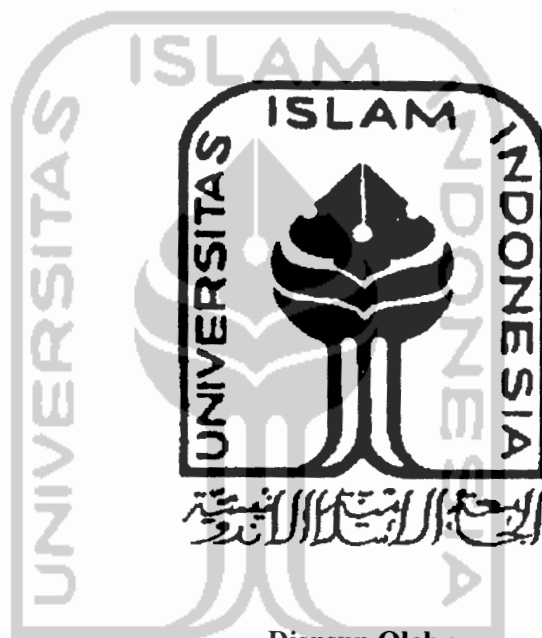


**USULAN PERAWATAN PENCEGAHAN PADA
KOMPONEN KRITIS DARI MESIN KRITIS BERDASARKAN
KRITERIA MINIMASI DOWNTIME**

(Study Kasus pada PT. PLN APJ Bekasi)

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : IMAN FAJAR MEDITANTRA

No. Mahasiswa : 01 522 266

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

2007

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**USULAN PERAWATAN PENCEGAHAN PADA
KOMPONEN KRITIS DARI MESIN KRITIS BERDASARKAN
KRITERIA MINIMASI DOWNTIME
(Study Kasus pada PT. PLN APJ Bekasi)**

TUGAS AKHIR



Nama : IMAN FAJAR MEDITANTRA
No. Mahasiswa : 01 522 266

Jogjakarta, 23 April 2007

Dosen Pembimbing,

IR. Sunaryo, MP.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**USULAN PERAWATAN PENCEGAHAN PADA
KOMPONEN KRITIS DARI MESIN KRITIS BERDASARKAN
KRITERIA MINIMASI DOWNTIME
(Study Kasus pada PT. PLN APJ Bekasi)**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : IMAN FAJAR MEDITANTRA
No. Mahasiswa : 01 522 266

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia**

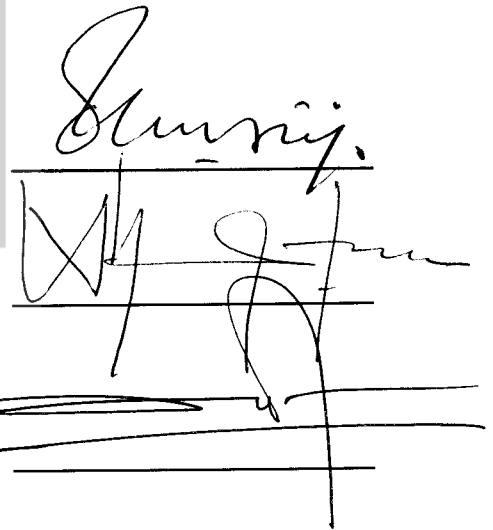
Jogyakarta, 28 Mei 2007

Tim Penguji :

Drs. Sunaryo, MP
Ketua

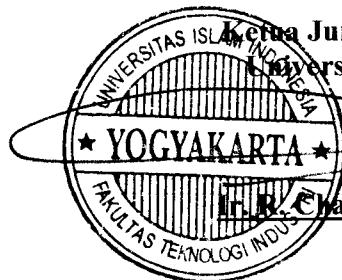
Drs. M. Ibnu Mastur, MSIE
Anggota I

Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc
Anggota II



Mengetahui,

**Ketua Jurusan Teknik Industri
Universitas Islam Indonesia**



Ir. R. Chairul Saleh, M.Sc, Ph.D



Kupersembahkan Karya ini untuk:
Orang Tuaku, Papah Mawan Sarwani/Mamah
Chitra Khalifah Kurniasih tercinta
Calon Istriku Tinu Nafi Utami Terkasih
Adikku Rendra & Mulky tersayang

MOTTO

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

(Q.S. Al Jnsyirah 6 - 7)

"Kami adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah"

(Q.S. Ali 'Imron 139)

"Hai jama'ah jin dan manusia, jika kamu sanggup menembus (melintasi) penjuru langit dan bumi, maka lintasilah, kamu tidak dapat menembusnya kecuali dengan kekuatan"

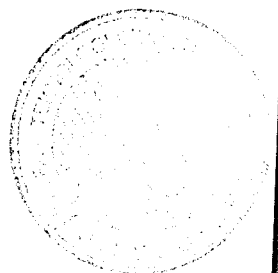
(Q.S. Ar Rahmaan 33)

"Ingatlah, hanya dengan mengingati Allah-lah hati menjadi tenteram"

(Q.S. AR Ra'ad 28)

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

(Q.S. Al Baqarah 183)



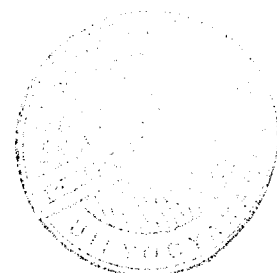


2.3.1	Definisi Perawatan	8
2.3.2	Tujuan Perawatan	9
2.3.3	Jenis-jenis Perawatan.....	11
2.4.	Konsep Keandalan (Reliability)	12
2.5.	Konsep Ketersediaan (Availability).....	13
2.6.	Fungsi Kerusakan	13
2.6.1	Fungsi Kepadatan Probabilitas.....	14
2.6.2	Fungsi Distribusi Kumulatif	14
2.6.3	Fungsi Keandalan	15
2.6.4	Fungsi Laju Kerusakan	16
2.7.	Kurva Laju Kerusakan	17
2.8.	Distribusi-distribusi Kerusakan	19
2.8.1	Distribusi Weibull	20
2.8.2	Distribusi Eksponensial	21
2.8.3	Distribusi Normal.....	22
2.8.4	Distribusi Lognormal.....	23
2.9.	Identifikasi Distribusi.....	24
2.9.1.	Identifikasi Awal Dengan Metode	
	Least Square Curve Fitting	25
2.9.2.	Uji Kecocokan Distribusi.....	27
2.9.2.1.	Mann's Test Untuk Distribusi Weibull.....	28
2.9.2.2.	Bartlett's Test Untuk Distribusi Eksponensial..	29
2.9.2.3.	Kolmogorov-Smirnov Test Untuk Distribusi	
	Normal Dan Lognormal.....	29
2.10.	Mean Time To Failure	31
2.11.	Mean Time To Repair	32
2.12.	Model Penentuan Penggantian Pencegahan Dengan Kriteria	
	Minimasi Downtime	33
2.13.	Frekuensi Pemeriksaan Dan Interval Pemeriksaan Optimal	36
2.14.	Perhitungan Ketersediaan (Availability).....	37
2.15.	Perhitungan Keandalan (Reliability) Sebelum Dan	
	Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan.....	38

BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	41
3.1.	Obyek Penelitian.....	41
3.2.	Sumber Data Dan Alat Penelitian.....	41
3.2.1.	Sumber Data.....	41
3.2.2.	Alat Penelitian.....	42
3.3.	Pengumpulan Data.....	42
3.4.	Pengolahan Data.....	43
3.5.	Tahap Pembahasan/Analisis.....	43
3.6.	Tahap Kesimpulan Dan Saran.....	44
3.7.	Bagan Alir.....	45
BAB IV	PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	46
4.1.	Data Umum Perusahaan.....	46
4.1.1.	Sejarah PLN di Indonesia.....	46
4.1.2.	Sejarah PLN APJ Bekasi.....	48
4.1.3.	Visi, Misi, Serta Motto Perusahaan.....	49
4.1.4.	Struktur Organisasi Perusahaan Dan Job Description.....	50
4.1.5.	Jasa Yang Diberikan.....	54
4.1.6.	Waktu Dan Pembagian Kerja.....	55
4.1.7.	Proses Produksi Dan Pendistribusian Listrik.....	56
4.1.8.	Mesin-mesin Yang Digunakan Dalam Pendistribusian Listrik.....	56
4.2.	Pengumpulan Data Kerusakan Mesin.....	58
4.3.	Penentuan Mesin Kritis.....	59
4.4.	Penentuan Komponen Kritis.....	60
4.5.	Perhitungan Waktu Antar Kerusakan (TTF) Dan Waktu Perbaikan (TTR) Komponen Kritis.....	63
4.6.	Identifikasi Distribusi.....	66
4.1.1.	Identifikasi Distribusi Untuk Data TTF.....	66
4.6.1.1.	Identifikasi Dengan Distribusi Weibull.....	67
4.6.1.2.	Identifikasi Dengan Distribusi Eksponensial.....	70
4.6.1.3.	Identifikasi Dengan Distribusi Normal.....	72

4.6.1.4. Identifikasi Dengan Distribusi Lognormal.....	75
4.6.1.5. Nilai Index Of Fit Masing-masing Distribusi.....	78
4.6.2. Identifikasi Distribusi Untuk Data TTR	78
4.6.2.1. Identifikasi Dengan Distribusi Weibull	79
4.6.2.2. Identifikasi Dengan Distribusi Eksponensial	82
4.6.2.3. Identifikasi Dengan Distribusi Normal	84
4.6.2.4. Identifikasi Dengan Distribusi Lognormal.....	87
4.6.2.5. Nilai Index Of Fit Masing-masing Distribusi.....	90
4.7. Uji Goodness Of Fit (Uji Kecocokan Distribusi).....	90
4.7.1. Uji Goodness Of Fit Untuk Data TTF	90
4.7.2. Uji Goodness Of Fit Untuk Data TTR.....	93
4.8. Perhitungan MTTF Dan MTTR	96
4.8.1. Perhitungan MTTF	96
4.8.2. Perhitungan MTTR.....	97
4.9. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi Downtime	98
4.10. Penentuan Frekuensi Dan Interval Waktu Pemeriksaan Dengan Kriteria Minimasi Downtime	101
4.11. Perhitungan Availability (Ketersediaan).....	102
4.12. Perhitungan Reliability (Keandalan) Sebelum Dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan.....	103

BAB V ANALISA HASIL.....	106
5.1. Analisa Penentuan Mesin Kritis	106
5.2. Analisa Penentuan Komponen Kritis.....	106
5.3. Analisa Perhitungan Waktu Antar Kerusakan (TTF) Dan Waktu Perbaikan (TTR) Komponen Kritis.....	107
5.4. Analisa Identifikasi Distribusi Data TTF Dan TTR	109
5.5. Analisa Uji Kecocokan Distribusi (Goodness Of Fit)	110
5.6. Analisa Perhitungan MTTF Dan MTTR.....	111
5.7. Analisa Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan ...	111
5.8. Analisa Penentuan Frekuensi Dan Interval	



Waktu Pemeriksaan	112
5.9. Analisa Perhitungan Availability (Ketersediaan).....	113
5.10. Analisa Perhitungan Reliability (Keandalan) Sebelum Dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan.....	114
 BAB VI PENUTUP	 116
6.1. Kesimpulan.....	116
6.2. Saran	117

