang juga telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan petunjuk serta saran-saran dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
- Ibu Wilda Sukmawati. ST, MT selaku dosen pembimbing akademik.
- Bapak Sehadri selaku Pembimbing yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat selama melakukan penelitian di PT Kartika Multi Sarana.
- Seluruh karyawan PT Kartika Multi Sarana yang telah memberikan yang telah memberikan informasi, arahan, dan segala sesuatunya selama melakukan penelitian.

- Teman-teman di kampus Politeknik STMI Jakarta Zaidah, Della, Silvi, Meta, Mirna, Ayu, Roro, Endah, Dana, Fitri, Nindi, Mia, Sapti, Angga, Ulul, Dana, Septian, Tommy, Wahyudi dan teman kelas TMI 03 angkatan 2012 yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas kebersamaan, kebahagiaan, semangat, doa dan dukungannya.
- Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penyusun sebutkan satu per satu.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa penelitian ini jauh dari sempurna. Hal ini dikarenakan keterbatasan pengetahuan yang penyusun miliki. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak guna perbaikan dan penyempurnaan laporan ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan menjadi sebuah pembelajaran penelitian berikutnya di kampus maupun di luar Politeknik STMI Jakarta.

Jakarta, Oktober 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING.....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Pembatasan Masalah .....	3
1.5. Metodologi Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1. Pemeliharaan ( <i>Maintenance</i> ) .....	6
2.2. Tujuan Pemeliharaan .....	6
2.3. PERNANAN Perawatan.....	7
2.4. Jenis - Jenis Perawatan .....	8
2.4.1 <i>Corrective Maintenance</i> .....	8
2.4.2 <i>Preventive Maintenance</i> .....	9
2.4.3 <i>Predictive Maintenance</i> .....	10
2.5. Tugas-Tugas dari <i>Maintenance</i> .....	10
2.6. Ketersediaan ( <i>Availability</i> ).....	11
2.7. Keandalan ( <i>Reliability</i> ).....	11
2.8. Keterawatan ( <i>Maintability</i> ) .....	12
2.9. Pengertian <i>Downtime</i> .....	12
2.10. Kurva Kerusakan .....	13
2.11. Alat Kendali Kualitas .....	15
2.12. Distribusi Kerusakan .....	16
2.12.1 Distribusi Eksponensial.....	17
2.12.2 Distribusi Weibull .....	18
2.12.3 Distribusi Normal .....	19
2.12.4 Distribusi Lognormal .....	20
2.13. Identifikasi Distribusi .....	21
2.13.1 <i>Least Square Curve Fitting</i> .....	21
2.13.2 <i>Goodness of Fit Test</i> .....	22
2.14. <i>Mean Time Between Failure</i> .....	24
2.15. <i>Mean Time To Failure</i> .....	25
2.16. Model Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Optimal Dengan Minimasi <i>Downtime</i> Mesin .....	25
2.17. Interval Waktu Pemeriksaan .....	27

2.18. Perhitungan Keandalan ( <i>Reliability</i> ) Tanpa Dan Dengan Tindakan Penggantian Pencegahan .....	28
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1. Studi Lapangan .....	31
3.2. Studi Pustaka .....	31
3.3 . Perumusan Masalah .....	31
3.4 . Tujuan Penelitian .....	31
3.5. Pengumpulan Data .....	32
3.6. Pengolahan Data .....	32
3.7. Analisis dan Pembahasan .....	35
3.8. Kesimpulan dan Saran .....	36
<b>BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA</b>	
4.1. Pengumpulan Data .....	38
4.1.1 Sejarah Umum PT Kartika Multi Sarana .....	38
4.1.2 Proses Produksi .....	50
4.1.3 Mesin-mesin Yang Dipergunakan Pada Divisi <i>Injection</i> ..	52
4.1.4 Data Kerusakan .....	57
4.2 Pengolahan Data .....	60
4.2.1 Penentuan Mesin <i>Injection Molding</i> Kritis .....	60
4.2.2 Pemilihan Komponen Kritis .....	60
4.2.3 Perhitungan <i>Preventive Maintenance</i> Untuk Komponen <i>Nozzle</i> .....	62
4.2.3.1 Perhitungan Interval TTF dan TTR Komponen <i>Nozzle</i> .....	62
4.2.3.2 Identifikasi Distribusi TTF Komponen <i>Nozzle</i> .....	63
4.2.3.3 Uji Kolmogorov-Smirnov .....	70
4.2.3.4 Perhitungan MTBF Untuk Komponen <i>Nozzle</i> .....	72
4.2.3.5 Identifikasi Distribusi Data TTR Komponen <i>Nozzle</i> .....	72
4.2.3.6 <b><i>Uji Barlett Test Komponen Nozzle..</i></b> .....	<b>80</b>
4.2.3.7 Perhitungan MTTR Untuk Komponen <i>Nozzle</i> .....	81
4.2.3.8 Perhitungan <i>Age Replacement</i> dan Pemeriksaan Untuk Komponen <i>Nozzle</i> .....	81
4.2.3.9 Perhitungan <i>Reliability</i> Komponen <i>Nozzle</i> .....	84
4.2.4 Perhitungan <i>Preventive Maintenance</i> Untuk Komponen <i>Oil Seal</i> .....	86
4.2.4.1 Perhitungan Interval TTF dan TTR Komponen <i>Oil Seal</i> .....	86
4.2.4.2 Identifikasi Distribusi Data TTF Komponen <i>Oil Seal</i> .....	87
4.2.4.3 Uji Kolmogorov-Smirnov Komponen <i>Oil Seal</i> .....	92
4.2.4.4 Perhitungan MTBF Komponen <i>Oil Seal</i> .....	95
4.2.4.5 Identifikasi Distribusi Data TTR Komponen <i>Oil Seal</i> .....	95
4.2.4.6 Uji Kolmogorov-Smirnov Komponen <i>Oil Seal</i> .....	99
4.2.4.7 Perhitungan MTTR komponen <i>Oil Seal</i> .....	101

4.2.4.8 Perhitungan <i>Age Replacement</i> Dan Pemeriksaan Untuk Komponen <i>Oil Seal</i> .....	101
4.2.4.9 Perhitungan <i>Reliability</i> Komponen <i>Oil Seal</i> .....	104
<b>BAB V ANALISIS MASALAH</b>	
5.1. Analisis Mesin <i>Injection Molding</i> Yang Kritis.....	107
5.2 Analisis Komponen Kritis Pada Mesin <i>Injection Molding</i> .....	107
5.3 Analisis Perhitungan <i>Time To Failure</i> (TTF) dan <i>Time To Repair</i> (TTR) .....	107
5.4 Analisis Penentuan Distribusi Terpilih.....	108
5.5 Analisis Perhitungan <i>Mean Time Between Failure</i> (MTBF) dan <i>Mean Time To Failure</i> (MTTR) .....	109
5.6 Analisis Perhitungan Penggantian Dengan <i>Age Replacement</i> .....	110
5.7 Analisis Perhitungan Interval Pemeriksaan .....	112
5.8 Analisis <i>Reliability</i> (Kehandalan) Dengan <i>Preventive Maintenance</i> Dan Tanpa <i>Preventive Maintenance</i> .....	112
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
6.1. Kesimpulan .....	114
6.2. Saran .....	114
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Nilai Parameter $s$ Dalam Distribusi Weibull ..... 19
Tabel 4.1	Produk Aksesoris Talang 1/2 Lingkaran ..... 40
Tabel 4.2	Produk Aksesoris Talang Kotak ..... 40
Tabel 4.3	Produk Hidroponik ..... 41
Tabel 4.4	Konsumen PT Kartika Multi Sarana..... 43
Tabel 4.5	Jumlah Tenaga Kerja ..... 47
Tabel 4.6	Jam Kerja Kantor ..... 48
Tabel 4.7	Jam Kerja Pabrik..... 48
Tabel 4.8	Jam Kerja Pabrik <i>Shift 2</i> ..... 49
Tabel 4.9	Spesifikasi Mesin <i>Injection Molding</i> ..... 52
Tabel 4.10	Spesifikasi Mesin <i>Plastic Mixer</i> ..... 54
Tabel 4.11	Spesifikasi Mesin <i>Plastic Crusher</i> ..... 56
Tabel 4.12	Spesifikasi Mesin <i>Hopper Dryer</i> ..... 57
Tabel 4.13	Kerusakan Mesin <i>Injection molding</i> ..... 57
Tabel 4.14	Kerusakan Komponen Mesin <i>Injection Molding</i> ..... 58
Tabel 4.15	Kerusakan Komponen <i>Oil Seal</i> Mesin <i>Injection Molding</i> ..... 58
Tabel 4.16	Kerusakan Komponen <i>Screw</i> Mesin <i>Injection Molding</i> ..... 58
Tabel 4.17	Kerusakan Komponen <i>Nozzle</i> Mesin <i>Injection Molding</i> ..... 59
Tabel 4.18	Kerusakan Komponen <i>Hydraulic</i> Mesin <i>Injection Molding</i> ..... 60
Tabel 4.19	Kerusakan Mesin <i>Injection molding</i> ..... 60
Tabel 4.20	Kerusakan Komponen Mesin <i>Injection Molding</i> ..... 61
Tabel 4.21	Perhitungan Interval Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Nozzle</i> Mesin <i>Injection Molding</i> ..... 62
Tabel 4.22	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTF Komponen <i>Nozzle</i> Berdasarkan Distribusi Weibull..... 64
Tabel 4.23	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTF Komponen <i>Nozzle</i> Berdasarkan Distribusi Eksponensial ..... 66
Tabel 4.24	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTF Komponen <i>Nozzle</i> Berdasarkan Distribusi Normal ..... 67
Tabel 4.25	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTF Komponen <i>Nozzle</i> Berdasarkan Distribusi Lognormal ..... 69
Tabel 4.26	Ringkasan Nilai <i>Index of Fit</i> Data TTF Komponen <i>Nozzle</i> ..... 70
Tabel 4.27	Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> Untuk Komponen <i>Nozzle</i> ..... 70
Tabel 4.28	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTR Komponen <i>Nozzle</i> Berdasarkan Distribusi Weibull..... 73
Tabel 4.29	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTR Komponen <i>Nozzle</i> Berdasarkan Distribusi Eksponensial ..... 75
Tabel 4.30	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTR Komponen <i>Nozzle</i> Berdasarkan Distribusi Normal ..... 77
Tabel 4.31	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTR Komponen <i>Nozzle</i> Berdasarkan Distribusi Lognormal ..... 78
Tabel 4.32	Ringkasan Nilai <i>Index of Fit</i> Data TTR Komponen <i>Nozzle</i> ..... 79

Tabel 4.33	Uji <i>Barlett Test</i> Komponen <i>Nozzle</i> .....	80
Tabel 4.34	Perhitungan <i>Age Replacement</i> dan Pemeriksaan Untuk Komponen <i>Nozzle</i> .....	83
Tabel 4.35	Perhitungan <i>Reliability</i> Komponen <i>Nozzle</i> .....	85
Tabel 4.36	Perhitungan Interval Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Antar Perbaikan Komponen <i>Oil Seal</i> Mesin <i>Injection Molding</i> .....	87
Tabel 4.37	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTF Komponen <i>Oil Seal</i> Berdasarkan Distribusi Weibull .....	88
Tabel 4.38	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTF Komponen <i>Oil Seal</i> Berdasarkan Distribusi Eksponensial .....	89
Tabel 4.39	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTF Komponen <i>Oil Seal</i> Berdasarkan Distribusi Normal .....	90
Tabel 4.40	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTF Komponen <i>Oil Seal</i> Berdasarkan Distribusi Lognormal .....	92
Tabel 4.41	Ringkasan Nilai <i>Index of Fit</i> Data TTF Komponen <i>Oil Seal</i> .....	92
Tabel 4.42	Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> Untuk Komponen <i>Oil Seal</i> .....	93
Tabel 4.43	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTR Komponen <i>Oil Seal</i> Berdasarkan Distribusi Weibull .....	95
Tabel 4.44	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTR Komponen <i>Oil Seal</i> Berdasarkan Distribusi Ekponensial .....	96
Tabel 4.45	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTR Komponen <i>Oil Seal</i> Berdasarkan Distribusi Normal .....	97
Tabel 4.46	Perhitungan <i>Index of Fit</i> Data TTR Komponen <i>Oil Seal</i> Berdasarkan Distribusi Lognormal .....	98
Tabel 4.47	Ringkasan Nilai <i>Index of Fit</i> Data TTR Komponen <i>oil seal</i> .....	99
Tabel 4.48	Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> Untuk Komponen <i>Oil Seal</i> .....	99
Tabel 4.49	Perhitungan <i>Age Replacement</i> Untuk Komponen <i>Oil Seal</i> .....	102
Tabel 4.50	Perhitungan <i>Reliability</i> Komponen <i>Oil Seal</i> .....	105
Tabel 5.1	Nilai MTBF Komponen Kritis Mesin <i>Injection Molding</i> .....	110
Tabel 5.2	Nilai MTTR Komponen Kritis Mesin <i>Injection Molding</i> .....	110
Tabel 5.3	Interval Waktu Penggantian .....	111
Tabel 5.4	<i>Reliability</i> Sebelum dan Sesudah <i>Preventive Maintenance</i> Saat MTBF .....	113

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Kurva Bak Mandi .....	13
Gambar 2.2 Diagram Pareto .....	16
Gambar 2.3 Model <i>Block Replacement</i> .....	26
Gambar 2.4 Model <i>Age Replacement</i> .....	26
Gambar 3.1 Diagram Alur Metode Penelitian.....	36
Gambar 4.1 Produk Aksesoris Talang Air PT Kartika Multi Sarana.....	41
Gambar 4.2 Produk Aksesoris Talang Air PT Kartika Multi Sarana.....	42
Gambar 4.3 Produk hidroponik PT Kartika Multi Sarana.....	42
Gambar 4.4 Struktur Organisasi .....	44
Gambar 4.5 Tata Letak Pabrik PT Kartika Multi Sarana .....	46
Gambar 4.6 Mesin <i>injection molding</i> Hattian 350 Ton.....	53
Gambar 4.7 Mesin <i>injection molding</i> Toshiba 220 Ton.....	53
Gambar 4.8 Mesin <i>injection molding</i> JSW 100 Ton .....	54
Gambar 4.9 Mesin <i>injection molding</i> Futashin 100 Ton.....	54
Gambar 4.10 Mesin <i>Plastic Mixer</i> SHHZ-100.....	55
Gambar 4.11 Mesin <i>Plastic Mixer</i> SHHZ-200.....	55
Gambar 4.12 Mesin <i>Plastic Crusher</i> HY300 .....	55
Gambar 4.13 Mesin <i>Hopper Dryer</i> THD-502.....	57

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Tabel A Kerusakan Komponen Mesin <i>Injection Molding</i> Toshiba 220 Ton
Lampiran B	Gambar Distribusi
Lampiran C	Peta Proses Operasi Aksesoris Talang
Lampiran D	Tabel B Tabel Z, Gamma, Chi-Square dan Kolmogorov-Smirnov

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perusahaan saat ini harus mempunyai kemampuan bersaing untuk bertahan di dunia industri yang terus berkembang. Kemampuan yang harus dimiliki perusahaan seperti menjaga proses produksi, menjaga kualitas produk, pendayagunaan sumber daya, mengurangi biaya-biaya yang tidak perlu dalam perusahaan.

Dalam perusahaan terutama pada bagian produksi diperlukan adanya pengendalian. Pengendalian diperlukan untuk mengatur segala sesuatu agar tidak keluar dari batasan. Umumnya pengendalian dilakukan pada karyawan (manusia), bahan baku, mesin, metode dan uang. Salah satunya pengendalian yang dilakukan pada bagian produksi untuk mesinnya adalah pemeliharaan (*maintenance*). Perawatan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas dan peralatan pabrik, dan mengadakan perbaikan, penyesuaian, atau penggantian yang diperlukan untuk mendapatkan suatu kondisi operasi produksi yang memuaskan, sesuai dengan yang direncanakan (Assauri, 2008).

Dengan adanya kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) ini maka fasilitas atau peralatan pabrik dapat dipergunakan untuk produksi sesuai dengan rencana, dan tidak mengalami kerusakan selama fasilitas atau peralatan dipergunakan untuk proses produksi atau sebelum jangka waktu tertentu yang direncanakan tercapai. Sehingga diharapkan proses produksi dapat berjalan lancar dan terjamin, karena kemungkinan-kemungkinan kemacetan yang disebabkan tidak baiknya beberapa fasilitas atau peralatan produksi telah dihilangkan atau dikurangi (Assauri, 2008).

PT Kartika Multi Sarana merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri plastik. Produk dari PT Kartika Multi Sarana adalah Aksesoris Talang ½ Lingkar dan Hidroponik dengan jenis yang berbeda untuk setiap produk. Seluruh produk dari PT Kartika Multi Sarana menggunakan biji plastik sebagai bahan

bakunya. Mesin yang digunakan untuk produksinya adalah mesin *injection molding*, mesin *mixer plastic*, mesin penggiling dan mesin vakum.

Dari keempat macam mesin yang tiga diantaranya digunakan untuk proses produksi pada PT Kartika Multi Sarana masalah saat ini ada pada mesin *injection molding* yang sering mengalami kerusakan rata-rata 7%-10% dari waktu kerja. Mesin *injection molding* yang digunakan di PT Kartika Multi Sarana memiliki peran penting dalam proses produksi, karena pada mesin *injection molding* bahan baku diproses menjadi produk jadi yang memiliki nilai tambah untuk pelanggan. Seiring dengan pemakaiannya, mesin yang digunakan secara terus-menerus dapat mati atau rusak. Masalah mesin mati atau rusak berkaitan dengan perawatan dan penggantian komponen mesin.

Untuk penerapan perawatan mesin yang dilakukan oleh PT Kartika Multi Sarana saat ini adalah *corrective maintenance*. *Corrective maintenance* adalah perbaikan yang dilakukan setelah peralatan atau mesin mengalami kerusakan (Stephens, 2004). Keadaan seperti itu dapat menyebabkan terganggu atau terhentinya proses produksi pada PT Kartika Multi Sarana jika mesin rusak pada saat proses produksi sedang berlangsung. Ketika dilakukan perbaikan pada mesin, mesin harus dimatikan hingga perbaikan selesai dilakukan.

Untuk mengurangi jumlah waktu kerusakan mesin *injection molding* pada saat produksi sedang berlangsung, maka diperlukan penerapan sistem pemeliharaan lain. Selain *corrective maintenance* terdapat jenis-jenis lain dari sistem pemeliharaan lain seperti, *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*. Untuk penelitian ini dipilih *preventive maintenance* untuk pemeliharaan pada mesin *injection molding* dengan model *age replacement* untuk dapat menentukan penggantian dan pemeriksaan untuk komponen mesin *injection molding*. Penerapan *preventive maintenance* dengan model *age replacement* diharapkan dapat mengurangi waktu kerusakan mesin *injection molding*, menentukan penggantian dan pemeriksaan komponen pada mesin *injection molding*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dari penjabaran di atas didapat permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan adalah sebagai berikut:

1. Mesin *injection molding* manakah yang sering mengalami kerusakan pada PT Kartika Multi Sarana?
2. Komponen manakah pada mesin *injection molding* yang sering mengalami kerusakan pada PT Kartika Multi Sarana?
3. Kapan interval waktu pemeriksaan dan penggantian komponen yang sering mengalami kerusakan pada PT Kartika Multi Sarana?
4. Berapa *reliability* (keandalan) pada komponen mesin *injection molding* ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai pada penelitian yang dilakukan di PT Kartika Multi Sarana adalah sebagai berikut:

1. Menentukan mesin *injection molding* yang sering mengalami kerusakan pada PT Kartika Multi Sarana.
2. Menentukan komponen pada mesin *injection molding* yang sering mengalami kerusakan pada PT Kartika Multi Sarana.
3. Menghitung interval waktu pemeriksian dan penggantian komponen yang sering mengalami kerusakan pada PT Kartika Multi Sarana.
4. Mengetahui *reliability* (keandalan) pada komponen mesin *injection molding*.

## 1.4 Pembatasan Masalah

Batasan masalah dalam melakukan penelitian ini memiliki tujuan agar dalam penelitian yang dilakukan tidak menyimpang ataupun meluas dari topik yang seharusnya dibicarakan. Adapun batasan masalah tersebut adalah:

1. Penelitian dilakukan di PT Kartika Multi Sarana pada Divisi *Injection*.
2. Penelitian difokuskan pada mesin *injection molding*.
3. Data yang digunakan adalah kerusakan mesin *injection molding* perusahaan selama bulan Juli-Desember 2015.

4. Metode yang digunakan adalah *preventive maintenance* dengan model *Age Replacement*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian Tugas Akhir ini, yaitu sebagai berikut:

1. Bagi perusahaan, dapat mengetahui interval waktu pelaksanaan kegiatan pemeriksaan dan penggantian terhadap komponen yang sering rusak.
2. Bagi penulis, mendapatkan pengalaman untuk mengaplikasikan ilmu-ilmu yang selama ini diperoleh secara akademis, serta dapat menambah pengetahuan dan wawasan mengenai *preventive maintenance*.
3. Bagi pembaca, hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan dan informasi untuk melakukan penelitian.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar penyusunan Tugas Akhir ini akan mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut:

#### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

#### BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang teori untuk mendukung topik yang dibahas, seperti Pemeliharaan (*Maintenance*), Tujuan Pemeliharaan, Jenis - Jenis Perawatan, Tugas-Tugas dari *Maintenance*, Konsep *Downtime*, Distribusi Kerusakan, Identifikasi Distribusi, *Mean Time Between Failure* (MTBF), *Mean Time To Repair* (MTTR), Model Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Dengan Minimasi *Downtime* Mesin, Konsep *Availability*, Interval Waktu Pemeriksaan, Konsep Keandalan (*Reliability*). Teori yang digunakan diambil dari berbagai buku dan jurnal.

### BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir. Metode penelitian meliputi langkah-langkah pemecahan masalah, data yang diperlukan, studi pustaka, pengumpulan data, cara pengolahan data, metode analisis data, dan pengambilan kesimpulan dan saran.

### BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisi tentang tentang profil umum perusahaan dari PT Kartika Multi Sarana, pengumpulan data seperti, data kerusakan komponen mesin selama bulan Juli-Desember 2015, data perbaikan komponen mesin *injection molding* selama bulan Juli-Desember 2015 serta data lain yang dapat menunjang pengolahan data tugas akhir ini. Data-data ini kemudian diolah dengan menggunakan metode *age replacement* untuk dapat menentukan penggantian dan pemeriksaan yang untuk komponen mesin *injection molding*.

### BAB V ANALISIS MASALAH

Bab ini berisi tentang analisis yang dilakukan terhadap hasil pengolahan data yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Analisis bertujuan untuk mengkaji kerusakan dan perbaikan komponen mesin

### BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang hasil analisis yang kemudian dirumuskan ke dalam beberapa kesimpulan. Kesimpulan akan digunakan untuk menjawab tujuan dari penelitian dan menyelesaikan permasalahan dari penelitian ini dan saran yang dapat dimanfaatkan sebagai masukan untuk perbaikan bagi perusahaan.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Pemeliharaan (*Maintenance*)**

Menurut Assauri (2008) perawatan merupakan kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas dan peralatan pabrik, dan mengadakan perbaikan, penyesuaian, atau penggantian yang diperlukan untuk mendapatkan suatu kondisi operasi produksi yang memuaskan, sesuai dengan yang direncanakan. Selain itu menurut Stephens (2004) pemeliharaan adalah semua kegiatan yang diperlukan untuk menjaga sistem dan semua komponen bekerja dengan baik. Menurut Corder (1992) pemeliharaan adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau memperbaikinya sampai, suatu kondisi yang bisa diterima. Dengan adanya kegiatan pemeliharaan diharapkan semua fasilitas dan mesin yang dimiliki oleh perusahaan dapat dioperasikan sesuai dengan rencana. Perawatan mempunyai peranan yang sangat menentukan dalam kegiatan produksi dari suatu perusahaan yang menyangkut kelancaran atau kemacetan produksi.

#### **2.2 Tujuan Pemeliharaan**

Adapun tujuan utama dari fungsi *maintenance*, menurut Assauri (2008) adalah :

1. Kemampuan berproduksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sesuai dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
3. Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpangan di luar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan mengenai investasi tersebut.

4. Untuk mencapai tingkat biaya *maintenance* serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara efektif dan efisien.
5. Menghindari kegiatan *maintenance* yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja.
6. Mengadakan suatu kerja sama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan, dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan atau *return of investment* yang sebaik mungkin dan total biaya yang terendah.

### 2.3 Pemanan Perawatan

Menurut Lili (1990) dalam Indradi (2005) banyak kerugian yang timbul karena perusahaan kurang memperhatikan faktor perawatan fasilitas produksi. Alat produksi yang seharusnya masih dapat berfungsi dengan baik menjadi cepat rusak serta terjadinya penurunan kerja. Kerugian-kerugian yang mungkin diderita perusahaan apabila kurang memperhatikan perawatan alat-alat produksi, seperti:

1. Fasilitas atau alat produksi hanya dapat dipakai pada jangka pendek
2. Kerusakan kecil akan mengakibatkan kerusakan yang berat pada alat produksi, jika terdapat kerusakan kecil yang kurang diperhatikan. Biaya perbaikan mesin juga semakin besar karena kerusakannya semakin berat.
3. Seringkali terjadi kemacetan mesin akibat kurangnya perawatan, sehingga proses produksi pun sering terhenti.
4. Menurunnya kualitas produk akhir perusahaan sebab mesin atau peralatan kurang lancar pada prosesnya, sehingga pengendalian kualitas produksi juga akan sulit.
5. Kerusakan dapat menimbulkan ketidakseimbangan kapasitas antara bagian yang satu dengan yang lainnya akibat ada kerusakan mesin.

Menurut Lili (1990) dalam Indradi (2005) jika perusahaan memberikan perhatian terhadap perawatan peralatan produksi akan memberikan beberapa keuntungan bagi perusahaan seperti:

1. Peralatan dan mesin-mesin produksi dapat digunakan dalam jangka waktu yang lebih panjang.

2. Proses produksi akan lebih lancar dan baik dalam hubungannya dengan kondisi mesin dan peralatan yang terawat.
3. Kerusakan berat dari pada mesin dan peralatan dapat ditekan sampai titik terendah.
4. Kualitas dan hasil yang dibutuhkan akan lebih baik (penurunan kualitas akibat kerusakan mesin dapat dihindarkan)
5. Umumnya biaya perawatan lebih rendah dari biaya perbaikan total ataupun biaya penggantian mesin.
6. Target produksi akan lebih mudah untuk dicapai dengan kecilnya *downtime* (waktu kerusakan mesin).

#### 2.4 Jenis - Jenis Perawatan

Kegiatan pemeliharaan dapat dibedakan atas dua tipe (Ebeling, 1997):

1. *Reactive maintenance*, yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan sebagai respon terhadap *downtime* unit yang tidak terencana umumnya sebagai hasil dari kegiatan baik yang bersifat *internal* atau *eksternal*. Termasuk *reactive maintenance* adalah *corrective maintenance* atau sering disebut juga *breakdown maintenance*.
2. *Proactive maintenance*, yaitu pemeliharaan yang dilakukan secara terencana tanpa menunggu mesin rusak terlebih dahulu sehingga dapat meminimasi kemungkinan terjadinya *downtime* akibat kerusakan mesin, yang termasuk didalamnya adalah *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*.

##### 2.4.1 *Corrective Maintenance*

*Corrective maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian yang telah berhenti karena terjadinya kerusakan dengan harapan untuk memulihkan kembali ke keadaan semula (Ebeling, 1997). Dengan kata lain *corrective maintenance* berarti kegiatan reparasi yang dilakukan setelah suatu bagian mengalami kerusakan atau berfungsi tidak sebagaimana mestinya. Secara sepintas terlihat *corrective maintenance* lebih murah biayanya daripada mengadakan *preventive maintenance*. Hal ini benar selama kerusakan belum terjadi pada fasilitas atau peralatan sewaktu proses produksi berlangsung. Tetapi

sekali kerusakan terjadi pada fasilitas/peralatan selama proses produksi berlangsung, maka selain akan menunda jalannya operasi juga akan mengalami kenaikan biaya-biaya perawatan dan perawatan akibat kerusakan tersebut.

#### **2.4.2 Preventive Maintenance**

*Preventive maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal, umumnya secara periodik, dimana sejumlah tugas pemeliharaan seperti inspeksi, perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan dan penyesuaian dilaksanakan (Ebeling, 1997). *Preventive Maintenance* umumnya dilakukan berdasarkan data kerusakan di masa lalu. Dilaksanakannya *preventive maintenance* secara teratur maka kejadian-kejadian yang tidak terduga yang dapat mengganggu kelancaran proses produksi dapat diminimasi. Kegiatan *preventive maintenance* ini sangat penting karena kegunaannya yang sangat efektif di dalam menghadapi fasilitas-fasilitas produksi yang termasuk golongan ‘*Critical Unit*’. Apabila *preventive maintenance* dilaksanakan pada komponen kritis maka tugas *maintenance* dapat dilakukan dengan perencanaan yang intensif untuk unit yang bersangkutan, sehingga rencana produksi dapat dicapai dengan hasil produksi yang lebih besar dalam waktu yang relatif lebih singkat.

Dalam praktiknya menurut Assauri (2008) *preventive maintenance* yang dilakukan oleh suatu perusahaan pabrik dapat dibedakan atas:

1. *Routine maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara rutin misalnya setiap hari. Sebagai contoh kegiatan *routine maintenance* adalah pembersihan fasilitas atau peralatan, pelumasan (*lubrication*) atau pengecekan oliya, serta pengecekan isi bahan bakarnya dan mungkin pemanasan (*warming up*) dari mesin-mesin selama beberapa menit sebelum dipakai beroperasi sepanjang hari.
2. *Periodic maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara berkala atau dalam jangka waktu tertentu. *Periodic maintenance* dilakukan dengan memakai lamanya jam kerja mesin atau fasilitas produksi tersebut sebagai jadwal kegiatan, misalnya seratus jam kerja mesin sekali dan seterusnya. Jadi, sifat *maintenance* ini tetap secara periodik atau berkala.

### 2.4.3 *Predictive Maintenance*

Menurut Amrine (1982) dalam Sylvia (2003) *Predictive maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan melalui analisis secara fisik terhadap peralatan atau komponen dengan bantuan instrumen tertentu seperti alat pengukur getaran, amplitudo-meter, termometer, barometer, pengukur suara dan lain-lain untuk mendeteksi kerusakan sedini mungkin. Dalam *predictive maintenance*, peralatan atau komponen dimonitor atau dievaluasi untuk memprediksi kapan kerusakan akan terjadi. Sebagai hasilnya pencegahan yang tepat dapat dilaksanakan sebelum terjadinya kerusakan. Dengan menghindari kerusakan, maka umur komponen dapat diperpanjang. Pemeliharaan dapat dilakukan secara terjadwal sehingga waktu produksi yang terbuang dapat diminimasi. Kelemahan dari *predictive maintenance* adalah tidak semua jenis kerusakan dapat diprediksi dengan metode ini karena tidak semua gejala kerusakan dapat diukur secara fisik. Tetapi apabila kerusakan mesin atau komponen dapat diprediksi secara fisik maka *predictive maintenance* merupakan metode pemeliharaan terbaik karena pengawasan dapat dilakukan secara terus-menerus sehingga peluang terjadinya kerusakan yang tidak terduga dalam kondisi normal dapat diminimasi.

### 2.5 Tugas-Tugas dari *Maintenance*

Tugas-tugas dari pada *maintenance* dapat digolongkan ke dalam salah satu dari lima tugas pokok yang berikut (Assauri, 2008):

#### 1. Inspeksi (*Inspection*)

Kegiatan inspeksi meliputi kegiatan pengecekan atau pemeriksaan secara berkala (*routine schedule check*) peralatan sesuai dengan rencana serta kegiatan pengecekan atau pemeriksaan terhadap peralatan yang mengalami kerusakan dan membuat laporan-laporan dari hasil pengecekan atau pemeriksaan tersebut.

#### 2. Kegiatan Teknik (*Engineering*)

Kegiatan teknik ini meliputi kegiatan-kegiatan percobaan atas peralatan yang baru dibeli, dan kegiatan-kegiatan pengembangan peralatan atau komponen peralatan yang perlu diganti, serta melakukan penelitian terhadap kemungkinan pengembangan tersebut.

### 3. Kegiatan Produksi (*Production*)

Kegiatan produksi merupakan kegiatan *maintenance* yang sebenarnya, yaitu memperbaiki dan mereparasi mesin-mesin dan peralatan.

### 4. Pekerjaan Administrasi (*Clerical Work*)

Pekerjaan administrasi merupakan kegiatan yang berhubungan dengan pencatatan-pencatatan mengenai biaya yang terjadi dalam melakukan pekerjaan *maintenance*.

### 5. Pemeliharaan Bangunan (*Housekeeping*)

Kegiatan pemeliharaan bangunan merupakan kegiatan untuk menjaga agar bangunan atau gedung tetap terpelihara dan terjamin kebersihannya.

## 2.6 Ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan adalah peluang suatu komponen atau sistem dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya pada waktu tertentu ketika digunakan dibawah kondisi operasi yang telah ditetapkan (Ebeling, 1997). *Availability* juga dapat diinterpretasikan sebagai persentase waktu operasi dari sebuah komponen atau sistem selama interval waktu tertentu atau persentase komponen yang beroperasi pada waktu tertentu. Perbedaannya dengan *reliabilitas* adalah bahwa *availabilitas* adalah probabilitas bahwa komponen saat ini dapat beroperasi meskipun sebelumnya komponen tersebut pernah rusak atau gagal dan telah dipulihkan atau dikembalikan pada kondisi operasi yang normal. Karena itu, *availabilitas* sistem tidak pernah lebih kecil daripada nilai *reliabilitasnya*.

## 2.7 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan adalah peluang sebuah komponen atau sistem dapat beroperasi sesuai fungsi yang diinginkan untuk suatu waktu tertentu ketika digunakan dibawah kondisi operasi yang telah ditetapkan (Ebeling, 1997). Nilai keandalan berada antara 0 – 1, dimana nilai 0 berarti keandalan sangat rendah dan komponen tidak dapat dipakai. Sedangkan nilai 1 menunjukkan keandalan yang tinggi. Untuk menentukan keandalan dalam kaitan operasional, diperlukan definisi yang lebih spesifik, yaitu deskripsi tentang kegagalan yang tidak membingungkan dan dapat

diamati, identifikasi unit waktu, serta sistem yang diamati harus berada dalam kondisi lingkungan dan operasi yang normal.

## 2.8 Keterawatan (*Maintainability*)

Keterawatan adalah peluang bahwa sebuah komponen atau sistem yang gagal atau rusak akan dipulihkan atau diperbaiki kepada kondisi yang telah ditentukan selama periode waktu tertentu ketika perawatan dilakukan sesuai dengan prosedur yang ditetapkan (Ebeling, 1997).

## 2.9 Pengertian *Downtime*

Menurut Nakajima (1998) *downtime* dibagi menjadi dua yaitu, berdasarkan *equipment failure* dan *setup and adjustment*. *Equipment failure* dengan contoh seperti kerusakan dan *setup adjustment* dengan contoh seperti penggantian cetakan pada mesin *injection molding*. *Downtime* merupakan waktu dimana suatu unit tidak dapat lagi menjalankan fungsinya sesuai dengan yang diharapkan. Hal ini dapat terjadi apabila suatu unit mengalami masalah seperti kerusakan mesin yang dapat mengganggu performansi dari mesin secara keseluruhan termasuk mutu produk yang dihasilkan atau kecepatan produksinya sehingga membutuhkan waktu tertentu untuk mengembalikan fungsi unit tersebut pada kondisi awal (Ebeling, 1997).

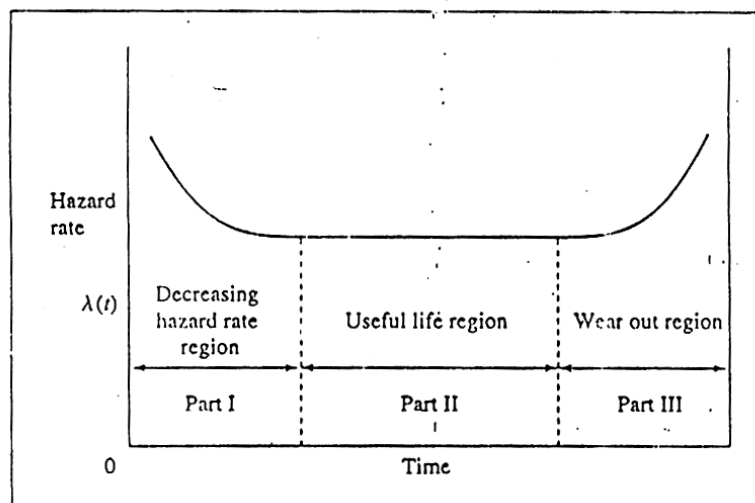
*Downtime* memiliki beberapa unsur, yaitu :

1. *Supply delay*, merupakan waktu yang dibutuhkan untuk *personal maintenance* untuk memperoleh komponen yang dibutuhkan dalam proses perbaikan. *Supply delay* dapat terdiri atas *lead time* administrasi, *lead time* produksi dan waktu transportasi komponen pada lokasi perbaikan.
2. *Maintenance delay*, merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menunggu ketersediaan sumber daya *maintenance* untuk melakukan proses perbaikan. Sumber daya *maintenance* dapat berupa personal, alat bantu dan alat tes.
3. *Access time*, merupakan waktu untuk mendapatkan akses ke komponen yang mengalami kerusakan.

4. *Diagnosis time*, merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menentukan penyebab kerusakan dan langkah perbaikan yang harus ditempuh untuk memperbaiki kerusakan.
5. *Repair or replacement unit*, merupakan waktu aktual yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pemulihan setelah permasalahan dapat diidentifikasi dan akses ke komponen yang rusak dapat dicapai.
6. *Verification and alignment*, merupakan waktu untuk memastikan bahwa fungsi daripada suatu unit telah kembali pada kondisi operasi semula.

#### 2.10 Kurva Kerusakan

Bagian ini menjelaskan mengenai kurva yang menunjukkan pola laju kerusakan sesaat yang umum bagi suatu produk yang dikenal dengan istilah kurva bak mandi (*bathtub curve*) karena bentuknya. Sistem yang memiliki fungsi laju kerusakan ini pada awal siklus penggunaannya mengalami penurunan laju kerusakan (kerusakan dini), diikuti dengan laju kerusakan yang mendekati konstan (usia pakai), kemudian mengalami peningkatan laju kerusakan (melewati masa pakai). Bentuk kurva dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kurva Bak Mandi  
(Sumber: Ebeling, 1997)

Setiap periode waktu mempunyai karakteristik tertentu yang ditentukan oleh masing-masing laju kerusakannya yaitu :

### 1. *Early Failure* atau Kerusakan Awal

Daerah ini sering disebut juga dengan *Burn-in period*. Pada periode ini laju kerusakan menurun seiring dengan peningkatan waktu. Kerusakan yang terjadi pada waktu ini dapat disebabkan oleh beberapa penyebab menurut (Dhillon dan Reiche, 1985):

- a. Pengendalian kualitas yang tidak memenuhi syarat.
- b. Performansi material dan tenaga kerja yang dibawah standar.
- c. Kesalahan yang timbul saat perakitan.
- d. Kesalahan manusia seperti pemasangan dan *set up*.
- e. Kesalahan pengepakan dan metode penanganan material.

Jika terjadi kerusakan, kemudian diganti dengan produk baru, maka *reliability* akan meningkat kembali. Kerusakan pada fasa ini dapat dipenuhi dengan distribusi Weibull.

### 2. *Chance Failure* atau *Useful Region* atau Pengoperasian Normal

Periode waktu ini ditandai dengan laju kerusakan yang konstan. Hal ini menunjukkan bahwa waktu laju kerusakan sesaat tidak akan bertambah walaupun umur komponen bertambah, dan *probabilitas* rusaknya komponen pada setiap saat adalah sama. Sebagai akibatnya, maka pada daerah kerusakan yang terjadi tidak terduga yang biasanya diakibatkan oleh pembebanan yang tiba-tiba yang besarnya diluar kemampuan komponen atau kondisi ekstrim lainnya. Beberapa alasan penyebab timbulnya kerusakan pada fasa ini menurut Dhillon dan Reiche (1985) diantaranya adalah :

- a. Kerusakan yang tidak dapat dijelaskan penyebabnya.
- b. Kesalahan manusia dan kerusakan alamiah.
- c. Kerusakan tidak terhindarkan, bahkan dengan tindakan perawatan praktis yang paling efektif sekalipun.

Kerusakan pada fasa ini dipenuhi oleh distribusi kerusakan Eksponensial.

### 3. *Wear Out Failure* atau Periode *Wear Out*

Periode waktu ini ditandai dengan laju kerusakan yang meningkat tajam, karena memburuknya kondisi peralatan. Peningkatan ini mengindikasikan akhir dari umur pemakaian berguna dari produk mulai akan dipertanyakanterjadinya sejalan

dengan semakin memburuknya kondisi produk. Bila suatu alat telah memasuki fasa ini, sebaiknya dilakukan perawatan pencegahan untuk mengurangi terjadinya kerusakan yang lebih fatal. Beberapa alasan yang menyebabkan kerusakan pada fasa ini menurut Dhillon dan Reiche (1985) adalah :

- a. Perawatan yang tidak memadai.
- b. Kelelahan karena aus akibat pemakaian.
- c. Kelelahan karena umur pakai.
- d. Kesalahan *overhaul*.
- e. Terjadinya korosi.
- f. Rancangan umur pakai yang memang singkat.

Kerusakan pada fasa ini dapat dipenuhi oleh distribusi Weibull, Normal dan Lognormal.

#### 2.11 Diagram Pareto

Diagram ini diperkenalkan pertama kali oleh seorang ahli ekonomi dari Italia bernama Vilfredo Pareto (1848-1923). Diagram pareto dibuat untuk menemukan masalah atau penyebab yang merupakan kunci dalam penyelesaian masalah dan perbandingan terhadap keseluruhan. Dengan mengetahui penyebab-penyebab yang dominan (yang seharusnya pertama kali diatasi) maka kita akan bisa menetapkan prioritas perbaikan. Perbaikan atau tindakan koreksi pada faktor penyebab yang dominan ini akan membawa akibat atau pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan penyelesaian penyebab yang tidak berarti.

Kegunaan dari diagram pareto adalah (Wignjosoebroto, 2006):

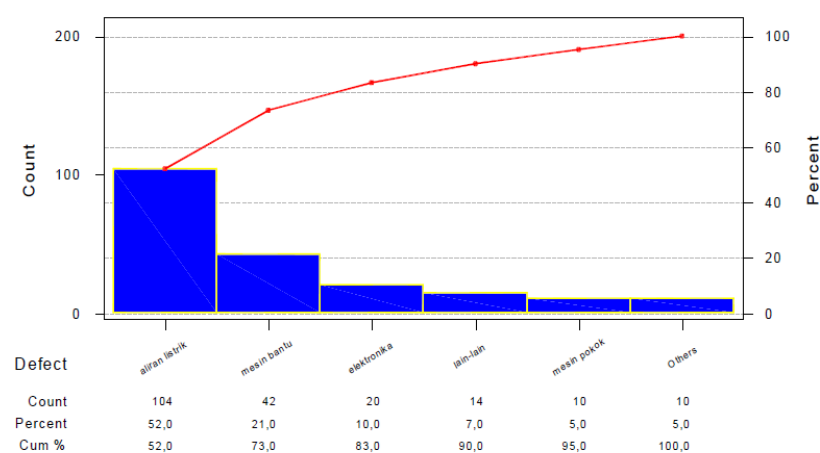
1. Menunjukkan persoalan utama yang dominan dan perlu segera diatasi.
2. Menyatakan perbandingan masing-masing persoalan yang ada dan kumulatif secara keseluruhan.
3. Menunjukkan tingkat perbaikan setelah tindakan koreksi dilakukan pada daerah yang terbatas.
4. Menunjukkan perbandingan masing-masing persoalan sebelum dan sesudah perbaikan.

Pembuatan diagram pareto terdiri dari beberapa langkah. Langkah-langkah pembuatan diagram pareto dapat dijelaskan sebagai berikut: (Wignjosoebroto, 2006)

1. Kelompokkan masalah yang ada dan nyatakan hal tersebut dalam angka yang bisa terukur secara kuantitatif.
2. Atur masing-masing penyebab atau masalah yang ada sesuai dengan pengelompokkan yang dibuat. Pengaturan dilaksanakan berurutan sesuai dengan besarnya nilai kuantitatif masing-masing. Selanjutnya gambarkan keadaan ini dalam bentuk grafik kolom. Penyebab nilai kuantitatif terkecil digambarkan paling kanan.
3. Buatlah grafik garis secara kumulatif (berdasarkan persentase penyimpangan) di atas grafik kolom ini. Grafik garis ini dimulai dari penyebab penyimpangan terbesar terus terkecil.

Berdasarkan langkah-langkah pembuatan diagram pareto tersebut di atas jelas bahwa secara sederhana dan mudah akan dapat digambarkan penyimpangan-penyimpangan mana yang cukup penting dan mendesak untuk segera diatasi. Diagram pareto merupakan langkah awal (berdasarkan skala prioritas) untuk melakukan perbaikan atau tindakan koreksi terhadap penyimpangan yang terjadi.

Dari uraian di atas, maka diagram Pareto dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2. Diagram Pareto  
(Sumber: Nasution, 2001)

## 2.12 Distribusi Kerusakan

Setiap mesin memiliki karakteristik kerusakan yang berbeda-beda. Sejumlah peralatan yang sama memiliki karakteristik yang berbeda jika dioperasikan pada keadaan lingkungan yang berbeda, bahkan bila sejumlah peralatan yang sama jika dioperasikan pada keadaan lingkungan yang samapun dapat memiliki karakteristik kerusakan yang berbeda. Keputusan yang berkaitan dengan masalah probabilitas seperti menentukan kapan melaksanakan perawatan pencegahan untuk suatu peralatan, membutuhkan informasi mengenai suatu saat atau waktu peralatan tersebut akan mencapai kondisi gagal atau rusak.

Transisi suatu peralatan dari kondisi baik ke gagal tidak bisa diketahui secara pasti waktunya, tetapi dapat diketahui informasi mengenai probabilitas terjadinya transisi tersebut pada waktu tertentu berdasarkan fungsi kerusakannya. Dalam menganalisis masalah perawatan mesin, sering digunakan beberapa jenis distribusi kerusakan dan perbaikan yang dapat memenuhi daerah-daerah pada berbagai fasa kerusakan mesin yaitu distribusi *Weibull*, distribusi Eksponensial, distribusi Normal dan distribusi Lognormal (Ebeling, 1997).

### 2.12.1 Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, atau probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Kerusakan yang terjadi secara acak biasanya akan mengikuti distribusi ini.

Distribusi ini dikenal luas dan banyak dipakai dalam perhitungan keandalan dan sesuai untuk menerangkan kerusakan peralatan yang disebabkan oleh komponennya. Parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah parameter  $\lambda$  yaitu rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi. Fungsi-fungsi kerusakan distribusi eksponensial adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

1. Fungsi kepadatan probabilitas

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

Dimana  $t > 0, \lambda > 0$

2. Fungsi distribusi kumulatif

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (2)$$

3. Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-\lambda t} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \dots\dots\dots (3)$$

4. Fungsi laju kerusakan

$$H(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \dots\dots\dots (4)$$

5. Nilai rata-rata dari distribusi eksponensial

$$MTBF = \int_0^{\infty} \exp[-\lambda t] dt = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (5)$$

6. Variansi ( $\sigma^2$ ) dan standar deviasi ( $\sigma$ ) adalah :

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} \left(t - \frac{1}{\lambda}\right)^2 \lambda^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda^2} \dots\dots\dots (6)$$

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :  $\lambda$  = Rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi

$t$  = Waktu

### 2.12.2 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull banyak digunakan dalam analisis keandalan terutama untuk menghitung umur komponen karena kemampuannya untuk mencakup tiga fasa kerusakan yang mungkin terjadi pada distribusi kerusakan mesin. Distribusi Weibull banyak digunakan dalam bentuk dua parameter,  $\theta$  untuk parameter skala (*scale*) dan  $\beta$  untuk parameter bentuk (*shape*).

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

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right] \dots\dots\dots (8)$$

2. Fungsi Distribusi Kumulatif

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

3. Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right] \dots\dots\dots (10)$$

4. Fungsi Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \dots\dots\dots (11)$$

5. Nilai Rata-Rata dari Distribusi *Weibull*

$$MTBF = \int_0^{\infty} \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right] t dt \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :  $\theta$  = Parameter skala (*scale*)

$\beta$  = Parameter bentuk (*shape*)

t = Waktu

Distribusi Weibull ini sering digunakan dalam menentukan tingkat laju kerusakan, yang menentukan hal ini adalah nilai parameter  $\beta$ , nilai ini berkaitan dengan laju kerusakan yang akan terjadi. Nilai-nilai  $\beta$  dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Nilai Parameter s Dalam Distribusi Weibull

Nilai	Laju Kerusakan
$0 < \beta < 1$	Pengurangan Laju Kerusakan (DFR)
$\beta = 1$	Distribusi Eksponensial (CFR)
$1 < \beta < 2$	Peningkatan Laju Kerusakan Konkaf
$\beta = 2$	Distribusi Rayleigh (IFR)
$\beta > 2$	Peningkatan Laju Kerusakan Konvek
$3 \leq \beta \leq 4$	Peningkatan Laju Kerusakan, Mendekati Distribusi Normal, Simetris

(Sumber: Ebeling, 1997)

Keterangan : IFR = *Increasing Failure Rate*

DFR = *Decreasing Failure Rate*

CFR = *Constant Failure Rate*

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

**2.12.3 Distribusi Normal**

Distribusi normal dapat digunakan untuk memodelkan fenomena keausan (kelelahan) dan fenomena *wear out* mesin. Di antara semua distribusi kontinyu karena banyak masalah yang kompleks dapat dibuat model dengan distribusi ini. Bentuk distribusi normal menyerupai lonceng sehingga memiliki nilai simetris terhadap nilai rata-rata. Parameter yang digunakan adalah  $\mu$  (nilai tengah) dan  $s$  (standar deviasi). Distribusi ini juga digunakan untuk menganalisis probabilitas lognormal. Fungsi-fungsi kerusakan distribusi normal sebagai berikut (Ebeling, 1997):

1. Fungsi kepadatan probabilitas

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \dots\dots\dots (13)$$

2. Fungsi distribusi kumulatif

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt = \left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (14)$$

3. Fungsi Keandalan

$$R(t) = \int_{-t}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt = 1 - \left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (15)$$

4. Fungsi Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} \dots\dots\dots (16)$$

5. Nilai Rata-Rata Dari Distribusi Normal

$$MTBF = Mean = \ln t_{med} \dots\dots\dots (17)$$

$$MTTR = Mean = \ln t_{med} \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan :  $\mu$  = nilai tengah

$s$  = standar deviasi

$t$  = Waktu

#### 2.12.4 Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal memiliki parameter bentuk (*shape parameter* =  $s$ ), dan parameter lokasi (*location parameter* =  $t$ ) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dimengerti hanya untuk nilai  $t$  positif dan lebih sesuai daripada distribusi normal dalam hal kerusakan, seperti halnya distribusi Weibull, lognormal ini dapat mempunyai berbagai bentuk. Seringkali dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi Weibull sesuai pula dengan distribusi lognormal. Fungsi-fungsi kerusakan distribusi dalam distribusi lognormal adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997) :

1. Fungsi kepadatan kemungkinan

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} \exp\left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{med}}\right)^2\right] \dots\dots\dots (19)$$

2. Nilai rata-rata pada distribusi Lognormal

$$MTBF = t_{med} \exp(s^2/2) \dots\dots\dots (20)$$

$$MTTR = t_{med} \exp(s^2/2) \dots\dots\dots (21)$$

3. Varians

$$\sigma^2 = t_{med}^2 \exp(s^2) [ \exp(s^2) - 1 ] \dots\dots\dots (22)$$

4. Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots (23)$$

5. Fungsi distribusi kumulatifnya adalah :

$$F(t) = \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots (24)$$

6. Laju kerusakannya adalah :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (25)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)} \dots\dots\dots (26)$$

Keterangan: s = Parameter bentuk  
t<sub>med</sub> = Parameter lokasi  
t = Waktu

### 2.13 Identifikasi Distribusi

Identifikasi distribusi dilakukan melalui dua tahap yaitu *Least Square Curve* dan *Goodness of Fit Test*.

#### 2.13.1 *Least Square Curve Fitting*

Metode ini digunakan untuk menghitung nilai *index of fit (r)*. Distribusi dengan nilai *r* yang terbesar akan dipilih untuk diuji dengan menggunakan *Goodness of Fit Test*.

Rumus umum yang terdapat dalam metode *Least Square Curve Fitting* adalah:

$$F(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4} \dots\dots\dots (27)$$

$$\text{Index of fit } (r) = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \dots\dots\dots (28)$$

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

1. untuk *Weibull*, Normal, dan Lognormal

$$b = \frac{n \sum x_i z_i - (\sum x_i \sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots\dots\dots (29)$$

2. Untuk Eksponensial

$$b = \frac{n \sum x_i z_i}{n \sum x_i^2} \dots\dots\dots (30)$$

$$\text{Intersep} = a = \bar{y} - \bar{b}x \dots\dots\dots (31)$$

Dalam menentukan distribusi yang hendak digunakan untuk menghitung MTBF, MTTR dan *reliability*, proses yang harus dilakukan adalah mencari nilai r untuk masing-masing distribusi sehingga didapatkan nilai terbesar yang kemudian akan diuji lagi menurut hipotesis distribusinya.

Rumus yang dimiliki masing-masing distribusi adalah:

1. Distribusi *Weibull*

$x_i = \ln t_i$  dimana  $t_i$  adalah data waktu ke- $i$

$$y_i = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right] \dots\dots\dots (32)$$

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

2. Distribusi Eksponensial

$x_i = t_i$  dimana  $t_i$  adalah data waktu ke- $i$

$$y_i = \ln \left( \frac{1}{1-F(t_i)} \right) \dots\dots\dots (33)$$

parameter :  $\lambda = b$

3. Distribusi Normal

$x_i = t_i$  dimana  $t_i$  adalah data waktu ke- $i$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \dots\dots\dots (34)$$

parameter :  $\sigma = \frac{1}{b}$  dan  $\mu = -\frac{a}{b}$

4. Distribusi Lognormal

$x_i = \ln t_i$  dimana  $t_i$  adalah data waktu ke- $i$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \dots\dots\dots (35)$$

Parameter :  $s = \frac{1}{b}$  dan  $t_{med} = e^{-sa}$

### 2.13.2 Goodness of Fit Test

Setelah perhitungan *index of fit* dilakukan maka tahap selanjutnya dilakukan pengujian *goodness of fit* untuk nilai *index of fit* yang terbesar. Uji ini dilakukan dengan membandingkan antara hipotesis nol ( $H_0$ ) yang menyatakan bahwa data kerusakan mengikuti distribusi pilihan dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan bahwa data kerusakan tidak mengikuti distribusi pilihan.

Pengujian yang dilakukan dalam *goodness of fit* ada tiga macam yaitu *Mann's Test* untuk distribusi *Weibull*, *Bartlett's Test* untuk distribusi eksponensial, dan *Kolmogorov-Smirnov* untuk distribusi normal dan lognormal.

#### 1. Mann's Test

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

$H_0$ : Data kerusakan berdistribusi *Weibull*

$H_1$ : Data kerusakan tidak berdistribusi *Weibull*

Uji statistiknya adalah:

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[ \frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{r-k_1-1} \left[ \frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]} \dots\dots\dots (36)$$

Dimana:

$$k_1 = \frac{r}{2}, k_2 = \frac{r-1}{2} \dots\dots\dots (37)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \dots\dots\dots (38)$$

$$Z_i = \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{i-0.5}{n+0.25} \right) \right] \dots\dots\dots (39)$$

Jika nilai  $M < M_{Tabel}$  maka  $H_0$  diterima. Nilai  $M_{Tabel}$  diperoleh dari tabel distribusi F dengan  $v_1 = k_1$  dan  $v_2 = k_2$ .

#### 2. Bartlett's Test

Menurut Ebeling, (1997) Hipotesis untuk melakukan uji ini adalah:

$H_0$ : Data kerusakan berdistribusi eksponensial

$H_1$ : Data kerusakan tidak berdistribusi eksponensial

Uji statistiknya adalah:

$$B = \frac{2r \left[ \ln \left\{ \left( \frac{1}{r} \right) \sum_{t=1}^r - \sum_{t=1}^r \ln t_i \right\} \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \dots\dots\dots (40)$$

$$\text{Nilai } \chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}, r-1} \dots\dots\dots (41)$$

$$\text{Nilai } \chi^2_{\frac{\alpha}{2}, r-1} \dots\dots\dots (42)$$

dimana:

$t_i$  = data waktu kerusakan ke- $i$

$r$  = jumlah kerusakan

$B$  = nilai uji statistik untuk uji *Barlett's Test*

$H_0$  diterima jika:

$$\text{Nilai } \chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}, r-1} < B < \text{Nilai } \chi^2_{\frac{\alpha}{2}, r-1}$$

### 3. *Kolmogorov-Smirnov Test*

Menurut Ebeling, (1997) Hipotesis untuk melakukan uji ini adalah:

$H_0$ : Data kerusakan berdistribusi normal atau lognormal

$H_1$ : Data kerusakan tidak berdistribusi normal dan lognormal

Uji statistiknya adalah :

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

dimana:

$$D_1 = \max_{i \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left( \frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} \dots\dots\dots (42)$$

$$D_2 = \max_{i \leq i \leq n} \left\{ \frac{1}{n} - \Phi \left( \frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} \dots\dots\dots (43)$$

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

$$S = \sqrt{\frac{\sum (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (45)$$

Keterangan:  $t_i$  = data waktu kerusakan ke- $i$

$s$  = standar deviasi

Jika  $D_{\text{Hitung}} < D_{\text{Tabel}}$  maka terima  $H_0$ . Nilai  $D_{\text{Tabel}}$  diperoleh dari tabel *critical value for Kolmogorov-Smirnov Test for normality*.

#### 2.14 *Mean Time Between Failure (MTBF)*

*Mean time to failure* merupakan rata – rata selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan. Perhitungan nilai MTBF untuk masing–masing distribusi adalah:

1. Distribusi weibull  

$$MTBF = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots (46)$$

2. Distribusi eksponensial  

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (47)$$

3. Distribusi Normal  

$$MTBF = \alpha \dots\dots\dots (48)$$

4. Distribusi Lognormal  

$$MTBF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \dots\dots\dots (49)$$

Dimana:  $t_{med}$  = waktu tengah perbaikan  
 $s$  = standar deviasi

2.15 *Mean Time To Repair* (MTTR)

Untuk dapat menghitung nilai rata – rata perbaikan, distribusi data untuk waktu perbaikan perlu diketahui terlebih dahulu. Pengujian untuk menentukan distribusi data dilakukan dengan cara seperti yang telah dijelaskan. Rumus yang digunakan untuk masing–masing distribusi adalah:

1. Distribusi weibull  

$$MTTR = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots (50)$$

2. Distribusi eksponensial  

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (51)$$

3. Distribusi Normal dan Lognormal  

$$MTTR = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \dots\dots\dots (52)$$

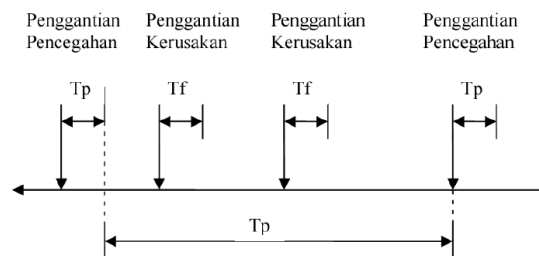
Dimana:  $t_{med}$  = waktu tengah perbaikan  
 $s$  = standar deviasi

## 2.16 Model Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Optimal Dengan Minimasi *Downtime* Mesin

Penggantian pencegahan dilakukan untuk menghindari terhentinya mesin akibat kerusakan komponen. Untuk melakukan tindakan perawatan ini, maka harus diketahui interval waktu antara tindakan penggantian ( $t_p$ ) yang optimal dari suatu komponen sehingga dicapai minimasi *downtime* yang maksimal.

### 1. *Block Replacement*

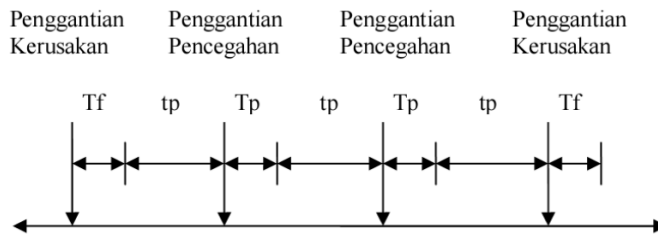
Pada model ini, tindakan penggantian dilakukan pada suatu interval waktu yang tetap. Jadi model ini bertujuan untuk menentukan interval waktu penggantian pencegahan optimal ( $t_p$ ) diantara penggantian pencegahan untuk meminimasi *downtime* per unit waktu. Model ini memungkinkan terjadinya penggantian dalam kurun waktu yang berdekatan, dimana komponen yang baru dipasang setelah penggantian kerusakan harus mengalami penggantian lagi pada saat tiba waktu penggantian pencegahan. Model *block replacement* lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Model *Block Replacement*  
(Sumber: Jardine, 1995)

### 2. *Age Replacement*

Pada model ini, tindakan penggantian pencegahan dilakukan pada saat pengoperasiannya sudah mencapai umur yang ditetapkan, yaitu sebesar  $t_p$ , jika dalam selang waktu  $t_p$  tidak terjadi kerusakan. Jika sistem mengalami kerusakan sebelum  $t_p$ , maka dilakukan penggantian sebagai tindakan korektif. Perhitungan umur tindakan penggantian  $t_p$  dimulai dari awal lagi dengan acuan dari waktu mulai beroperasinya sistem kembali setelah dilakukan tindakan perawatan korektif tersebut. Model *age replacement* lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Model Age Replacement  
(Sumber: Jardine, 1995)

Rumus yang digunakan dalam metode ini adalah :

$$D(tp) = \frac{\text{(total ekspektasi downtime per siklus)}}{\text{(ekspektasi panjang waktu siklus)}} \dots\dots\dots (53)$$

Total Ekspektasi Downtime per siklus (TEDS) =

$$Tp \cdot R(tp) + Tf \cdot (1 - R(Tp)) \dots\dots\dots (54)$$

Ekspektasi panjang waktu siklus (EPS) =

$$(tp + Tp) \cdot R(tp) + ((M(tp) + Tf)) \cdot (1 - R(tp)) \dots\dots\dots (55)$$

Dan total downtime per siklus yaitu :

$$D(tp) = \frac{Tp \cdot R(tp) + Tf(1 - R(tp))}{(tp + Tp) \cdot R(tp) + [M(tp) + Tf](1 - R(tp))} \dots\dots\dots (56)$$

dimana :

- Tp = Interval waktu tindakan penggantian pencegahan
- R(tp) = Probabilitas terjadinya siklus pencegahan
- Tf = Interval waktu tindakan perbaikan kerusakan
- (tp + Tp) = Panjang siklus pencegahan
- (1 - R(tp)) = Probabilitas terjadinya siklus kerusakan
- tp = Panjang interval waktu antara tindakan perawatan preventif
- (M(tp) + Tf) = Ekspektasi panjang siklus kerusakan

### 2.17 Interval Waktu Pemeriksaan

Dalam melaksanakan tindakan perawatan, selain melakukan penggantian juga diperlukan tindakan pemeriksaan (Jardine, 1995). Menurut Jardine laju kerusakan dipengaruhi oleh frekuensi pemeriksaan. Pemeriksaan dapat meningkatkan nilai MTBF dari suatu komponen atau mesin sehingga laju kerusakan dapat diperlambat dengan bertambah panjangnya rata-rata selang waktu antar satu kerusakan dengan kerusakan berikutnya Jardine (1995), yang harus

diingat adalah bahwa kegiatan pemeriksaan ini dapat meningkatkan availabilitas tetapi tidak dapat meningkatkan reliabilitas.

Kegiatan pemeriksaan dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi penggantian karena terjadinya kerusakan sebelum jadwal penggantian pencegahan yang direncanakan. Metode yang digunakan adalah minimasi *downtime* yang bertujuan untuk menentukan kebijaksanaan pemeriksaan dalam meminimasi total *Downtime* per unit waktu, yaitu *downtime* yang disebabkan oleh kerusakan dan adanya pemeriksaan.

Selain penggantian pencegahan maka pemeriksaan (inspeksi) juga diperlukan dalam *preventive maintenance* untuk meningkatkan *availability*. Tujuan dari inspeksi adalah untuk mencegah kegagalan yang tidak terdeteksi terutama pada saat mesin tidak beroperasi yang disebabkan oleh korosi atau kerusakan mekanik, yang harus diingat adalah bahwa inspeksi dapat meningkatkan *availability* tetapi tidak dapat meningkatkan reliabilitas. Model pemeriksaan (Jardine, 1995) :

1.  $\mu$  adalah waktu rata-rata perbaikan, diperoleh dari rata-rata jam kerja per bulandibagi dengan MTTR.
2.  $D(n)$  adalah *downtime* yang ditimbulkan oleh kegiatan penggantian perbaikan kerusakan per unit waktu ditambah dengan *downtime* yang ditimbulkan oleh kegiatan pemeriksaan per unit waktu.
3.  $X$  adalah frekuensi pemeriksaan optimal yang dilakukan. Harga  $x$  tersebut akan dapat meminimumkan harga  $D(n)$  sekaligus memaksimumkan tingkat ketersediaan (*availability*).
4. Langkah pertama dalam menentukan interval waktu pemeriksaan adalah dengan menghitung waktu produktif (jam kerja) dan jumlah kerusakan ( $k$ ) serta lamanya waktu pemeriksaan komponen ( $p$ ).
5. Rata-rata jam kerja per bulan ( $u$ ) =  $j/b$  ..... (57)
6. Waktu rata-rata perbaikan ( $\mu$ ) =  $u/MTTR$  ..... (58)
7. Jadi nilai ( $v$ ) =  $u/p$  ..... (59)
8. Rata-rata kerusakan selama satu bulan ( $w$ ) =  $k/b$  ..... (60)

$$9. \text{ Frekuensi pemeriksaan optimal } (n) = \sqrt{\frac{w \cdot v}{\mu}} \dots\dots\dots (61)$$

$$10. \text{ Interval waktu pemeriksaan } (y) = u/n \dots\dots\dots (62)$$

$$11. \text{ Nilai downtime } D(n) = \frac{w}{nx\mu} + \frac{n}{v} \dots\dots\dots (63)$$

$$12. \text{ Availability pemeriksaan } = 1 - D(n) \dots\dots\dots (64)$$

$$13. \text{ Availability total } (A) = A(tp) \times A(n) \dots\dots\dots (65)$$

2.18 Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Tanpa dan Dengan Tindakan Penggantian Pencegahan

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

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

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

Berikut ini terdapat model keandalan untuk masing-masing distribusi :

1. Distribusi Weibull

$$\text{Tanpa tindakan pencegahan: } R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right) \dots\dots\dots (66)$$

$$\text{Dengan tindakan pencegahan: } R(t-nT) = \exp\left(-\left(\frac{t-nT}{\theta}\right)^\beta\right) \dots\dots\dots (67)$$

$$R(T) = \exp\left(-\left(\frac{T}{\theta}\right)^\beta\right) \dots\dots\dots (68)$$

$$R_m(t) = R(T)^n \times R(t-nT) \dots\dots\dots (69)$$

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

$$\text{Peningkatan keandalan} = \frac{R_m(t) - R(t)}{R(t)} \times 100\% \dots\dots\dots (70)$$

2. Distribusi Normal

$$\text{Tanpa tindakan pencegahan: } R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (71)$$

$$\text{Dengan tindakan pencegahan: } R(t-nT) = 1 - \Phi\left(\frac{(t-nT)-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (72)$$

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

$$R_m(t) = R(T)^n \times R(t-nT) \dots\dots\dots (74)$$

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

$$\text{Peningkatan keandalan} = \frac{R_m(t) - R(t)}{R(t)} \times 100\% \dots\dots\dots (75)$$

### 3. Distribusi Lognormal

Tanpa tindakan pencegahan:  $R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots (76)$

Dengan tindakan pencegahan:  $R(t-nT) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t-nT}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots (77)$

$$R(T) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{T}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots (78)$$

$$R_m(t) = R(T)^n \times R(t-nT) \dots\dots\dots (79)$$

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

$$\text{Peningkatan keandalan} = \frac{R_m(t) - R(t)}{R(t)} \times 100\% \dots\dots\dots (80)$$

### 4. Distribusi eksponensial: $R(t) = \exp - \frac{\lambda}{t}$

Disini tidak dibutuhkan penggantian pencegahan karena laju kerusakannya konstan.