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Surat Keterangan Perusahaan



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Luas Bangunan Kantor Pelayanan PLN APJ Bekasi	49
Tabel 4.2	Pengaturan Jam Kerja.....	55
Tabel 4.3	Data Jumlah Downtime Kerusakan Mesin-mesin	59
Tabel 4.4	Data Jumlah Downtime Kerusakan Tiap-tiap Komponen Pada Mesin Trafo	61
Tabel 4.5	Perhitungan TTF Dan TTR	64
Tabel 4.6	Perhitungan Index Of Fit TTF Dengan Distribusi Weibull.....	67
Tabel 4.7	Perhitungan Index Of Fit TTF Dengan Distribusi Eksponensial.....	70
Tabel 4.8	Perhitungan Index Of Fit TTF Dengan Distribusi Normal	72
Tabel 4.9	Perhitungan Index Of Fit TTF Dengan Distribusi Lognormal	75
Tabel 4.10	Perbandingan Nilai Index Of Fit Waktu Antar Kerusakan (TTF) ...	78
Tabel 4.11	Perhitungan Index Of Fit TTR Dengan Distribusi Weibull	79
Tabel 4.12	Perhitungan Index Of Fit TTR Dengan Distribusi Eksponensial	82
Tabel 4.13	Perhitungan Index Of Fit TTR Dengan Distribusi Normal	84
Tabel 4.14	Perhitungan Index Of Fit TTR Dengan Distribusi Lognormal.....	87
Tabel 4.15	Perbandingan Nilai Index Of Fit Waktu Perbaikan (TTR)	90
Tabel 4.16	Perhitungan Uji Goodness Of Fit Data TTF Dengan Kolmogorov-Smirnov Untuk Distribusi Lognormal.....	92
Tabel 4.17	Perhitungan Uji Goodness Of Fit Data TTR Dengan Mann's Test Untuk Distribusi Weibull	95
Tabel 4.18	Interval Penggantian Komponen kritis.....	99
Tabel 4.19	Hasil Perhitungan Keandalan Sebelum Dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan.....	104
Tabel 5.1	Nilai TTF Dan TTR Komponen Kritis.....	108
Tabel 5.2	Nilai Index Of Fit Masing-masing Distribusi Untuk Data TTF	109
Tabel 5.3	Nilai Index Of Fit Masing-masing Distribusi Untuk Data TTR.....	110
Tabel 5.4	Hasil Perhitungan Keandalan Sebelum Dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan.....	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kurva Laju Kerusakan	18
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian.....	45
Gambar 4.1	Struktur Organisasi Perusahaan.....	51
Gambar 4.2	Diagram Pareto Penentuan Mesin Kritis.....	60
Gambar 4.3	Diagram Pareto Penentuan Komponen Kritis	62
Gambar 4.4	Grafik perbandingan Reliability Kondisi Sekarang Dan Usulan	105



DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2-1	Fungsi Kepadatan Probabilitas	14
Persamaan 2-2	Fungsi Distribusi Kumulatif	15
Persamaan 2-3	Fungsi Keandalan	15
Persamaan 2-4	Fungsi Laju Kerusakan	17
Persamaan 2-5	Fungsi Kepadatan Probabilitas Distribusi Weibull	21
Persamaan 2-6	Fungsi Distribusi Kumulatif Distribusi Weibull	21
Persamaan 2-7	Fungsi Keandalan Distribusi Weibull	21
Persamaan 2-8	Fungsi Laju Kerusakan Distribusi Weibull	21
Persamaan 2-9	Fungsi Kepadatan Probabilitas Distribusi Eksponensial	22
Persamaan 2-10	Fungsi Distribusi Kumulatif Distribusi Eksponensial	22
Persamaan 2-11	Fungsi Keandalan Distribusi Eksponensial	22
Persamaan 2-12	Fungsi Laju Kerusakan Distribusi Eksponensial	22
Persamaan 2-13	Fungsi Kepadatan Probabilitas Distribusi Normal	23
Persamaan 2-14	Fungsi Distribusi Kumulatif Distribusi Normal	23
Persamaan 2-15	Fungsi Keandalan Distribusi Normal	23
Persamaan 2-16	Fungsi Laju Kerusakan Distribusi Normal	23
Persamaan 2-17	Fungsi Kepadatan Probabilitas Distribusi Lognormal	24
Persamaan 2-18	Fungsi Distribusi Kumulatif Distribusi Lognormal	24
Persamaan 2-19	Fungsi Keandalan Distribusi Lognormal	24
Persamaan 2-20	Fungsi Laju Kerusakan Distribusi Lognormal	24
Persamaan 2-21	Plotting Positions	25
Persamaan 2-22	Index Of Fit	25
Persamaan 2-23	Gradien Untuk Distribusi Weibull, Normal, Lognormal	26
Persamaan 2-24	Gradien Untuk Distribusi Eksponensial	26
Persamaan 2-25	Intersep	26
Persamaan 2-26	Peubah x_i Untuk Distribusi Weibull	26
Persamaan 2-27	Peubah y_i Untuk Distribusi Weibull	26
Persamaan 2-28	Parameter Distribusi Weibull	26
Persamaan 2-29	Peubah x_i Untuk Distribusi Eksponensial	26

Persamaan 2-30	Peubah y_i Untuk Distribusi Eksponensial.....	26
Persamaan 2-31	Parameter Distribusi Eksponensial	26
Persamaan 2-32	Peubah x_i Untuk Distribusi Normal	26
Persamaan 2-33	Peubah y_i Untuk Distribusi Normal	27
Persamaan 2-34	Parameter Distribusi Normal	27
Persamaan 2-35	Peubah x_i Untuk Distribusi Lognormal	27
Persamaan 2-36	Peubah y_i Untuk Distribusi Lognormal	27
Persamaan 2-37	Parameter Distribusi Lognormal	27
Persamaan 2-38	Nilai Mann's Test Untuk Distribusi Weibull.....	28
Persamaan 2-39	Nilai k_1 Dan k_2 Dari Mann's Test Untuk Distribusi Weibull ...	28
Persamaan 2-40	Nilai M_i Dari Mann's Test Untuk Distribusi Weibull.....	28
Persamaan 2-41	Nilai Z_i Dari Mann's Test Untuk Distribusi Weibull	28
Persamaan 2-42	Nilai Bertlett's Test Untuk Distribusi Eksponensial	29
Persamaan 2-43	Nilai D_1 max Dari Kolomogorov-Smirnov Test Untuk Distribusi Normal Dan Lognormal	30
Persamaan 2-44	Nilai D_2 max Dari Kolomogorov-Smirnov Test Untuk Distribusi Normal Dan Lognormal	30
Persamaan 2-45	Nilai Rata-rata Dari Kolomogorov-Smirnov Test Untuk Distribusi Normal Dan Lognormal	30
Persamaan 2-46	Nilai Standar Deviasi Dari Kolomogorov-Smirnov Test Untuk Distribusi Normal Dan Lognormal	30
Persamaan 2-47	Nilai Z_i Dari Kolomogorov-Smirnov Test Untuk Distribusi Normal Dan Lognormal	30
Persamaan 2-48	Perhitungan MTTF Secara Umum	31
Persamaan 2-49	Perhitungan MTTF Untuk Distribusi Weibull.....	31
Persamaan 2-50	Perhitungan MTTF Untuk Distribusi Eksponensial.....	31
Persamaan 2-51	Perhitungan MTTF Untuk Distribusi Normal	31
Persamaan 2-52	Perhitungan MTTF Untuk Distribusi Lognormal	31
Persamaan 2-53	Perhitungan MTTR Secara Umum.....	32
Persamaan 2-54	Perhitungan MTTR Untuk Distribusi Weibull	32
Persamaan 2-55	Perhitungan MTTR Untuk Distribusi Eksponensial	32
Persamaan 2-56	Perhitungan MTTR Untuk Distribusi Normal.....	32

Persamaan 2-57	Perhitungan MTTR Untuk Distribusi Lognormal.....	32
Persamaan 2-58	Nilai Tengan Dari Suatu Distribusi Kerusakan	35
Persamaan 2-59	Total Downtime Per Unit Waktu	35
Persamaan 2-60	Laju Kerusakan Yang Terjadi.....	36
Persamaan 2-61	Nilai Konstan Dari Jumlah Kerusakan Per Satuan Waktu	36
Persamaan 2-62	Waktu Rata-rata Untuk Melakukan Penggantian.....	36
Persamaan 2-63	Waktu Rata-rata Untuk Melakukan Pemeriksaan.....	37
Persamaan 2-54	Downtime Yang Terjadi Karena Perbaikan Dan Pemeriksaan.	37
Persamaan 2-65	Frekuensi Pemeriksaan.....	37
Persamaan 2-66	Availability Berdasarkan Frekuensi Pemeriksaan	37
Persamaan 2-67	Availability Berdasarkan Interval Penggantian Pencegahan....	38
Persamaan 2-68	Availabilty Total	38
Persamaan 2-69	Reliability Sebelum Tindakan Perawatan Untuk Distribusi Weibull	39
Persamaan 2-70	Reliability Sebelum Tindakan Perawatan Untuk Distribusi Eksponensial	39
Persamaan 2-71	Reliability Sebelum Tindakan Perawatan Untuk Distribusi Normal	39
Persamaan 2-72	Reliability Sebelum Tindakan Perawatan Untuk Distribusi Lognormal.....	39
Persamaan 2-73	Reliability Setelah Tindakan Perawatan Untuk Distribusi Weibull	40
Persamaan 2-74	Reliability Setelah Tindakan Perawatan Untuk Distribusi Eksponensial	40
Persamaan 2-75	Reliability Setelah Tindakan Perawatan Untuk Distribusi Normal	40
Persamaan 2-76	Reliability Setelah Tindakan Perawatan Untuk Distribusi Lognormal.....	40

ABSTRAKSI

PT.PLN APJ (Area Pelayanan Jaringan) Bekasi yang berlokasi di Jalan Raya Cut Mutia No. 44 Bekasi, merupakan perusahaan yang memproduksi dan mendistribusikan listrik. Permasalahan yang dihadapi perusahaan ini adalah sering terjadinya kerusakan secara tiba-tiba pada mesin produksi yang digunakan. Kerusakan yang terjadi itu dapat menghambat kelancaran proses produksi dan pendistribusian listrik, sehingga misi perusahaan terkadang tidak terpenuhi. Karena itu dibuatlah suatu usulan interval waktu penggantian komponen serta frekuensi dan interval waktu pemeriksaannya dengan menggunakan kriteria minimasi downtime, sehingga nilai downtime dapat diminimasi dan nilai availability mesin dapat ditentukan serta reliability dapat ditingkatkan.

Tahap awal yang dilakukan adalah menentukan mesin kritis berdasarkan jumlah waktu kerusakan (downtime) terbesar selama periode Januari 2006 sampai Desember 2006, yaitu mesin Trafo. Setelah didapat mesin kritis selanjutnya ditentukan komponen kritis dari mesin kritis berdasarkan jumlah waktu kerusakan (downtime) terbesar, yaitu komponen Tap Changer. Kemudian dilakukan penentuan distribusi dari data interval waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan yang selanjutnya diuji dengan uji-uji khusus untuk masing-masing distribusi terpilih, dan dilakukan juga penentuan parameter, mean time to failure serta mean time to repair dengan metode Least Square Curve Fitting.

Selanjutnya penentuan interval waktu penggantian pencegahan dilakukan dengan metode minimasi downtime dan menghasilkan interval waktu penggantian komponen yaitu 285 jam, kemudian akan dihitung interval waktu pemeriksaan dan frekuensi pemeriksaannya, yaitu interval waktu pemeriksaannya adalah 224 jam dan frekuensi pemeriksaannya adalah 3 kali tiap bulannya. Lalu dihitung nilai availability mesin serta reliability sebelum dilakukan tindakan perawatan pencegahan dan setelah dilakukan tindakan perawatan pencegahan, dan hasilnya menunjukkan bahwa dengan menerapkan tindakan perawatan pencegahan reliability dapat terus terjaga pada tingkat yang tinggi.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
HALAMAN MOTTO	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR PERSAMAAN	xiv
ABSTRAKSI	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
 BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1. Kajian Induktif Dan Deduktif	7
2.2. Manajemen Perawatan Sebagai Bagian Dari Manajemen Produksi Dan Operasi	7
2.3. Manajemen Perawatan Mesin	8

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam era persaingan industri yang semakin global disertai perkembangan teknologi yang pesat, industri-industri terus berusaha meningkatkan kuantitas dan kualitas produk yang dihasilkannya. Perkembangan hasil industri yang semakin meningkat secara terus-menerus memerlukan dukungan proses produksi yang lancar. Dalam hal ini pihak perusahaan menginginkan agar peralatan produksinya tetap berada dalam kondisi yang baik sehingga dapat beroperasi secara memuaskan. Untuk menjaga kondisi dari mesin-mesin tersebut agar berada dalam keadaan yang optimal saat digunakan, maka diperlukan kegiatan perawatan pada mesin-mesin tersebut untuk menjaga keandalan sistem dan menyediakan mesin cadangan untuk menghindari menurunnya availabilitas sistem karena tindakan pemeliharaan.