Untuk laju kerusakan yang konstan nilai

$$R(t) = (e^{-\lambda t}) \cdot e^{-\lambda(t-nT)} \dots\dots\dots (81)$$

$$R_m(t) = e^{-\lambda nt} \cdot e^{-\lambda t} \cdot e^{\lambda nt} = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (82)$$

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

Keterangan :

- t = waktu dilakukan perhitungan reliabilitas
- n = frekuensi perawatan pencegahan yang dilakukan.
- T = tp = interval waktu penggantian pencegahan kerusakan atau MTBF
- R<sub>m</sub>(t) = keandalan (*reliability*) dari sistem dengan perawatan pencegahan
- R(t) = keandalan sistem tanpa perawatan pencegahan
- R(T) = peluang dari keandalan hingga perawatan pencegahan pertama
- R(t-nT) = probabilitas keandalan untuk perawatan preventif terakhir

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian adalah cara berfikir dan berbuat yang dipersiapkan secara matang dalam rangka mencapai tujuan penelitian, yaitu menemukan, mengembangkan atau mengkaji kebenaran suatu pengetahuan secara ilmiah atau untuk pengujian hipotesis penelitian.

#### 3.1 Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan dengan tujuan untuk mengenal kondisi perusahaan dan mengidentifikasi masalah yang terjadi di perusahaan. Penelitian ini dilakukan di PT Kartika Multi Sarana dengan pengamatan langsung disertai dengan wawancara dengan pihak terkait.

#### 3.2 Studi Pustaka

Studi pustaka diperlukan untuk mendukung topik yang diteliti. Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pembelajaran terlebih dahulu mengenai teori-teori melalui buku teks dan sumber lainnya yang berkaitan dan sangat mendukung penelitian ini seperti jurnal.

#### 3.3 Perumusan Masalah

Dari pengamatan dilapangan maupun wawancara dengan staf perusahaan ditemukan bahwa adanya masalah pada mesin-mesin produksi yang terhenti akibat kerusakan. Untuk perumusan masalah komponen manakah pada mesin *injection molding* yang sering mengalami kerusakan pada PT Kartika Multi Sarana, berapa *reliability* (keandalan) pada mesin *injection molding*, kapan interval waktu pemeriksaan dan penggantian komponen yang sering rusak yang paling optimal.

#### 3.4 Tujuan Penelitian

Setelah melakukan identifikasi dan perumusan masalah, maka langkah selanjutnya adalah menentukan tujuan dari penelitian ini. Tujuan penelitian ini menentukan komponen pada mesin *injection molding* yang sering mengalami

kerusakan pada PT Kartika Multi Sarana, mengetahui *reliability* (keandalan) pada mesin *injection molding*, dan menghitung interval waktu pemeriksaan dan penggantian komponen yang sering rusak yang paling optimal.

### 3.5 Pengumpulan Data

Setiap data yang dikumpulkan, akan dilakukan pengolahan data. Hasil dari pengolahan data tersebut dapat digunakan untuk memberikan informasi sebagai dasar dalam melakukan analisis dan pemecahan masalah. Data yang dikumpulkan untuk diolah nantinya adalah sebagai berikut:

1. Data umum perusahaan
2. Data mesin-mesin produksi
3. Data kerusakan mesin *injection molding*
4. Data kerusakan komponen pada mesin *injection molding*
5. Data perbaikan komponen pada mesin *injection molding*

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian lapangan dan wawancara. Penelitian lapangan dilakukan di PT Kartika Multi Sarana pada divisi *injection*. Wawancara dilakukan dengan divisi *injection* yang bertanggung jawab melaksanakan *maintenance* terhadap mesin *injection molding*. Selain itu, wawancara ini juga dilakukan dengan karyawan dari divisi *injection* mengenai kondisi mesin *injection molding* dan permasalahan-permasalahan yang sering terjadi dalam pengoperasiannya.

### 3.6 Pengolahan Data

Pengolahan ini dilakukan menggunakan metode terpilih yang sesuai dengan permasalahan dan studi pustaka yang telah dilakukan sebelumnya. Sehingga melalui pengolahan data ini diharapkan dapat memecahkan permasalahan yang ada di perusahaan secara baik dan terencana. Adapun langkah-langkah dalam pengolahan data sebagai berikut:

1. Menentukan Mesin *Injection Molding* yang Kritis Menggunakan Diagram Pareto

Penentuan mesin *injection molding* yang kritis menggunakan diagram Pareto berdasarkan waktu kerusakan yang terbesar.

2. Menentukan Komponen Kritis dari Mesin Kritis

Komponen kritis adalah suatu komponen dari mesin kritis yang berkontribusi terhadap frekuensi kerusakan terbanyak dalam kurun waktu tertentu. Penentuan komponen kritis ini dengan menggunakan diagram Pareto untuk menentukan komponen yang menjadi komponen kritis berdasarkan waktu kerusakan komponen tersebut.

3. Menghitung *Time To Failure* dan *Time To Repair*

*Time to failure* tiap komponen kritis didapatkan dari menghitung selang waktu kerusakan sejak mesin selesai diperbaiki hingga terjadi kerusakan berikutnya. Untuk itu diperlukan informasi tanggal dan waktu terjadinya kerusakan hingga waktu selesai dilakukan perbaikan masing-masing komponen. Perhitungan selang waktu kerusakan dilakukan mulai 1 Juli 2015 hingga 31 Desember 2015 dengan menggunakan satuan waktu jam. Perhitungan waktu perbaikan *time to repair* merupakan lamanya waktu yang diperlukan untuk melakukan pemeriksaan, perbaikan ataupun penggantian komponen yang mengalami kerusakan hingga mesin tersebut dapat beroperasi kembali.

4. Penentuan Distribusi Kerusakan

Pengidentifikasian distribusi dari data waktu kerusakan dan data waktu perbaikan yang dimiliki dapat dilakukan dalam tiga tahapan proses, yang terdiri dari:

a. Identifikasi Distribusi

Identifikasi kandidat distribusi disebut juga identifikasi awal yang dapat dilakukan dengan dua cara, *probability plot* dan metode *Least-Square Curve Fitting* (LSCF). *Probability plot* digunakan bila jumlah sampel terlalu kecil atau data yang digunakan tidak lengkap. Dengan metode *least-square curve fitting*, distribusi yang terpilih adalah distribusi yang menghasilkan *index of fit* ( $r$ ) terbesar. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode *least-square curve fitting* karena lebih akurat dibandingkan *probability plot*.

b. *Goodness of Fit Test* (Uji Kesesuaian)

Langkah terakhir dalam pengidentifikasian distribusi adalah dengan melakukan uji statistik yaitu *goodness of fit test*. Uji ini membandingkan antara hipotesis nol ( $H_0$ ) yang menyatakan bahwa data mengikuti distribusi terpilih dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan bahwa data waktu tidak mengikuti distribusi terpilih.

5. Perhitungan *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) komponen kritis

MTBF merupakan selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan dimana rata-rata waktu ini merupakan nilai yang diharapkan (*expected value*) dari unit-unit identik yang beroperasi pada kondisi normal. MTTR merupakan rata-rata waktu perbaikan dari suatu komponen mengikuti distribusi kerusakan tertentu. Perhitungan MTBF dan MTTR tiap-tiap komponen menggunakan parameter yang telah dihitung sebelumnya dengan rumus sesuai distribusi kerusakan yang mengikutinya.

6. Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan

Penentuan interval waktu penggantian pencegahan dilakukan dengan menggunakan *age replacement model* dengan kriteria minimasi *downtime*.

7. Penentuan Interval Waktu Pemeriksaan

Selain penggantian pencegahan, juga perlu dilakukan tindakan pemeriksaan yang dilakukan secara berkala, dengan tujuan untuk meminimasi total kerusakan mesin. Dengan meminimasi total kerusakan mesin, maka jumlah kerusakan mesinpun dapat dikurangi.

8. Perhitungan *Realibility* (Keandalan) dengan *Preventive Maintenance* dan Tanpa *Preventive Maintenance*

Pada tahap ini dilakukan perbandingan *Realibility* dengan *preventive maintenance* dan tanpa *preventive maintenance*. Berdasarkan sistem yang ada peningkatan *reability* (keandalan) sering dicapai dengan program *preventive maintenance*. *Preventive maintenance* ini dapat mengurangi kerusakan karena usia yang sudah tua atau sudah saatnya mengalami kerusakan (*wear-out*) dan mempunyai pengaruh yang besar dalam umur ekonomis suatu peralatan dan

sistem. Diharapkan terjadi peningkatan reliabilitas mesin setelah diadakan *preventive maintenance* terhadap mesin tersebut.

### 3.7 Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data sehingga dapat menjawab tujuan dari penelitian ini. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini meliputi:

1. Analisis mesin *injection molding* yang kritis

Analisis ini dilakukan dengan menetapkan komponen mesin *injection molding* kritis yang akan diteliti.

2. Analisis komponen kritis pada mesin *injection molding*

Analisis ini dilakukan dengan menetapkan komponen kritis mesin kritis yang akan diteliti.

3. Analisis perhitungan *time to failure* dan *time to repair* komponen kritis

Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *time to failure* dan *time to repair* dari kerusakan yang diperoleh.

4. Analisis penentuan distribusi

Analisis ini dilakukan terhadap data *time to failure* dan *time to repair* apakah mengikuti suatu distribusi Weibull, eksponensial, normal atau lognormal.

5. Analisis perhitungan *mean time between failure* dan *mean time to repair*

Analisis ini dilakukan terhadap data kerusakan dan data perbaikan untuk menentukan nilai *mean time between failure* dan *mean time to repair*.

6. Analisis penetapan interval penggantian pencegahan

Dari nilai *mean time between failure* dan *mean time to repair* dilakukan perhitungan untuk dianalisis penetapan interval penggantian pencegahan dengan *age replacement model* dengan kriteria minimasi kerusakan.

7. Analisis penetapan interval pemeriksaan optimal

Analisis ini dilakukan untuk menetapkan interval pemeriksaan optimal.

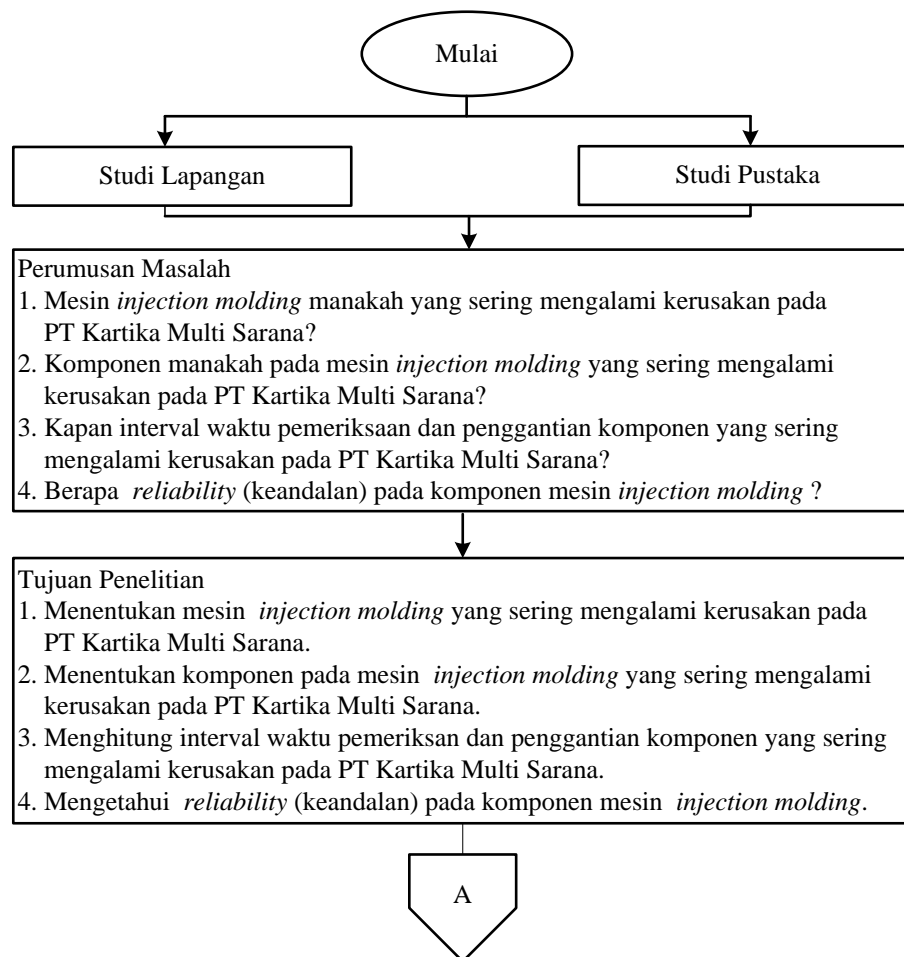
8. Analisis *reability* dengan *preventive maintenance* dan tanpa *preventive maintenance*

Dari perhitungan reliabilitas dengan *preventive maintenance* dan tanpa *preventive maintenance* dianalisis apakah ada peningkatan *reability*.

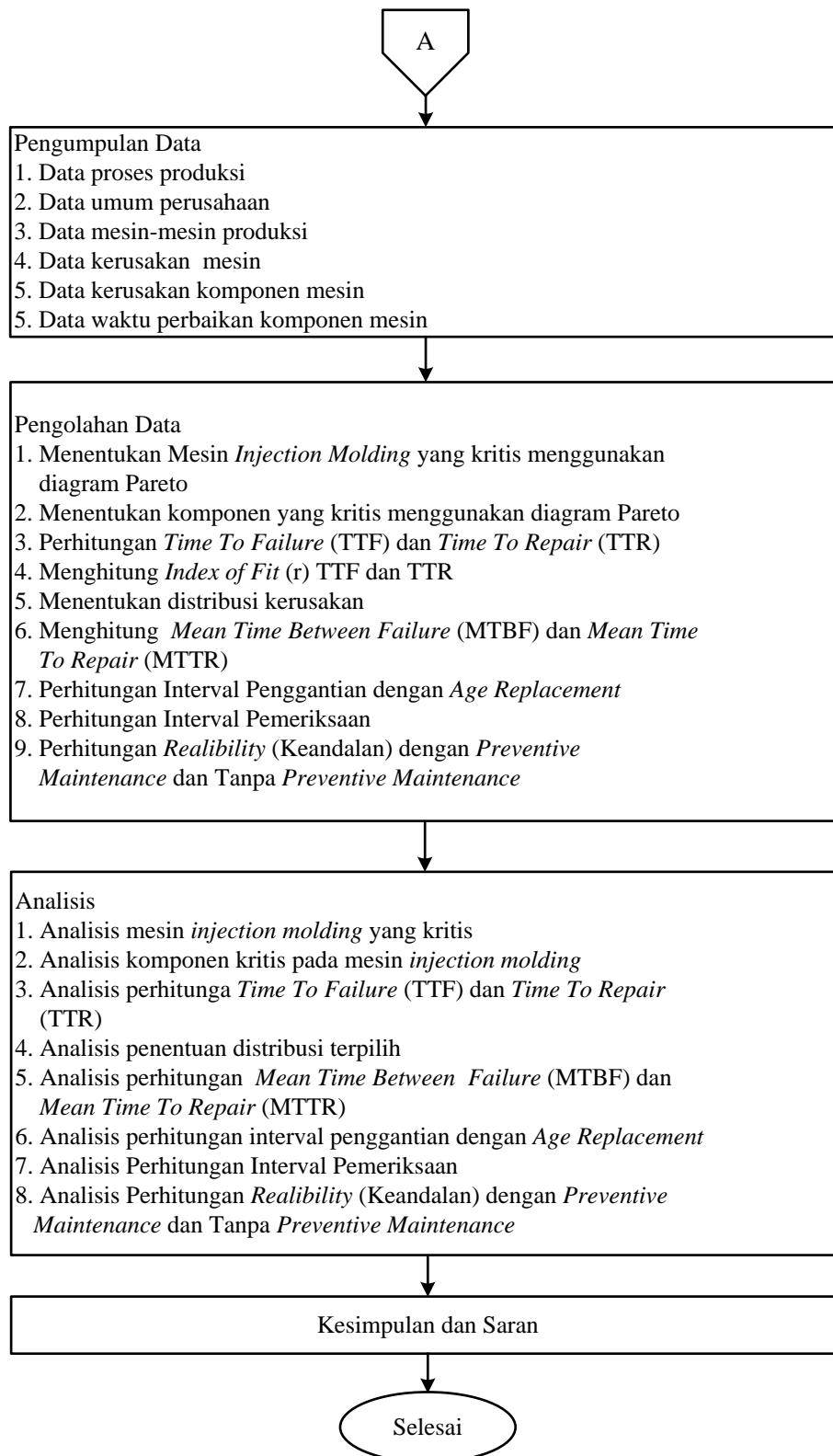
### 3.8 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran berisi tentang hasil analisis yang kemudian dirumuskan ke dalam beberapa kesimpulan. Kesimpulan akan digunakan untuk menjawab tujuan dari penelitian dan menyelesaikan permasalahan dari penelitian ini dan saran yang dapat dimanfaatkan sebagai masukan untuk perbaikan bagi perusahaan.

Berikut ini diagram alir pemecahan masalah dari metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pemecahan Masalah



Gambar 3.1 Diagram Alir Pemecahan Masalah Lanjutan

## **BAB IV**

### **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

#### 4.1 Pengumpulan Data

##### **4.1.1 Sejarah Umum PT Kartika Multi Sarana**

PT Kartika Multi Sarana adalah sebuah perusahaan yang bergerak dibidang industri plastik dan pembuatan *molding* (cetakan). Dikelola dengan baik oleh anak-anak Indonesia tanpa campur tangan orang asing. PT Kartika Multi Sarana Menggunakan teknologi yang dapat bersaing dengan perusahaan lainnya. Sehingga produk dari PT Kartika Multi Sarana tetap diminati oleh para pelanggannya, seperti Aksesoris Talang Air 1/2 Lingkaran dan Hidroponik.

PT Kartika Multi Sarana didirikan pada tahun 2012 sebagai perusahaan swasta yang terletak di kawasan industri Kartika Alas Utama atau dengan alamat Jl. LPPU Km. 3 Curug-Tangerang. Perusahaan ini didirikan oleh Pak Rahmat Setiawan. Beliau sebelumnya telah mendirikan sebuah perusahaan yang bernama perusahaan PT Kartika Alas Utama. PT Kartika Alas Utama merupakan perusahaan yang memproduksi *Anchor Bolt*, *U-Bolt*, *Torque Control Bolt* (TC-BOLT), *Bolt & Nut Standart*, *Stud Bolt*, *Clam Bolt*, *Clam Grating*, dan *Wire Mesh*.

Pada awalnya perusahaan hanya melakukan produksi Aksesoris Talang Air 1/2 Lingkaran dan Hidroponik. Namun, perusahaan melihat bahwa kebutuhan akan cetakan (*molding*) yang banyak kemudian untuk melakukan servis cetakan (*molding*) perusahaan tidak perlu keluar lagi. Maka dibentuk bagian baru pada perusahaan yaitu, bagian cetakan (*molding*). Dibentuknya bagian cetakan (*molding*) setelah perusahaan berjalan selama 2 tahun, yaitu sekitar 2014.

Dengan komitmen kualitas, sejak awal PT Kartika Multi Sarana selalu senantiasa mengedepankan kualitas dalam memenuhi kebutuhan pelanggan. Penggunaan bahan baku yang terbaik, mesin produksi yang optimal, dan konsisten adalah wujud komitmen dari PT Kartika Multi Sarana terhadap kualitas. Komitmen layanan pelanggan adalah salah satu prioritas utama kami. Perusahaan didirikan atas dasar komitmen keunggulan layanan. Kami berupaya memahami kebutuhan pelanggan dan merespon setiap permintaan secara proaktif. Dengan mengutamakan kepuasan pelanggan, kami memastikan pelanggan mendapat produk berkualitas dan layanan terbaik. Komitmen kami akan kualitas dan layanan adalah landasan untuk membangun tradisi keunggulan dan memberikan nilai tambah bagi pelanggan.

Untuk menunjang produktivitas dan kinerja perusahaan, maka peralatan yang digunakan oleh perusahaan adalah peralatan yang terbaik dan didukung dengan pelayanan servis yang memadai untuk mesin dan peralatannya.

PT Kartika Multi Sarana saat ini perusahaan yang fokus pada produk Aksesoris Talang Air 1/2 Lingkaran dan Hidroponik yang memiliki banyak konsumen. Untuk menjaga kepercayaan dari konsumen perusahaan melakukan perbaikan secara terus-menerus terhadap kualitas produk.

#### **1. Visi dan Misi Perusahaan**

Dalam menjalani bisnisnya, PT Kartika Multi Sarana tentu memiliki tujuan ataupun visi dan untuk mencapai visi tersebut diperlukanlah misi. Visi dan misi dari PT Kartika Multi Sarana adalah sebagai berikut:

a. Visi Perusahaan

Visi dari perusahaan PT Kartika Multi Sarana adalah:

- 1) Menyediakan lapangan pekerjaan bagi masyarakat
- 2) Menjadi perusahaan yang mempunyai reputasi baik
- 3) Membuat produk yang berkualitas
- 4) Terus mengembangkan produk yang telah ada

b. Misi Perusahaan

Misi PT Kartika Multi Sarana adalah :

- 1) Menjadi perusahaan pilihan bagi para pelanggan dan distributor
- 2) Menjadi perusahaan pilihan bagi karyawan
- 3) Menjadi perusahaan yang dipercaya dalam industri, terutama produk plastik Aksesoris Talang Air 1/2 Lingkaran dan Hidroponik.

## 2. Produk

PT Kartika Multi Sarana memproduksi produk Aksesoris Talang 1/2 Lingkar dan Hidroponik. Di bawah ini merupakan macam-macam produk dari PT Kartika Multi Sarana:

a. Aksesoris Talang 1/2 Lingkaran

Macam-macam produk dari Aksesoris Talang 1/2 Lingkar dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Produk Aksesoris Talang 1/2 Lingkaran

No.	Produk
1	Belokan Talang 6"
2	Belokan Talang 8"
3	Corong Talang 6"
4	Corong Talang 8"
5	Gantungan Talang 6"
6	Gantungan Talang 8"
7	Sambungan Talang 6"
8	Sambungan Talang 8"
9	Tutup Talang 6"
10	Tutup Talang 8"

(Sumber: Bagian Produksi PT Kartika Multi Sarana)

b. Aksesoris Talang Kotak

Macam-macam produk dari Aksesoris Talang Kotak dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Produk Aksesoris Talang Kotak

No.	Produk
1	Belokan Talang Kotak
2	Corong Talang Kotak
3	Gantungan Talang Kotak
4	Sambungan Talang Kotak
5	Tutup Talang Kotak

(Sumber: Bagian Produksi PT Kartika Multi Sarana)

c. Hidroponik

Macam-macam produk dari Hidroponik dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Produk Hidroponik

No.	Produk
1	Tutup Gully Atas Kotak Tanpa Lubang
2	Tutup Gully Atas Kotak Lubang
3	Tutup Gully Atas Oval
4	Nett Pot
5	Double L-Bow
6	Double Tee
7	L-Bow
8	Nett Pot 8 cm (Hitam)
9	Nett Pot 8 cm (Putih)
10	Sambungan Gully Oval
11	Sambungan Gully Kotak
12	Tutup Gully Samping Oval
13	Tutup Gully Samping Kotak
14	Knei Hidroponik
15	DOP

(Sumber: Bagian Produksi PT Kartika Multi Sarana)

Berikut ini merupakan produk dari aksesoris talang PT Kartika Multi Sarana dapat dilihat pada Gambar 4.1.

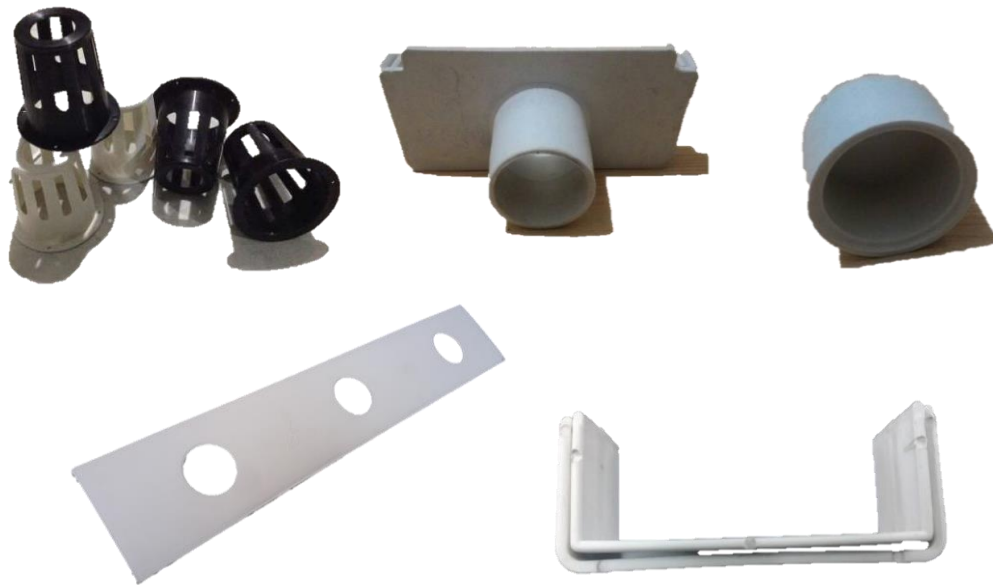


Gambar 4.1. Produk Aksesoris Talang Air  
(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)



Gambar 4.2. Produk Aksesoris Talang Air  
(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

Berikut ini adalah gambar dari produk hidroponik PT Kartika Multi Sarana, dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Produk hidroponik PT Kartika Multi Sarana  
(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

### 3. Konsumen Dari PT Kartika Multi Sarana

Konsumen merupakan penggerak yang akan menentukan keberlangsungan dari perusahaan itu. Untuk memuaskan konsumen setiap perusahaan berusaha untuk selalu memenuhi keinginan dari konsumen. Usaha dari perusahaan salah satunya dengan perbaikan secara terus-menerus. Konsumen dari dari PT Kartika Multi Sarana dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Konsumen PT Kartika Multi Sarana

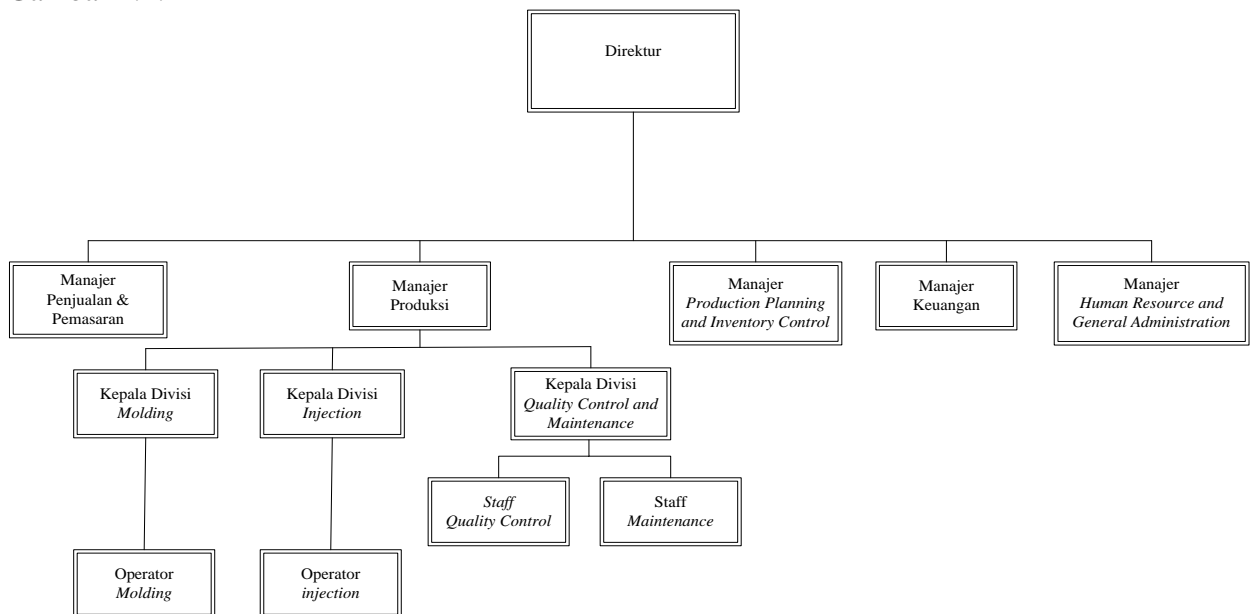
No.	Konsumen	Lokasi
1	PT Adyatama Ratangga Kartijasa	Tangerang
2	PT Jaya Mandiri Mould	Tangerang
3	PT Padu Mitra Jaya	Tangerang
4	PT Niat Tata Laksana	Tangerang
5	PT Sinar Daku	Tangerang
6	PT Kencana Mulia Plastikindo	Tangerang
7	CV Bina Alam Lestari	Tangerang
8	CV Karya Mandiri	Tangerang
9	Mitra masa	Jakarta
10	Sinar Cengkareng	Jakarta
11	Surya Binar Gemilang	Bogor
12	Sinar Daku	Tangerang
13	Bintang Inti	Tangerang
14	Menara Wijaya	Tangerang
15	Makmur Abadi	Jakarta
16	Sinar Elok	Jakarta

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

#### 4. Struktur Organisasi

Struktur organisasi dalam suatu perusahaan memiliki arti yang sangat penting sebagai alat untuk mencapai tujuan perusahaan, yaitu mengatur tugas, tanggung jawab, wewenang pada setiap bagian dan mengontrol jalannya operasional perusahaan sesuai dengan tujuan yang telah disepakati sehingga tidak terjadi penyimpangan sehingga perusahaan dapat berjalan dengan baik.

Struktur organisasi dari PT Kartika Multi Sarana dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Struktur Organisasi  
(Sumber: Bagian HRD PT Kartika Multi Sarana)

#### 5. Deskripsi Tugas

Untuk deskripsi tugas pada PT Kartika Multi Sarana dibagi menjadi lima bagian terpenting yaitu, bagian pemasaran dan penjualan, bagian produksi, bagian PPIC, bagian keuangan, dan bagian HRD dan administrasi umum. Berikut adalah penjabaran dari tugas-tugas per bagian.

1. Direktur yaitu, yang menjabat sebagai wakil dari pemilik dari perusahaan tersebut atau beliau yang di tugaskan untuk menjalankan lajunya perusahaan tersebut.
2. Manajer pemasaran dan penjualan yaitu, memiliki wewenang untuk mengatur serta bertanggung jawab terhadap pemasaran produk dan bagaimana menjual produk ke konsumen.
3. Manajer produksi yaitu,
  - 1) Bertugas untuk menjalankan produksi serta bertanggung jawab atas hasil produksi.

- 2) Melakukan perencanaan dan pengorganisasian jadwal produksi.
- 3) Melakukan pengawasan proses produksi.
- 4) Mengorganisir perbaikan dan pemeliharaan rutin peralatan produksi.
- 5) Menentukan standar kontrol kualitas produk.

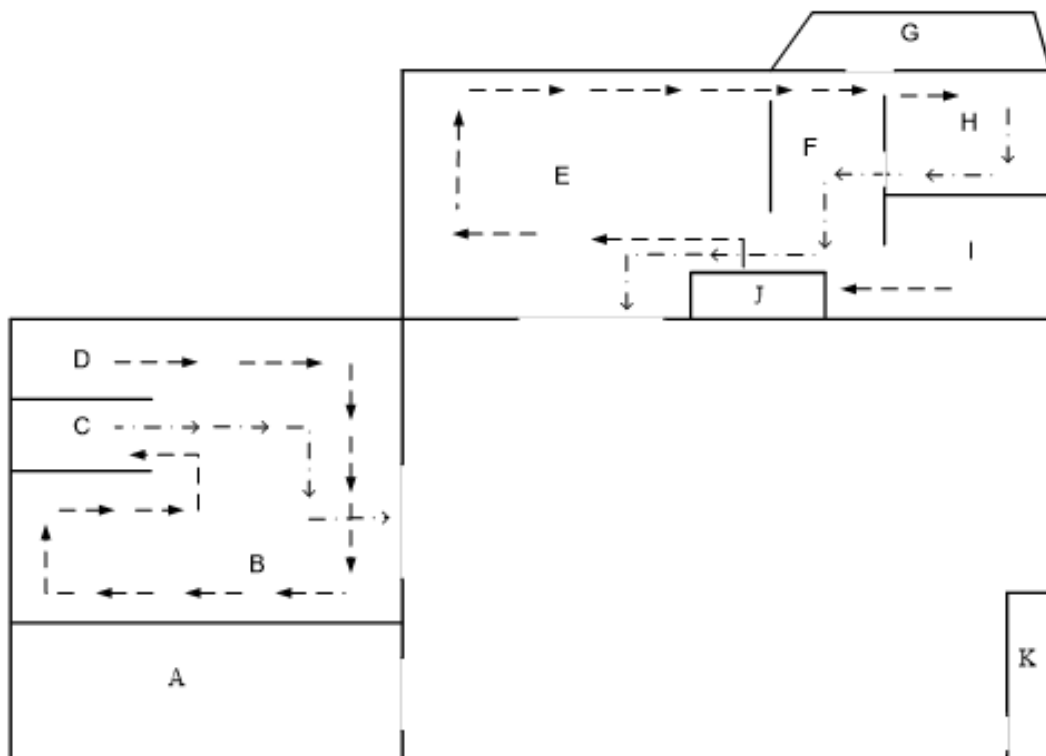
Bagian ini membawahi beberapa bagian, yaitu:

4. Divisi *Mold* yaitu, bertugas untuk pengerjaan *mold* (cetakan) dan perbaikan cetakan pada divisi *injection*.
5. Divisi *Injection* yaitu, bertugas pada bagian produksi utama dalam perusahaan untuk memproduksi produk dari PT Kartika Multi Sarana.
6. Divisi *Quality Control* dan *Maintenance* membawahi beberapa bagian, yaitu
  - 1) *Quality Control*
    - a) Memantau perkembangan semua produk yang diproduksi oleh perusahaan.
    - b) Bertanggung jawab untuk memperoleh kualitas dalam produk dan jasa perusahaannya.
    - c) Memonitor setiap proses yang terlibat dalam produksi produk.
    - d) Memastikan kualitas barang yang dibeli serta barang jadi.
    - e) Merekomendasikan pengolahan ulang produk-produk berkualitas rendah.
    - f) Bertanggung jawab untuk dokumentasi inspeksi dan tes yang dilakukan pada produk dari sebuah perusahaan.
  - 2) *Maintenance* yaitu, bertugas membuat periode-periode perawatan dan memberikan perbaikan secara berkala pada produksi.
7. Manajer *Production Planning and Inventory Control* (PPIC)
  - 1) Mengkoordinir perhitungan kebutuhan bahan baku produksi dan tenaga kerja.
  - 2) Mengkoordinir penjadwalan kedatangan bahan baku jika dibutuhkan secara bertahap.
  - 3) Melakukan analisis harga jual produk.
8. Manajer *Human Resources Development* (HRD)

- 1) Melakukan evaluasi dan penyusunan struktur organisasi dan deskripsi pekerjaan guna mendukung pencapaian tujuan perusahaan.
- 2) Melakukan evaluasi dan penyusunan *Standard Operation Procedure* (SOP) kerja sesuai deskripsi pekerjaan yang telah ditetapkan.
- 3) Melakukan evaluasi dan penyusunan standar kualifikasi pekerjaan yang sesuai dengan kebutuhan perusahaan.
- 4) Melakukan evaluasi dan analisis kompetensi dan kualifikasi pekerjaan yang sesuai dengan posisi, tugas dan tanggung jawabnya.
- 5) Melakukan verifikasi kebutuhan atau permintaan sumber daya manusia dari *user* yang disampaikan ke bagian Personalia agar sesuai dengan standar kompetensi dan kualifikasi pekerjaan.
- 6) Melakukan bimbingan yang intensif kepada staf yang baru mengenai fungsi dan tugas pokok bagian *Human Resources development* (HRD) dan pemberian tugas yang dipantau secara berkala.

## 6. Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik dari PT Kartika Multi Sarana dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Tata Letak Pabrik PT Kartika Multi Sarana

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

Keterangan:

- A. Kantor
  - B. Mesin CNC dan Bubut
  - C. Gudang Produk Jadi ( *mold*)
  - D. Gudang Bahan Baku
  - E. Mesin  *injection molding*
  - F.  *Finishing & Packing*
  - G. Oli & Peralatan
  - H. Gudang Produk Jadi
  - I. Gudang Bahan Baku
  - J. Mesin  *Mixer Plastic & Plastic Crusher*
  - K. Keamanan
- -- → : Aliran Bahan Baku  
- · - → : Aliran Produk Jadi

## 7. Tenaga Kerja

Tenaga kerja adalah orang-orang yang terlibat dalam proses produksi yang menggunakan tenaga dan pikirannya untuk melakukan proses produksi. Tenaga kerja merupakan salah satu faktor produksi.

Tenaga kerja pada PT Kartika Multi Sarana dibagi menjadi dua bagian menurut jenis pekerjaannya, yaitu:

a. Tenaga Kerja Langsung

Tenaga kerja langsung yaitu tenaga kerja yang secara langsung turun ke penanganan proses produksi, misalnya operator dan teknisi.

b. Tenaga Kerja Tidak Langsung

Tenaga kerja tidak langsung yaitu tenaga kerja yang tidak turun langsung dalam penanganan proses produksi, misalnya karyawan bagian pemasaran, keuangan dan lain-lain.

Jumlah tenaga kerja pada PT Kartika Multi Sarana dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Jumlah Tenaga Kerja

No.	Jenis Tenaga Kerja	Jumlah
1	Tenaga Kerja Langsung	55 Orang

Lanjut...

Tabel 4.5 Jumlah Tenaga Kerja Lanjutan

No.	Jenis Tenaga Kerja	Jumlah
2	Tenaga Kerja Tidak Langsung	13 Orang
	Total	68 Orang

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

a. Hari Kerja dan Jam Kerja

Salah satu faktor produksi yang diperlukan untuk suatu perusahaan adalah karyawan. Tenaga kerja di sini harus mematuhi peraturan yang telah menjadi persyaratan dalam perusahaan. Adapun waktu jam kerja yaitu 8 jam perhari dan 40 jam seminggu.

1) Jam Kerja Kantor

Pada bagian kantor memiliki jam kerja yang berbeda dengan bagian pabrik. Jam kantor mulai dari jam delapan sedangkan pabrik mulai dari jam tujuh. Kemudian untuk kantor tidak menggunakan *shift* kerja, hanya ada satu *shift*. Jam kerja untuk kantor dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Jam Kerja Kantor

Senin-Kamis	Jumat	Keterangan
08.00-08.05	08.00-08.05	<i>Meeting</i> awal
08.05-12.00	08.05-11.30	Kerja
12.00-13.00	11.30-13.00	<i>Break</i>
13.00-16.00	13.00-16.00	Kerja

(Sumber: Hasil Pengumpulan Data)

2) Jam Kerja Pabrik

Pada jam kerja pabrik diberlakukan masuk pada pukul 07.00 dan selesai pada pukul 15.00, dengan memberlakukan dua *shift* dalam satu harinya. Jam kerja pabrik *shift* satu dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Jam Kerja Pabrik  
Shift1 (Waktu Normal)

Senin-Kamis	Jumat	Keterangan
07.00-07.05	07.00-07.05	<i>Meeting</i> awal
07.05-10.00	07.35-10.00	Kerja
10.00-10.05	10.00-10.05	<i>Break</i>

Lanjut...

Tabel 4.7 Jam Kerja Pabrik Lanjutan  
Shift1 (Waktu Normal)

Senin-Kamis	Jumat	Keterangan
10.05-12.00	10.05-11.30	Kerja
12.00-13.00	11.30-13.00	<i>Break</i>
13.00-14.50	13.00-14.50	Kerja
14.50-15.00	14.55-15.00	<i>Cleaning</i>

(Sumber: Hasil Pengumpulan Data)

Jam kerja pabrik *shift* dua dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Jam Kerja Pabrik *Shift* 2  
*Shift*2 (Waktu Normal)

Senin-Jumat	Keterangan
15.00-15.05	<i>Meeting</i> awal
15.05-18.00	Kerja

18.00-19.00	<i>Break</i>
19.00-21.30	Kerja
21.30-21.35	<i>Break</i>
21.35-22.50	Kerja
22.50-23.00	<i>Cleaning</i>

(Sumber: Hasil Pengumpulan Data)

#### b. Kesejahteraan Karyawan

Dalam perusahaan tentu saja karyawan merupakan aset yang berharga, PT Kartika Multi Sarana menyadari hal itu, dengan melakukan upaya-upaya agar tenaga kerjanya merasa sejahtera maka diberlakukan kebijakan-kebijakan dalam meningkatkan kesejahteraan karyawan di antaranya :

- 1) Mendapat upah pokok
- 2) Mendapat upah lembur
- 3) Mendapatkan tunjangan hari raya
- 4) Tunjangan uang pengobatan
- 5) Mendirikan fasilitas kesehatan
- 6) Memberikan dana pensiun
- 7) Memberikan sumbangan kedukaan bagian karyawan yang menderita musibah
- 8) Sumbangan perkawinan
- 9) Tunjangan kelahiran
- 10) Menyediakan fasilitas ibadah
- 11) Penghargaan
- 12) Pemberlakuan cuti

#### c. Keselamatan Kerja

PT Kartika Multi Sarana memberikan fasilitas keselamatan kerja untuk setiap tenaga kerja, khususnya untuk tenaga kerja produksi yang bekerja secara langsung di lantai produksi. Fasilitas keselamatan kerja yang disediakan perusahaan antara lain adalah :

- 1) *Masker*
- 2) *Safety shoes*
- 3) *Ear plug*

#### 4.1.2 Proses Produksi

Proses produksi yang akan dilalui bahan baku hingga menjadi produk yang mempunyai nilai tambah untuk konsumen. Memiliki empat tahap, berikut tahap-tahap produksi:

##### 1. Pencampuran (*Mixing Process*)

Pada tahap ini mesin yang digunakan adalah mesin *plastic mixer*. Pencampuran merupakan mencampur bahan baku yang berbeda menjadi satu. Bahan baku berupa bijih plastik, titanium, *pigmen* dan kalsium.

Tujuan pencampuran :

- a. Menghasilkan campuran bahan dengan komposisi tertentu dan *homogen*.
- b. Menghasilkan bahan setengah jadi agar mudah diolah pada proses selanjutnya atau menghasilkan produk akhir yang baik.

##### 2. Pelelehan Bijih Plastik (*thermoplastic*)

Pada tahap ini mesin yang digunakan adalah mesin *injection molding*. *thermoplastic* merupakan memasak bijih plastik sehingga dapat diinjeksikan ke cetakan sesuai dengan bentuk yang diinginkan.

- a. Bijih plastik dimuat ke *hopper* (tempat bahan baku), dengan gravitasi dimasukkan ke *barrel*. Pada *barrel* terdapat *screw* untuk mendorong bijih plastik yang telah meleleh.
- b. Injeksi pengisian (*fill injection*), setelah dipastikan *mold* dihimpit dengan tekanan tinggi. Maka Unit Injeksi yang terdiri dari *nozzle*, *barrel* dan *screw*. Bergerak mendekati *mold* hingga *nozzle* bersentuhan dengan *mold*, dengan tekanan tinggi (Hingga 100 kg/cm<sup>2</sup>). Bagian *mold* yang bersentuhan langsung dengan *nozzle* disebut *sprue bush*. Kemudian mesin melakukan proses injeksi pengisian, yaitu menyuntikkan plastik cair ke dalam *mold*.
- c. Membuka cetakan (*mold open*), membuka dengan cepat dengan posisi yang memungkinkan setelah lepas dari gesekan antara *core* dan *cavity*, hal ini juga untuk menghemat waktu proses. *Ejector* mendorong produk dari sisi *core* agar mudah diambil, tentu saja produk harus menempel pada sisi *core* ketika cetakan terbuka, dan bukan menempel pada sisi *cavity*. Walaupun bisa saja dibuat produk nya menempel pada sisi *cavity*, tentu aja dengan pertimbangan produk dan desain cetakan yang dirancang demikian. Proses *ejection* ini pun terdapat parameter

yang dapat kita atur, seperti jarak, tekanan hidroliknya, kecepatan, dan berapa kali mendorongnya. Parameter ini tentu saja tergantung kebutuhan dan bentuk produknya.

Satu siklus proses injeksi plastik telah selesai, atau juga biasa di sebut 1 *Shot*. Dalam keadaan operasi *full auto* dengan menggunakan operator sebagai pengambil produk, maka akan kembali ke proses 1 yaitu menutup cetakan dan seterusnya berulang-ulang, atau terus menerus hingga bijih plastik habis atau diproduksi untuk menghasilkan jumlah produk sesuai dengan kebutuhan.

### 3. *Finishing*

Pada tahap ini produk telah menjadi produk jadi, namun pada tahap injeksi di mesin *injection molding* masih terdapat produk yang kurang baik. Diperlukan perbaikan untuk produk yang baik sampai ke konsumen. Perbaikan yang dilakukan seperti, membersihkan pinggiran produk dari *flash*. *Flash* merupakan bahan baku berlebih yang terdapat pada pinggiran produk.

### 4. *Packing*

Setelah *finishing* produk dilakukan tahap berikutnya yaitu *packing*. *Packing* dilakukan untuk menjaga kualitas produk dari perusahaan hingga sampai ke tangan konsumen dan memudahkan perusahaan dalam menentukan kuantitas dalam pendistribusiannya.

## 4.1.3 Mesin-mesin Yang Dipergunakan Pada Divisi *Injection*

Suatu proses produksi pada perusahaan terdapat mesin dan operator yang digunakan untuk menjalankannya. Pada produksi terdapat delapan mesin yang digunakan yaitu, empat mesin *injection molding*, dua mesin *mixer plastic*, satu *plstic crusher* dan satu *hopper dryer*. Mesin-mesin tersebut adalah sebagai berikut:

### 1. Mesin *Injection Molding*

Mesin *injection molding* adalah mesin yang menggunakan metode pembentukan material termoplastik di mana *material* yang meleleh karena pemanasan diinjeksikan oleh plunger ke dalam cetakan yang didinginkan oleh air sehingga mengeras. Mesin ini berfungsi sebagai mesin yang penting pada proses produksi, karena pada mesin ini bahan baku atau material bijih plastik dan bahan lainnya diubah menjadi produk yang memiliki nilai tambah dari sebelumnya.

Terdapat empat mesin *injection molding* yang dipergunakan untuk memproduksi aksesoris talang dan hidroponik pada divisi *injection*. Spesifikasi mesin *injection molding* dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Spesifikasi Mesin *Injection Molding*

SPEKIFIKASI : TYPE	HATTIAN 350 TON	TOSHIBA 220	JSW 100 TON	FUTASHIN 100 TON
SCREW DIAMETER	Φ 75	Φ 50	Φ 40	Φ 40
THEORITICAL SHOT VOLUME	480 cm	350 cm	250 cm	210 cm
ACTUAL SHOT WEIGNT (PS)	1400 gr	280 gr	180 gr	150 gr
INJECTION PRESSURE	360 mpa	300 mpa	200 mpa	180 mpa
SCREW L:D (RATIO)	22.6:1	25.5:1	20.01	20.01
SCREW SPEED	170	200	190	190
SCREW STROKE	240	220	200	190

Lanjut...

Tabel 4.9 Spesifikasi Mesin *Injection Molding* Lanjutan

CLAMPING UNIT				
CLAMPING MODE	Double Toggle	Dairek	Double Toggle	Double Toggle
CLAMPING FORCE	500 mm	400 mm	350 mm	260 mm
OPENING STROKE	480 mm	500 mm	400 mm	350 mm
PLATEN SIZE	800x800	700x700	500x500	400x400
MOLD THICKNESS (MIN/MAX)	250 mm - 450 mm	200 mm - 450 mm	180 mm - 350 mm	150 mm - 300 mm
HYDRAULIC EJECTION STROKE	150 mm	140 mm	120 mm	100 mm

GENERAL UNIT				
DRY CYLCLE TIME				
TANK VOLUME	500 lt	450 lt	250 lt	200 lt
MACHINE DIMENSION	6m x 1,2m x 1,m	6m x 1m x 1,7m	4m x 1m x 1m	4m x 0,8m x 1,65m
MACHINE WEIGHT (DRY)	4500 kg	4000 kg	2500 kg	1500 kg

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

Terdapat empat gambar untuk masing-masing tipe pada mesin *injection molding*.

Gambar untuk masing-masing mesin *injection molding* adalah sebagai berikut:

- a. Mesin *injection molding* Hattian 350 ton. Dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Mesin *injection molding* Hattian 350 Ton

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

- b. Mesin *injection molding* Toshiba 220 ton. Dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Mesin *injection molding* Toshiba 220 Ton  
(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

- c. Mesin *injection molding* JSW 100 ton. Dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Mesin *injection molding* JSW 100 Ton  
(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

- d. Mesin *injection molding* Futashin 100 ton. Dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Mesin *injection molding* Futashin 100 Ton  
(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

2. Mesin *Plastic Mixer*

Mesin *plastic mixer* adalah mesin yang mencampur bahan baku seperti, bijih plastik, titanium, kalsium dan pigmen. Pada mesin ini menghasilkan bahan baku yang siap untuk tahap berikutnya pada mesin *injection molding*. Terdapat dua mesin *plastic mixer* pada divisi *injection*.

- a. Spesifikasi mesin *plastic mixer*. Dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Spesifikasi Mesin *Plastic Mixer*

SPESIFIKASI		
Model	SHHZ-100	SHHZ-200
<i>Design Volume</i>	100	100
<i>Capacity</i>	20-50 Kg	40-100 Kg



### Spesifikasi Mesin *Plastic Crusher*

Dimensi	1 m x 0,7 m x 1,2 m
Kapasitas	500-700 kg/hari
Motor	7 HP
Pisau	12 Inchi
Jenis Pisau	PLATPER/S45C
Tebal Pisau	20 mm
Jumlah Pisau	5 pcs
Plat hoper	2 mm
As Diameter	60 mm

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

Mesin *plastic crusher*. Dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Mesin *Plastic Crusher* HY300

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

#### 4. Mesin *Hopper Dryer*

Mesin *hopper dryer* adalah mesin yang mengeringkan bijih plastik yang lembab karena penyimpanan yang terlalu lama. Spesifikasi mesin *hopper dryer* dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Spesifikasi Mesin *Hopper Dryer*

#### Spesifikasi Mesin *Hopper Dryer*

<i>Type</i>	THD-502
<i>Series</i>	3-110868
<i>Date</i>	1994
<i>Heater</i>	3900 W
<i>Motor</i>	200 W
<i>Source</i>	380 V

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

Mesin *hopper dryer*. Dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Mesin *Hopper Dryer* THD-502  
(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

#### 4.1.4 Data Kerusakan

##### 1. Data Kerusakan Mesin *Injection Molding*

Data kerusakan ini terjadi pada Juli sampai Desember 2016 pada PT Kartika Multi Sarana dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Kerusakan Mesin *Injection molding*

No.	Mesin	Total Kerusakan (Menit)
1	Hattian 350 Ton	1.095
2	Toshiba 220 Ton	2.195
3	JSW 100 Ton	1.205
4	Futashin 100 Ton	1.175
<b>Total</b>		<b>5.670</b>

(Sumber: Hasil Pengumpulan Data)

##### 2. Data Kerusakan Komponen Mesin *Injection Molding* Toshiba 220 Ton

Berikut ini merupakan data kerusakan mesin *injection molding* dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Kerusakan Komponen Mesin *Injection Molding*

No.	Nama Komponen	Frekuensi Kerusakan	Total Kerusakan (Menit)
1	<i>Oil Seal</i>	9	670
2	<i>Screw</i>	1	225
3	<i>Nozzle</i>	25	1.170
4	<i>Hydrolic</i>	1	130
<b>Total</b>		<b>36</b>	<b>2.195</b>

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

Berikut ini merupakan waktu kerusakan untuk masing-masing komponen pada mesin *injection molding* Toshiba 220 Ton. Kerusakan komponen *oil seal* pada mesin *injection molding* Toshiba 220 Ton dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Kerusakan Komponen *Oil Seal* Mesin *Injection Molding*

No.	Tanggal	Waktu Kerusakan
-----	---------	-----------------

		<b>Menit</b>	<b>Jam</b>
1	10-Jul-15	45	0,750
2	5-Aug-15	55	0,917
3	26-Aug-15	40	0,667
4	2-Sep-15	60	1,000
5	22-Sep-15	130	2,167
6	13-Oct-15	90	1,500
7	9-Nov-15	70	1,167
8	19-Nov-15	105	1,750
9	8-Dec-15	75	1,250
Total		670	11,168

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

Kerusakan komponen *screw* pada mesin *injection molding* Toshiba 220 Ton dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Kerusakan Komponen *Screw* Mesin *Injection Molding*

<b>No.</b>	<b>Tanggal</b>	<b>Waktu Kerusakan</b>	
		<b>Menit</b>	<b>Jam</b>
1	20-Aug-15	225	3,750

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

Kerusakan komponen *nozzle* pada mesin *injection molding* Toshiba 220 Ton dapat dilihat pada Tabel 4. 17.

Tabel 4.17 Kerusakan Komponen *Nozzle* Mesin *Injection Molding*

<b>No.</b>	<b>Tanggal</b>	<b>Waktu Kerusakan</b>	
		<b>Menit</b>	<b>Jam</b>
1	1-Jul-15	10	0,167
2	7-Jul-15	25	0,417
3	10-Jul-15	15	0,250
4	3-Aug-15	165	2,750
5	7-Aug-15	10	0,167
6	11-Aug-15	105	1,750
7	27-Aug-15	20	0,333
8	8-Sep-15	25	0,417
9	11-Sep-15	15	0,250
10	18-Sep-15	15	0,250
11	23-Sep-15	90	1,500
12	29-Sep-15	10	0,167
13	6-Oct-15	20	0,333
14	8-Oct-15	25	0,417
15	12-Oct-15	240	4,000
16	13-Oct-15	25	0,417

17	21-Oct-15	10	0,167
18	3-Nov-15	130	2,167
19	5-Nov-15	15	0,250
20	10-Nov-15	20	0,333
21	13-Nov-15	60	1,000
22	17-Nov-15	20	0,333
23	1-Dec-15	45	0,750
24	4-Dec-15	30	0,500
25	9-Dec-15	25	0,417
Total		1.170	19,502

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

Kerusakan komponen *hydraulic* pada mesin *injection molding* Toshiba 220 Ton dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Kerusakan Komponen *Hydraulic* Mesin *Injection Molding*

No.	Tanggal	Waktu Kerusakan	
		Menit	Jam
1	17-Dec-15	130	2,167

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

## 4.2 Pengolahan Data

Setelah melakukan proses pengumpulan data, langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan data berdasarkan data-data yang telah dikumpulkan dengan metode pengolahan data yang sesuai. Proses pengolahan data dapat dilihat pada bagian selanjutnya.

### 4.2.1 Penentuan Mesin *Injection Molding* Yang Sering Rusak

Pada penelitian ini akan dibahas tentang data kerusakan pada mesin *injection molding* saja, karena mesin tersebut merupakan mesin yang berfungsi sebagai pengubah dari bahan baku menjadi produk. Mesin-mesin yang lain memiliki fungsi sendiri yaitu mengubah bahan baku menjadi produk setengah jadi. Kerusakan pada mesin *injection molding* dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Kerusakan Mesin *Injection molding*

No.	Mesin	Total Kerusakan (Menit)	% Kerusakan	% Kumulatif Kerusakan
1	Hattian 350 Ton	1.095	19,31	19,31
2	Toshiba 220 Ton	2.195	38,71	58,02
3	JSW 100 Ton	1.205	21,25	79,28
4	Futashin 100 Ton	1.175	20,72	100
<b>Total</b>		<b>5.670</b>	<b>100,00</b>	

(Sumber: Hasil Pengolahan Data)

Penentuan mesin kritis dilakukan berdasarkan besarnya total kerusakan. Berdasarkan total kerusakan terbesar didapat mesin *injection molding* Toshiba 220 Ton sebagai mesin yang mengalami kerusakan tertinggi sebesar 38,7% selama periode Juli hingga Desember 2015. Mesin *injection molding* Toshiba 220 Ton akan dilakukan pengolahan data selanjutnya.

#### 4.2.2 Pemilihan Komponen Yang Sering Rusak

Berikut ini merupakan kerusakan komponen pada mesin *injection molding* Toshiba 220 Ton. Terdapat empat komponen yang mengalami kerusakan pada kurun waktu Juli hingga Desember 2015. Masing-masing kerusakan komponen pada mesin *injection molding* Toshiba 220 Ton adalah sebagai berikut. Hasil perhitungan kerusakan pada komponen mesin *injection molding* dapat dilihat pada Tabel 4.20.

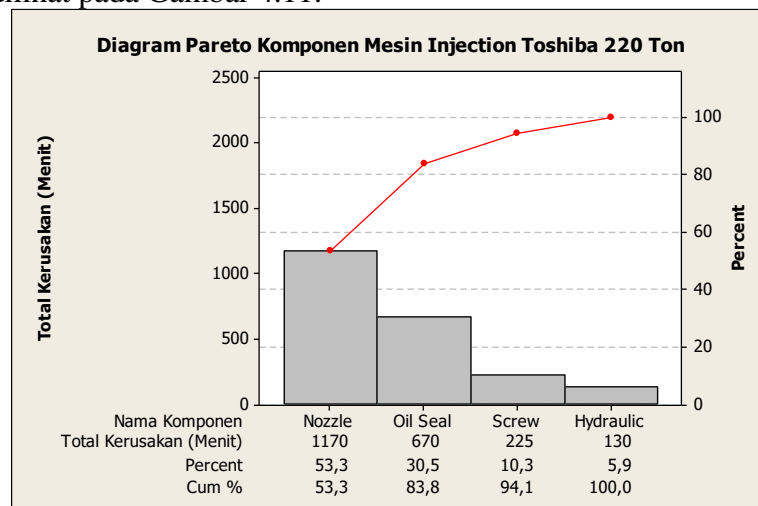
Tabel 4.20 Kerusakan Komponen Mesin *Injection Molding*

No.	Nama Komponen	Frekuensi Kerusakan	Total Kerusakan (Menit)	% Kerusakan	% Kumulatif Kerusakan
1	Nozzle	25	1.170	53,30	94,07
2	Oil Seal	9	670	30,52	30,52
3	Screw	1	225	10,25	40,77
4	Hydraulic	1	130	5,92	100
<b>Total</b>		<b>36</b>	<b>2.195</b>	<b>100,00</b>	

(Sumber: PT Kartika Multi Sarana)

Pemilihan komponen kritis dilakukan dengan pembuatan diagram pareto. Dari diagram pareto ini, akan terlihat kerusakan komponen yang paling sering terjadi sejak Juli 2015 sampai dengan Desember 2015.

Diagram Pareto untuk kerusakan komponen mesin *injection molding* Toshiba 220 ton dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Diagram Pareto Kerusakan Komponen Mesin *Injection Molding*

(Sumber: Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan diagram Pareto, dapat diketahui bahwa kerusakan komponen paling dominan yang terjadi pada mesin *injection molding* selama enam bulan

dari bulan Juli 2015 sampai Desember 2015 adalah komponen *nozzle* (53,5%) dan komponen *oil seal* (30,5%) maka untuk kedua komponen tersebut terpilih untuk dilakukan perhitungan selanjutnya. Pada komponen *screw dan hydraulic* tidak dilanjutkan pada perhitungan selanjutnya karena frekuensi terjadinya untuk masing-masing komponen hanya sekali.

#### 4.2.3 Perhitungan Preventive Maintenance Untuk Komponen Nozzle

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan yang dimulai dengan penentuan komponen kritis. Perhitungan dilakukan berdasarkan data yang telah dikumpulkan selama bulan Juli 2015 sampai Desember 2015.

##### 4.2.3.1 Perhitungan Interval TTF dan TTR Komponen Nozzle

Interval waktu antar kerusakan (*Time To Failure*) adalah selang waktu lamanya mesin atau komponen beroperasi mulai dari saat mesin atau komponen selesai diperbaiki dari suatu kerusakan sampai mesin atau komponen tersebut mengalami kerusakan kembali, sedangkan waktu antar perbaikan (*Time To Repair*) adalah lamanya mesin atau komponen diperbaiki sampai dapat beroperasi kembali. Berikut ini adalah data interval waktu antar kerusakan (TTF) dan perbaikan (TTR) masing-masing komponen kritis pada mesin *injection molding*.

Pada komponen *nozzle*, waktu untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi bervariasi dengan waktu yang terlalu lama adalah 4 jam dan yang tercepat adalah 0.167 jam, sementara itu interval jarak antar kerusakan terbesar adalah 215 jam, sementara yang terkecil adalah 12.833 jam.

Contoh perhitungan waktu interval antar kerusakan (TTF)

TTF komponen *nozzle* pada tanggal 1 Juli 2015:

1 Juli pkl 9:35-23:00	= 745 Menit
2 Juli pkl 07:00 - 3 Juli pkl 23:00	= 1.920 Menit
6 Juli pkl 07:00 - 7 Juli pkl 13:00	= 1.320 Menit
	3.985 menit atau 66,417 Jam

Hasil perhitungan waktu interval antar kerusakan komponen *nozzle* selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Perhitungan Interval Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Antar Perbaikan Komponen *Nozzle* Mesin *Injection Molding*

No.	Tanggal	Waktu Kerusakan		TTR		TTF (Jam)
		Mulai	Selesai	Menit	Jam	
1	1-Jul-15	10:25	10:35	10	0,167	
2	7-Jul-15	14:00	14:25	25	0,417	66,417
3	10-Jul-15	11:05	11:20	15	0,250	45,667
4	3-Aug-15	17:40	20:25	165	2,750	215,000
5	7-Aug-15	13:35	13:45	10	0,167	571,67
6	11-Aug-15	8:55	10:40	105	1,750	27,167
7	27-Aug-15	15:10	15:30	20	0,333	180,500

8	8-Sep-15	20:05	20:30	25	0,417	132,583
9	11-Sep-15	16:40	16:55	15	0,250	44,167
10	18-Sep-15	13:20	13:35	15	0,250	76,417
11	23-Sep-15	17:00	18:30	90	1,500	51,417
12	29-Sep-15	10:15	10:25	10	0,167	23,750
13	6-Oct-15	9:30	9:50	20	0,333	80,083
14	8-Oct-15	11:00	11:20	25	0,417	33,167
15	12-Oct-15	13:20	17:20	240	4,000	33,667
16	13-Oct-15	14:10	14:35	25	0,417	12,833
17	21-Oct-15	9:20	9:35	10	0,167	72,833
18	3-Nov-15	8:30	10:40	130	2,167	142,167
19	5-Nov-15	11:40	11:55	15	0,250	33,000
20	10-Nov-15	17.10	17.30	20	0,333	53,250
21	13-Nov-15	09.40	10.40	60	1,000	40,167
22	17-Nov-15	15.10	15.30	20	0,333	35,833
23	1-Dec-15	20.15	21.00	45	0,750	164,750
24	4-Dec-15	13.10	13.40	30	0,500	40,167
25	9-Dec-15	21.05	21.30	25	0,417	55,833

(Sumber: Pengolahan Data)

#### 4.2.3.2 Identifikasi Distribusi TTF Komponen Nozzle

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui distribusi yang sesuai dengan data interval waktu antar kerusakan komponen dengan berdasarkan nilai *index of fit* yang ditunjukkan dengan nilai *correlation coefficient* (r) terbesar, setelah terpilih suatu distribusi yang sesuai, selanjutnya distribusi ini yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya untuk komponen tersebut.

##### 1. Distribusi Weibull

Contoh perhitungan

a.  $t_i$  merupakan data TTF

b. Nilai  $x_i$  diperoleh dari persamaan (32)

$$x_i = \ln(t_i) = \ln(12,833) = 2,552$$

c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{24 + 0,4} = 0,029$$

d. Nilai  $y_i$  diperoleh dari persamaan (33)

$$y_i = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - 0,029} \right) \right] = -3,537$$

e.  $x_i \cdot y_i = 2,552 \times (-3,537) = -9,026$

f.  $x_i^2 = (2,552)^2 = 6,513$

g.  $y_i^2 = (-3,537)^2 = 12,509$

Perhitungan *Time To Failure* (TTF) komponen *nozzle* dengan distribusi weibull dapat dilihat pada Tabel 4. 22.

Tabel 4.22 Perhitungan *Index of Fit* Data TTF Komponen *Nozzle* Berdasarkan Distribusi Weibull

i	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> =Ln(t <sub>i</sub> )	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> · y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	12,833	2,552	0,029	-3,537	-9,026	6,513	12,509
2	23,750	3,168	0,070	-2,628	-8,325	10,034	6,907
3	27,167	3,302	0,111	-2,143	-7,077	10,903	4,594
4	33,000	3,497	0,152	-1,805	-6,312	12,226	3,259
5	33,167	3,502	0,193	-1,542	-5,399	12,261	2,378
6	33,667	3,517	0,234	-1,324	-4,656	12,366	1,753
7	35,833	3,579	0,275	-1,136	-4,067	12,808	1,291
8	40,167	3,693	0,316	-0,970	-3,581	13,639	0,940
9	40,167	3,693	0,357	-0,819	-3,024	13,639	0,671
10	44,167	3,788	0,398	-0,680	-2,575	14,349	0,462
11	45,667	3,821	0,439	-0,550	-2,100	14,603	0,302
12	51,417	3,940	0,480	-0,426	-1,679	15,523	0,182
13	53,250	3,975	0,520	-0,308	-1,224	15,801	0,095
14	55,833	4,022	0,561	-0,193	-0,777	16,179	0,037
15	57,167	4,046	0,602	-0,081	-0,327	16,370	0,007

Lanjut...