Perawatan atau pemeliharaan mesin adalah aktivitas-aktivitas yang dibutuhkan untuk mempertahankan agar fasilitas seperti mesin dan peralatan produksi baru, dan peralatan lainnya tetap mempunyai kapasitas produktivitas yang original. Perawatan juga merupakan kombinasi dari setiap tindakan yang dilaksanakan untuk mempertahankan atau mengembalikan suatu hal (item) pada kondisi yang dapat diterima (Sirod Hantoro, 2002).

Terhentinya suatu proses di rantai produksi seringkali disebabkan adanya masalah dalam fasilitas produksi, misalnya kerusakan-kerusakan mesin yang tidak terdeteksi selama proses produksi berlangsung yang mengakibatkan terhentinya

proses. Hal ini tentunya sangat merugikan pihak perusahaan karena selain dapat menurunkan tingkat kepercayaan konsumen juga mengakibatkan adanya biaya-biaya yang harus dikeluarkan akibat kerusakan itu.

Menurut Hari Adianto (2005) sistem produksi suatu perusahaan pada umumnya memiliki kegiatan perawatan sebagai penunjang kegiatan operasional sistem. Kegiatan perawatan ini dimaksudkan untuk menjaga dan mempertahankan kelangsungan operasional dan kinerja sistem agar berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Ketika suatu sistem mengalami kerusakan maka sistem tersebut memerlukan perawatan perbaikan. Perawatan perbaikan ini menyebabkan biaya *downtime* yang mahal dan resiko yang tinggi jika sistem tersebut adalah sistem yang besar dengan unit-unit yang mahal harganya. Jika kita melakukan perawatan sebelum terjadinya kerusakan atau perawatan pencegahan, maka biaya yang dihasilkan akan lebih kecil daripada biaya perawatan perbaikan. Hal ini dikarenakan perawatan pencegahan memerlukan waktu yang lebih kecil jika dibandingkan dengan perawatan perbaikan sehingga *uptime* yang diharapkan dari sistem juga dapat meningkat. Selain itu, dengan perawatan pencegahan biaya-biaya operasi yang mungkin terjadi dapat dikendalikan.

Perawatan mesin produksi pada dasarnya merupakan suatu kegiatan yang sangat penting untuk menjaga kelangsungan operasional mesin di industri. Untuk mendukung kegiatan ini diperlukan perawatan yang efektif sehingga mampu mengurangi dan menghindari *breakdown* (kegagalan) mesin, yang dapat berakibat terhambatnya laju produksi.

1.2 Rumusan Masalah

Kerusakan mesin merupakan salah satu hal yang dapat menghambat jalannya proses produksi. Oleh karena itu dibutuhkan suatu rencana perawatan yang tepat bagi setiap mesin sehingga mesin dapat bekerja dengan baik.

Sistem produksi suatu perusahaan pada umumnya memiliki perencanaan perawatan sebagai penunjang kegiatan operasional sistem. Perencanaan perawatan ini dimaksudkan untuk menjaga dan mempertahankan kelangsungan operasional dan kinerja sistem agar berjalan sesuai dengan yang diharapkan.

Berdasarkan uraian diatas maka timbul suatu permasalahan sebagai berikut :

1. Apakah kerusakan mesin dapat dicegah dengan melakukan perawatan.
2. Mesin apa di PT.PLN yang paling sering mengalami kerusakan.
3. Komponen apa yang paling sering mengalami kerusakan dari mesin tersebut.
4. Bagaimana cara untuk mempertahankan keandalan mesin

1.3 Batasan Masalah

Agar penulisan tugas akhir ini terarah dan mudah dipahami sesuai dengan tujuan serta memperjelas ruang lingkup permasalahan maka perlu dilakukan beberapa pembatasan-pembatasan.

1. Penelitian difokuskan pada mesin dan komponen kritis, dimana pemilihan mesin dan komponen ditentukan berdasarkan jumlah *downtime* terbesar.
2. Data histories yang diambil hanya pada Gardu GKA (Gema Karya Abadi) dan dianggap cukup mendukung penelitian.

3. Penelitian yang dilakukan tidak merubah tata letak (layout) serta posisi mesin.
4. Penelitian ini tidak membahas biaya dan material handling.
5. Diasumsikan komponen pengganti selalu tersedia di gudang.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menentukan mesin kritis (mesin dengan jumlah waktu kerusakan terbesar) di PT.PLN.
2. Menentukan komponen-komponen kritis dari mesin kritis.
3. Memberikan usulan interval waktu penggantian pencegahan dan pemeriksaan, serta menentukan frekuensi pemeriksaan yang optimal.
4. Menghitung tingkat keandalan komponen kritis.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Diperolehnya alternatif kebijakan perawatan bagi mesin sesuai kebutuhan keandalan mesin tersebut.
2. Mencapai target keandalan standart mesin yang optimal.
3. Mengindari terhambatnya proses produksi.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk lebih mempermudah pemahaman dan penyusunan dalam tugas akhir ini akan disajikan sistematika penulisan.

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Memuat teori-teori yang berhubungan dengan penelitian. Juga dapat diulas penelitian atau publikasi bidang sejenis sebelumnya.

BAB.III. METODOLOGI PENELITIAN

Uraian tentang bahan dan alat-alat penelitian, prosedur pelaksanaan, dan cara pengolahan serta analisis data.

BAB.IV. PENGOLAHAN DATA DAN HASIL PENELITIAN

Berisi uraian pengolahan data dan hasil penelitian.

BAB.V. ANALISIS

Pembahasan hasil penelitian berupa tabel yang sudah diolah, grafik, persamaan atau model, pengujian hipotesis yang menyangkut penjelasan teoritis, baik secara kualitatif, kuantitatif, maupun statistik dari hasil penelitian, dan kajian untuk menjawab tujuan penelitian.

BAB.VI. PENUTUP

Berisi kesimpulan, dan saran.

Daftar pustaka

Berisi semua sumber kepustakaan, semua kajian baik induktif maupun deduktif. Dari buku, majalah, artikel, internet, dan sumber kepustakaan lainnya.

Lampiran

Memuat keterangan tabel, gambar, dan hal-hal lain yang perlu dilampirkan.



BAB II

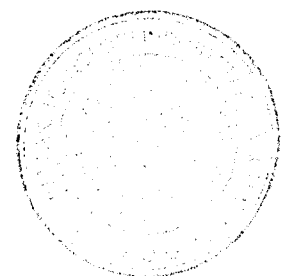
KAJIAN PUSTAKA

2.1. Kajian Induktif Dan Deduktif

Pada Bab ini akan dijelaskan mengenai kajian literature untuk mengetahui tentang dasar teori serta kajian-kajian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Kajian Literatur ini terdiri dari kajian deduktif dan kajian induktif. Kajian deduktif merupakan kajian dari teori-teori pengukuran kerja dan hasil-hasil penemuan yang telah dibukukan dan telah dipublikasi. Sedangkan kajian induktif merupakan hasil penelitian sebelumnya yang telah dipublikasikan dalam bentuk jurnal atau dalam bentuk makalah. Hal ini dianggap berguna untuk mengetahui sejauh mana perkembangan penelitian mengenai manajemen perawatan.

2.2 Manajemen Perawatan Sebagai Bagian Dari Manajemen Produksi Dan Operasi

Sejak dahulu kala manusia selalu melakukan aktivitas produksi untuk menghasilkan berbagai produk yang diperlukan dalam hidupnya. Dahulu kala peralatan yang digunakan untuk pembuatan produk tersebut masihlah sederhana. Seiring dengan berkembangnya jaman, maka semakin canggih dan rumitlah peralatan yang dipakai. Kegiatan produksi juga menjadi semakin berkembang, pabrik-pabrik didirikan untuk melakukan produksi dalam jumlah besar untuk mencapai target tertentu.



Dalam kegiatan produksi oleh perusahaan saat ini, diinginkan adanya proses yang lancar dan terpenuhinya tujuan produksi, yang biasanya berupa tercapainya target produksi. Dalam usahanya itu dikenalkan sistem manajemen produksi dan operasi, yaitu kegiatan untuk mengatur dan mengoordinasikan penggunaan sumber-sumber daya yang berupa sumber daya manusia, sumber daya alat, sumber daya dana serta bahan, secara efektif dan efisien, untuk menciptakan dan menambah kegunaan/utility (Sofjan Assauri, 1993).

Manajemen produksi dan operasi ini amat diperlukan karena bertalian langsung dengan proses pembuatan barang itu sendiri. Selanjutnya dalam manajemen produksi dan operasi akan direncanakan, diarahkan, dan diawasi segala sesuatu yang berkaitan dengan penyiapan sistem produksi dan operasi serta pengoperasian sistem produksi dan operasi.

Manajemen perawatan masuk sebagai bagian dari pengoperasian sistem produksi dan operasi ini. Peranan sistem perawatan disini untuk menjamin mesin dan peralatan yang digunakan dalam proses produksi selalu dalam keadaan siap untuk dipakai. Dengan demikian peralatan dan mesin mampu mendukung kelancaran dan keberhasilan proses produksi. Selanjutnya dengan koordinasi yang baik dengan bagian-bagian lain diharapkan tujuan perusahaan akan keuntungan besar dengan biaya minimum bisa tercapai.

2.3 Manajemen Perawatan Mesin

2.3.1 Definisi Perawatan

Ada beberapa definisi perawatan yang dikemukakan para ahli, yaitu :

1. Menurut Sofjan Assauri (1993) perawatan atau maintenance adalah kegiatan memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan produksi dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau pergantian yang diperlukan agar supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan.
2. Menurut T.Hani Handoko (1984) perawatan merupakan kegiatan untuk menjaga segala sesuatu dapat beroperasi yaitu fasilitas-fasilitas produktif dapat beroperasi secara efektif.
3. Menurut Anthony Corder (1988) perawatan merupakan suatu kombinasi dari setiap tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau untuk memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima.

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

2.3.2 Tujuan Perawatan

Menurut Sofjan Assauri (1993) tujuan utama fungsi pemeliharaan adalah sebagai berikut :

1. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.

2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
3. Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpangan yang diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan mengenai investasi tersebut.
4. Untuk mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin.
5. Menghindari kegiatan *maintenance* yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja.
6. Mengadakan suatu kerjasama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan dalam rangka mencapai tujuan utama perusahaan.

Menurut Anthony Corder (1988) tujuan dilakukannya perawatan adalah :

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

2.3.3 Jenis-jenis Perawatan

Menurut Anthony Corder (1988) perawatan terbagi dua yaitu :

1. Perawatan tak terencana

Hanya ada satu kegiatan perawatan tak terencana yaitu pemeliharaan darurat yang didefinisikan sebagai pemeliharaan dimana perlu segera dilaksanakan tindakan serius untuk mencegah akibat yang serius, misalnya terhambatnya produksi atau karena alasan keselamatan kerja.

2. Perawatan terencana

Terbagi menjadi dua bagian yaitu :

a. Perawatan pencegahan

Perawatan yang dilakukan pada selang waktu yang ditentukan sebelumnya, atau terhadap kriteria lain yang diuraikan dan dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan bagian-bagian lain tidak bisa memenuhi kondisi yang diterima. Perawatan pencegahan ini sangat penting karena kegunaannya sangat efektif dalam menghadapi fasilitas produksi yang termasuk golongan *critical unit*. Sebuah fasilitas atau peralatan produksi akan termasuk dalam golongan *critical unit* apabila :

- Kerusakan fasilitas atau peralatan tersebut akan membahayakan kesehatan dan keselamatan kerja.
- Kerusakan fasilitas ini akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan.
- Kerusakan fasilitas tersebut akan menyebabkan kemacetan seluruh produksi.

- Modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut atau harga dari fasilitas ini cukup besar dan mahal.

b. Perawatan korektif

Perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian (termasuk penyetelan dan reparasi) yang telah terhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima. Jadi perbaikan dilakukan setelah perawatan tidak berfungsi. Akibat sering kali diperlukan biaya ekstra karena fasilitas dipakai sampai gagal beroperasi dengan hasil produk cacat dan terjadi keterlambatan pemenuhan target produksi.

2.4 Konsep Keandalan (Reliability)

Yang dimaksud dengan keandalan (*reliability*) adalah probabilitas sebuah komponen atau sistem akan dapat beroperasi sesuai fungsi yang diinginkan untuk suatu periode waktu tertentu ketika digunakan dibawah kondisi operasi yang telah ditetapkan. 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 (Ebeling, 1997).

Nilai keandalan berada pada rentang antara 0 sampai 1, dimana nilai 1 merupakan nilai tertinggi atau keandalan sangat baik. Dengan demikian keandalan komponen yang semakin tinggi berarti semakin baik dan semakin mampu memberi hasil yang diinginkan pada saat digunakan

2.5 Konsep Ketersediaan (Availability)

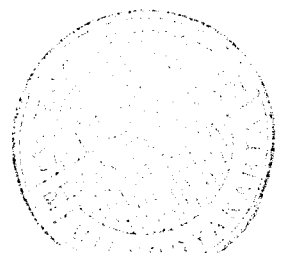
Ketersediaan (*availability*) adalah probabilitas suatu komponen atau sistem beroperasi sesuai fungsi yang ditetapkan pada waktu tertentu ketika digunakan pada kondisi operasi yang telah ditetapkan (Ebeling, 1997).

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 *reliability* adalah bahwa *availability* adalah probabilitas bahwa komponen saat ini dapat beroperasi meskipun sebelumnya komponen tersebut pernah rusak/gagal dan telah dipulihkan atau dikembalikan pada kondisi operasinya yang normal. Karena itu, *availability* sistem tidak pernah lebih kecil daripada nilai *reliability*. *Availability* merupakan pengukuran yang lebih sering digunakan untuk sistem atau komponen yang dapat diperbaiki karena memperhitungkan baik kegagalan/kerusakan maupun perbaikan (Ebeling, 1997).

2.6 Fungsi Kerusakan

Setiap peralatan atau mesin mempunyai karakteristik kerusakan yang berbeda-beda. Sejumlah peralatan yang sama akan mempunyai karakteristik kerusakan yang berbeda jika dioperasikan pada kondisi lingkungan yang beda. Bahkan jika sejumlah peralatan yang sama dioperasikan pada kondisi lingkungan yang sama pun dapat mempunyai karakteristik kerusakan yang berbeda.

Keputusan yang berkaitan dengan masalah probabilitas, seperti menentukan kapan melaksanakan perawatan pencegahan untuk suatu peralatan membutuhkan informasi mengenai saat atau waktu peralatan tersebut akan



mencapai kondisi gagal/rusak. Transisi suatu peralatan dari kondisi baik ke gagal tidak dapat diketahui secara pasti waktunya, tetapi dapat diketahui informasi mengenai probabilitas terjadinya transisi tersebut pada waktu tertentu berdasarkan fungsi kerusakannya. Fungsi-fungsi probabilitas antara lain : fungsi keandalan, fungsi distribusi kumulatif, fungsi kepadatan probabilitas, dan fungsi laju kerusakan. Setiap fungsi ini dapat digunakan untuk menghitung *reability*, namun masing-masing memberikan prespektif yang berbeda. Setiap fungsi akan menghasilkan karakteristik proses kegagalan yang berbeda-beda.

2.6.1 Fungsi Kepadatan Probabilitas

Fungsi kepadatan probabilitas adalah probabilitas pada interval nilai variabel acak kontinu (Ebeling, 1997). Didefinisikan sebagai :

$$f(t) \geq 0$$

Sehingga :

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

Seperti yang telah dijelaskan bahwa karakteristik kerusakan dari peralatan yang berbeda adalah tidak sama. Bahkan karakteristik kerusakan dari peralatan yang identik mungkin tidak sama jika dioperasikan dalam kondisi yang berbeda.

2.6.2 Fungsi Distribusi Kumulatif

Menurut Ebeling (1997) Bila mempelajari masalah perawatan mesin sering terjadi kerusakan sebelum waktu tertentu, misalnya t . Probabilitas suatu

sistem atau peralatan mengalami kegagalan dalam beroperasi sebelum waktu t , yang merupakan fungsi dari waktu yang secara matematis dapat dinyatakan sebagai :

$$F(t) = 1 - R(t) = \Pr \{T < t\}$$

Dimana :

$$F(0) = 0$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$$

Atau

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt, \text{ untuk } t \geq 0 \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana :

$F(t)$ adalah fungsi distribusi kumulatif.

$f(t)$ adalah fungsi kepadatan peluang.

Jika $t \rightarrow \infty$ maka $F(t) = 1$

2.6.3 Fungsi Keandalan

Menurut Ebeling (1997) fungsi keandalan didefinisikan sebagai rumus

berikut :

$$R(t) = 1 - F(t), \text{ dimana } F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

$$R(t) = 1 - \int_0^{\infty} f(t) dt \quad \text{untuk } t \geq 0$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \dots\dots\dots (2-3)$$

Keterangan :

t = waktu.

$F(t)$ = probabilitas suatu kerusakan sebelum waktu t .

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.

2.6.4 Fungsi Laju Kerusakan

Menurut Ebeling (1997) laju kerusakan didefinisikan sebagai berikut :

$$\Pr \{t \leq T \leq t + \Delta t\} = R(t) - R(t + \Delta t)$$

Probabilitas kerusakan berkondisi pada interval waktu t hingga $t + \Delta t$ adalah :

$$\Pr \{t \leq T \leq t + \Delta t \mid T \geq t\} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)}$$

Sehingga probabilitas kerusakan berkondisi perunit waktu (laju kerusakan) adalah :

$$\frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)}$$

Laju kerusakan sesaat (*hazard rate*) yang disimbolkan dengan $\lambda(t)$, didefinisikan sebagai limit dari laju kerusakan dengan panjang interval waktu yang mendekati nol. Dengan demikian, fungsi laju kerusakan adalah suatu laju kerusakan sesaat yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{-[R(t + \Delta t) - R(t)]}{R(t)\Delta t}$$

$$\lambda(t) = \frac{-dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (2 - 4)$$

Dimana : $\lambda(t)$ adalah fungsi laju kerusakan.

$f(t)$ adalah fungsi kepadatan peluang.

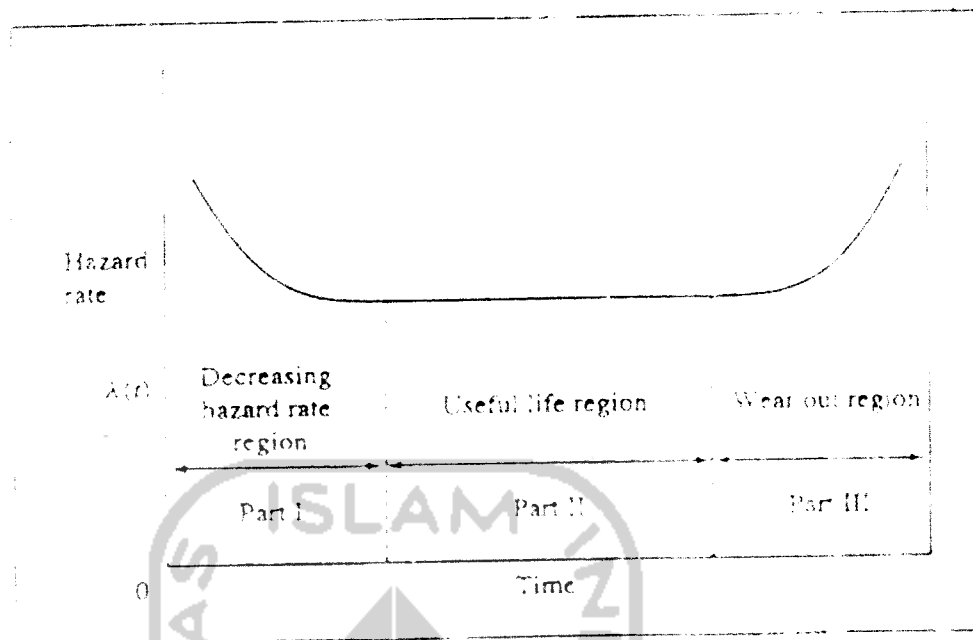
$R(t)$ adalah fungsi keandalan.

Jika $\lambda(t)$ meningkat sesuai dengan nilai waktu, maka sifatnya disebut dengan *increasing failure rate* (IFR), jika $\lambda(t)$ menurun terhadap nilai waktu maka $\lambda(t)$ disebut dengan *decreasing failure rate* (DFR), atau *constant failure rate* (CFR) jika $\lambda(t)$ nilainya konstant.

Perlu diperhatikan bahwa di dalam masalah perawatan, yang dimaksud dengan laju kerusakan adalah laju kerusakan sesaat / fungsi hazard (*hazard rate*).

2.7 Kurva Laju Kerusakan

Bagian ini menjelaskan mengenai kurva yang menunjukkan pola laju kerusakan sesaat yang umum bagi suatu produk yang dikenal dengan istilah kurva bak mandi (*bathub curve*) karena bentuknya (Ebeling, 1997). Sistem yang memiliki fungsi laju kerusakan ini pada awal siklus penggunaannya mengalami penurunan laju kerusakan (kerusakan dini), diikuti dengan laju kerusakan yang mendekati konstan (usia pakai), kemudian mengalami peningkatan laju kerusakan (melewati masa pakai). Bentuk kurvanya dapat dilihat berikut ini :



Gambar 2.1 Kurva Laju Kerusakan (*Bathub Curve*)

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

1. *Early Failure* / Kerusakan Awal

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

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

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

2. *Useful Region* / Pengoperasian Normal

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

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

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

2.8 Distribusi-distribusi Kerusakan

Data yang digunakan dalam perhitungan dapat dibagi dalam dua jenis, yaitu data diskret dan data kontinyu.

Data diskret adalah data yang berupa atribut (seperti baik atau buruk, tolak atau terima) atau kejadian (seperti kecelakaan, kelahiran). Jumlah data diskret dapat disajikan dalam angka maupun proporsi. Dalam prakteknya, data diskret berupa hasil cacahan, misalnya banyaknya produk cacat, frekuensi kerusakan mesin dalam satu tahun di suatu perusahaan (Walpole, 1992).

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

Karena data waktu kerusakan merupakan hasil pengukuran, maka data yang digunakan adalah data kontinyu. Sehingga distribusi yang digunakan dalam perhitungan waktu kerusakan adalah distribusi yang sesuai untuk data kontinyu, yaitu : Eksponensial, Weibull, Normal, dan Lognormal.

2.8.1 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull banyak digunakan dalam analisa keandalan terutama untuk menghitung umur komponen karena kemampuannya untuk mencakup ketiga fase kerusakan yang mungkin terjadi pada distribusi kerusakan mesin. Distribusi Weibull banyak digunakan dalam dua bentuk parameter, sebagai berikut :

θ = parameter skala (*scale*).

β = parameter bentuk (*shape*).

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

1. Fungsi kepadatan probabilitas :

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left\{ \frac{t}{\theta} \right\}^{\beta-1} \left(\exp - \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta} \right) \dots\dots\dots (2-5)$$

2. Fungsi distribusi kumulatif :

$$F(t) = 1 - \left(\exp - \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta} \right) \dots\dots\dots (2-6)$$

3. Fungsi keandalan :

$$R(t) = \left(\exp - \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta} \right) \dots\dots\dots (2-7)$$

4. Fungsi laju kerusakan :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} \quad \text{untuk } \theta > 0, \beta > 0, \text{ dan } t \geq 0 \dots\dots\dots (2-8)$$

2.8.2 Distribusi Eksponensial

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

Distribusi ini dikenal luas dan banyak dipakai dalam perhitungan keandalan mesin, karena sesuai untuk menerangkan kerusakan peralatan yang disebabkan oleh komponen kritis. Parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah parameter λ yaitu rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi.

Menurut Ebeling (1997) fungsi-fungsi kerusakan distribusi Eksponensial adalah sebagai berikut :

1. Fungsi kepadatan probabilitas :

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \dots\dots\dots (2 - 9)$$

dimana $t > 0$, $\lambda > 0$

2. Fungsi distribusi kumulatif :

$$F(t) = 1 - (\exp(-\lambda t)) \dots\dots\dots (2 - 10)$$

3. Fungsi keandalan :

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \dots\dots\dots (2 - 11)$$

4. Fungsi laju kerusakan :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \dots\dots\dots (2 - 12)$$

2.8.3 Distribusi Normal

Distribusi Nnormal ini mempunyai tempat yang istimewa diantara semua distribusi kontinu karena banyak masalah yang kompleks dapat dibuat model dengan distribusi ini. Bentuk distribusi Normal menyerupai lonceng sehingga memiliki nilai simetris terhadap nilai rata-rata dengan dua parameter pembentuk yaitu : μ (nilai tengah) dan σ (standar deviasi).

Distribusi ini juga cocok digunakan untuk model kelelahan dan fenomena *wear out* mesin. Karena hubungannya dengan distribusi Lognormal, distribusi ini juga digunakan untuk menganalisa probabilitas Lognormal.

Fungsi-fungsi kerusakan distribusi Normal menurut Ebeling (1997) adalah sebagai berikut :

1. Fungsi kepadatan probabilitas :

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

dimana $-\infty < t < \infty$

2. Fungsi distribusi kumulatif :

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

3. Fungsi keandalan :

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

4. Fungsi laju kerusakan :

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

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \dots\dots\dots (2-16)$$

2.8.4 Distribusi Lognormal

Distribusi Lognormal memiliki parameter bentuk (*shape parameter* = s), dan parameter lokasi (*location parameter* = t_{med}) yang merupakan nilai tengah dari waktu kerusakan. Distribusi ini dimengerti hanya untuk nilai t positif dan lebih sesuai daripada distribusi Normal dalam hal kerusakan. Seperti halnya distribusi Weibull, Distribusi Lognormal ini dapat mempunyai berbagai bentuk. Sering kali dijumpai bahwa data yang sesuai dengan Distribusi Weibull sesuai juga dengan distribusi Lognormal (Ebeling, 1997).

Fungsi-fungsi kerusakan distribusi dalam distribusi Lognormal menurut Ebeling (1997) adalah sebagai berikut :

1. Fungsi kepadatan probabilitas

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} e \left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{med}} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (2-17)$$

2. Fungsi distribusi kumulatifnya adalah :

$$F(t) = \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \dots\dots\dots (4-18)$$

3. Fungsi keandalan :

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \dots\dots\dots (2-19)$$

4. Laju kerusakannya adalah :

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

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right)} \dots\dots\dots (2-20)$$

2.9 Identifikasi Distribusi

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

2.9.1 Identifikasi Awal Dengan Metode Least Square Curve Fitting

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

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

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

➤ Perhitungan *plotting positions* ($F(t_i)$) :

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \dots\dots\dots (2 - 21)$$

dimana : n = jumlah kerusakan yang terjadi.

i = data waktu ke- t .

➤ Perhitungan *indeks of fit* (r) :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \dots\dots\dots (2 - 22)$$

dimana : n adalah jumlah kerusakan yang terjadi.

➤ Gradien :

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad \text{untuk distribusi Weibull, Normal,}$$

Lognormal..... (2 – 23)

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad \text{untuk distribusi Eksponensial (2 – 24)}$$

dimana : n adalah jumlah kerusakan yang terjadi.

➤ Intersep : $a = \bar{y} - b\bar{x}$ (2 – 25)

Sedangkan perhitungan khusus untuk tiap distribusi yaitu :

a. Distribusi Weibull

$$x_i = \ln t_i \quad \text{dimana } t_i \text{ adalah data ke-}i \text{ (2 – 26)}$$

$$y_i = \ln \ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \text{ (2 – 27)}$$

$$\text{Parameter : } \beta = b \text{ dan } \theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} \text{ (2 – 28)}$$

b. Distribusi Eksponensial

$$x_i = t_i \quad \text{dimana } t_i \text{ adalah data ke-}i \text{ (2 – 29)}$$

$$y_i = \ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \text{ (2 – 30)}$$

$$\text{Parameter : } \lambda = b \text{ (2 – 31)}$$

c. Distribusi Normal

$$x_i = t_i \quad \text{dimana } t_i \text{ adalah data ke-}i \text{ (2 – 32)}$$

$$y_i = z_i = \phi^{-1}[F(t_i)] \dots\dots\dots (2 - 33)$$

$$\text{Parameter : } \sigma = \frac{1}{b} \text{ dan } \mu = -\left(\frac{a}{b}\right) \dots\dots\dots (2 - 34)$$

d. Distribusi Lognormal

$$x_i = \ln t_i \text{ dimana } t_i \text{ adalah data ke-i.} \dots\dots\dots (2 - 35)$$

$$y_i = z_i = \phi^{-1}[F(t_i)] \dots\dots\dots (2 - 36)$$

$$\text{Parameter : } s = \frac{1}{b} \text{ dan } t_{med} = e^{-sa} \dots\dots\dots (2 - 37)$$

2.9.2 Uji Kecocokan Distribusi

Dalam menentukan distribusi data yang telah dikumpulkan, digunakan uji kecocokan statistik (*Goodness of Fit Test*). Dalam uji kecocokan ini, yang akan diuji adalah hipotesis nol (H_0) bahwa data mengikuti distribusi pilihan lawan hipotesis alternatif (H_1) bahwa data tidak mengikuti distribusi pilihan. Pada dasarnya ada dua jenis uji *goodness-of-fit* yaitu uji umum (*general test*) dan uji khusus (*specific test*). Uji umum dapat digunakan untuk menguji beberapa distribusi sedangkan uji khusus masing-masing hanya dapat menguji satu jenis distribusi. Dibanding dengan uji umum, uji khusus lebih akurat dalam menolak suatu distribusi yang tidak sesuai.

Adapun yang merupakan uji *goodness-of-fit* umum ialah *Chi-Square*, sedangkan yang merupakan uji khusus ialah *Mann's Test* untuk distribusi Weibull, *Bartlett's Test* untuk distribusi Eksponensial dan *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk distribusi Normal dan distribusi Lognormal.

2.9.2.1 MANN'S TEST Untuk Distribusi Weibull

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

Hipotesisnya berupa :

H_0 : *Failure times* berdistribusi Weibull.

H_1 : *Failure times* tidak berdistribusi Weibull.

Test statistik :

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k+1}^{r-1} \left[\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^k \left[\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i} \right]} \dots\dots\dots (2-38)$$

dimana :

$$k_1 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor \quad k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor \dots\dots\dots (2-39)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \dots\dots\dots (2-40)$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \dots\dots\dots (2-41)$$

Keterangan :

M = Nilai dari Mann's Test.

r = Banyaknya data.

t_i = Time to failure / time to repair.

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

n = Banyaknya kerusakan.

Jika $M > F_{crit}$ maka H_1 diterima, Nilai dari F_{crit} didapatkan dari tabel berdistribusi F dengan $v_1 = 2 k_1$ dan $v_2 = 2 k_2$.

2.9.2.2 BARTLETT'S TEST Untuk Distribusi Eksponensial

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

H_0 : *Failure times* berdistribusi Eksponensial.

H_1 : *Failure times* tidak berdistribusi Eksponensial.

Test statistik :

$$B = \frac{2r \left[\left(\ln \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right) - \left(\left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right) \right]}{1 + \frac{r+1}{6r}} \dots\dots\dots (2-42)$$

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

r = Jumlah dari failure / repair.

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

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

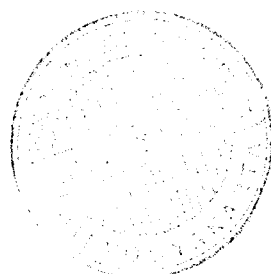
2.9.2.3 KOLMOGOROV-SMIRNOV TEST Untuk Distribusi Normal Dan Distribusi Lognormal

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

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

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

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



dimana :

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} \dots\dots\dots (2-43)$$

$$D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} \dots\dots\dots (2-44)$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \dots\dots\dots (2-45)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1} \dots\dots\dots (2-46)$$

$$z_i = \frac{(t_i - \bar{t})}{s} \dots\dots\dots (2-47)$$

Keterangan :

t_i	= Time to failure / time to repair ke-i.
$\bar{t}$	= Rata-rata time to failure / time to repair.
s	= Standart deviasi.
n	= Banyaknya data.

Jika $D_n < D_{crit}$ maka H_0 diterima. Nilai dari D_{crit} didapatkan dari *tabel critical values for Kolmogrov-Smirnov Test For Normality (Liliefors Test)*. Perbedaan penggunaan uji ini untuk distribusi Normal dan Lognormal adalah pada distribusi Lognormal, nilai $t_i = \ln t_i$.

2.10 Mean Time To Failure (MTTF)

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

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

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

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

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \dots\dots\dots (2 - 48)$$

Perhitungan MTTF untuk tiap-tiap distribusinya adalah :

- Distribusi Weibull

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \dots\dots\dots (2 - 49)$$

- Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (2 - 50)$$

- Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \dots\dots\dots (2 - 51)$$

- Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} e^{s^2/2} \dots\dots\dots (2 - 52)$$

2.11 Mean Time To Repair (MTTR)

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

$$MTTR = \int_0^{\infty} t h(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t)) dt \dots\dots\dots (2 - 53)$$

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

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

Perhitungan MTTR untuk tiap distribusi yaitu :

- Distribusi Weibull

$$MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \dots\dots\dots (2 - 54)$$

- Distribusi Eksponensial

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (2 - 55)$$

- Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \dots\dots\dots (2 - 56)$$

- Distribusi Lognormal

$$MTTR = t_{med} e^{s^2/2} \dots\dots\dots (2 - 57)$$

2.12 Model Penentuan Penggantian Pencegahan Dengan Kriteria Minimasi Downtime

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

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

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

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

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

Keterangan :

tp = interval waktu penggantian pencegahan.

Total ekspektasi *downtime* per siklus (EDS) =

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

Atau :

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

Ekspektasi panjang siklus kerusakan (EPS) =

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

Atau :

Ekspektasi panjang siklus kerusakan (EPS) =

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

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

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

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

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

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

$$M(t_p) = \frac{\int_{-\infty}^{t_p} tf(t) dt}{1 - R(t_p)} = \frac{MTTF}{1 - R(t_p)} \dots\dots\dots (2 - 58)$$

Jadi total *downtime* per unit waktu adalah :

$$D(t_p) = \frac{T_p \cdot R(t_p) + T_f \cdot (F(t_p))}{(t_p + T_p) \cdot R(t_p) + [M(t_p) + T_f] \cdot (F(t_p))} \dots\dots\dots (2 - 59)$$

dimana :

T_f = adalah waktu untuk melakukan perbaikan kerusakan komponen.

T_p = adalah waktu untuk melakukan penggantian *preventive*.

t_p = adalah panjang interval waktu antara tindakan perawatan *preventive*.