Tabel 4.22 Perhitungan *Index of Fit* Data TTF Komponen *Nozzle* Berdasarkan Distribusi Weibull Lanjutan

i	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> =Ln(t <sub>i</sub> )	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> · y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
16	66,417	4,196	0,643	0,031	0,129	17,606	0,001
17	72,833	4,288	0,684	0,143	0,612	18,388	0,020
18	76,417	4,336	0,725	0,257	1,112	18,803	0,066
19	80,083	4,383	0,766	0,374	1,641	19,211	0,140
20	132,583	4,887	0,807	0,499	2,439	23,885	0,249
21	142,167	4,957	0,848	0,635	3,146	24,572	0,403
22	164,750	5,104	0,889	0,789	4,028	26,055	0,623
23	180,500	5,196	0,930	0,980	5,091	26,996	0,960
24	215,000	5,371	0,971	1,267	6,806	28,844	1,606
<b>Total</b>	1.718,002	96,812	12,000	-13,167	-35,145	401,572	39,452

(Sumber: Pengolahan Data)

*Index of Fit*

Nilai  $r$  diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{24(-35,145) - (96,812)(-13,167)}{\sqrt{[24(401,572) - (96,812)^2][24 \times 39,452 - (-13,167)^2]}}$$

$$r = 431.27893/452.84421$$

$$r = 0,95238$$

b. Distribusi Ekspensial

Contoh perhitungan

a.  $t_i$  merupakan data TTF

b.  $x_i = t_i$

$$x_i = 12,833$$

c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{24 + 0,4} = 0,029$$

d. Nilai  $y_i$  diperoleh dari persamaan (34)

$$y_i = \ln \left[ \left( \frac{1}{1 - 0,029} \right) \right] = 0,029$$

e.  $x_i \cdot y_i = 12,833 \times 0,029 = 0,374$

f.  $x_i^2 = (12,833)^2 = 164,686$

g.  $y_i^2 = (0,029)^2 = 0,001$

Perhitungan *Time To Failure* (TTF) komponen *nozzle* dengan distribusi eksponensial dapat dilihat pada Tabel 4. 23.

Tabel 4.23 Perhitungan *Index of Fit* Data TTF Komponen *Nozzle* Berdasarkan Distribusi Ekspensial

<b>i</b>	<b><math>t_i</math></b>	<b><math>x_i=t_i</math></b>	<b><math>F(t_i)</math></b>	<b><math>y_i</math></b>	<b><math>x_i \cdot y_i</math></b>	<b><math>x_i^2</math></b>	<b><math>y_i^2</math></b>
1	12,833	12,833	0,029	0,029	0,374	164,686	0,001
2	23,750	23,750	0,070	0,072	1,715	564,063	0,005
3	27,167	27,167	0,111	0,117	3,186	738,046	0,014
4	33,000	33,000	0,152	0,164	5,427	1.089,000	0,027
5	33,167	33,167	0,193	0,214	7,097	1.100,050	0,046
6	33,667	33,667	0,234	0,266	8,957	1.133,467	0,071
7	35,833	35,833	0,275	0,321	11,503	1.284,004	0,103
8	40,167	40,167	0,316	0,379	15,230	1.613,388	0,144
9	40,167	40,167	0,357	0,441	17,711	1.613,388	0,194
10	44,167	44,167	0,398	0,507	22,381	1.950,724	0,257
11	45,667	45,667	0,439	0,577	26,358	2.085,475	0,333
12	51,417	51,417	0,480	0,653	33,574	2.643,708	0,426
13	53,250	53,250	0,520	0,735	39,138	2.835,563	0,540
14	55,833	55,833	0,561	0,824	46,025	3.117,324	0,680

15	57,167	57,167	0,602	0,922	52,734	3.268,066	0,851
16	66,417	66,417	0,643	1,031	68,493	4.411,218	1,063
17	72,833	72,833	0,684	1,153	84,003	5.304,646	1,330
18	76,417	76,417	0,725	1,292	98,767	5.839,558	1,670
19	80,083	80,083	0,766	1,454	116,450	6.413,287	2,114
20	132,583	132,583	0,807	1,647	218,367	17.578,252	2,713
21	142,167	142,167	0,848	1,886	268,163	20.211,456	3,558
22	164,750	164,750	0,889	2,201	362,669	27.142,563	4,846
23	180,500	180,500	0,930	2,664	480,844	32.580,250	7,097
24	215,000	215,000	0,971	3,551	763,520	46.225,000	12,611
<b>Total</b>	<b>1.718,002</b>	<b>1.718,002</b>	<b>12,000</b>	<b>23,104</b>	<b>2.752,687</b>	<b>190.907,179</b>	<b>40,695</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

### Index of Fit

Nilai  $r$  diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{24(2.752,687) - (1.718,002)(23,104)}{\sqrt{[24(190.907,179) - (1.718,002)^2][24 \times 40,695 - (23,104)^2]}}$$

$$r = 26371.9302 / 26870.3012$$

$$r = 0,98145$$

### 3. Distribusi Normal

Contoh perhitungan

a.  $t_i$  merupakan data TTF

b.  $x_i = t_i$

$$x_i = 12,833$$

c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{24 + 0,4} = 0,029$$

d.  $y_i = z = \Phi^{-1}[F(t_i)]$  diperoleh dari tabel *Standardized Normal Probabilities*

( $\Phi(z)$ )

$$y_i(0,029) = -1,90043$$

e.  $x_i \cdot y_i = 12,833 \times (-1,90043) = -24,388$

f.  $x_i^2 = (12,833)^2 = 164,686$

g.  $y_i^2 = (0,029)^2 = 0,001$

Perhitungan *Time To Failure* (TTF) komponen *nozzle* dengan distribusi normal dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Perhitungan *Index of Fit* Data TTF Komponen *Nozzle* Berdasarkan Distribusi Normal

i	$t_i$	$x_i = t_i$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
---	-------	-------------	----------	-------------	-----------------	---------	---------

1	12,833	12,833	0,029	-1,90043	-24,388	164,686	3,612
2	23,750	23,750	0,070	-1,47824	-35,108	564,063	2,185
3	27,167	27,167	0,111	-1,22305	-33,227	738,046	1,496
4	33,000	33,000	0,152	-1,02943	-33,971	1.089,000	1,060
5	33,167	33,167	0,193	-0,86827	-28,798	1.100,050	0,754
6	33,667	33,667	0,234	-0,72702	-24,477	1.133,467	0,529
7	35,833	35,833	0,275	-0,59899	-21,464	1.284,004	0,359
8	40,167	40,167	0,316	-0,48011	-19,285	1.613,388	0,231
9	40,167	40,167	0,357	-0,36768	-14,768	1.613,388	0,135
10	44,167	44,167	0,398	-0,25972	-11,471	1.950,724	0,067
11	45,667	45,667	0,439	-0,15471	-7,065	2.085,475	0,024
12	51,417	51,417	0,480	-0,05139	-2,642	2.643,708	0,003
13	53,250	53,250	0,520	0,05139	2,736	2.835,563	0,003
14	55,833	55,833	0,561	0,15471	8,638	3.117,324	0,024

Lanjut...

Tabel 4.24 Perhitungan *Index of Fit* Data TTF Komponen *Nozzle* Berdasarkan Distribusi Normal Lanjutan

i	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> =t <sub>i</sub>	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub> =z <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> · y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
15	57,167	57,167	0,602	0,25972	14,847	3.268,066	0,067
16	66,417	66,417	0,643	0,36768	24,420	4.411,218	0,135
17	72,833	72,833	0,684	0,48011	34,968	5.304,646	0,231
18	76,417	76,417	0,725	0,59899	45,773	5.839,558	0,359
19	80,083	80,083	0,766	0,72702	58,222	6.413,287	0,529
20	132,583	132,583	0,807	0,86827	115,118	17.578,252	0,754
21	142,167	142,167	0,848	1,02943	146,351	20.211,456	1,060
22	164,750	164,750	0,889	1,22305	201,497	27.142,563	1,496
23	180,500	180,500	0,930	1,47824	266,822	32.580,250	2,185
24	215,000	215,000	0,971	1,90043	408,592	46.225,000	3,612
<b>Total</b>	1.718,002	1.718,002	12,000	0,000	1.071,321	190.907,179	20,907

(Sumber: Pengolahan Data)

*Index of Fit*

Nilai *r* diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{24(1.071,321) - (1.718,002)(0)}{\sqrt{[24(190.907,179) - (1.718,002)^2][24 \times 20,907 - (0)^2]}}$$

$$r = 25711,694/28600,537$$

$$r = 0,89899$$

#### 4. Distribusi Lognormal

- a. t<sub>i</sub> merupakan data TTF
- b. Nilai x<sub>i</sub> diperoleh dari persamaan (36)

$$x_i = \ln(12,833) = 2,552$$

c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (37)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{24 + 0,4} = 0,029$$

d.  $y_i = z = \Phi^{-1}[F t_i]$  diperoleh dari tabel *Standardized Normal Probabilities*

$$(\Phi(z)) = y_i(0,029) = -1,90043$$

e.  $x_i \cdot y_i = 2,552 \times (-1,90043) = -4,850$

f.  $x_i^2 = (2,552)^2 = 6,513$

g.  $y_i^2 = (-1,90043)^2 = 3,612$

Perhitungan *Time To Failure* (TTF) komponen *nozzle* dengan distribusi lognormal dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Perhitungan *Index of Fit Data TTF* Komponen *Nozzle* Berdasarkan Distribusi Lognormal

i	$t_i$	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	12,833	2,552	0,029	-1,90043	-4,850	6,513	3,612
2	23,750	3,168	0,070	-1,47824	-4,682	10,034	2,185
3	27,167	3,302	0,111	-1,22305	-4,039	10,903	1,496
4	33,000	3,497	0,152	-1,02943	-3,599	12,226	1,060
5	33,167	3,502	0,193	-0,86827	-3,040	12,261	0,754
6	33,667	3,517	0,234	-0,72702	-2,557	12,366	0,529
7	35,833	3,579	0,275	-0,59899	-2,144	12,808	0,359
8	40,167	3,693	0,316	-0,48011	-1,773	13,639	0,231
9	40,167	3,693	0,357	-0,36768	-1,358	13,639	0,135
10	44,167	3,788	0,398	-0,25972	-0,984	14,349	0,067
11	45,667	3,821	0,439	-0,15471	-0,591	14,603	0,024
12	51,417	3,940	0,480	-0,05139	-0,202	15,523	0,003
13	53,250	3,975	0,520	0,05139	0,204	15,801	0,003
14	55,833	4,022	0,561	0,15471	0,622	16,179	0,024
15	57,167	4,046	0,602	0,25972	1,051	16,370	0,067
16	66,417	4,196	0,643	0,36768	1,543	17,606	0,135
17	72,833	4,288	0,684	0,48011	2,059	18,388	0,231
18	76,417	4,336	0,725	0,59899	2,597	18,803	0,359
19	80,083	4,383	0,766	0,72702	3,187	19,211	0,529
20	132,583	4,887	0,807	0,86827	4,243	23,885	0,754
21	142,167	4,957	0,848	1,02943	5,103	24,572	1,060
22	164,750	5,104	0,889	1,22305	6,243	26,055	1,496
23	180,500	5,196	0,930	1,47824	7,681	26,996	2,185
24	215,000	5,371	0,971	1,90043	10,207	28,844	3,612

<b>Total</b>	1.718,002	96,812	12,000	0,000	14,920	401,572	20,907
--------------	-----------	--------	--------	-------	--------	---------	--------

(Sumber: Pengolahan Data)

*Index of Fit*

Nilai  $r$  diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{24(14,92) - (96,812)(0)}{\sqrt{[24(401,572) - (96,812)^2][(24 \times 20,907) - (0)^2]}}$$

$$r = 358.077/364.732$$

$$r = 0,98176$$

Ringkasan dari nilai *index of fit* yang telah diperoleh dari keempat distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Ringkasan Nilai *Index of Fit* Data TTF Komponen *Nozzle*

Distribusi TTF	<i>Index of Fit</i> (r)
Weibull	0,95218
Eksponensial	0,98145
Normal	0,89904
<b>Lognormal</b>	<b>0,98168</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

Dari ringkasan Tabel 4.24 dapat dilihat bahwa nilai *index of Fit* TTF yang terbesar untuk komponen *nozzle* diperoleh adalah distribusi lognormal, maka dilakukan pengujian menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov*.

#### 4.2.3.3 Uji Kolmogorov-Smirnov Untuk Komponen *Nozzle*

Pada uji Kolmogorov-Smirnov dapat diketahui apakah data TTF berdistribusi lognormal atau bukan dengan menggunakan hipotesis seperti berikut.

$H_0$  : Data TTF komponen *nozzle* berdistribusi lognormal

$H_1$  : Data TTF komponen *nozzle* tidak berdistribusi lognormal

Uji *Kolmogorov-Smirnov* dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Uji *Kolmogorov-Smirnov* Untuk Komponen *Nozzle*

$i$	$i/n$	$i-1/n$	$x_i = \text{Ln}(t_i)$	$(x_i - \bar{x}_1)^2$	S	$\frac{(x_i - \bar{x}_1)}{s}$	$\frac{\Phi(x_i - \bar{x}_1)}{s}$	$D_1$	$D_2$
1	0,042	0	2,552	2,196	0,693	-2,138	0,016	0,016	0,025
2	0,083	0,042	3,168	0,750	0,693	-1,250	0,106	0,064	-0,022
3	0,125	0,083	3,302	0,536	0,693	-1,056	0,145	0,062	-0,020
4	0,167	0,125	3,497	0,289	0,693	-0,775	0,219	0,094	-0,052
5	0,208	0,167	3,502	0,283	0,693	-0,768	0,221	0,055	-0,013
6	0,250	0,208	3,517	0,268	0,693	-0,746	0,228	0,019	0,022
7	0,292	0,250	3,579	0,207	0,693	-0,657	0,256	0,006	0,036
8	0,333	0,292	3,693	0,116	0,693	-0,492	0,311	0,020	0,022
9	0,375	0,333	3,693	0,116	0,693	-0,492	0,311	-0,022	0,064
10	0,417	0,375	3,788	0,060	0,693	-0,355	0,361	-0,014	0,055
11	0,458	0,417	3,821	0,045	0,693	-0,307	0,380	-0,037	0,079

Lanjut...

Tabel 4.27 Uji *Kolmogorov-Smirnov* Untuk Komponen *Nozzle* Lanjutan

$i$	$i/n$	$i-1/n$	$x_i=\text{Ln}(t_i)$	$(x_i - \bar{x}_1)^2$	S	$\frac{(x_i - \bar{x}_1)}{s}$	$\frac{\phi(x_i - \bar{x}_1)}{s}$	$D_1$	$D_2$
12	0,500	0,458	3,940	0,009	0,693	-0,135	0,446	-0,012	0,054
13	0,542	0,500	3,975	0,003	0,693	-0,085	0,466	-0,034	0,076
14	0,583	0,542	4,022	0,000	0,693	-0,017	0,493	-0,048	0,090
15	0,625	0,583	4,046	0,000	0,693	0,018	0,507	-0,076	0,118
16	0,667	0,625	4,196	0,026	0,693	0,234	0,592	-0,033	0,074
17	0,708	0,667	4,288	0,065	0,693	0,367	0,643	-0,023	0,065
18	0,750	0,708	4,336	0,091	0,693	0,436	0,669	-0,040	0,081
19	0,792	0,750	4,383	0,122	0,693	0,504	0,693	-0,057	0,099
20	0,833	0,792	4,887	0,728	0,693	1,231	0,891	0,099	-0,058
21	0,875	0,833	4,957	0,852	0,693	1,332	0,909	0,075	-0,034
22	0,917	0,875	5,104	1,146	0,693	1,545	0,939	0,064	-0,022
23	0,958	0,917	5,196	1,350	0,693	1,677	0,953	0,037	0,005
24	1	0,958	5,371	1,787	0,693	1,929	0,973	0,015	0,027
Total	12,500	11,500	96,812	11,047	16,632	0,000	11,729	0,229	0,771

(Sumber: Pengolahan Data)

Contoh perhitungan untuk uji Kolmogorov-Smirnov untuk  $i=1$

a.  $i$  merupakan angka dari data awal pada tabel dan  $n$  merupakan jumlah data

$$\frac{i}{n} = \frac{1}{24} = 0,0417$$

b.  $i-1$  merupakan angka dari data awal pada tabel dan  $n$  merupakan jumlah data

$$\frac{i-1}{n} = \frac{1-1}{24} = 0$$

c.  $x_i$  berasal dari  $\ln$  dikali data TTF kemudian dijumlah,  $\sum x_i = 96,812$

berikut rata-rata dari  $x_i$  yang diperoleh dari total  $x_i$  dibagi jumlah data

$$\bar{x}_1 = \frac{96,812}{24} = 4,034$$

d. Nilai setiap standar deviasi ( $s$ ) diperoleh dari persamaan (46)

$$= \sqrt{\frac{11,047}{24}} = 0,693$$

e. Nilai  $D_1$  diperoleh dari persamaan (43)

$$D_1 = 0,016 - 0 = 0,016$$

f. Nilai  $D_2$  diperoleh dari persamaan (44)

$$D_2 = 0,042 - 0,016 = 0,025$$

g. Maks  $D_1 = 0,099$

h. Maks  $D_2 = 0,118$

i.  $D_n = \text{maks}(D_1, D_2) = 0,118$

j.  $D_{\text{tabel}} = 0,269$

Hasil hipotesis yang diterima adalah jika  $D_n$  lebih kecil dari  $D_{\text{tabel}}$ , karena  $D_n$  ( $0,118$ ) <  $D_{\text{tabel}}$  ( $0,269$ ) maka  $H_0$  diterima. Kesimpulannya data TTF berdistribusi lognormal.

#### 4.2.3.4 Perhitungan MTBF Untuk Komponen *Nozzle*

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai MTBF dari komponen berdasarkan distribusi yang sesuai dengan yang telah ditentukan dari perhitungan sebelumnya.

1.  $\bar{x}_i$  diperoleh dari total  $x_i$  dibagi jumlah data TTF

$$\bar{x}_i = \frac{96,812}{24} = 4,034$$

2. Nilai b diperoleh dari persamaan (29)

$$b = \frac{(24 \times 14,920) - (1718,002 \times 0)}{24 \times 401,572 - (96,812)^2} = 1,3506$$

3. Nilai a diperoleh dari persamaan (31)

$$= 0 - (1,3506 \times 4,0338) \\ = -5,4480$$

4.  $S = \frac{1}{b} = \frac{1}{1,3506} = 0,7404$

5.  $T_{med} = e^{-axs}$   
 $= e^{-(5,4480) \times 0,7404}$   
 $= 56,4694$

6.  $MTBF = t_{med} \times \left( e^{\frac{s^2}{2}} \right)$

$$MTBF = 56,4694 \times \left( e^{\frac{0,7404^2}{2}} \right)$$

$$MTBF = 74,2765 \text{ Jam atau } 4.445,593 \text{ Menit}$$

#### 4.2.3.5 Identifikasi Distribusi Data TTR Komponen *Nozzle*

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui distribusi yang sesuai dengan data interval waktu perbaikan komponen dengan berdasarkan nilai *index of fit* yang ditunjukkan dengan nilai *correlation coefficient* (r) terbesar, setelah terpilih suatu distribusi yang sesuai, selanjutnya distribusi ini yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya untuk komponen tersebut.

1. Distribusi *Weibull* Untuk Data TTR

Contoh perhitungan distribusi Weibull untuk data pertama adalah sebagai berikut:

- a.  $t_i$  merupakan data TTR

- b. Nilai  $x_i$  diperoleh dari persamaan (32)

$$\ln(0,167) = -1,78976$$

- c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{25 + 0,4} = 0,02756$$

- d. Nilai  $y_i$  diperoleh dari persamaan (33)

$$y_i = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - 0,02756} \right) \right]$$

$$y_i = -3,57748$$

$$e. x_i \cdot y_i = -1,78976 \times -3,57748 = 6,40284$$

$$f. x_i^2 = (-1,78976)^2 = 3,20325$$

$$g. y_i^2 = (-3,57748)^2$$

$$y_i^2 = 12,7984$$

Perhitungan *Time To Repair* (TTR) komponen *nozzle* dengan distribusi weibull dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Perhitungan *Index of Fit* Data TTR Komponen *Nozzle* Berdasarkan Distribusi Weibull

i	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> =Ln(t <sub>i</sub> )	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> · y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	0,167	-1,7898	0,02756	-3,5775	6,40284	3,20325	12,7984
2	0,167	-1,7898	0,06693	-2,6697	4,7781	3,20325	7,12721
3	0,167	-1,7898	0,1063	-2,1858	3,91212	3,20325	4,77786
4	0,167	-1,7898	0,14567	-1,8487	3,30879	3,20325	3,4178
5	0,250	-1,3863	0,18504	-1,5866	2,19953	1,92181	2,51737
6	0,250	-1,3863	0,22441	-1,3699	1,89909	1,92181	1,87665
7	0,250	-1,3863	0,26378	-1,1834	1,64059	1,92181	1,40051
8	0,250	-1,3863	0,30315	-1,0184	1,41176	1,92181	1,03707
9	0,333	-1,0996	0,34252	-0,8691	0,95564	1,20915	0,75529

Lanjut...

Tabel 4.28 Perhitungan *Index of Fit* Data TTR Komponen *Nozzle* Berdasarkan Distribusi Weibull Lanjutan

i	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> =Ln(t <sub>i</sub> )	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> · y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
10	0,333	-1,0996	0,38189	-0,7317	0,80459	1,20915	0,53539
11	0,333	-1,0996	0,42126	-0,6035	0,6636	1,20915	0,3642
12	0,333	-1,0996	0,46063	-0,4823	0,53036	1,20915	0,23263
13	0,417	-0,8747	0,5	-0,3665	0,32058	0,76505	0,13433
14	0,417	-0,8747	0,53937	-0,2547	0,22277	0,76505	0,06486
15	0,417	-0,8747	0,57874	-0,1456	0,12735	0,76505	0,0212
16	0,417	-0,8747	0,61811	-0,0381	0,03332	0,76505	0,00145
17	0,417	-0,8747	0,65748	0,06899	-0,0603	0,76505	0,00476
18	0,500	-0,6931	0,69685	0,17691	-0,1226	0,48045	0,0313
19	0,750	-0,2877	0,73622	0,28716	-0,0826	0,08276	0,08246
20	1,000	0	0,77559	0,40165	0	0	0,16132
21	1,500	0,40547	0,81496	0,52306	0,21208	0,1644	0,27359
22	1,750	0,55962	0,85433	0,65566	0,36692	0,31317	0,42989
23	2,167	0,77334	0,8937	0,80714	0,6242	0,59806	0,65148
24	2,750	1,0116	0,93307	0,99478	1,00632	1,02334	0,98958
25	4,000	1,38629	0,97244	1,27855	1,77245	1,92181	1,63469

<b>Total</b>	<b>19,502</b>	<b>-18,321</b>	<b>12,500</b>	<b>-13,738</b>	<b>32,927</b>	<b>33,746</b>	<b>41,321</b>
--------------	---------------	----------------	---------------	----------------	---------------	---------------	---------------

(Sumber: Pengolahan Data)

*Index of Fit*

Nilai  $r$  diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{25(-32,927) - (-18,321)(-13,738)}{\sqrt{[25(33,746) - (-18,321)^2][25 \times 41,321 - (-13,738)^2]}}$$

$$r = 571,504/654,918$$

$$r = 0,87264$$

## 2. Distribusi Eksponensial Untuk Data TTR

Contoh perhitungan distribusi eksponensial untuk data pertama adalah sebagai berikut:

a.  $t_i$  merupakan data TTR

b.  $x_i = t_i$

$$x_i = 0,167$$

c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{25 + 0,4} = 0,02789$$

d. Nilai  $y_i$  diperoleh dari persamaan (34)

$$y_i = \ln \left[ \left( \frac{1}{1 - 0,02789} \right) \right] = 0,02789$$

e.  $x_i \cdot y_i = 0,167 \times 0,02795 = 0,00467$

f.  $x_i^2 = (0,167)^2 = 0,02789$

g.  $y_i^2 = (0,02795)^2 = 0,00078$

Perhitungan *Time To Repair* (TTR) komponen *nozzle* dengan distribusi eksponensial dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Perhitungan *Index of Fit* Data TTR Komponen *Nozzle* Berdasarkan Distribusi Eksponensial

<b>i</b>	<b><math>t_i</math></b>	<b><math>x_i = t_i</math></b>	<b><math>F(t_i)</math></b>	<b><math>y_i</math></b>	<b><math>x_i \cdot y_i</math></b>	<b><math>x_i^2</math></b>	<b><math>y_i^2</math></b>
1	0,167	0,167	0,028	0,028	0,005	0,028	0,001
2	0,167	0,167	0,067	0,069	0,012	0,028	0,005
3	0,167	0,167	0,106	0,112	0,019	0,028	0,013
4	0,167	0,167	0,146	0,157	0,026	0,028	0,025
5	0,250	0,250	0,185	0,205	0,051	0,063	0,042
6	0,250	0,250	0,224	0,254	0,064	0,063	0,065
7	0,250	0,250	0,264	0,306	0,077	0,063	0,094
8	0,250	0,250	0,303	0,361	0,090	0,063	0,130
9	0,333	0,333	0,343	0,419	0,140	0,111	0,176
10	0,333	0,333	0,382	0,481	0,160	0,111	0,231
11	0,333	0,333	0,421	0,547	0,182	0,111	0,299

12	0,333	0,333	0,461	0,617	0,206	0,111	0,381
13	0,417	0,417	0,500	0,693	0,289	0,174	0,480
14	0,417	0,417	0,539	0,775	0,323	0,174	0,601
15	0,417	0,417	0,579	0,865	0,360	0,174	0,747
16	0,417	0,417	0,618	0,963	0,401	0,174	0,927
17	0,417	0,417	0,657	1,071	0,447	0,174	1,148
18	0,500	0,500	0,697	1,194	0,597	0,250	1,425
19	0,750	0,750	0,736	1,333	0,999	0,563	1,776
20	1,000	1,000	0,776	1,494	1,494	1,000	2,233
21	1,500	1,500	0,815	1,687	2,531	2,250	2,847

Lanjut...

Tabel 4.29 Perhitungan *Index of Fit* Data TTR Komponen *Nozzle* Berdasarkan Distribusi Eksponensial Lanjutan

i	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> =t <sub>i</sub>	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> · y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
22	1,750	1,750	0,854	1,926	3,371	3,063	3,711
23	2,167	2,167	0,894	2,241	4,857	4,696	5,024
24	2,750	2,750	0,933	2,704	7,436	7,563	7,312
25	4,000	4,000	0,972	3,591	14,366	16,000	12,898
Total	19,502	19,502	12,500	24,096	38,503	37,058	42,590

(Sumber: Pengolahan Data)

### *Index of Fit*

Nilai *r* diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{25 (38,503) - (19,502)(24,096)}{\sqrt{[25 (37,058) - (19,502)^2][25 \times 42,59 - (24,096)^2]}}$$

$$r = 492,664/762,172$$

$$r = 0,95811$$

### 3. Distribusi Normal Untuk Data TTR

Contoh perhitungan distribusi normal untuk data pertama adalah sebagai berikut:

a. t<sub>i</sub> merupakan data TTR

b. x<sub>i</sub> = t<sub>i</sub>

$$x_i = 0,167$$

c. Nilai F(t<sub>i</sub>) diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{25 + 0,4} = 0,028$$

d. y<sub>i</sub> = z = Φ<sup>-1</sup>[F t<sub>i</sub>]diperoleh dari tabel *Standarized Normal Probabilities* (Φ(z))

$$y_i(0,028) = -1,917944$$

e. x<sub>i</sub> · y<sub>i</sub> = 0,167 x (-1,917944) = -0,3203

f. x<sub>i</sub><sup>2</sup> = (0,167)<sup>2</sup> = 0,027889

$$g. y_i^2 = (-1,917944)^2 = 3,67851$$

Perhitungan *Time To Repair* (TTR) komponen *nozzle* dengan distribusi normal dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Perhitungan *Index of Fit* Data TTR Komponen *Nozzle* Berdasarkan Distribusi Normal

i	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> =t <sub>i</sub>	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub> =z <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> · y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	0,167	0,167	0,028	-1,917944	-0,320	0,028	3,679
2	0,167	0,167	0,067	-1,499059	-0,250	0,028	2,247
3	0,167	0,167	0,106	-1,246452	-0,208	0,028	1,554
4	0,167	0,167	0,146	-1,05519	-0,176	0,028	1,113
5	0,250	0,250	0,185	-0,896326	-0,224	0,063	0,803
6	0,250	0,250	0,224	-0,757386	-0,189	0,063	0,574
7	0,250	0,250	0,264	-0,631737	-0,158	0,063	0,399
8	0,250	0,250	0,303	-0,515363	-0,129	0,063	0,266
9	0,333	0,333	0,343	-0,405596	-0,135	0,111	0,165
10	0,333	0,333	0,382	-0,300521	-0,100	0,111	0,090
11	0,333	0,333	0,421	-0,198672	-0,066	0,111	0,039
12	0,333	0,333	0,461	-0,098847	-0,033	0,111	0,010
13	0,417	0,417	0,500	0	0,000	0,174	0,000
14	0,417	0,417	0,539	0,098847	0,041	0,174	0,010
15	0,417	0,417	0,579	0,198672	0,083	0,174	0,039
16	0,417	0,417	0,618	0,300521	0,125	0,174	0,090
17	0,417	0,417	0,657	0,405596	0,169	0,174	0,165
18	0,500	0,500	0,697	0,515363	0,258	0,250	0,266
19	0,750	0,750	0,736	0,631737	0,474	0,563	0,399
20	1,000	1,000	0,776	0,757386	0,757	1,000	0,574
21	1,500	1,500	0,815	0,896326	1,344	2,250	0,803
22	1,750	1,750	0,854	1,05519	1,847	3,063	1,113
23	2,167	2,167	0,894	1,246452	2,701	4,696	1,554
24	2,750	2,750	0,933	1,499059	4,122	7,563	2,247
25	4,000	4,000	0,972	1,917944	7,672	16,000	3,679
<b>Total</b>	<b>19,502</b>	<b>19,502</b>	<b>12,500</b>	<b>0,000</b>	<b>17,604</b>	<b>37,058</b>	<b>21,877</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

*Index of Fit*

Nilai *r* diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{25(17,604) - (19,502)(0)}{\sqrt{[25(37,058) - (19,502)^2][25 \times 21,877 - (0)^2]}}$$

$$r = 440,1/546,524$$

$$r = 0,80528$$

#### 4. Distribusi Lognormal Untuk Data TTR

Contoh perhitungan:

a.  $t_i$  merupakan data TTR

b. Nilai  $x_i$  diperoleh dari persamaan (36)

$$x_i = \ln(0,167) = -1,78976$$

c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (36)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{25 + 0,4} = 0,02756$$

d.  $y_i = z = \Phi^{-1}[F(t_i)]$  diperoleh dari tabel *Standardized Normal Probabilities* ( $\Phi(z)$ )

$$y_i(0,02756) = -1,91794$$

e.  $x_i \cdot y_i = (-1,78976) \times (-1,91794) = 3,43266$

f.  $x_i^2 = (-1,78976)^2 = 3,20325$

g.  $y_i^2 = (-1,91794)^2 = 3,67851$

Perhitungan *Time To Repair* (TTR) komponen *nozzle* dengan distribusi lognormal dapat dilihat pada Tabel 4. 31.

Tabel 4.31 Perhitungan *Index of Fit* Data TTR Komponen *Nozzle* Berdasarkan Distribusi Lognormal

i	$t_i$	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	0,167	-1,7898	0,0276	-1,9179	3,433	3,203	3,679
2	0,167	-1,7898	0,0669	-1,4991	2,683	3,203	2,247
3	0,167	-1,7898	0,1063	-1,2465	2,231	3,203	1,554
4	0,167	-1,7898	0,1457	-1,0552	1,889	3,203	1,113
5	0,250	-1,3863	0,1850	-0,8963	1,243	1,922	0,803
6	0,250	-1,3863	0,2244	-0,7574	1,050	1,922	0,574
7	0,250	-1,3863	0,2638	-0,6317	0,876	1,922	0,399
8	0,250	-1,3863	0,3031	-0,5154	0,714	1,922	0,266
9	0,333	-1,0996	0,3425	-0,4056	0,446	1,209	0,165
10	0,333	-1,0996	0,3819	-0,3005	0,330	1,209	0,090
11	0,333	-1,0996	0,4213	-0,1987	0,218	1,209	0,039
12	0,333	-1,0996	0,4606	-0,0988	0,109	1,209	0,010
13	0,417	-0,8747	0,5000	0	0,000	0,765	0,000
14	0,417	-0,8747	0,5394	0,09885	-0,086	0,765	0,010
15	0,417	-0,8747	0,5787	0,19867	-0,174	0,765	0,039

Lanjut...