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

2.13 Frekuensi Pemeriksaan Dan Interval Pemeriksaan Optimal

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

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

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

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

Dimana :

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

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

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

$$K = \frac{\text{Frekuensi jumlah kerusakan}}{\text{Periode terjadinya kerusakan}} \dots\dots\dots (2 - 61)$$

- T_f adalah waktu rata-rata untuk melakukan penggantian ($1/\mu$). (2 - 62)

- T_i adalah waktu rata-rata untuk melakukan pemeriksaan ($1 / i$). (2 – 63)
- n adalah jumlah pemeriksaan (frekuensi) yang dilakukan per satuan waktu

Sehingga :

$$D(n) = \frac{\lambda(n)}{\mu} + \frac{n}{i} \text{ atau } D(n) = \frac{k}{n \circ \mu} + \frac{n}{i} \dots\dots\dots (2 - 64)$$

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

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

$$\text{Sehingga frekuensi pemeriksaan : } n = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}} \dots\dots\dots (2 - 65)$$

2.14 Perhitungan Ketersediaan (Availability)

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

Availability dapat dirumuskan sebagai berikut (Jardine, 1973) :

- *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan

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

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

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

$$A(n) = 1 - D(n) \dots\dots\dots (2 - 66)$$

- *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan

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

$$A(tp) = 1 - D(tp) \dots\dots\dots (2 - 67)$$

- *Availability* total

$$Availability\ total = A(n) \times A(tp) \dots\dots\dots (2 - 68)$$

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

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

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

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

dimana :

T = interval waktu penggantian pencegahan kerusakan.

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

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

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

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

Secara umum persamaannya adalah sebagai berikut :

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

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

dimana :

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

T = interval waktu perawatan pencegahan.

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

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

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

- Distribusi Weibull :

$$R(t) = \left(\exp - \left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right) \dots \dots \dots (2 - 69)$$

- Distribusi Eksponensial :

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \dots \dots \dots (2 - 70)$$

- Distribusi Normal :

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) \dots \dots \dots (2 - 71)$$

- Distribusi Lognormal :

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \dots \dots \dots (2 - 72)$$

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

- Distribusi Weibull :

$$R(t - nT) = \left(\exp - \left(\frac{t - nT}{\theta} \right)^\beta \right) \dots\dots\dots (2 - 73)$$

- Distribusi Eksponensial :

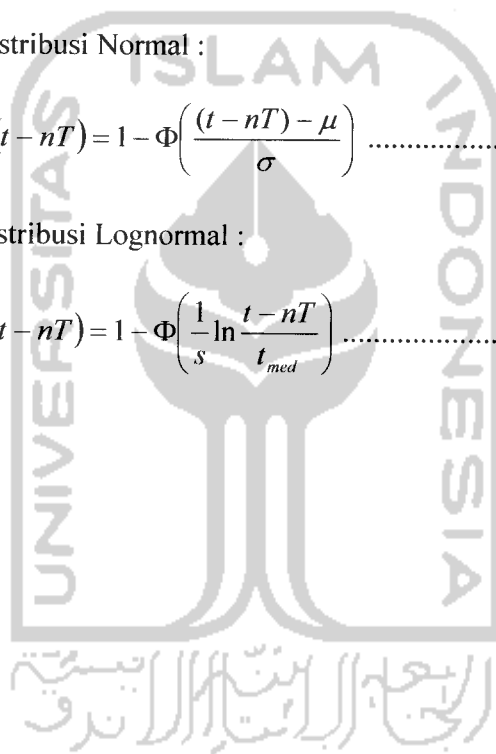
$$R(t - nT) = \exp(-\lambda(t - nT)) \dots\dots\dots (2 - 74)$$

- Distribusi Normal :

$$R(t - nT) = 1 - \Phi \left(\frac{(t - nT) - \mu}{\sigma} \right) \dots\dots\dots (2 - 75)$$

- Distribusi Lognormal :

$$R(t - nT) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t - nT}{t_{med}} \right) \dots\dots\dots (2 - 76)$$



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Obyek Penelitian

Dalam penelitian ini yang dijadikan obyek penelitian adalah PT.PLN APJ Bekasi, yang merupakan perusahaan yang mendistribusikan dan menyalurkan listrik. Penelitian yang dilaksanakan adalah perawatan *preventive* terhadap mesin produksi untuk mengetahui komponen-komponen mesin yang mana yang mempunyai resiko terhadap *breakdown*.

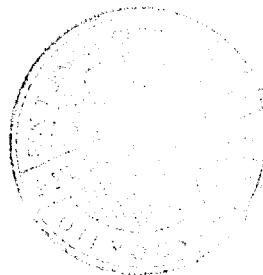
Hasil penelitian yang baik ditentukan oleh metodologi penelitian yang tersusun secara baik dan terstruktur. Pada bab ini akan dipaparkan langkah-langkah penelitian, kajian induktif dan deduktif untuk membuktikan bahwa penelitian yang dilakukan jelas sumbernya, model yang digunakan, analisa hasil dan kesimpulan yang diambil.

3.2 Sumber Data Dan Alat Penelitian

3.2.1 Sumber Data

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

- a. Sumber data primer, melalui *interview* (wawancara langsung) yaitu mengadakan wawancara langsung dengan pihak-pihak yang berkaitan dengan masalah yang akan diteliti, dalam hal ini adalah pihak perusahaan dari bagian maintenance sebagai pembimbing dalam penelitian tersebut.



- b. Sumber data sekunder, yaitu melalui observasi dengan mengamati jalannya proses produksi, melihat dari studi pustaka yang berhubungan dengan manajemen perawatan dan disiplin ilmu pengetahuan lainnya yang mendukung dan mempunyai hubungan dengan penelitian tersebut.

3.2.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain

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

3.3 Pengumpulan Data

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

Data-data yang dikumpulkan antara lain :

1. Data umum perusahaan.
2. Data mesin-mesin yang digunakan dalam proses pendistribusian dan penyaluran listrik.
3. Data jumlah kerusakan mesin (*Frekuensi*).
4. Data waktu kerusakan mesin kritis dan komponen kritis (*Downtime*).

5. Data waktu perbaikan komponen kritis (TTR).
6. Data waktu diantara kerusakan dan komponen kritis (TTF).

3.4 Pengolahan Data

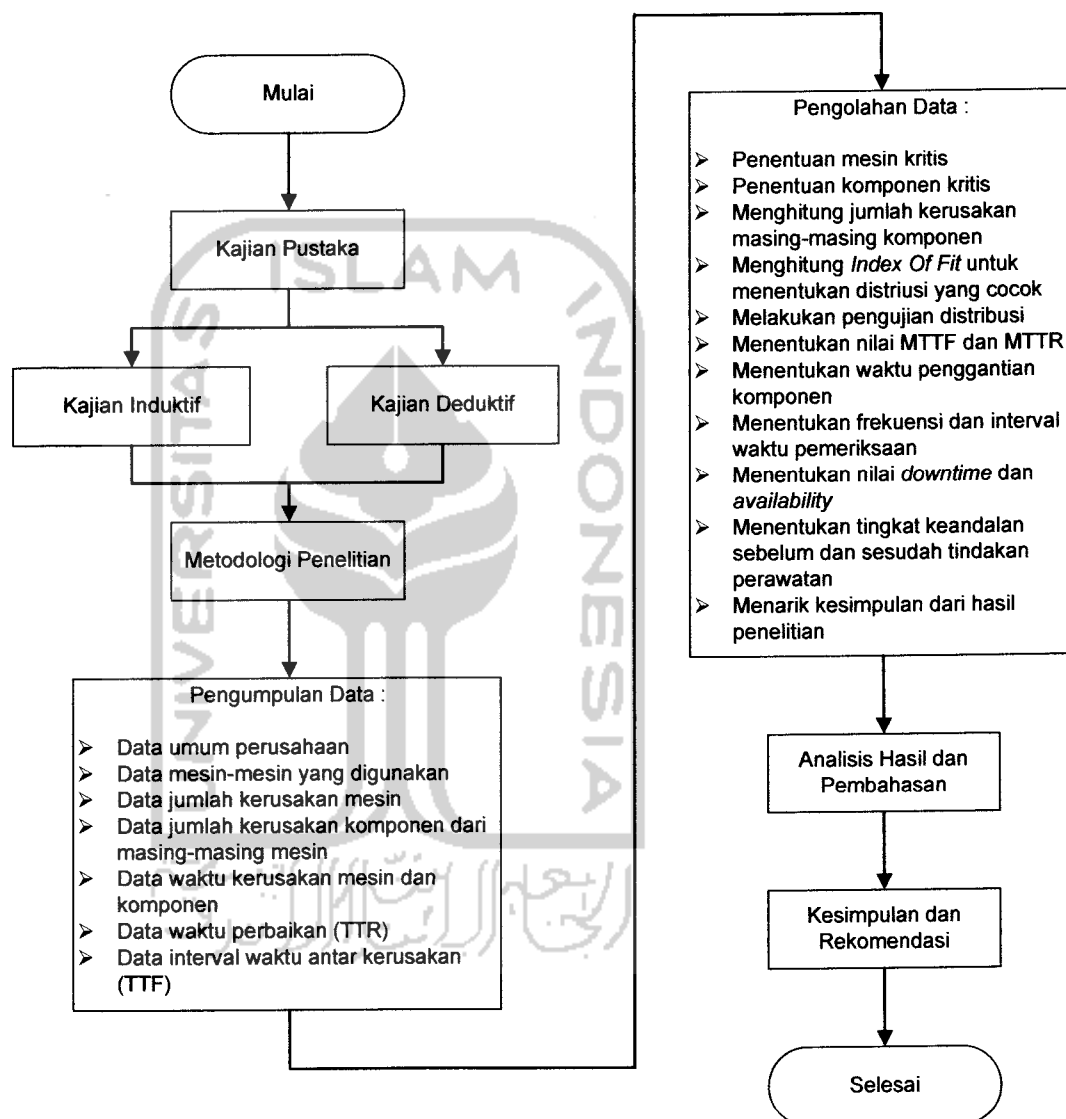
Langkah dalam pengolahan data adalah sebagai berikut :

1. Penentuan mesin kritis.
2. Penentuan komponen Kritis.
3. Menghitung *Index Of Fit* untuk menentukan distribusi yang cocok (identifikasi distribusi).
4. Pengujian kecocokan distribusi
5. Menentukan nilai MTTF dan MTTR.
6. Menentukan interval waktu penggantian pencegahan.
7. Menentukan tingkat frekuensi dan interval waktu pemeriksaan optimal.
8. Menentukan nilai *downtime* dan *availability*.
9. Menentukan nilai keandalan sebelum dan sesudah dilakukan tindakan perawatan pencegahan.
10. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian.

3.5 Tahap Pembahasan/Tahap Analisis

Pada tahap ini dilakukan pembahasan hasil pengolahan dari data perawatan preventive mesin dengan menggunakan metode-metode yang telah diterangkan diatas, sehingga pada tahap analisis ini akan diperoleh penyelesaian yang ada.

3.7 Bagan Alir (Flowchart)



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Data Umum Perusahaan

4.1.1 Sejarah PLN di Indonesia

Kelistrikan di Indonesia dimulai pada akhir abad ke-19, pada saat beberapa perusahaan Belanda, antara lain pabrik gula dan pabrik teh mendirikan pembangkit tenaga listrik untuk keperluan sendiri. Kelistrikan untuk kemanfaatan umum mulai ada pada saat perusahaan swasta Belanda yaitu NVNIGN yang semula bergerak dibidang gas memperluas usahanya dibidang listrik untuk kemanfaatan umum. Pada tahun 1927 Pemerintah Belanda membentuk s'Land Waterkracht Bedrijven (LB) yaitu Perusahaan Listrik Negara yang mengelola PLTA Plegan, PLTA Lamajan, PLTA Bangkok Dago, PLTA Ubrug dan Kracak di Jawa Barat, PLTA Giringan di Madiun, PLTA Tes di Bengkulu, PLTA Tonsea Lama di Sulawesi Utara, dan PLTU di Jakarta. Selain itu beberapa Kotapraja dibentuk perusahaan-perusahaan Listrik Kotapraja.

Dengan menyerahnya Pemerintah Belanda kepada Jepang dalam perang Dunia II maka Indonesia dikuasai Jepang. Oleh karena itu perusahaan listrik dan gas yang ada diambil alih oleh Jepang dan semua personil dalam perusahaan listrik tersebut diambil oleh orang-orang Jepang. Dengan jatuhnya Jepang ketangan Sekutu dan diproklamasikannya kemerdekaan Indonesia pada tanggal 17 Agustus 1945, maka kesempatan yang baik ini dimanfaatkan oleh pemuda serta buruh listrik dan gas untuk mengambil alih perusahaan-perusahaan listrik dan gas yang dikuasai Jepang.

Setelah berhasil merebut perusahaan listrik dan gas dari tangan kekuasaan Jepang, kemudian pada bulan September 1945. Delegasi dari buruh/pegawai listrik dan gas yang diketuai oleh Kobarsjih menghadap Pimpinan KNPI Pusat yang waktu itu diketuai oleh Mr.Kasman Singodimejo untuk melaporkan hasil perjuangan mereka. Selanjutnya delegasi Kobarsjih bersama-sama dengan Pimpinan KNPI Pusat menghadap Presiden Soekarno, untuk menyerahkan perusahaan-perusahaan listrik dan gas kepada Pemerintah Republik Indonesia. Penyerahan tersebut diterima oleh Presiden Soekarno dan kemudian dengan Penetapan Pemerintah tahun 1945 No.1 tertanggal 27 Oktober 1945 maka dibentuklah Jawatan Listrik dan Gas dibawah Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga.

Dengan adanya agresi Belanda I dan II sebagian besar perusahaan-perusahaan listrik dikuasai kembali oleh Pemerintah Belanda atau pemiliknya semula. Pegawai-pegawai yang tidak mau bekerja sama kemudian mengungsi dan menggabungkan diri pada kantor-kantor jawatan listrik dan gas di daerah-daerah Republik Indonesia yang bukan daerah pendudukan Belanda untuk meneruskan perjuangan. Para pemuda kemudian mengajukan mosi yang dikenal dengan Mosi Kobarsjih tentang Nasionalisme Perusahaan Listrik dan Gas Swasta kepada Parlemen RI No.163 tanggal 3 Oktober 1953 tentang Nasionalisme Perusahaan Listrik milik bangsa asing di Indonesia, jika waktu konsesinya habis.

Sejalan dengan meningkatnya perjuangan Bangsa Indonesia untuk membebaskan Irian Jaya dari cengkraman penjajahan Belanda, maka dikeluarkan Undang-undang Nomor 86 tahun 1958 tertanggal 27 Desember 1958 tentang Nasionalisasi semua perusahaan Belanda dan Peraturan Pemerintah Nomor 18

tahun 1958 tentang Nasionalisasi Listrik dan Gas Milik Belanda. Dengan undang-undang tersebut, maka seluruh perusahaan listrik Belanda berada di tangan Bangsa Indonesia.

Sejarah ketenagalistrikan di Indonesia mengalami pasang surut sejalan dengan pasang surutnya perjuangan bangsa. Tanggal 27 Oktober 1945 kemudian dikenal sebagai Hari Listrik dan Gas, hari tersebut telah diperingati untuk pertama kali pada tanggal 27 Oktober 1946 bertempat di Gedung Badan Pekerja Komite Nasional Indonesia Pusat (BPKNIP) Yogyakarta. Penetapan secara resmi tanggal 27 Oktober 1945 sebagai Hari Listrik dan Gas berdasarkan keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Tenaga Nomor 20 tahun 1960, namun kemudian berdasarkan keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik Nomor 235/KPTS/1975 tanggal 30 September 1975 peringatan Hari Listrik dan Gas yang digabung dengan Hari Kebaktian Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik yang jatuh pada tanggal 3 Desember. Mengingat pentingnya semangat dan nilai-nilai hari listrik, maka berdasarkan keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor 1134.K/43/MPE/1992 tanggal 31 Agustus 1992 ditetapkan tanggal 27 Oktober sebagai Hari Listrik Nasional.

4.1.2 Sejarah PLN APJ Bekasi

PLN APJ (Area Pelayanan dan Jaringan) Bekasi merupakan kantor ranting dari PLN cabang Purwakarta. Berdasarkan Surat Keputusan Direksi PLN Nomor : 075/DIR/1982 tanggal 15 Desember 1982 dirubah statusnya dari Kantor Ranting menjadi Kantor Cabang Bekasi. Dalam perkembangannya melalui keputusan General Manajer PLN Disjabar dan Banten Nomor :

025.K/021/GMDJBB/2003 dirubah menjadi PLN Area Pelayanan dan Jaringan Bekasi hingga sekarang.

Gedung kantor pelayanan PLN APJ Bekasi dibangun diatas tanah seluas : 7.685 M^2 dengan luas bangunan seluruhnya sebesar : $3.683,89 \text{ M}^2$ yang terdiri dari :

Tabel 4.1 Luas Bangunan Kantor Pelayanan PLN APJ Bekasi

Lantai Basement	1.137 M^2
Lantai I	$1.273,66 \text{ M}^2$
Lantai II	$873,60 \text{ M}^2$
Lantai III	$363,63 \text{ M}^2$
Lantai IV	36 M^2

Anggaran seluruhnya yang dibutuhkan untuk membangun APJ Bekasi mencapai Rp. 11 Milyar yang berasal dari anggaran investasi dan anggaran operasional.

4.1.3 Visi, Misi, Serta Moto Perusahaan

➤ Visi Perusahaan

Visi perusahaan PT.PLN APJ Bekasi yaitu diakui sebagai perusahaan kelas dunia yang bertumbuh kembang, unggul, dan terpercaya dengan bertumpu pada potensi insani.

➤ Misi Perusahaan

Misi PT.PLN APJ Bekasi antara lain adalah :

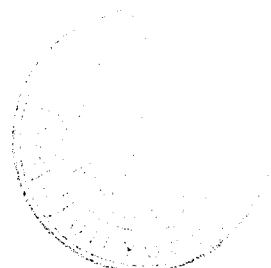
- Menjalankan bisnis kelistrikan dan bidang lain yang terkait, berorientasi pada kepuasan pelanggan, anggota perusahaan, dan pemegang saham.
- Menjadikan tenaga listrik sebagai media untuk meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat.
- Mengupayakan agar tenaga listrik menjadi pendorong kegiatan ekonomi.
- Menjalankan kegiatan usaha yang berwawasan lingkungan.

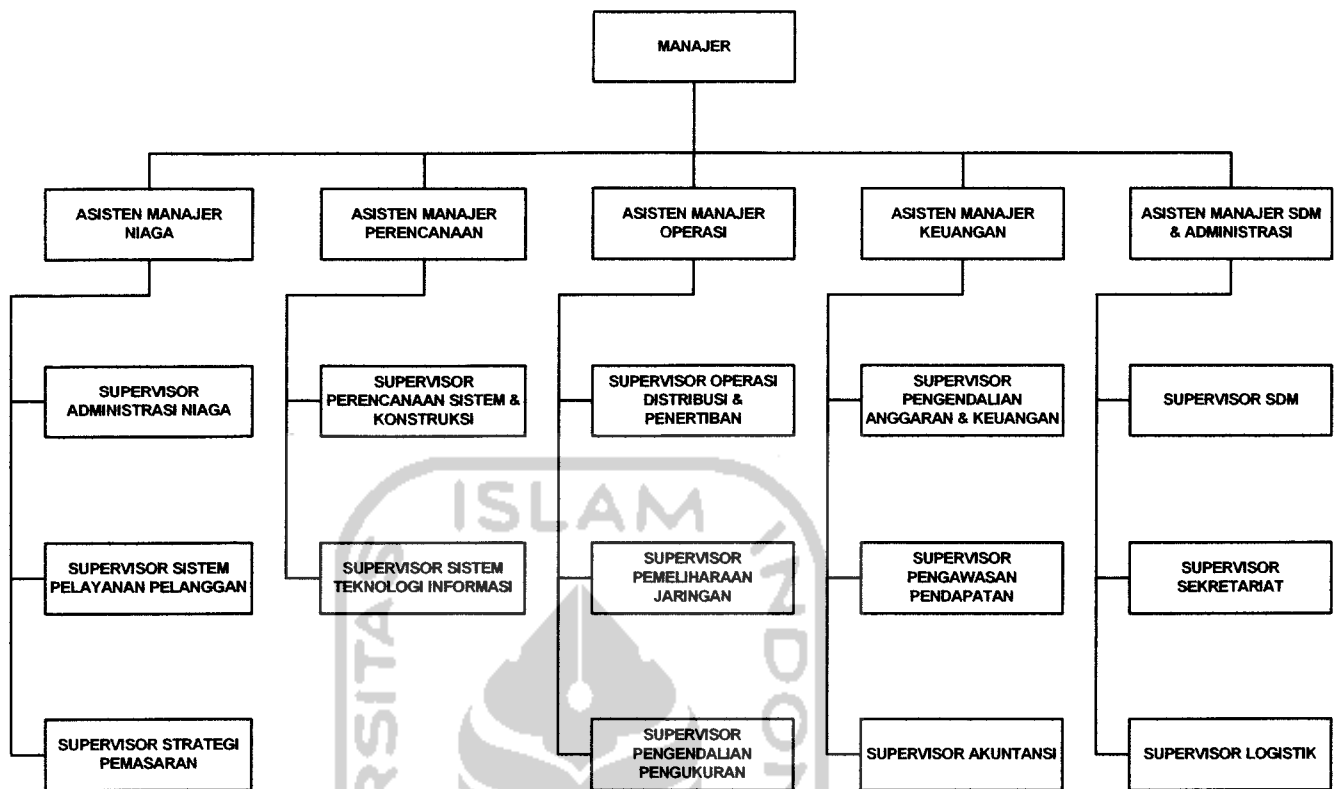
➤ **Moto Perusahaan**

Moto PT.PLN APJ Bekasi adalah : Listrik untuk kehidupan yang lebih baik (*Electricity for a better life*).

4.1.4 Struktur Organisasi Perusahaan Dan Job Description

Struktur organisasi yang ada di PT.PLN Area Pelayanan Jaringan (APJ) Bekasi adalah sebagai berikut :





Gambar 4.1 Struktur Organisasi Perusahaan

Berikut diterangkan job description untuk masing-masing jabatan dalam struktur organisasi di PT. PLN APJ Bekasi :

1. MANAJER

- Mensinergikan seluruh unit garis depan dan seluruh fungsi di APJ dalam mengoptimalkan sumberdaya dan kemitraan untuk memaksimalkan kinerja unit dan citra perusahaan berdasarkan hukum dan ketentuan yang berlaku.
- Menjalin komunikasi dan hubungan kerja internal dan eksternal yang efektif dan mengembangkan serta memberdayakan seluruh potensi SDM untuk meningkatkan budaya perusahaan.

- Berkoordinasi dengan unit P3B (Pusat Pengatur dan Pengendalian Beban), unit distribusi lain, dan APJ yang berbatasan.
- Melengkapi pengaturan lebih lanjut yang belum diatur oleh kantor distribusi.

2. ASISTEN MANAJER NIAGA

- Fungsi utama dari Asisten Manajer Niaga adalah memfasilitasi unit garis depan dalam memaksimalkan kinerja melalui fungsi Administrasi Niaga, Sistem Pelayanan, dan Sistem Pemasaran.
- Bekerjasama dengan Asisten Manajer Perencanaan, Asisten Manajer Operasi, Asisten Manajer Keuangan, Asisten Manajer SDM dan Administrasi, fungsi terkait di APJ dan unit garis depan untuk memaksimalkan kinerja APJ.
- Mengkoordinasikan fungsi-fungsi Supervisor, Ahli, Terampil Utama dan Terampil dilingkungan Bagian Niaga dan bertanggung jawab kepada Manajer APJ.

3. ASISTEN MANAJER PERANCANGAN

- Fungsi utama Asisten Manajer Perencanaan adalah mengelola fungsi perencanaan terpadu.
- Merencanakan biaya pemeliharaan jaringan
- Memantau realisasi pelaksanaan investasi di APJ
- Mengkoordinasi pemanfaatan anggaran bersama Asisten Manajer Niaga, Asisten Manajer Operasi, Asisten Manajer Keuangan, Asisten Manajer SDM dan Administrasi, fungsi terkait di APJ dan unit garis depan untuk memaksimalkan kinerja APJ.