Tabel 4.31 Perhitungan *Index of Fit* Data TTR Komponen *Nozzle* Berdasarkan Distribusi Lognormal Lanjutan

i	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> =Ln(t <sub>i</sub> )	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub> =z <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> · y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
16	0,417	-0,8747	0,6181	0,30052	-0,263	0,765	0,090
17	0,417	-0,8747	0,6575	0,4056	-0,355	0,765	0,165
18	0,500	-0,6931	0,6969	0,51536	-0,357	0,480	0,266
19	0,750	-0,2877	0,7362	0,63174	-0,182	0,083	0,399
20	1,000	0,0000	0,7756	0,75739	0,000	0,000	0,574
21	1,500	0,4055	0,8150	0,89633	0,363	0,164	0,803
22	1,750	0,5596	0,8543	1,05519	0,591	0,313	1,113
23	2,167	0,7733	0,8937	1,24645	0,964	0,598	1,554
24	2,750	1,0116	0,9331	1,49906	1,516	1,023	2,247
25	4,000	1,3863	0,9724	1,91794	2,659	1,922	3,679
<b>Total</b>	<b>19,502</b>	<b>-18,321</b>	<b>12,500</b>	<b>0,000</b>	<b>19,898</b>	<b>33,746</b>	<b>21,877</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

#### Index of Fit

Nilai *r* diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{25(19,898) - (-18,321)(0)}{\sqrt{[25(33,746) - (-18,321)^2][(25 \times 21,877) - (0)^2]}}$$

$$r = 497,443/527,109$$

$$r = 0,94372$$

Ringkasan dari nilai *index of fit* yang telah diperoleh dari keempat distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Ringkasan Nilai *Index of Fit* Data TTR Komponen *Oil Seal*

Distribusi TTR	<i>Index of Fit</i> (r)
Weibull	0,87264
<b>Eksponensial</b>	<b>0,95811</b>
Normal	0,80528
Lognormal	0,94372

(Sumber: Pengolahan Data)

Dari ringkasan Tabel 4.30 dapat dilihat bahwa nilai *index of Fit* TTR yang terbesar untuk komponen *nozzle* diperoleh adalah distribusi eksponensial, maka dilakukan pengujian menggunakan metode *Barlett-Test*.

#### 4.2.3.6 Uji Barlett Test Komponen Nozzle

Pada uji Barlett test dapat diketahui apakah data TTR berdistribusi eksponensial atau bukan dengan menggunakan hipotesis seperti berikut.

H<sub>0</sub> : Data TTR komponen *nozzle* berdistribusi eksponensial

H<sub>1</sub> : Data TTR komponen *nozzle* tidak berdistribusi eksponensial

Uji *Barlett Test* untuk komponen *nozzle* dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Uji *Barlett Test* Komponen *Nozzle*

i	t <sub>i</sub>	Ln(t <sub>i</sub> )
1	0,167	-1,7898
2	0,167	-1,7898
3	0,167	-1,7898

4	0,167	-1,7898
5	0,250	-1,3863
6	0,250	-1,3863
7	0,250	-1,3863
8	0,250	-1,3863
9	0,333	-1,0996
10	0,333	-1,0996
11	0,333	-1,0996
12	0,333	-1,0996
13	0,417	-0,8747
14	0,417	-0,8747
15	0,417	-0,8747
16	0,417	-0,8747
17	0,417	-0,8747
18	0,500	-0,6931
19	0,750	-0,2877
20	1,000	0
21	1,500	0,40547
22	1,750	0,55962
23	2,167	0,77334
24	2,750	1,0116
25	4,000	1,38629
<b>Total</b>	<b>19,502</b>	<b>-18,321</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

Perhitungan:

Nilai B dapat diperoleh dari persamaan (42)

$$B = \frac{(2 \times 25) \left[ \ln \left\{ \left( \frac{1}{25} \times 19,502 \right) \left( \frac{1}{25} \times (-18,321) \right) \right\} \right]}{1 + \frac{(25+1)}{6 \times 25}}$$

$$B = \frac{20,7}{1,173} = 17,647$$

$$\text{Nilai } x_{1-\frac{a}{2}, r-1}^2 = x_{0,975, 24}^2 = 12,401$$

$$\text{Nilai } x_{\frac{a}{2}, r-1}^2 = x_{0,025, 24}^2 = 39,364$$

Didapat nilai  $x_{0,975, 24}^2$  (12,401) < B (17,647) <  $x_{0,025, 24}^2$  (39,364), maka hipotesis nol ( $H_0$ ) diterima dan data waktu berdistribusi eksponensial.

#### 4.2.3.7 Perhitungan MTTR Untuk Komponen *Nozzle*

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai MTTR dari tiap-tiap komponen berdasarkan distribusi yang sesuai dengan yang telah ditentukan dari perhitungan sebelumnya.

Nilai b diperoleh dari persamaan (30)

$$\lambda = \frac{25 \times 38,503}{25 \times 37,058} = \frac{962,581}{926,449} = 1,0390$$

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

$$MTTR = \frac{1}{1,0390} = 0,9625 \text{ Jam atau } 57,75 \text{ Menit}$$

#### 4.2.3.8 Perhitungan Age Replacement dan Pemeriksaan Untuk Komponen

##### Nozzle

##### 1. Perhitungan Age Replacement Untuk Komponen Nozzle

Perhitungan ini bertujuan untuk mencari interval waktu penggantian komponen yang optimal dengan menghasilkan nilai *equipment failure*  $\{D(tp)\}$  minimum. Perhitungan ini dilakukan dengan *trial and error* pada setiap komponen kritis, yang perhitungannya sebagai berikut.

Data-data untuk perhitungan *age replacement* yang diperoleh dari data sebelumnya:

- a. Hasil dari perhitungan data waktu kerusakan yang berdistribusi lognormal

$$MTTF = 74,2765 \text{ Jam}$$

$$T_{med} = 56,4694$$

$$S = 0,7404$$

- b. Hasil dari perhitungan data waktu perbaikan yang berdistribusi eksponensial

$$MTTR = 0,9625 \text{ Jam sebagai } T_f \text{ atau } T_p$$

Contoh perhitungan pada saat  $tp = 12$

- a. Nilai  $\frac{1}{s} \ln \left( \frac{t}{t_{med}} \right)$  diperoleh dari persamaan (74)

$$\frac{1}{s} \ln \left( \frac{t}{t_{med}} \right) = \frac{1}{0,7404} \ln \left( \frac{12}{56,4775} \right) = -2,2044$$

- b. Nilai  $\Phi$  didapat dari tabel z

$$\Phi \left\{ \frac{1}{s} \ln \left( \frac{t}{t_{med}} \right) \right\} = \Phi (-2,2044) = 0,0137$$

- c. Nilai  $R(tp)$  diperoleh dari  $1 - \{ \Phi (-2,2044) \} = 1 - 0,0137 = 0,9862$

- d. Nilai  $T_p \cdot R(tp)$  diperoleh dari  $tp = 12$  dikali dengan  $R(tp)$

$$T_p \cdot R(tp) = 12 \times 0,9862 = 0,9492$$

- e. Nilai dari  $1 - R(tp)$  diperoleh dari 1 dikurangi nilai dari  $R(tp)$

$$= 1 - 0,9862 = 0,0137$$

- f. Nilai dari  $T_f(1 - R(tp))$  diperoleh dari nilai  $T_f = 0,9625$  dikali dengan  $1 - R(tp)$

$$= 0,9625 \times 0,0137 = 0,01323$$

- g. Nilai dari ekpektasi panjang waktu siklus atau  $(tp + T_p) \cdot R(tp)$  diperoleh dari persamaan (53)

$$= (12+0,9625) \times 0,9862 = 12,7842$$

h. Nilai dari  $M(Tp)$  diperoleh dari  $MTTF$  dibagi dengan  $1-R(tp)$

$$= 74,277 / 0,0137 = 5402,7230$$

i. Nilai dari  $M(Tp)+Tf$  diperoleh dari  $M(Tp)$  ditambah dengan  $Tf$

$$= 5402,7230 + 0,9625 = 5403,6855$$

j. Nilai dari  $D(tp)$  diperoleh dari persamaan (54)

$$= \frac{0,9492+0,01323}{12,7842+[5403,6855].[0,0137]} = 0,011053385$$

Perhitungan *age replacement* untuk komponen *nozzle* dapat dilihat pada Tabel 4.34.

Tabel 4.34 Perhitungan *Age Replacement* Untuk Komponen *Nozzle*

t	1/s ln (tp/tmed)	Φ	R(tp)	Tp.R(Tp)	1-R(Tp)	Tf(1-R(Tp))	(tp+Tp)·R(tp)	M(Tp)	M(Tp)+Tf	D(tp)
12	-2,037	0,021	0,979	0,942	0,021	0,020	12,693	3.570,458	3.571,420	0,01106280
15	-1,887	0,030	0,970	0,934	0,030	0,028	15,490	2.511,418	2.512,380	0,01071714
18	-1,628	0,052	0,948	0,913	0,052	0,050	17,980	1.433,706	1.434,669	0,01042563
21	-1,408	0,080	0,920	0,886	0,080	0,077	20,215	933,840	934,802	0,01017628
24	-1,218	0,112	0,888	0,855	0,112	0,107	22,177	665,638	666,600	0,00996636
27	-1,050	0,147	0,853	0,821	0,147	0,141	23,859	506,162	507,124	0,00979238
32	-0,809	0,209	0,791	0,761	0,209	0,202	26,061	354,803	355,765	0,00957202
37	-0,602	0,274	0,726	0,699	0,274	0,263	27,576	271,514	272,476	0,00942424
42	-0,422	0,337	0,663	0,638	0,337	0,324	28,498	220,647	221,609	0,00933441
47	-0,261	0,397	0,603	0,580	0,397	0,382	28,928	187,182	188,144	0,00929048
52	-0,118	0,453	0,547	0,526	0,453	0,436	28,959	163,914	164,877	0,00928276
62	0,133	0,553	0,447	0,430	0,553	0,532	28,156	134,379	135,342	0,00934657
72	0,346	0,635	0,365	0,351	0,635	0,611	26,618	116,954	117,916	0,00948086
82	0,531	0,702	0,298	0,287	0,702	0,676	24,707	105,793	106,756	0,00965651
92	0,694	0,756	0,244	0,235	0,756	0,728	22,654	98,223	99,185	0,00985436
102	0,841	0,800	0,200	0,193	0,800	0,770	20,600	92,867	93,830	0,01006159
112	0,974	0,835	0,165	0,159	0,835	0,804	18,629	88,957	89,920	0,01026960
122	1,096	0,864	0,136	0,131	0,864	0,831	16,784	86,030	86,992	0,01047270
135	1,240	0,893	0,107	0,103	0,893	0,859	14,606	83,228	84,191	0,01072351
148	1,371	0,915	0,085	0,082	0,915	0,880	12,686	81,202	82,165	0,01095532
161	1,491	0,932	0,068	0,065	0,932	0,897	11,010	79,706	80,668	0,01116617
174	1,602	0,945	0,055	0,053	0,945	0,910	9,558	78,580	79,543	0,01135577
187	1,704	0,956	0,044	0,043	0,956	0,920	8,305	77,721	78,684	0,01152485
200	1,800	0,964	0,036	0,035	0,964	0,928	7,225	77,057	78,020	0,01167472

(Sumber: Pengolahan Data)

Dari hasil perhitungan pada Tabel.34 diperoleh  $D(tp)$  minimum sebesar 0,00928408 dengan interval penggantian 52 jam untuk komponen *nozzle*.

## 2. Perhitungan Pemeriksaan Untuk Komponen *Nozzle*

- Periode lama penelitian (b) = 6 bulan
- Satu hari jam kerja adalah selama 16 jam
- Selama penelitian dilakukan (6 bulan), terdapat 114 hari kerja
- Jam kerja produktif selama 6 bulan adalah (j) :

$$j = 114 \times 16 = 1.824 \text{ jam/ setengah tahun} = 109.440 \text{ menit/ setengah tahun}$$

- e. Nilai dari (u) diperoleh dari persamaan (55)  
 $u = j / b = 109.440 / 6 = 18.240$  menit/bulan
- f. Waktu pemeriksaan komponen (p) = 15 menit
- g. Jumlah kerusakan yang terjadi pada periode ini (k) = 25 kali
- h. Nilai ( $\mu$ ) diperoleh dari persamaan (56)  
 $u / MTTR = 18.240/57.75 = 315,844$
- i. Nilai dari (v) diperoleh dari persamaan (57)  
 $u / p = 18.240 / 15 = 1.216$ /bulan
- j. Nilai dari (w) diperoleh dari persamaan (58)  
 $k/b = 25/6 = 4,167$  kerusakan/bulan
- k. Nilai dari (n) diperoleh dari persamaan (59) :

$$n = \sqrt{\frac{w.v}{\mu}}$$

$$n = \sqrt{\frac{4.167 \times 1.216}{315,844}} = \sqrt{\frac{5.067,072}{315,884}} = \sqrt{16,04295} = 4,055 \text{ kali/bulan}$$

- l. Nilai dari (y) diperoleh dari persamaan (60)  
 $u / n = 18.240 / 4,055 = 4.554,307$  menit

#### 4.2.3.9 Perhitungan *Reliability* Komponen *Nozzle*

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui apakah adanya peningkatan *reliability* untuk komponen *nozzle* setelah dilakukannya penggantian komponen sesuai dengan model *age replacement*, yang perhitungannya sebagai berikut: Data-data untuk perhitungan *age replacement* yang diperoleh dari data sebelumnya:

1. *Age replacement* (T) = 52 jam
2. MTBF = 74,2765
3. S = 0,70259
4.  $T_{med} = 56,4694$
5. MTTR = 0,96246

Contoh perhitungan pada saat  $t_p=15$ :

- a. Nilai  $\frac{1}{s} \ln \left( \frac{t}{t_{med}} \right)$  diperoleh dari persamaan (74)

$$= \frac{1}{0,70259} \ln \left( \frac{15}{56,4694} \right) = -1,8868$$

- b. R(tp) merupakan nilai dari tanpa tindakan pencegahan, nilai dari R(tp) diperoleh dari persamaan (74)

$$R(tp) = 1 - \Phi(-1,8868)$$

$$R(tp) = 1 - 0,0295935 = 0,97041$$

Nilai  $\Phi$  didapat dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST (-1,8868)

- c.  $R(t-nT)$  merupakan nilai dengan tindakan pencegahan, nilai dari  $R(t-nT)$  diperoleh dari persamaan (75)

$$R(t-nT) = 1 - \Phi \left( \frac{1}{0,70259} \ln \left( \frac{15 - (0 \cdot 52)}{56,4694} \right) \right)$$

$$R(t-nT) = 1 - \Phi(-1,8868) = 0,97041$$

Nilai  $\Phi$  didapat dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(-1,8868)

- d. Nilai dari  $R(T)$  diperoleh dari persamaan (76)

$$R(T) = 1 - \Phi \left( \frac{1}{0,70259} \ln \frac{52}{56,4694} \right)$$

$$R(T) = 1 - \Phi(-0,1174) = 0,45328$$

Nilai  $\Phi$  didapat dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST (-0,1174)

- e. Nilai dari  $R_m(t)$  diperoleh dari persamaan (77)

$$R_m(t) = 0,97041 \times 1 = 0,97041$$

- f. Nilai Peningkatan *Reliability* diperoleh dari persamaan (78)

$$= \frac{0,49600 - 0,34822}{0,34822} = 42,44\%$$

Perhitungan *reliability* untuk komponen *nozzle* dapat dilihat pada Tabel 4.35.

Tabel 4.35 Perhitungan *Reliability* Komponen *Nozzle*

t	1/s ln (tp/tmed)	$\Phi$	R(tp)	$\Phi[1/s \ln (t - nT/tmed)]$	R(t-nT)	R(T)	n	R(T)^n	Rm(t)
15	-1,88680	0,0295935	0,97041	0,0295935	0,9704065	0,54671	0	1	0,97041
20	-1,47734	0,0697918	0,93021	0,0697918	0,9302082	0,54671	0	1	0,93021
25	-1,15974	0,1230769	0,87692	0,1230769	0,8769231	0,54671	0	1	0,87692
30	-0,90024	0,1839955	0,81600	0,1839955	0,8160045	0,54671	0	1	0,81600
35	-0,68084	0,2479866	0,75201	0,2479866	0,7520134	0,54671	0	1	0,75201
40	-0,49078	0,3117898	0,68821	0,3117898	0,6882102	0,54671	0	1	0,68821
45	-0,32314	0,3732937	0,62671	0,3732937	0,6267063	0,54671	0	1	0,62671
50	-0,17318	0,4312541	0,56875	0,4312541	0,5687459	0,54671	0	1	0,56875

Lanjut...

Tabel 4.35 Perhitungan *Reliability* Komponen *Nozzle* Lanjutan

t	1/s ln (tp/tmed)	$\Phi$	R(tp)	$\Phi[1/s \ln (t - nT/tmed)]$	R(t-nT)	R(T)	n	R(T)^n	Rm(t)
55	-0,03753	0,4850325	0,51497	1,474E-05	0,9999853	0,54671	1	0,54671	0,54670
60	0,086317	0,5343927	0,46561	0,0027054	0,9972946	0,54671	1	0,54671	0,54523
65	0,200242	0,5793543	0,42065	0,0182874	0,9817126	0,54671	1	0,54671	0,53671
70	0,305720	0,6200912	0,37991	0,0518363	0,9481637	0,54671	1	0,54671	0,51837

74,2765	0,390122	0,6517769	0,34822	0,0927668	0,9072332	0,54671	1	0,54671	0,49600
75	0,403918	0,6568635	0,34314	0,1005508	0,8994492	0,54671	1	0,54671	0,49174

(Sumber: Pengolahan Data)

Dari perhitungan Tabel.35 dapat dijelaskan bahwa pada saat  $t=55$  terjadi penggantian maka  $R(t-nT)$  atau nilai pencegahan akan mendekati 1 dan nilai  $n$  akan bertambah untuk setiap penggantian dan pada rata-rata kerusakan 74,2756 *reliability* sebesar 0,34822 atau 34,822% pada saat tanpa pencegahan dan setelah diadakannya pencegahan diperoleh *reliability* sebesar 0,496 atau 49,6%. Dari hasil tersebut didapat bahwa terjadi peningkatan *reliability* sebesar 42,44%.

#### 4.2.4 Perhitungan Preventive Maintenance Untuk Komponen Oil Seal

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan yang dimulai dengan penentuan komponen kritis. Perhitungan dilakukan berdasarkan data yang telah dikumpulkan selama bulan Juli 2015 sampai Desember 2015.

##### 4.2.4.1 Perhitungan Interval TTF dan TTR Komponen Oil Seal

Interval waktu antar kerusakan (*Time To Failure*) adalah selang waktu lamanya mesin atau komponen beroperasi mulai dari saat mesin atau komponen selesai diperbaiki dari suatu kerusakan sampai mesin atau komponen tersebut mengalami kerusakan kembali, sedangkan waktu antar perbaikan (*Time To Repair*) adalah lamanya mesin atau komponen diperbaiki sampai dapat beroperasi kembali. Berikut ini adalah data interval waktu antar kerusakan (TTF) dan perbaikan (TTR) masing-masing komponen kritis pada mesin *injection molding*.

Pada komponen *oil seal*, waktu untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi bervariasi dengan waktu yang terlama adalah 2,167 jam dan yang tercepat adalah 0,750 jam, sementara itu interval jarak antar kerusakan terbesar adalah 282,67 jam, sementara yang terkecil adalah 59,083 jam.

Contoh perhitungan waktu interval antar kerusakan (TTF)

TTF komponen nozzle pada tanggal 10 Juli 2015:

10 Juli pkl 20:00-23:00	= 180 Menit
13 Juli pkl 07:00 - 14 Juli pkl 23:00	= 1.920 Menit
27 Juli pkl 07:00 - 31 Juli pkl 23:00	= 4.800 Menit
03 Agustus pkl 07:00 – 05 Agustus pkl 10:40	= 2.140 Menit
	9.040 Menit/150,667 Jam

Hasil perhitungan lengkap untuk interval waktu antar kerusakan dan interval waktu antar perbaikan untuk komponen *oil seal* selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.36.

Tabel 4.36 Perhitungan Interval Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Antar Perbaikan Komponen *Oil Seal* Mesin *Injection Molding*

No.	Tanggal	Waktu Kerusakan		TTR		TTF (Jam)
		Mulai	Selesai	Menit	Jam	
1	10-Jul-15	19.15	20.00	45	0,750	
2	5-Aug-15	10.40	11.35	55	0,917	150,667

3	26-Aug-15	13.50	14.30	40	0,667	226,000
4	2-Sep-15	08.55	09.55	60	1,000	59,083
5	22-Sep-15	07.30	09.40	130	2,167	208,500
7	9-Nov-15	13.10	14.20	70	1,167	282,000
8	19-Nov-15	08.55	10.40	105	1,750	123,250
9	8-Dec-15	13.20	14.35	75	1,250	210,667

(Sumber: Pengolahan Data)

#### 4.2.4.2 Identifikasi Distribusi Data TTF Komponen *Oil Seal*

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui distribusi yang sesuai dengan data interval waktu antar kerusakan komponen dengan berdasarkan nilai *index of fit* yang ditunjukkan dengan nilai *correlation coefficient* ( $r$ ) terbesar, setelah terpilih suatu distribusi yang sesuai, selanjutnya distribusi ini yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya untuk komponen tersebut.

##### 1. Distribusi Weibull Untuk Data TTF

Contoh perhitungan:

a.  $t_i$  merupakan data TTF

b. Nilai  $x_i$  diperoleh dari persamaan (32)

$$x_i = \ln(59,083) = 4,079$$

c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{8 + 0,4} = 0,083$$

d. Nilai  $y_i$  diperoleh dari persamaan (33)

$$y_i = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - 0,083} \right) \right] = -2,442$$

e.  $x_i \cdot y_i = 4,079 \times (-2,442)$

$$x_i \cdot y_i = -9,960$$

f.  $x_i^2 = (4,079)^2 = 16,638$

g.  $y_i^2 = (-2,442)^2 = 5,962$

Perhitungan *Time To Failure* (TTF) komponen *oil seal* dengan distribusi weibull dapat dilihat pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Perhitungan *Index of Fit* Data TTF Komponen *Oil Seal* Berdasarkan Distribusi Weibull

i	$t_i$	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	59,083	4,079	0,083	-2,442	-9,960	16,638	5,962
2	123,25	4,814	0,202	-1,487	-7,157	23,177	2,210
3	150,667	5,015	0,321	-0,947	-4,751	25,151	0,897
4	208,5	5,340	0,440	-0,544	-2,903	28,515	0,295
5	210,667	5,350	0,560	-0,199	-1,062	28,625	0,039
6	226,25	5,422	0,679	0,127	0,686	29,394	0,016

7	230,333	5,440	0,798	0,469	2,548	29,588	0,219
8	282,667	5,644	0,917	0,910	5,138	31,858	0,829
<b>Total</b>	<b>1491,42</b>	<b>41,104</b>	<b>4,000</b>	<b>-4,113</b>	<b>-17,460</b>	<b>212,946</b>	<b>10,469</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

### Index of Fit

Nilai  $r$  diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{8(-17,460) - (41,104)(-4,113)}{\sqrt{[8(212,946) - (41,104)^2][8 \times 10,469 - (-4,113)^2]}}$$

$$r = 29,381/30,6335$$

$$r = 0,95836$$

### 2. Distribusi Eksponensial Untuk Data TTF

Contoh perhitungan:

a.  $t_i$  merupakan data TTF

b.  $x_i = t_i$

$$x_i = 59,083$$

c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{8 + 0,4} = 0,083$$

d. Nilai  $y_i$  diperoleh dari persamaan (34)

$$y_i = \ln \left[ \left( \frac{1}{1 - 0,083} \right) \right] = 0,087$$

e.  $x_i \cdot y_i = 59,083 \times 0,087 = 5,141$

f.  $x_i^2 = (59,083)^2 = 3.490,801$

g.  $y_i^2 = (0,087)^2 = 0,00757$

Perhitungan *Time To Failure* (TTF) komponen *oil seal* dengan distribusi eksponensial dapat dilihat pada Tabel 4. 38.

Tabel 4.38 Perhitungan *Index of Fit* Data TTF Komponen *Oil Seal* Berdasarkan Distribusi Eksponensial

i	$t_i$	$x_i=t_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	59,083	59,083	0,083	0,087	5,141	3.490,801	0,007
2	123,25	123,25	0,202	0,226	27,870	15.190,563	0,051
3	150,667	150,667	0,321	0,387	58,423	22.700,545	0,150
4	208,5	208,5	0,440	0,580	121,070	43.472,250	0,337
5	210,667	210,667	0,559	0,819	172,726	44.380,585	0,672
6	226,25	226,25	0,678	1,134	256,789	51.189,063	1,288
7	230,333	230,333	0,797	1,597	367,981	53.053,291	2,552

Lanjut...

Tabel 4.38 Perhitungan *Index of Fit* Data TTF Komponen *Oil Seal* Berdasarkan

Distribusi Eksponensial Lanjutan

i	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> =t <sub>i</sub>	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> · y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
8	282,667	282,667	0,916	2,484	702,401	79.900,633	6,174
<b>Total</b>	<b>1.491,417</b>	<b>1.491,417</b>	<b>4,000</b>	<b>7,319</b>	<b>1.712,400</b>	<b>313.377,729</b>	<b>11,234</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

*Index of Fit*

Nilai *r* diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{8(1.712,4) - (1.491,417)(7,319)}{\sqrt{[8(313.337,729) - (1.491,417)^2][8 \times 11,324 - (7,319)^2]}}$$

$$r = 2.783,583/3.203,548$$

$$r = 0,86891$$

3. Distribusi Normal Untuk Data TTF

Contoh perhitungan:

a. t<sub>i</sub> merupakan data TTF

b. x<sub>i</sub> = t<sub>i</sub>

$$x_i = 59,083$$

c. Nilai F(t<sub>i</sub>) diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{8 + 0,4} = 0,083$$

d. y<sub>i</sub> = z = Φ<sup>-1</sup>[F t<sub>i</sub>]diperoleh dari tabel *Standardized Normal Probabilities*( Φ (z))

$$y_i (0,083) = -1,38299$$

e. x<sub>i</sub> · y<sub>i</sub> = 59,083 x (-1,38299) = -81,7114

f. x<sub>i</sub><sup>2</sup> = (59,083)<sup>2</sup> = 3.490,801

g. y<sub>i</sub><sup>2</sup> = (-1,38299)<sup>2</sup> = 1,923

Perhitungan *Time To Failure* (TTF) komponen *oil seal* dengan distribusi normal dapat dilihat pada Tabel 4.39.

Tabel 4.39 Perhitungan *Index of Fit* Data TTF Komponen *Oil Seal* Berdasarkan Distribusi Normal

i	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> =t <sub>i</sub>	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub> =z <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> · y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	59,083	59,083	0,08333	-1,383	-81,711	3.490,801	1,91267

Lanjut...

Tabel 4.39 Perhitungan *Index of Fit* Data TTF Komponen *Oil Seal* Berdasarkan Distribusi Normal Lanjutan

i	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> =t <sub>i</sub>	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub> =z <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> · y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
2	123,25	123,250	0,20238	-0,8331	-102,685	15.190,563	0,69413
3	150,667	150,000	0,32143	-0,4637	-69,556	22.500,000	0,21502
4	208,5	208,500	0,44048	-0,1498	-31,225	43.472,250	0,02243
5	210,667	210,667	0,55952	0,14976	31,5499	44.380,585	0,02243
6	226,25	226,000	0,67857	0,46371	104,798	51.076,000	0,21502

7	230,333	230,333	0,79762	0,83315	191,901	53.053,291	0,69413
8	282,667	282,000	0,91667	1,38299	390,004	79.524,000	1,91267
<b>Total</b>	<b>1.491,417</b>	<b>1.489,833</b>	<b>4,000</b>	<b>0,000</b>	<b>433,075</b>	<b>312.687,489</b>	<b>5,689</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

*Index of Fit*

Nilai  $r$  diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{8(433,075) - (1.489,833)(0)}{\sqrt{[8(312.687,489) - (1.489,833)^2][8 \times 5,689 - (0)^2]}}$$

$$r = 3.464,6/3.581,708$$

$$r = 0,96730$$

#### 4. Distribusi Lognormal Untuk Data TTF

Contoh perhitungan:

a.  $t_i$  merupakan data TTF

b. Nilai  $x_i$  diperoleh dari persamaan (32)

$$x_i = \text{Ln}(59,083) = 4,079$$

c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{24 + 0,4} = 0,083$$

d.  $y_i = z = \Phi^{-1}[F(t_i)]$  diperoleh dari tabel *Standardized Normal*

*Probabilities*( $\Phi(z)$ )

$$y_i(0,083) = -1,38229$$

e.  $x_i \cdot y_i = 4,079 \times (-1,38229) = -5,641$

f.  $x_i^2 = (4,079)^2 = 16,638$

g.  $y_i^2 = (-1,38229)^2 = 1,913$

Perhitungan *Time To Failure* (TTF) komponen *oil seal* dengan distribusi lognormal dapat dilihat pada Tabel 4.40.

Tabel 4.40 Perhitungan *Index of Fit* Data TTF Komponen *Oil Seal* Berdasarkan Distribusi Lognormal

i	$t_i$	$x_i = \text{Ln}(t_i)$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	59,083	4,079	0,083333	-1,38299	-5,64115	16,638	1,912673
2	123,250	4,814	0,202381	-0,83315	-4,01095	23,177	0,694134
3	150,667	5,015	0,321429	-0,46371	-2,32553	25,151	0,215025
4	208,500	5,340	0,440476	-0,14976	-0,79972	28,515	0,022429
5	210,667	5,350	0,559524	0,14976	0,801269	28,625	0,022429
6	226,250	5,422	0,678571	0,46371	2,514057	29,394	0,215025
7	230,333	5,440	0,797619	0,83315	4,531924	29,588	0,694134
8	282,667	5,644	0,916667	1,382994	7,805992	31,858	1,912673
<b>Total</b>	<b>1.491,417</b>	<b>41,104</b>	<b>4,000</b>	<b>0,000</b>	<b>2,876</b>	<b>212,946</b>	<b>5,689</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

*Index of Fit*

Nilai *r* diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{8(2,876) - (41,104)(0)}{\sqrt{[8(212,946) - (41,104)^2][(8 \times 5,689) - (0)^2]}}$$

$$r = 23,0071 / 25,277$$

$$r = 0,91018$$

Ringkasan dari nilai *index of fit* yang telah diperoleh dari keempat distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.41.

Tabel 4.41 Ringkasan Nilai *Index of Fit* Data TTF Komponen *Oil Seal*

Distribusi TTF	<i>Index of Fit</i> (r)
Weibull	0,958363
Eksponensial	0,868907
<b>Normal</b>	<b>0,967304</b>
Lognormal	0,910176

(Sumber: Pengolahan Data)

Dari ringkasan Tabel 4.41 dapat dilihat bahwa nilai *index of Fit* TTF yang terbesar untuk komponen *oil seal* diperoleh adalah distribusi normal, maka dilakukan pengujian menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov*.

**4.2.4.3 Uji Kolmogorov-Smirnov Komponen *Oil Seal***

Pada uji Kolmogorov-Smirnov dapat diketahui apakah data TTF berdistribusi lognormal atau bukan dengan menggunakan hipotesis seperti berikut.

H<sub>0</sub> : Data TTF komponen *oil seal* berdistribusi normal

H<sub>1</sub> : Data TTF komponen *oil seal* tidak berdistribusi normal

Uji *Kolmogorov-Smirnov* dapat dilihat pada Tabel 4.40.

Tabel 4.42 Uji *Kolmogorov-Smirnov* Untuk Komponen *Oil Seal*

<i>i</i>	$\frac{i}{n}$	$\frac{i-1}{n}$	$x_i = \ln(t_i)$	$(x_i - \bar{x}_1)^2$	S	$\frac{(x_i - \bar{x}_1)}{s}$	$\frac{\Phi(x_i - \bar{x}_1)}{s}$	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
1	0,125	0,000	4,07894	1,119479	0,500451	-2,114200518	0,017249072	0,017249072	0,10775
2	0,250	0,125	4,81421	0,104189	0,500451	-0,644983406	0,25946897	0,13446897	-0,00947
3	0,375	0,250	5,01064	0,015967	0,500451	-0,252496467	0,400328672	0,150328672	-0,02533
4	0,500	0,375	5,33994	0,041185	0,500451	0,405517498	0,657451421	0,282451421	-0,15745
5	0,625	0,500	5,35028	0,045489	0,500451	0,426178156	0,665010983	0,165010983	-0,04001
6	0,750	0,625	5,42053	0,080394	0,500451	0,56656415	0,714494831	0,089494831	0,03551
7	0,875	0,750	5,43953	0,091524	0,500451	0,604512099	0,727248386	-0,02275161	0,14775
8	1,000	0,875	5,64191	0,254934	0,500451	1,008909298	0,843490932	-0,03150907	0,15651
<b>Total</b>	<b>4,500</b>	<b>3,500</b>	<b>41,096</b>	<b>1,75316</b>	<b>4,00361</b>	<b>8,09858E-07</b>	<b>4,28474327</b>	<b>0,78474327</b>	<b>0,21526</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

Contoh perhitungan :

- a. *i* merupakan angka dari data awal pada tabel dan *n* merupakan jumlah data

$$\frac{i}{n} = \frac{1}{8} = 0,125$$

- b. *i* merupakan angka dari data awal pada tabel dan *n* merupakan jumlah data

$$\frac{i-1}{n} = \frac{1-1}{8} = 0$$

c.  $x_i$  berasal dari ln dikali data TTF kemudian dijumlah,  $\sum x_i = 41,096$

berikut rata-rata dari  $x_i$  yang diperoleh dari total  $\sum x_i$  dibagi jumlah data

$$\bar{x}_1 = \frac{41,096}{8} = 5,137$$

$$(x_i - \bar{x}_1)^2 = (4,07894 - 5,137)^2 = 1,119479$$

d. Nilai setiap standar deviasi (s) diperoleh dari persamaan (46)

$$= \sqrt{\frac{1,75507}{7}} = 0,500724$$

e. Nilai  $D_1$  diperoleh dari persamaan (43)

$$D_1 = 0,01721 - 0 = 0,01721$$

f. Nilai  $D_1$  diperoleh dari persamaan (44)

$$D_2 = 0,125 - 0,01721 = 0,10779$$

g. Maks  $D_1 = 0,2816$

h. Maks  $D_2 = 0,15598$

i.  $D_{Hitung} = \max(D_1, D_2) = 0,2816$

j.  $D_{tabel} = 0,285$

Hasil hipotesis yang diterima adalah jika  $D_{Hitung}$  lebih kecil dari  $D_{tabel}$ , karena  $D_n(0,281) < D_{tabel}(0,285)$  maka  $H_0$  diterima. TTF komponen *oil seal* berdistribusi normal.

#### 4.2.4.4 Perhitungan MTBF Komponen Oil Seal

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai MTBF dari tiap komponen berdasarkan distribusi yang sesuai dengan yang telah ditentukan dari perhitungan sebelumnya.

1.  $\bar{x}_i$  diperoleh dari total  $x_i$  dibagi jumlah data TTF

$$\bar{x}_i = \frac{1.491,417}{8} = 186,4271$$

2. Nilai b diperoleh dari persamaan (29)

$$b = \frac{(8 \times 433,804) - (1.491,417 \times 0)}{(8 \times 313.377,729) - (1.491,417)^2} = \frac{3.470,4334}{2.826.897,1677} = 0,01227$$

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

$$= 0 - (0,01227 \times 186,4271) = -2,2886$$

$$S = 1/b = 1/0,01227 = 81,45875$$

$$t_{med} = e^{-axs} = e^{-(2,2886 \times 81,45875)} = 5,22804$$

$$MTTF = -\left(\frac{a}{b}\right)$$

$$MTTF = -\left(\frac{-2,2886}{0,01227}\right) = 186,4271 \text{ Jam}$$

#### 4.2.4.5 Identifikasi Distribusi Data TTR Komponen *Oil Seal*

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui distribusi yang sesuai dengan data interval waktu perbaikan komponen dengan berdasarkan nilai *index of fit* yang ditunjukkan dengan nilai *correlation coefficient* ( $r$ ) terbesar, setelah terpilih suatu distribusi yang sesuai, selanjutnya distribusi ini yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya untuk komponen tersebut.

##### 1. Distribusi Weibull Untuk Data TTR

Contoh perhitungan:

a.  $t_i$  merupakan data TTR

b. Nilai  $x_i$  diperoleh dari persamaan (32)

$$x_i = \ln(0,667) = -0,405$$

c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1-0,3}{9+0,4} = 0,074$$

d. Nilai  $y_i$  diperoleh dari persamaan (33)

$$y_i = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1-0,074} \right) \right] = -2,559$$

e.  $x_i \cdot y_i = -0,405 \times (-2,559)$

$$= 1,036$$

f.  $x_i^2 = (-0,405)^2 = 0,164$

g.  $y_i^2 = (-2,559)^2 = 6,548$

Perhitungan *Time To Repair* (TTR) komponen *oil seal* dengan distribusi weibull dapat dilihat pada Tabel 4. 43.

Tabel 4.43 Perhitungan *Index of Fit* Data TTR Komponen *Oil Seal* Berdasarkan Distribusi Weibull

<b>i</b>	<b><math>t_i</math></b>	<b><math>x_i = \ln(t_i)</math></b>	<b><math>F(t_i)</math></b>	<b><math>y_i</math></b>	<b><math>x_i \cdot y_i</math></b>	<b><math>x_i^2</math></b>	<b><math>y_i^2</math></b>
1	0,667	-0,405	0,074	-2,559	1,036	0,164	6,548
2	0,750	-0,288	0,181	-1,612	0,464	0,083	2,599
3	0,917	-0,087	0,287	-1,083	0,094	0,008	1,173
4	1,000	0,000	0,394	-0,693	0,000	0,000	0,480
5	1,167	0,154	0,500	-0,367	-0,057	0,024	0,134
6	1,250	0,223	0,606	-0,070	-0,016	0,050	0,005
7	1,500	0,405	0,713	0,221	0,090	0,164	0,049
8	1,750	0,560	0,819	0,537	0,300	0,313	0,288
9	2,167	0,773	0,926	0,955	0,738	0,598	0,911
<b>Total</b>	<b>11,168</b>	<b>1,337</b>	<b>4,500</b>	<b>-4,671</b>	<b>2,650</b>	<b>1,404</b>	<b>12,186</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

*Index of Fit*

Nilai  $r$  diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{9(2,650) - (-1,337)(-4,671)}{\sqrt{[9(1,337) - (-1,404)^2][(9 \times 12,186) - (-4,671)^2]}}$$

$$r = 30,09093 / 30,8681$$

$$r = 0,97482$$

## 2. Distribusi Eksponensial Untuk Data TTR

Contoh perhitungan:

a.  $t_i$  merupakan data TTR

b.  $x_i = t_i$

$$x_i = 0,667$$

c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{9 + 0,4} = 0,074$$

d. Nilai  $y_i$  diperoleh dari persamaan (34)

$$y_i = \ln \left[ \left( \frac{1}{1 - 0,074} \right) \right] = 0,077$$

e.  $x_i \cdot y_i = 0,667 \times 0,077 = 0,05162$

f.  $x_i^2 = (0,667)^2 = 0,444$

g.  $y_i^2 = (0,077)^2 = 0,00599$

Perhitungan *Time To Repair* (TTR) komponen *oil seal* dengan distribusi eksponensial dapat dilihat pada Tabel 4.44.

Tabel 4.44 Perhitungan *Index of Fit* Data TTR Komponen *Oil Seal* Berdasarkan Distribusi Eksponensial

i	$t_i$	$x_i=t_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	0,667	0,667	0,07447	0,07739	0,05162	0,44489	0,00599
2	0,750	0,750	0,18085	0,19949	0,14962	0,5625	0,0398
3	0,917	0,917	0,28723	0,3386	0,3105	0,840889	0,11465
4	1,000	1,000	0,39362	0,50024	0,50024	1,000000	0,25024
5	1,167	1,167	0,500000	0,69315	0,8089	1,361889	0,48045
6	1,250	1,250	0,60638	0,93238	1,16547	1,562500	0,86933
7	1,500	1,500	0,71277	1,24746	1,87119	2,250000	1,55615
8	1,750	1,750	0,81915	1,71008	2,99264	3,062500	2,92438
9	2,167	2,167	0,92553	2,59738	5,62853	4,69589	6,74641
<b>Total</b>	<b>11,168</b>	<b>11,168</b>	<b>4,500</b>	<b>8,296</b>	<b>13,479</b>	<b>15,781</b>	<b>12,987</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

*Index of Fit*

Nilai  $r$  diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{9(13,479) - (11,168)(8,296)}{\sqrt{[(9 \times 15,781) - (11,168)^2][(9 \times 12,987) - (8,296)^2]}}$$

$$r = 28,6568 / 28,8391$$

$$r = 0,993678$$

### 3. Distribusi Normal Untuk Data TTR

Contoh perhitungan:

a.  $t_i$  merupakan data TTR

b.  $x_i = t_i$

$$x_i = 0,667$$

c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{9 + 0,4} = 0,074$$

d.  $y_i = z = \Phi^{-1}[F t_i]$  diperoleh dari tabel *Standardized Normal Probabilities* ( $\Phi(z)$ )

$$y_i(0,074) = -1,443$$

e.  $x_i \cdot y_i = 0,667 \times (-1,443) = -0,963$

f.  $x_i^2 = (0,667)^2 = 0,445$

g.  $y_i^2 = (-1,443)^2 = 2,083$

Perhitungan *Time To Repair* (TTR) komponen *oil seal* dengan distribusi normal dapat dilihat pada Tabel 4.45.

Tabel 4.45 Perhitungan *Index of Fit* Data TTR Komponen *Oil Seal* Berdasarkan Distribusi Normal

i	$t_i$	$x_i=t_i$	$F(t_i)$	$y_i=z_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	0,667	0,667	0,074	-1,443	-0,963	0,445	2,083
2	0,750	0,750	0,181	-0,912	-0,684	0,563	0,832
3	0,917	0,917	0,287	-0,561	-0,515	0,841	0,315
4	1,000	1,000	0,394	-0,270	-0,270	1,000	0,073
5	1,167	1,167	0,500	0,000	0,000	1,362	0,000
6	1,250	1,250	0,606	0,270	0,337	1,563	0,073
7	1,500	1,500	0,713	0,561	0,842	2,250	0,315
8	1,750	1,750	0,819	0,912	1,596	3,063	0,832
9	2,167	2,167	0,926	1,443	3,128	4,696	2,083
<b>Total</b>	<b>11,168</b>	<b>11,168</b>	<b>4,500</b>	<b>0,000</b>	<b>3,472</b>	<b>15,781</b>	<b>6,606</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

*Index of Fit*

Nilai  $r$  diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{9(3,472) - (11,168)(0)}{\sqrt{[(8 \times 15,781) - (11,168)^2][(9 \times 6,606) - (0)^2]}}$$

$$r = 31,2471/32,0769$$

$$r = 0,97413$$

### 4. Distribusi Lognormal Untuk Data TTR

Contoh perhitungan:

a.  $t_i$  merupakan data TTF

b. Nilai  $x_i$  diperoleh dari persamaan (32)

$$x_i = \ln(0,667) = -2,079$$

c. Nilai  $F(t_i)$  diperoleh dari persamaan (27)

$$F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{9 + 0,4} = 0,074$$

d.  $y_i = z = \Phi^{-1}[F t_i]$  diperoleh dari tabel *Standardized Normal Probabilities* ( $\Phi(z)$ )

$$y_i(0,074) = -1,44$$

e.  $x_i \cdot y_i = -0,405 \times (-1,44) = 0,584$

f.  $x_i^2 = (-0,405)^2 = 0,164$

g.  $y_i^2 = (-1,443)^2 = 2,083$

Perhitungan *Time To Repair* (TTR) komponen *oil seal* dengan distribusi lognormal dapat dilihat pada Tabel 4.46.

Tabel 4.46 Perhitungan *Index of Fit* Data TTR Komponen *Oil Seal* Berdasarkan Distribusi Lognormal

i	$t_i$	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	0,667	-0,405	0,074	-1,443	0,584	0,164	2,083
2	0,750	-0,288	0,181	-0,912	0,262	0,083	0,832
3	0,917	-0,087	0,287	-0,561	0,049	0,008	0,315
4	1,000	0,000	0,394	-0,270	0,000	0,000	0,073
5	1,167	0,154	0,500	0,000	0,000	0,024	0,000
6	1,250	0,223	0,606	0,270	0,060	0,050	0,073
7	1,500	0,405	0,713	0,561	0,228	0,164	0,315
8	1,750	0,560	0,819	0,912	0,510	0,313	0,832
9	2,167	0,773	0,926	1,443	1,116	0,598	2,083
<b>Total</b>	<b>11,168</b>	<b>1,337</b>	<b>4,500</b>	<b>0,000</b>	<b>2,810</b>	<b>1,404</b>	<b>6,606</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

*Index of Fit*

Nilai  $r$  diperoleh dari persamaan (28)

$$r = \frac{9(2,180) - (-1,337)(0)}{\sqrt{[(9 \times 1,404) - (-1,337)^2][(9 \times 6,606) - (0)^2]}}$$

$$r = 25,2903/25,3934$$

$$r = 0,99594$$

Ringkasan dari nilai *index of fit* yang telah diperoleh dari keempat distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.47.

Tabel 4.47 Ringkasan Nilai *Index of Fit* Data TTR Komponen *oil seal*

Distribusi TTR	<i>Index of Fit</i> ( $r$ )
Weibull	0,97482
Ekspensial	0,99367
Normal	0,97413
<b>Lognormal</b>	<b>0,99594</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

Dari ringkasan Tabel 4.43 dapat dilihat bahwa nilai *index of Fit* TTR yang terbesar untuk komponen *oil seal* diperoleh adalah distribusi lognormal, maka dilakukan pengujian menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov*.

#### 4.2.4.6 Uji Kolmogorov-Smirnov Komponen Oil Seal

Pada uji Kolmogorov-Smirnov dapat diketahui apakah data TTR berdistribusi lognormal atau bukan dengan menggunakan hipotesis seperti berikut.

H<sub>0</sub> : Data TTR komponen *oil seal* berdistribusi Lognormal

H<sub>1</sub> : Data TTR komponen *oil seal* tidak berdistribusi Lognormal

Uji *Kolmogorov-Smirnov* dapat dilihat pada Tabel 4.48.

Tabel 4.48 Uji *Kolmogorov-Smirnov* Untuk Komponen *Oil Seal*

<i>i</i>	$\frac{i}{n}$	$\frac{i-1}{n}$	$x_i = \ln(t_i)$	$(x_i - \bar{x}_1)^2$	S	$\frac{(x_i - \bar{x}_1)}{s}$	$\frac{\Phi(x_i - \bar{x}_1)}{s}$	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
1	0,125	0,000	4,07894	1,119479	0,500451	-2,114200518	0,017249072	0,017249072	0,10775
2	0,250	0,125	4,81421	0,104189	0,500451	-0,644983406	0,25946897	0,13446897	-0,00947
3	0,375	0,250	5,01064	0,015967	0,500451	-0,252496467	0,400328672	0,150328672	-0,02533
4	0,500	0,375	5,33994	0,041185	0,500451	0,405517498	0,657451421	0,282451421	-0,15745
5	0,625	0,500	5,35028	0,045489	0,500451	0,426178156	0,665010983	0,165010983	-0,04001
6	0,750	0,625	5,42053	0,080394	0,500451	0,56656415	0,714494831	0,089494831	0,03551

Lanjut...

Tabel 4.48 Uji *Kolmogorov-Smirnov* Untuk Komponen *Oil Seal* Lanjutan

<i>i</i>	$\frac{i}{n}$	$\frac{i-1}{n}$	$x_i = \ln(t_i)$	$(x_i - \bar{x}_1)^2$	S	$\frac{(x_i - \bar{x}_1)}{s}$	$\frac{\Phi(x_i - \bar{x}_1)}{s}$	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
7	0,875	0,750	5,43953	0,091524	0,500451	0,604512099	0,727248386	-0,02275161	0,14775
8	1,000	0,875	5,64191	0,254934	0,500451	1,008909298	0,843490932	-0,03150907	0,15651
<b>Total</b>	<b>4,500</b>	<b>3,500</b>	<b>41,096</b>	<b>1,75316</b>	<b>4,00361</b>	<b>8,09858E-07</b>	<b>4,28474327</b>	<b>0,78474327</b>	<b>0,21526</b>

(Sumber: Pengolahan Data)

Contoh perhitungan :

a. *i* merupakan angka dari data awal pada tabel dan *n* merupakan jumlah data

$$\frac{i}{n} = \frac{1}{9} = 0,111$$

b. *i* merupakan angka dari data awal pada tabel dan *n* merupakan jumlah data

$$\frac{1-1}{9} = 0$$

c. *x<sub>i</sub>* berasal dari ln dikali data TTF kemudian dijumlah,  $\sum x_i = -1,973$

berikut rata-rata dari *x<sub>i</sub>* yang diperoleh dari total  $\sum x_i$  dibagi jumlah data

$$\bar{x}_1 = \frac{-1,973}{9} = -0,219$$

$$(x_i - \bar{x}_1)^2 = (-2,079 - (-0,219))^2 = 3,460$$

d. Nilai setiap standar deviasi (*s*) diperoleh dari persamaan (46)

$$= \sqrt{\frac{6,345}{8}} = 0,8905$$

e. Nilai D<sub>1</sub> diperoleh dari persamaan (43)

$$= 0,0184 - 0 = 0,0184$$

f. Nilai  $D_1$  diperoleh dari persamaan (44)

$$= 0,111 - 0,0184 = 0,0927$$

g. Maks  $D_1 = 0,153$

h. Maks  $D_2 = 0,133$

i.  $D_n = \max(D_1, D_2) = 0,153$

j.  $D_{\text{tabel}} = 0,271$

Hasil hipotesis yang diterima adalah jika  $D_n$  lebih kecil dari  $D_{\text{tabel}}$ , karena  $D_n (0,153) < D_{\text{tabel}} (0,271)$  maka  $H_0$  diterima. Komponen *oil seal* TTR berdistribusi lognormal.

#### **4.2.4.7 Perhitungan MTTR komponen *Oil Seal***

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai MTTR dari komponen berdasarkan distribusi yang sesuai dengan yang telah ditentukan dari perhitungan sebelumnya.

1.  $\bar{x}_i$  diperoleh dari total  $x_i$  dibagi jumlah data TTR

$$\bar{x}_i = \frac{1,337}{9} = 0,1485$$

2. Nilai b diperoleh dari persamaan (29)

$$b = \frac{(9 \times 2,810) - (1,337 \times 0)}{9 \times 1,404 - (1,337)^2} = 2,332$$

3. Nilai a diperoleh dari persamaan (31)

$$= 0 - (2,332 \times 0,1485)$$

$$= -0,346$$

4.  $S = \frac{1}{b} = \frac{1}{2,332} = 0,428$

5.  $T_{med} = e^{-axs}$

$$= e^{-(0,346) \times 0,428}$$

$$= 1,160$$

6.  $MTTR = t_{med} \times \left( e^{\frac{s^2}{2}} \right)$

$$MTTR = 1,160 \times \left( e^{\frac{0,428^2}{2}} \right)$$

$$MTTR = 1,272 \text{ Jam atau } 76,3107 \text{ Menit}$$

#### 4.2.4.8 Perhitungan Age Replacement Dan Pemeriksaan Untuk Komponen

##### *Oil Seal*

1. Perhitungan Age Replacement Untuk Komponen *Oil Seal*

Perhitungan ini bertujuan untuk mencari interval waktu penggantian komponen yang optimal dengan menghasilkan nilai *equipment failure*  $\{D(tp)\}$  minimum. Perhitungan ini dilakukan dengan *trial and error* pada setiap komponen kritis, yang perhitungannya sebagai berikut.

Data-data untuk perhitungan *age replacement* yang diperoleh dari data sebelumnya:

- a. Hasil dari perhitungan data waktu kerusakan yang berdistribusi lognormal

$$MTBF = 186,4271 \text{ Jam}$$

$$T_{med} = 5,22804$$

$$S = 81,45875$$

- b. Hasil dari perhitungan data waktu perbaikan yang berdistribusi eksponensial

$$MTTR = 1,271 \text{ Jam sebagai } T_f \text{ atau } T_p$$

Perhitungan *age replacement* untuk komponen *oil seal* dapat dilihat pada Tabel 4.49.

Tabel 4.49 Perhitungan Age Replacement Untuk Komponen *Oil Seal*

t	$\frac{(t - \text{MTTF})}{\sigma}$	$\Phi$	R(tp)	Tp.R(Tp)	1-R(Tp)	Tf(1-R(Tp))	$\frac{(tp+Tp) \cdot R(tp)}{(tp)}$	M(Tp)	M(Tp)+Tf	D(tp)
60	-1,552	0,060	0,940	1,195	0,060	0,077	57,576	3090,303	3091,575	0,005210781263
80	-1,307	0,096	0,904	1,150	0,096	0,122	73,495	1948,268	1949,540	0,004890883296
100	-1,061	0,144	0,856	1,088	0,144	0,184	86,654	1291,524	1292,796	0,004654264158
120	-0,815	0,207	0,793	1,008	0,207	0,264	96,120	898,869	900,141	0,004497156665
140	-0,570	0,284	0,716	0,910	0,284	0,362	101,100	655,609	656,881	0,004417828787
145	-0,509	0,306	0,694	0,883	0,306	0,389	101,582	610,179	611,451	0,004410041270
146	-0,496	0,310	0,690	0,878	0,310	0,394	101,640	601,679	602,950	0,004409059331
147	-0,484	0,314	0,686	0,872	0,314	0,400	101,687	593,361	594,633	0,004408268983
148	-0,472	0,319	0,681	0,867	0,319	0,405	101,720	585,223	586,495	0,004407670107
149	-0,459	0,323	0,677	0,861	0,323	0,411	101,741	577,260	578,532	0,004407262575
150	-0,447	0,327	0,673	0,855	0,327	0,416	101,750	569,468	570,740	0,004407046256
170	-0,202	0,420	0,580	0,738	0,420	0,534	99,322	443,778	445,050	0,004442602901
190	0,044	0,517	0,483	0,614	0,517	0,658	92,290	360,251	361,523	0,004552456128
210	0,289	0,614	0,386	0,491	0,614	0,781	81,581	303,698	304,970	0,004731754555
230	0,535	0,704	0,296	0,377	0,704	0,895	68,539	264,946	266,217	0,004970839112
250	0,780	0,782	0,218	0,277	0,782	0,995	54,669	238,266	239,538	0,005253575474
270	1,026	0,848	0,152	0,194	0,848	1,078	41,357	219,962	221,234	0,005557246622
290	1,271	0,898	0,102	0,129	0,898	1,142	29,646	207,552	208,823	0,005855230647

(Sumber: Pengolahan Data)

Contoh perhitungan Pada saat tp = 60

a. Nilai  $\frac{(T - \text{MTBF})}{\sigma}$  diperoleh dari persamaan (69)

$$= \frac{(60 - 186,4271)}{81,45875} = -1,552$$

b. Nilai  $\Phi \frac{(T - \text{MTBF})}{\sigma}$  merupakan nilai yang didapat pada tabel z

$$\Phi (-1,552) = 0,060$$

c. Nilai R(tp) didapat dari persamaan (69)

$$= 1 - 0,060 = 0,940$$

d. Nilai Tp.R(Tp) merupakan nilai Tp atau MTTR dikali dengan hasil dari R(Tp) persamaan (70)

$$= 1,271 \times 0,940 = 1,111$$

e. Nilai dari 1-R(Tp) merupakan persamaan (71)

$$= 1 - 0,940 = 0,060$$

f. Nilai dari Tf(1-R(Tp)) merupakan hasil dari Tf dikali dengan hasil dari persamaan (71)

$$= 1,271 \times 0,060 = 0,071$$

k. Nilai dari ekpektasi panjang waktu siklus atau  $(tp+Tp) \cdot R(tp)$  diperoleh dari persamaan (53)

$$= (60 + 1,271) \times 0,940 = 57,491$$

g. Nilai dari M(Tp) merupakan nilai MTTF dibagi dengan 1-R(Tp)

$$= 186,4271 / 0,940 = 3.090,303$$

- h. Nilai dari  $M(Tp)+Tf$  merupakan nilai dari hasil  $M(Tp)$  dikali dengan  $Tf$  atau MTTR

$$= 3.090,303 + 1,271 = 3.091,485$$

- i. Nilai dari  $D(tp)$  didapat dari persamaan (54)

$$= \frac{1,111+0,071}{57,491+[3.091,485].[0,060]} = 0,004845999563$$

## 2. Perhitungan interval waktu pemeriksaan Untuk Komponen *Oil Seal*

- Periode lama penelitian (b) = 6 bulan
- Satu hari jam kerja adalah selama 16 jam
- Selama penelitian dilakukan (6 bulan), terdapat 114 hari kerja
- Jam kerja produktif selama 6 bulan adalah (j) :  
 $j = 114 \times 16 = 1.824$  jam/ setengah tahun = 109.440 menit/ setengah tahun
- Rata-rata jam kerja per bulan adalah (u) :  
 $u = j / b = 109.440 / 6 = 18.240$  menit/bulan
- Waktu pemeriksaan komponen (p) = 20 menit
- Jumlah kerusakan yang terjadi pada periode ini (k) = 9 kali
- Waktu rata-rata perbaikan ( $\mu$ ) =  $u / MTTR = 18.240/81,6 = 223,529$
- Rata-rata kerusakan selama 1 bulan (w) =  $k/b = 9/6 = 1,5$  kerusakan/bulan
- Jadi, (v) =  $u / p = 18.240 / 20 = 912$ /bulan
- Frekuensi pemeriksaan (n) :

$$n = \sqrt{\frac{w.v}{\mu}}$$

$$n = \sqrt{\frac{1,5 \times 912}{223,529}} = \sqrt{\frac{1368}{223,529}} = \sqrt{6,12} = 2,474 \text{ kali/bulan}$$

- Interval waktu pemeriksaan (y) =  $u / n = 18.240 / 2,474 = 7.372,676$  menit

### 4.2.4.9 Perhitungan *Reliability* Komponen *Oil Seal*

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui apakah adanya peningkatan *reliability* untuk komponen *nozzle* setelah dilakukannya penggantian komponen sesuai dengan model *age replacement*, yang perhitungannya sebagai berikut:  
 Data-data untuk perhitungan *age replacement* yang diperoleh dari data sebelumnya:

- Age replacement* (T) = 150 jam
- MTTF = 186,4271 jam
- S = 81,45875
- MTTR = 1,271 Jam

Contoh perhitungan pada saat  $t_p=60$ :

a. Nilai dari  $\frac{(t_p - \text{MTTF})}{\sigma}$  didapat dari waktu awal  $t_p=60$  dikurangi

MTTF=186,4271 dibagi dengan  $s = 81,45875$

$$= \frac{(60 - 186,4271)}{81,45875} = -1,552$$

$$\Phi \frac{(t - \text{MTTF})}{\sigma} = \Phi(-1,552) = 0,06033$$

Nilai  $\Phi$  didapat dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(-1,552)

b.  $R(t_p)$  merupakan nilai dari tanpa tindakan pencegahan, nilai dari  $R(t_p)$  diperoleh dari persamaan (69)

$$R(t_p) = 1 - \Phi(-1,552)$$

$$R(t_p) = 1 - 0,06033 = 0,93967$$

Nilai  $\Phi$  didapat dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(-1,552)

c.  $R(t-nT)$  merupakan nilai dengan tindakan pencegahan, nilai dari  $R(t-nT)$  diperoleh dari persamaan (70)

$$R(t-nT) = 1 - \Phi \frac{((t-nT) - \text{MTTF})}{\sigma}$$

$$R(t-nT) = 1 - 0,06033 = 0,93967$$

Nilai  $\Phi$  didapat dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(-1,552)

d. Nilai dari  $R(T)$  diperoleh dari persamaan (71)

$$R(T) = 1 - \Phi \left( \frac{150 - 186,4271}{81,45875} \right)$$

$$R(T) = 1 - 0,32737 = 0,67263$$

Nilai  $\Phi$  didapat dari fungsi Microsoft Excel, yaitu NORMSDIST(-0,4472)

e. Nilai dari  $R_m(t)$  diperoleh dari persamaan (72)

$$R_m(t) = 0,93967 \times 1 = 0,93967$$

f. Nilai Peningkatan *Reliability* diperoleh dari persamaan (73)

$$= \frac{0,65058 - 0,5}{0,5} \times 100\% = 30,12\%$$

Perhitungan *reliability* untuk komponen *nozzle* dapat dilihat pada Tabel 4.50.

Tabel 4.50 Perhitungan *Reliability* Komponen *Oil Seal*

t	$\frac{(t - \text{MTTF})}{\sigma}$	$\Phi$	R(tp)	$\Phi \frac{((t-nT) - \text{MTTF})}{\sigma}$	R(t-nT)	R(T)	n	$R(T)^n$	Rm(t)
60	-1,55204	0,06033	0,93967	0,0603265	0,93967	0,67263	0	1	0,93967
80	-1,30652	0,09569	0,90431	0,0956887	0,90431	0,67263	0	1	0,90431
100	-1,06099	0,14435	0,85565	0,1443467	0,85565	0,67263	0	1	0,85565
120	-0,81547	0,20740	0,7926	0,2074019	0,7926	0,67263	0	1	0,7926
140	-0,56995	0,28436	0,71564	0,2843571	0,71564	0,67263	0	1	0,71564
145	-0,50857	0,30553	0,69447	0,3055284	0,69447	0,67263	0	1	0,69447

146	-0,49629	0,30985	0,69015	0,3098452	0,69015	0,672 63	0	1	0,69015
147	-0,48401	0,31419	0,68581	0,3141883	0,68581	0,67263	0	1	0,68581
148	-0,47174	0,31856	0,68144	0,3185573	0,68144	0,67263	0	1	0,68144
149	-0,45946	0,32295	0,67705	0,3229517	0,67705	0,67263	0	1	0,67705
150	-0,44718	0,32737	0,67263	0,0110511	0,98895	0,67263	1	0,67263	0,66520
170	-0,20166	0,42009	0,57991	0,020522	0,97948	0,67263	1	0,67263	0,65883
186,4	0,00000	0,5	0,5	0,0327798	0,96722	0,67263	1	0,67263	0,65058
190	0,04386	0,51749	0,48251	0,0361233	0,96388	0,67263	1	0,67263	0,64833

(Sumber: Pengolahan Data)

Dari perhitungan Tabel.50 didapat bahwa pada saat  $t=150$  terjadi penggantian maka  $R(t-nT)$  atau nilai pencegahan akan mendekati 1 dan nilai  $n$  akan bertambah untuk setiap penggantian dan pada rata-rata kerusakan 186,4271 *reliability* sebesar 0,5 atau 50% pada saat tanpa pencegahan dan setelah diadakannya pencegahan diperoleh *reliability* sebesar 0,67263 atau 67,263%. Dari hasil tersebut didapat bahwa terjadi peningkatan *reliability* sebesar 30,12%.

## BAB V

### ANALISIS MASALAH

#### 5.1 Analisis Mesin *Injection Molding* yang Kritis

Pada PT Kartika Multi Sarana terdapat empat mesin *injection molding* untuk produksi. Mesin *injection molding* pada proses produksi berfungsi untuk mengubah bahan baku menjadi produk yang memiliki nilai tambah. Penentuan mesin *injection molding* yang kritis berdasarkan waktu *downtime* (kerusakan) terbesar selama Juli-Desember 2015. Pada diagram Pareto mesin *injection molding* Toshiba 220 ton memiliki presentase terbesar yaitu sebesar 38,7% dengan waktu kerusakan 2.195 menit, maka untuk Toshiba 220 ton akan dilakukan perhitungan selanjutnya.

#### 5.2 Analisis Komponen Kritis Pada Mesin *Injection Molding*

Kerusakan pada mesin *injection molding* Toshiba 220 ton terdiri dari empat komponen yaitu *screw*, *nozzle*, *oil seal* dan *hydrolic*. Penentuan komponen kritis pada mesin *injection molding* Toshiba 220 ton dilakukan dengan menggunakan diagram Pareto. Pemilihan komponen yang kritis berdasarkan dengan waktu kerusakan dan presentase. Komponen yang dipilih adalah *nozzle* dengan waktu kerusakan 1.170 menit (53,3%) dan *oil seal* dengan waktu kerusakan 670 menit (30,5%), maka untuk komponen *nozzle* dan *oil seal* akan dilanjutkan untuk tahap perhitungan selanjutnya.

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

Pada analisis perhitungan TTF dibutuhkan waktu kerusakan komponen mesin dan tanggal terjadinya kerusakan, sedangkan untuk TTR dibutuhkan waktu perbaikan dan tanggal perbaikan komponen mesin. Data pada penelitian ini berdasarkan pada data kerusakan dan perbaikan pada perusahaan dari bulan Juli hingga Desember 2015. Mesin *injection molding* digunakan dalam satu hari selama enam belas jam dan lima hari dalam seminggu. Selang waktu kerusakan terlama untuk komponen *nozzle* adalah selama 215 jam dan waktu kerusakan tercepat adalah selama 12,833 jam. Selang waktu untuk komponen *oil seal* dengan waktu kerusakan terlama adalah 282,67 jam dan waktu kerusakan tercepat adalah 59,083 jam. Pada saat penggunaan mesin *injection molding* untuk komponen *nozzle* terdapat perbaikan terlama yang terjadi pada tanggal 12 Oktober 2015 dengan waktu perbaikan selama 240 menit atau 4 jam. Perbaikan berlangsung lama disebabkan tidak tersedianya komponen pada saat terjadi kerusakan sehingga perbaikan menunggu tersedianya komponen *nozzle*. Perbaikan

tercepat selama 10 menit atau 0,167 jam, penyebab dari kerusakan adalah tersumbatnya *nozzle* oleh benda yang tidak meleleh pada saat pemanasan. Komponen *oil seal* waktu perbaikan terlama terjadi pada tanggal 22 September 2015 dengan waktu perbaikan selama 130 menit atau 2,167 jam. Perbaikan tercepatnya terjadi pada tanggal 26 Agustus 2015 dengan waktu perbaikan selama 40 menit atau 0,667 jam.

#### 5.4 Analisis Penentuan Distribusi Terpilih

Pada analisis ini untuk menentukan distribusi terpilih dilakukan perhitungan *index of fit* dengan perhitungan  $r$  terlebih dahulu terhadap empat distribusi yaitu distribusi Weibull, eksponensial, normal dan lognormal. Setelah selesai dalam melakukan perhitungan nilai  $r$  maka selanjutnya dipilih distribusi dengan nilai  $r$  yang terbesar, pemilihan tersebut dilakukan karena nilai  $r$  yang terbesar menandakan bahwa data berada pada distribusi tersebut. Perhitungan untuk distribusi yang terpilih ini dilakukan untuk data TTF dan TTR. Pada komponen *nozzle* untuk data TTF perhitungan *index of fit* dengan nilai  $r$  terbesar berada pada distribusi lognormal dengan nilai  $r$  sebesar 0,98168 untuk data TTR perhitungan *index of fit* dengan nilai  $r$  terbesar berada pada distribusi eksponensial dengan nilai  $r$  sebesar 0,95811. Pada komponen *oil seal* untuk data TTF perhitungan *index of fit* dengan nilai  $r$  terbesar berada pada distribusi normal dengan nilai  $r$  sebesar 0,96730 untuk data TTR perhitungan *index of fit* dengan nilai  $r$  terbesar berada pada distribusi lognormal dengan nilai  $r$  sebesar 0,99594.

Berdasarkan perhitungan *index of fit* diketahui bahwa data kerusakan tersebut mengikuti suatu distribusi tertentu, maka dilakukan pengujian untuk menguji apakah benar bahwa data kerusakan itu mengikuti distribusi tersebut. Pengujian *goodness of fit test* (uji kesesuaian) dilakukan berdasarkan dari distribusi yang telah terpilih sebelumnya, seperti *weibull* diuji wilayah kritisnya dengan uji mann, eksponensial diuji dengan uji barlett, dan untuk distribusi normal dan lognormal menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov, apabila parameter hasil uji berada dalam wilayah kritis, maka dapat dikatakan bahwa data itu telah benar mengikuti distribusi tersebut, namun apabila data tidak berada dalam wilayah kritis, sehingga data tersebut tidak mengikuti distribusi pilihan, perlu dilakukan pengujian ulang dengan menggunakan distribusi yang memiliki nilai  $r$  terbesar kedua, dan bila data tersebut masih diluar wilayah kritis maka perlu diuji kembali dengan menggunakan distribusi yang memiliki nilai  $r$  terbesar ketiga dan seterusnya.

Komponen *nozzle* untuk data TTF distribusi yang terpilih adalah lognormal, maka untuk perhitungan selanjutnya akan dilakukan uji kesesuaian dengan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Uji kesesuaian yang sesuai dengan distribusi yang terpilih adalah diterimanya  $H_0$  maka data TTF komponen *nozzle* sesuai dengan distribusi lognormal. Data TTR komponen *nozzle* adalah berdistribusi eksponensial maka akan dilakukan uji kesesuaian dengan uji barlett tes, diterimanya  $H_0$  maka distribusi telah sesuai. Untuk komponen *oil seal* pada data TTF berdistribusi normal dan pada data TTR berdistribusi lognormal maka

akan dilakukan uji kolmogorov-smirnov. Hasil uji tersebut adalah menerima  $H_0$  maka pada data TTF berdistribusi normal dan data TTR berdistribusi lognormal.

## 5.5 Analisis Perhitungan *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan *Mean*

### *Time To Failure* (MTTR)

Nilai MTBF menunjukkan rata-rata waktu komponen mesin itu telah diperbaiki hingga komponen mesin itu mengalami kerusakan kembali. Pada setiap perhitungan, nilai MTBF akan berbeda sesuai dengan distribusi data masing-masing komponen (*Weibull*, eksponensial, normal dan lognormal), berikut ini merupakan rekap tabel nilai MTBF untuk komponen mesin *injecton molding* dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Nilai MTBF Komponen Kritis Mesin *Injecton Molding*

<b>Komponen Kritis</b>	<b>Distribusi Kerusakan</b>	<b>MTTF (jam)</b>
<i>Nozzle</i>	Lognormal	74,2765
<i>Oil Seal</i>	Normal	186,4271

(Sumber: Hasil Pengolahan Data)

Pada Tabel 5.1 dapat dilihat bahwa nilai MTBF dari *nozzle* lebih kecil dari *oil seal* berdasarkan hal tersebut menandakan bahwa komponen *nozzle* memiliki waktu kerusakan yang lebih kecil karena sering mengalami kerusakan atau lebih sering dalam mengganti komponennya sehingga semakin pendek rata-rata waktu kerusakannya. Pada komponen *oil seal* MTBF yang dimiliki adalah sebesar 186,4271 jam. Dibandingkan dengan komponen *nozzle* komponen *oil seal* lebih jarang mengalami kerusakan atau pengantian komponen.

Rekap nilai MTTR untuk komponen mesin *injecton molding* dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Rekap Nilai MTTR

<b>Komponen Kritis</b>	<b>Distribusi Kerusakan</b>	<b>MTTR (jam)</b>
<i>Nozzle</i>	Eksponensial	0,9625
<i>Oil Seal</i>	Lognormal	1,2718

(Sumber: Hasil Pengolahan Data)

Dari Tabel 5.2 dapat dilihat bahwa komponen *oil seal* memiliki waktu perbaikan yang lebih lama dibandingkan dengan *nozzle*. Hal ini disebabkan oleh pembongkaran dan pemasangan komponen tersebut kemudian dari letak juga dapat mempengaruhi dalam perbaikan. Letak komponen yang sulit dijangkau akan lebih lama perbaikannya dibandingkan dengan letak komponen yang mudah dijangkau.

## 5.6 Analisis Perhitungan Penggantian Dengan *Age Replacement*

Penghitungan interval waktu pergantian pencegahan dilakukan untuk mengetahui berapa lama selang waktu yang dibutuhkan komponen kritis hingga komponen tersebut harus diganti kembali. Hal ini bertujuan untuk meminimasi *downtime* (kerusakan) yang terjadi. Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan ini dilakukan dengan menggunakan model *age replacement*, dimana model ini memperhitungkan umur optimal suatu komponen.

Terdapat tiga karakteristik utama kerusakan sebuah komponen, yaitu IFR (*Increasing Failure Rate*), DFR (*Decreasing Failure Rate*) dan CFR (*Constant Failure Rate*). Karakteristik ini dapat dilihat berdasarkan distribusinya, yaitu bila suatu data berdistribusi eksponensial maka data itu berkarakteristik *Constant Failure Rate* (CFR) yang artinya tidak diperlukan adanya perhitungan penggantian pencegahan karena walaupun komponen tersebut diganti dengan komponen baru tetap saja akan ada kerusakan, sehingga bila komponen itu tidak diganti dengan yang baru maka *cost* dapat ditekan, bila data itu berdistribusi normal ataupun lognormal maka data tersebut berkarakteristik *Increasing Failure Rate* (IFR), dan bila data berdistribusi *Weibull* karakteristik kerusakan ditentukan berdasarkan nilai  $\beta$  data tersebut.

Pada data TTF distribusi untuk masing-masing komponen adalah lognormal dan normal. Berdasarkan karakteristik utama kerusakan sebuah komponen jika berada pada distribusi lognormal dan normal maka akan masuk dalam karakteristik IFR (*Increasing Failure Rate*). Pada karakteristik tersebut komponen perlu diadakannya penggantian pencegahan. Interval waktu penggantian dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Interval Waktu Penggantian

Komponen	Interval Waktu Penggantian (Jam)
<i>Oil Seal</i>	150
<i>Nozzle</i>	52

(Sumber: Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 5.3 dapat dilihat bahwa komponen *oil seal* sebaiknya dilakukan penggantian komponen setelah 150 jam. Interval penggantian yang lebih kecil dibandingkan dengan *nozzle* yang pengantiannya setelah 52 jam. Hal tersebut dikarenakan kerusakan yang dialami komponen tersebut lebih sering. Nilai MTBF komponen tersebut juga lebih kecil dibandingkan dengan komponen *oil seal*. Penggantian komponen perlu dilakukan agar mesin dapat bekerja sesuai dengan fungsinya.

## 5.7 Analisis Perhitungan Interval Pemeriksaan

Perhitungan interval waktu pemeriksaan bertujuan untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan komponen secara mendadak, sehingga apabila ditemukan kondisi komponen yang sudah kurang bagus segera dapat dilakukan penggantian untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan. Proses pemeriksaan ini merupakan bagian dari tindakan perawatan, karena melalui proses pemeriksaan ini, komponen dapat beroperasi secara optimal karena kondisinya diperiksa secara berkala.

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa komponen *nozzle* dilakukan pemeriksaan empat kali pemeriksaan setiap bulannya dan komponen *oil seal* pemeriksaan dilakukan dua kali pemeriksaan setiap bulannya. Pemeriksaan dilakukan berdasarkan beberapa ketentuan yang ada antara lain, jumlah kerusakan yang terjadi, waktu rata-rata perbaikan dan lamanya waktu untuk setiap kegiatan pemeriksaan yang telah ditetapkan oleh perusahaan.

## 5.8 Analisis Reliability (Keandalan) Dengan Preventive Maintenance Dan Tanpa Preventive Maintenance

Keandalan (*reliability*) adalah probabilitas sebuah komponen atau sistem untuk dapat beroperasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan untuk suatu periode waktu tertentu ketika digunakan dibawah kondisi yang telah ditetapkan. (Ebeling,1997). Selain tingkat *availability* yang semakin meningkat, diharapkan juga dengan adanya *Preventive Maintenance* maka tingkat *reliability* (keandalan) komponen-komponen mesin dapat meningkat, tingkat *reliability* akan semakin baik bila mendekati angka 1, yang artinya komponen tersebut dapat beroperasi secara optimal dibawah kondisi yang ditetapkan. Proses perhitungan *reliability* ini berbeda-beda dengan berdasar pada distribusi yang menyertai data *failure time* mesin tersebut. Peningkatan *reliability* pada komponen dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Reliability Sebelum dan Sesudah Preventive Maintenance Saat MTTF

Komponen Kritis	Reliability Sebelum Preventive Maintenance (R(t))	Reliability Setelah Preventive Maintenance (Rm(t))	Peningkatan (%)
Nozzle	0,34822	0,49600	42,44%
Oil Seal	0,5	0,65058	30,12%

(Sumber: Hasil Pengolahan Data)

R(t) merupakan keandalan komponen sebelum dilakukan *preventive maintenance*, sedangkan Rm(t) menunjukkan keandalan komponen setelah dilakukan *preventive maintenance*. Berdasarkan Tabel 5.4, dapat terlihat bahwa setelah dilakukan perawatan pencegahan, pada waktu komponen memasuki MTBF, tingkat keandalan cenderung meningkat untuk semua komponen kritis, hal ini dikarenakan komponen-komponen tersebut memiliki karakteristik kerusakan dengan laju meningkat (IFR). Dapat terlihat bahwa tingkat keandalan mengalami kenaikan sebesar 42,44% untuk *nozzle* saat diterapkan *preventive maintenance* dan untuk *oil seal* terdapat peningkatan keandalan sebesar 32,12% dengan menerapkan jadwal *maintenance* yang baik perusahaan akan mendapatkan beberapa keuntungan lain yaitu tingkat keandalan komponen kritis akan meningkat, dan memperpanjang umur komponen tersebut.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis masalah yang ada maka selanjutnya dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Mesin *injection molding* yang kritis adalah mesin *injection molding* Toshiba 220 Ton dengan waktu kerusakan 2.195 menit selama periode Juli hingga Desember 2015.
2. Dari mesin *injection molding* Toshiba 220 Ton diperoleh empat komponen yang mengalami kerusakan yaitu komponen *oil seal*, *nozzle*, *screw* dan *hydraulic*. Berdasarkan frekuensi kerusakan komponen tersebut *oil seal* dan *nozzle* yang mempunyai frekuensi kerusakan besar.
3. Waktu pergantian menurut model *age replacement* untuk komponen *nozzle* adalah 52 jam (3 hari kerja) dan untuk komponen *oil seal* adalah 150 jam (10 hari kerja). Waktu pemeriksaan untuk komponen *nozzle* adalah empat kali dalam sebulan dan untuk komponen *oil seal* adalah dua kali dalam sebulan.
4. Peningkatan *reliability* terjadi pada kedua komponen tersebut, yakni untuk komponen *nozzle* sebesar 0,4244 atau 42,44% dari sebelumnya kehandalannya sebesar 0,34822 menjadi 0,496. Sementara untuk komponen *oil seal* sebesar 0,3012 atau 30,12% dari sebelumnya kehandalannya sebesar 0,5 menjadi 0,65068.

#### **6.2 Saran**

Berdasarkan hasil pengamatan, pengolahan data maupun analisis yang telah dilakukan maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Diharapkan perusahaan lebih memperhatikan perawatan untuk mesin-mesin produksi, terutama mesin *injection molding* karena mesin *injection molding* merupakan mesin yang penting dalam produksi.
2. Diharapkan usulan yang diberikan dilaksanakan secara kontinu pada periode-periode mendatang agar perusahaan dapat menjaga produktivitas sesuai dengan kemampuan mesinnya.

3. Hasil dari penggantian komponen berdasarkan model *age replacement* dapat menjadi pertimbangan perusahaan untuk pengadaan komponen mesin, terutama mesin *injection molding*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Assauri, Sofjan, 2008, Manajemen Produksi dan Operasi, Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Corder, Anthony, 1992, Teknik Manajemen Pemeliharaan, Jakarta: Erlangga
- Dhillon, Balbir S and Reiche, Hans, 1985, *Reliability and Maintainability Management*, New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1985.
- Ebeling, Charles E., 1997, *Reliability and Maintainability Engineering*, Singapura: McGraw Hill, 1997.
- Indradi, Mahardityo, 2005, Usulan Penerapan *Preventive Maintenance* Di PT Hokita Presisi Indonesia, Jakarta: Universitas Atma Jaya.
- Jardine, AKS., 1995, *Maintenance, Replacement & Reliability*, Canada: Pittman Publishing Corporator.
- Nakajima, Seiichi, 1998, *Introduction To TPM*, Cambridge: *Productivity Press Inc.*
- Nasution. M. N, 2001, Manajemen Mutu Terpadu, Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Putri, Gerda Kusuma, 2007, Usulan *Preventive Maintenance* Untuk Mesin HTS TX-15 Pada Departemen Filament Di PT TIFICO Tangerang, Jakarta: Universitas Atma Jaya.
- Stephens, Matthew P., 2004, *Productivity and Reliability-Based Maintenance Management*, New Jersey: Pearson Education.
- Sylvia, 2003, Perancangan Sistem *Preventive Maintenance* Pada *Paper Machine* Jenis *Multi-Dryer* Di PT UNIPA DAYA, Jakarta: Universitas Atma Jaya.
- Wignjosoebroto, Sritomo, 2006, Pengantar Teknik dan Manajemen Industri, Guna Widya, Surabaya.

# LAMPIRAN

## A

Tabel A-1. Kerusakan Komponen Mesin *Injection Molding* Toshiba 220 Ton

No.	Tanggal	Waktu Mulai	Waktu Selesai	Komponen
1	01-Jul-15	10.25	10.35	<i>Nozzle</i>
2	07-Jul-15	14.00	14.25	<i>Nozzle</i>
3	10-Jul-15	11.05	11.20	<i>Nozzle</i>
4	10-Jul-15	19.15	20.00	<i>Oil Seal</i>

5	3-Aug-15	17.40	20.25	<i>Nozzle</i>
6	5-Aug-15	10.40	11.35	<i>Oil Seal</i>
7	7-Aug-15	13.35	13.45	<i>Nozzle</i>
8	11-Aug-15	08.55	10.40	<i>Nozzle</i>
9	20-Aug-15	13.20	17.05	<i>Screw</i>
10	26-Aug-15	13.50	14.30	<i>Oil Seal</i>
11	27-Aug-15	15.10	15.30	<i>Nozzle</i>
12	02-Sep-15	08.55	09.55	<i>Oil Seal</i>
13	08-Sep-15	20.05	20.30	<i>Nozzle</i>
14	11-Sep-15	16.40	16.55	<i>Nozzle</i>
15	18-Sep-15	13.20	13.35	<i>Nozzle</i>
16	22-Sep-15	07.30	09.40	<i>Oil Seal</i>
17	23-Sep-15	17.00	18.30	<i>Nozzle</i>
18	29-Sep-15	10.15	10.25	<i>Nozzle</i>
19	6-Oct-15	09.30	09.50	<i>Nozzle</i>
20	8-Oct-15	11.00	11.20	<i>Nozzle</i>
21	12-Oct-15	13.20	17.20	<i>Nozzle</i>
22	13-Oct-15	14.10	14.35	<i>Oil Seal</i>
23	13-Oct-15	16.00	17.30	<i>Nozzle</i>
24	21-Oct-15	09.20	09.35	<i>Nozzle</i>
25	03-Nov-15	08.30	10.40	<i>Nozzle</i>
26	05-Nov-15	11.40	11.55	<i>Nozzle</i>
27	09-Nov-15	13.10	14.20	<i>Oil Seal</i>
28	10-Nov-15	17.10	17.30	<i>Nozzle</i>
29	13-Nov-15	09.40	10.40	<i>Nozzle</i>
30	17-Nov-15	15.10	15.30	<i>Nozzle</i>
31	19-Nov-15	08.55	10.40	<i>Oil Seal</i>
32	1-Dec-15	20.15	21.00	<i>Nozzle</i>

Lanjut...

Tabel A-1. Kerusakan Komponen Mesin *Injection Molding* Toshiba 220 Ton

<b>No.</b>	<b>Tanggal</b>	<b>Waktu Mulai</b>	<b>Waktu Selesai</b>	<b>Komponen</b>
33	4-Dec-15	13.10	13.40	<i>Nozzle</i>
34	8-Dec-15	13.20	14.35	<i>Oil Seal</i>
35	9-Dec-15	21.05	21.30	<i>Nozzle</i>
36	17-Dec-15	14.05	15.15	<i>Hydrolic</i>

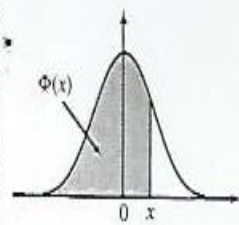
(Sumber: Bagian *Maintenance* PT Kartika Multi Sarana)

# LAMPIRAN D

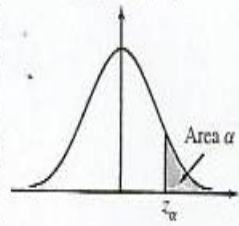
T A B L E I •

# Cumulative Distribution Function of the Standard Normal Distribution

x	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0061
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0352	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0722	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
-0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641



Critical Points



$\alpha$	$z_\alpha$
0.10	1.282
0.05	1.645
0.025	1.960
0.01	2.326
0.005	2.576

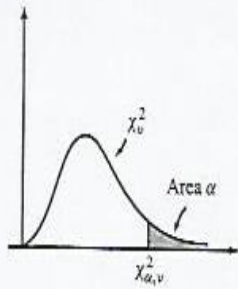
(Continued on next page)

TABLE I (Continued)

$x$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5339
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9019	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9278	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9610	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

TABLE II •

# Critical Points of the Chi-Square Distribution

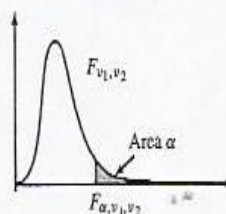


Degrees of freedom $\nu$	$\alpha$									
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.90	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	9.236	11.071	12.833	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.490	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	18.549	21.026	23.337	26.217	28.299
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	10.085	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	10.865	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	11.651	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	12.443	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	13.240	29.615	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	14.042	30.813	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.196	11.689	13.091	14.848	32.007	35.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	15.659	33.196	36.415	39.364	42.980	45.559
25	10.520	11.524	13.120	14.611	16.473	34.382	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.160	12.198	13.844	15.379	17.292	35.563	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	18.114	36.741	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	18.939	37.916	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.257	16.017	17.708	19.768	39.087	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.954	16.791	18.493	20.599	40.256	43.773	46.979	50.892	53.672
40	20.707	22.164	24.433	26.509	29.051	51.805	55.758	59.342	63.691	66.766
50	27.991	29.707	32.357	34.764	37.689	63.167	67.505	71.420	76.154	79.490
60	35.534	37.485	40.482	43.188	46.459	74.397	79.082	83.298	88.379	91.952
70	43.275	45.442	48.758	51.739	55.329	85.527	90.531	95.023	100.425	104.215
80	51.172	53.540	57.153	60.391	64.278	96.578	101.879	106.629	112.329	116.321
90	59.196	61.754	65.647	69.126	73.291	107.565	113.145	118.136	124.116	128.299
100	67.328	70.065	74.222	77.929	82.358	118.498	124.342	129.561	135.807	140.169

TABLE IV •

# Critical Points of the $F$ -Distribution

$$F_{v_1, v_2} \sim \frac{\chi_{v_1}^2 / v_1}{\chi_{v_2}^2 / v_2}$$



$\alpha = 0.10$

		$v_1$																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$	
$v_2$	1	39.86	49.50	53.59	55.84	57.24	58.20	58.90	59.44	59.85	60.20	60.70	61.22	61.74	62.00	62.27	62.53	62.79	63.05	63.33	
	2	3.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.45	9.46	9.47	9.47	9.48	9.48	9.49
	3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	5.18	5.17	5.16	5.15	5.14	5.13	5.13
	4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.83	3.82	3.80	3.79	3.78	3.78	3.76
	5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.12	3.10
	6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.90	2.87	2.84	2.82	2.80	2.78	2.76	2.74	2.72	2.72
	7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	2.58	2.56	2.54	2.51	2.49	2.47	2.47
	8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34	2.32	2.29	2.29
	9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	2.28	2.25	2.23	2.21	2.18	2.16	2.16
	10	3.28	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	2.18	2.16	2.13	2.11	2.08	2.06	2.06
	11	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.21	2.17	2.12	2.10	2.08	2.05	2.03	2.00	1.97	1.97
	12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.04	2.01	1.99	1.96	1.93	1.90	1.90
	13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	1.98	1.96	1.93	1.90	1.88	1.85	1.85
	14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.91	1.89	1.86	1.83	1.80	1.80
	15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	1.90	1.87	1.85	1.82	1.79	1.76	1.76
	16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.72
	17	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00	1.96	1.91	1.86	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69	1.69
	18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66	1.66
	19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.91	1.86	1.81	1.79	1.76	1.73	1.70	1.67	1.63	1.63
	20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.89	1.84	1.79	1.77	1.74	1.71	1.68	1.64	1.61	1.61
21	2.96	2.57	2.36	2.23	2.14	2.08	2.02	1.98	1.95	1.92	1.87	1.83	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59	1.59	
22	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.86	1.81	1.76	1.73	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57	1.57	
23	2.94	2.55	2.34	2.21	2.11	2.05	1.99	1.95	1.92	1.89	1.84	1.80	1.74	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59	1.55	1.55	
24	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.83	1.78	1.73	1.70	1.67	1.64	1.61	1.57	1.51	1.51	
25	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.82	1.77	1.72	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52	1.52	
26	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86	1.81	1.76	1.71	1.68	1.65	1.61	1.58	1.54	1.50	1.50	
27	2.90	2.51	2.30	2.17	2.07	2.00	1.95	1.91	1.87	1.85	1.80	1.75	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57	1.53	1.49	1.49	
28	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52	1.48	1.48	
29	2.89	2.50	2.28	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.86	1.83	1.78	1.73	1.68	1.65	1.62	1.58	1.55	1.51	1.47	1.47	
30	2.88	2.49	2.28	2.14	2.05	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.77	1.72	1.67	1.64	1.61	1.57	1.54	1.50	1.46	1.46	
40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76	1.71	1.66	1.61	1.57	1.54	1.51	1.47	1.42	1.35	1.35	
60	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71	1.66	1.60	1.54	1.51	1.48	1.44	1.40	1.35	1.29	1.29	
120	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72	1.68	1.65	1.60	1.55	1.48	1.45	1.41	1.37	1.32	1.26	1.18	1.18	
$\infty$	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60	1.55	1.49	1.42	1.38	1.34	1.30	1.24	1.17	1.10	1.10	

(Continued on next page)

TABLE IV (Continued)

		$\alpha = 0.05$																		
		$\nu_1$																		
$\nu_2$		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
1		161.44	199.50	215.69	224.57	230.16	233.98	236.78	238.89	240.55	241.89	243.91	245.97	248.02	249.04	250.07	251.13	252.18	253.27	254.31
2		18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.39	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3		10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4		7.71	6.94	6.59	6.39	6.20	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5		6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6		5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7		5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8		5.52	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9		5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10		4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11		4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12		4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13		4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14		4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15		4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16		4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17		4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18		4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19		4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20		4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21		4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22		4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23		4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24		4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25		4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26		4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27		4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28		4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29		4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30		4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40		4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60		4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120		3.92	3.09	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
$\infty$		3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

(Continued on next page)

TABLE IV (Continued)

		$\alpha = 0.01$																		
		$\nu_1$																		
$\nu_2$		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
1		4052	4999	5403	5625	5764	5859	5929	5981	6023	6055	6107	6157	6209	6235	6260	6287	6312	6339	6366
2		98.51	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.35	99.38	99.39	99.40	99.41	99.43	99.44	99.45	99.47	99.47	99.48	99.49	99.50
3		34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	27.05	26.87	26.69	26.60	26.51	26.41	26.32	26.22	26.13
4		21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56	13.46
5		16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11	9.02
6		13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88
7		12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65
8		11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86
9		10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31
10		10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91
11		9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60
12		9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36
13		9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17
14		8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09	3.00
15		8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87
16		8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75
17		8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65
18		8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57
19		8.19	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58	2.49
20		8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52	2.42
21		8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36
22		7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31
23		7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35	2.26
24		7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31	2.21
25		7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27	2.17
26		7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09	2.96	2.81	2.66	2.58	2.50	2.42	2.33	2.23	2.13
27		7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.38	2.29	2.20	2.10
28		7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.90	2.75	2.60	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17	2.06
29		7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14	2.03
30		7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11	2.01
40		7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80
60		7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60
120		6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.76	1.66	1.53	1.38
$\infty$		6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.18	2.04	1.88	1.79	1.70	1.59	1.47	1.32	1.00

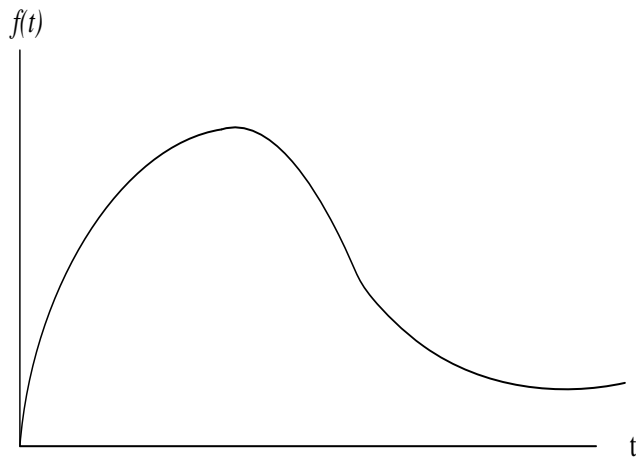
TABLE VI •

## Critical Points $d_{\alpha,n}$ for the Kolmogorov and Kolmogorov-Smirnov Procedures

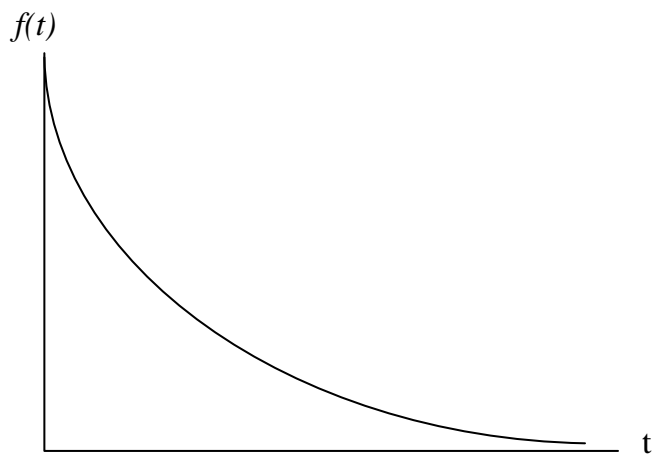
$n$	$\alpha = 0.20$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.02$	$\alpha = 0.01$
10	0.323	0.369	0.409	0.457	0.489
11	0.308	0.352	0.391	0.437	0.468
12	0.296	0.338	0.375	0.419	0.449
13	0.285	0.325	0.361	0.404	0.432
14	0.275	0.314	0.349	0.390	0.418
15	0.268	0.304	0.338	0.377	0.404
16	0.258	0.295	0.327	0.366	0.392
17	0.250	0.286	0.318	0.355	0.381
18	0.244	0.279	0.309	0.346	0.371
19	0.237	0.271	0.301	0.337	0.361
20	0.232	0.265	0.294	0.329	0.362
21	0.226	0.259	0.287	0.321	0.344
22	0.221	0.253	0.281	0.314	0.337
23	0.216	0.247	0.275	0.307	0.330
24	0.212	0.242	0.269	0.301	0.323
25	0.208	0.238	0.264	0.295	0.317
26	0.204	0.233	0.259	0.290	0.311
27	0.200	0.229	0.254	0.284	0.305
28	0.197	0.226	0.250	0.279	0.300
29	0.193	0.221	0.246	0.275	0.295
30	0.190	0.218	0.242	0.270	0.290
31	0.187	0.214	0.238	0.266	0.285
32	0.184	0.211	0.234	0.262	0.281
33	0.182	0.208	0.231	0.258	0.277
34	0.179	0.205	0.227	0.254	0.273
35	0.177	0.202	0.224	0.251	0.269
36	0.174	0.199	0.221	0.247	0.265
37	0.172	0.196	0.218	0.244	0.262
38	0.170	0.194	0.215	0.241	0.258
39	0.168	0.191	0.213	0.238	0.255
40	0.165	0.189	0.210	0.235	0.252
Approximation for $n > 40$ :	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.52}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

# LAMPIRAN B

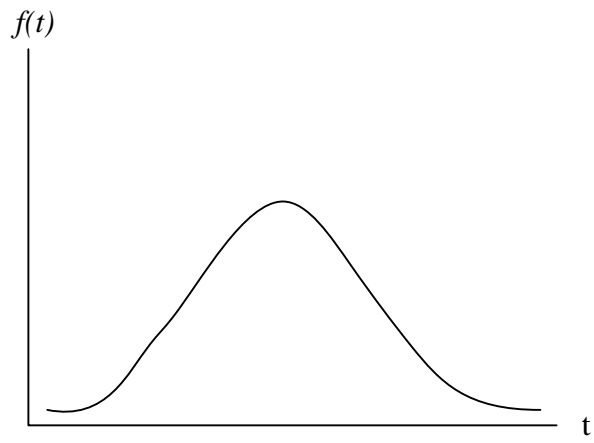
1. Distribusi Weibull



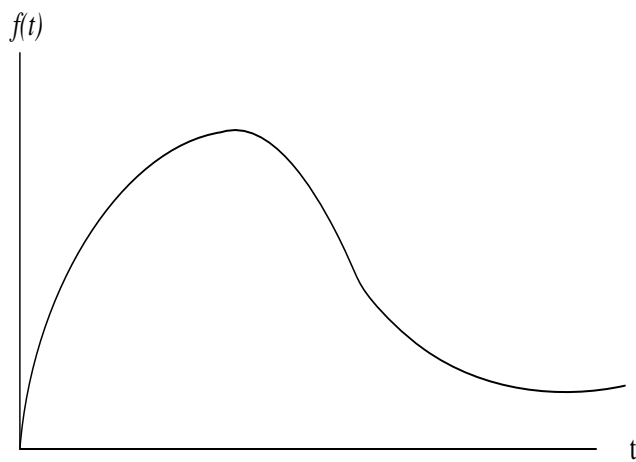
2. Distribusi Eksponensial



### 3. Distribusi Normal

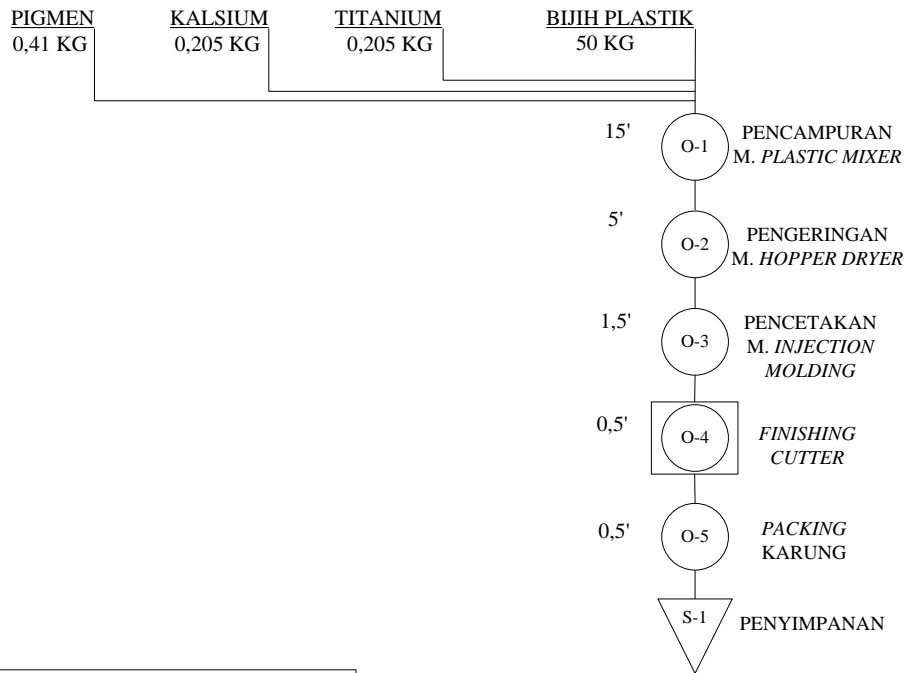


### 4. Distribusi Lognormal



# LAMPIRAN C

Nama Objek : Aksesoris Talang  Sekarang  
 Nama : Nur Fatikah  Usulan  
 Tanggal Dipetakan : November 2016



RINGKASAN		
KEGIATAN	JUMLAH	WAKTU (MENIT)
OPERASI	5	22
PEMERIKSAAN	1	0,5
TOTAL	6	22,5