4. ASISTEN MANAJER OPERASI

- Fungsi utama Asisten Manajer Operasi adalah mengelola fungsi pengoperasian sistem jaringan distribusi, bekerjasama dengan ahli dan fungsi terkait di APJ untuk memfasilitasi unit garis depan dalam memaksimalkan kinerjanya.
- Memantau dan memutakhirkan data jaringan distribusi terpasang diseluruh wilayah APJ.
- Melaksanakan pengawasan pembangunan jaringan distribusi baru.
- Mengevaluasi dan mengoperasikan jaringan distribusi baru.
- Mengkoordinasi pemanfaatan anggaran bersama Asisten Manajer Niaga, Asisten Manajer Perencanaan, Asisten Manajer Keuangan, Asisten Manajer SDM dan Administrasi.

5. ASISTEN MANAJER KEUANGAN

- Fungsi utama Asisten Manajer Keuangan adalah mengelola fungsi keuangan, bekerjasama dengan ahli dan fungsi terkait di APJ.
- Mengkoordinasikan penyediaan liquiditas operasional unit garis depan, rekonsiliasi penerimaan pembayaran rekening listrik di rekening bank PLN, pengembangan “autodebet”, pengembangan unit garis depan baru, dan lain-lain.

6. ASISTEN MANAJER SUMBER DAYA MANUSIA DAN ADMINISTRASI

- Fungsi utama Asisten Manajer SDM dan Administrasi adalah mengelola fungsi SDM, fungsi administrasi, hukum dan

komunikasi, logistik, serta bekerjasama dengan ahli dan fungsi terkait di APJ.

- Mengkoordinasikan apresiasi dan promosi pegawai, program kehumasan, pengembangan sarana, dan lain-lain.

4.1.5 Jasa Yang Diberikan

Jasa yang diberikan oleh PT.PLN APJ Bekasi adalah pelayanan dan fasilitas yang ditujukan terutama untuk memberikan kepuasan kepada konsumen.

Fasilitas dan pelayanan yang diberikan dapat disebutkan sebagai berikut :

1. Penyambungan listrik baru untuk pelanggan Jaringan Tegangan Rendah, misalnya penyambungan listrik untuk perumahan dan industri-industri kecil.
2. Penyambungan listrik baru untuk pelanggan Jaringan Tegangan Menengah, misalnya penyambungan listrik untuk pabrik-pabrik besar.
3. Penambahan daya listrik untuk pelanggan Jaringan Tegangan Rendah, misalnya penambahan daya listrik untuk perumahan dan industri-industri kecil.
4. Penambahan daya listrik untuk pelanggan Jaringan Tegangan Menengah, misalnya penambahan daya listrik untuk pabrik-pabrik besar.
5. Pembayaran rekening listrik.
6. Pembacaan meteran listrik.
7. Jasa pelayanan gangguan listrik, misalnya perbaikan terhadap kerusakan peralatan yang menyebabkan pemadaman listrik.
8. Jasa pengaduan pelanggan.

9. Jasa penertiban pengguna tenaga listrik, misalnya menertibkan pencurian-pencurian listrik.

4.1.6 Waktu Dan Pembagian Kerja

Pada dasarnya hari kerja yang ada di PT.PLN APJ Bekasi berlangsung selama lima hari dalam seminggu, yaitu hari senin sampai jum'at, tetapi karena listrik harus tetap menyala setiap hari dan setiap jam tanpa mengenal hari libur nasional ataupun perayaan hari-hari besar, sehingga mesin atau peralatan yang ada di PT.PLN APJ Bekasi harus tetap beroperasi selama 24 jam dalam sehari. Oleh karena itu petugas atau pekerja PT.PLN APJ Bekasi harus siap dan siaga selama 24 jam dalam sehari untuk mengantisipasi terjadinya gangguan pada jaringan listrik.

Kegiatan operasional atau hari kerja yang ada di PT.PLN APJ Bekasi berlangsung selama tujuh hari dalam seminggu, dan dalam sehari beroperasi selama 24 jam. Hari kerja di PT.PLN APJ Bekasi terbagi menjadi 2 shift, dimana pembagian jam kerjanya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Pengaturan Jam Kerja

Shift	Jam Kerja	Jumlah Petugas Jaga
Shift I	07.00 – 19.00	4 orang
Shift II	19.00 – 07.00	4 orang

4.1.7 Proses Produksi dan Pendistribusian Listrik

Listrik dihasilkan oleh PLTA atau PLTU, dimana pada PLTA proses produksi listrik dimulai dari tenaga air yang menggerakkan turbin, kemudian Turbin menggerakkan Generator, dan Generator inilah yang menghasilkan listrik. Listrik yang dihasilkan oleh Generator masih dalam keadaan yang bertegangan tinggi, yaitu berkisar antara 150.000 – 500.000 ribu volt. Listrik ini belum bisa digunakan oleh industri ataupun perumahan.

Listrik yang bertegangan tinggi ini dialirkan kedalam saluran transmisi, yang berupa tiang-tiang yang tinggi, kemudian dari saluran transmisi inilah listrik dialirkan kedalam gardu induk. Di gardu induk tegangan listrik diturunkan menjadi 20.000 volt, kemudian dari gardu induk listrik dialirkan ke gardu portal (gardu tiang) ataupun gardu distribusi (gardu tembok). Didalam gardu portal atau gardu distribusi tegangan listrik diturunkan kembali menjadi 220 volt, dan barulah listrik dialirkan ke pelanggan, baik pelanggan industri maupun pelanggan perumahan.

PT.PLN APJ Bekasi dalam kegiatan usahanya tidak membuat atau menghasilkan listrik, tetapi hanya mendistribusikan listrik kepada industri-industri besar ataupun pelanggan perumahan. Gambar proses pendistribusian listrik dapat dilihat pada LAMPIRAN 3.

4.1.8 Mesin-mesin atau Peralatan yang Digunakan Dalam Proses Pendistribusian Listrik

Mesin-mesin yang digunakan dalam proses pendistribusian listrik oleh PT.PLN APJ Bekasi antara lain :

- **Kubikel**

Tahun Pembuatan : 2004
 Merk : Merlin Gerin
 Daya Maksimum : 24 KV
 Frekuensi : 50/60 Hz
 Fungsi : Pembagi tegangan

- **PB (Pemutus Beban)**

Tahun Pembuatan : 2002
 Merk : Vercors M6
 Daya Maksimum : 24 KV
 Frekuensi : 50/60 Hz
 Fungsi : Pengaman/sebagai sikring

- **Trafo**

Tahun Pembuatan : 1994
 Merk : Kunindo
 Daya : 630 KVA
 Fungsi : Penurunan tegangan/menaikkan tegangan

- **RAK TR (Rumah Bagi)**

Tahun Pembuatan : 1992
 Merk : Twink
 Daya : 380 KVA
 Fungsi : Mengalirkan listrik ke konsumen

- **Meteran**

Tahun Pembuatan : 2004

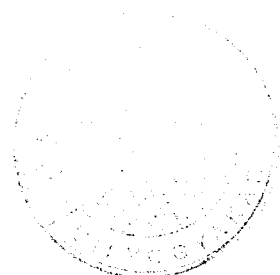
Merk	: Nurinda
Daya	: 380 KVA
Fungsi	: Mengukur tegangan

4.2 Pengumpulan Data Kerusakan Mesin

Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara dengan bagian pemeliharaan jaringan dapat diketahui bahwa terdapat 5 mesin yang terlibat secara langsung dalam proses pendistribusian listrik, yaitu : Trafo, Kubikel, RAK TR (Lemari Bagi), PB (Pemutus Beban), dan Meteran. Mesin-mesin ini merupakan mesin vital dalam proses pendistribusian listrik, dimana bila terjadi kerusakan maka proses pendistribusian listrik akan terhenti dan berakibat pemadaman listrik. Pemadaman listrik akan berdampak fatal bila terjadi secara tiba-tiba tanpa diketahui sebelumnya, karena pelanggan-pelanggan industri besar akan terhenti proses produksinya dan mengakibatkan kerugian yang besar.

Data-data waktu terjadinya kerusakan mesin (*downtime*) diambil dari data historis dokumentasi bagian pemeliharaan jaringan selama 12 bulan dari bulan Januari 2006 sampai bulan Desember 2006. Selama periode tersebut kerusakan yang terjadi dicatat dan dikelompokkan, sehingga dapat diketahui mesin yang paling lama waktu kerusakannya.

Data kerusakan mesin (*downtime*) periode 01 Januari 2006 sampai dengan 31 Desember 2006 diperoleh dengan menghitung total kerusakan dari setiap mesin pada periode tersebut. Data selengkapnya ada di halaman LAMPIRAN 1.



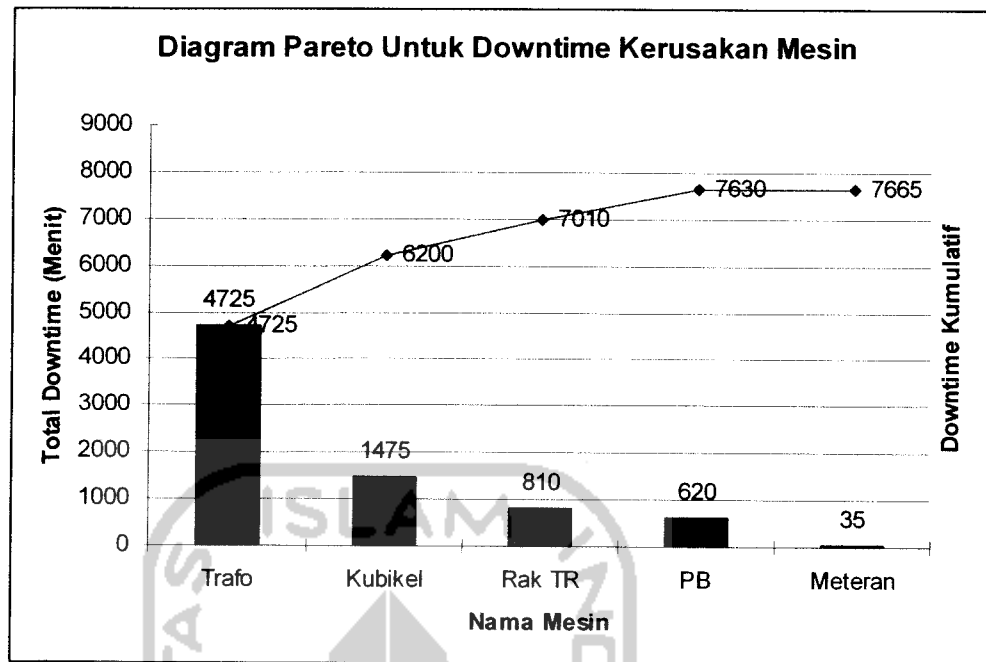
4.3 Penentuan Mesin Kritis

Penentuan mesin kritis ditentukan berdasarkan data *downtime* dari kerusakan mesin yang memiliki total waktu *downtime* terbesar serta frekuensi kerusakan mesin terbanyak, dan data jumlah *downtime* kerusakan setiap mesin dapat dilihat dari tabel berikut ini :

Tabel 4.3 Data Jumlah Downtime Kerusakan Mesin-mesin

No	Nama Mesin	Frekuensi	Downtime (menit)	Downtime Kumulatif
1	Trafo	60	4725	4725
2	Kubikel	23	1475	6200
3	Rak TR	14	810	7010
4	PB	9	620	7630
5	Meteran	2	35	7665
		108	7665	

Selanjutnya akan ditentukan mesin kritis dengan menggunakan diagram Pareto berikut ini :



Gambar 4.2 Diagram Pareto Penentuan Mesin Kritis

Dari tabel data jumlah *downtime* kerusakan mesin-mesin dan diagram Pareto, dapat dilihat bahwa data *downtime* terbesar dan frekuensi kerusakan terbanyak terdapat pada mesin Trafo, sehingga mesin kritis adalah mesin Trafo.

4.4 Penentuan Komponen Kritis

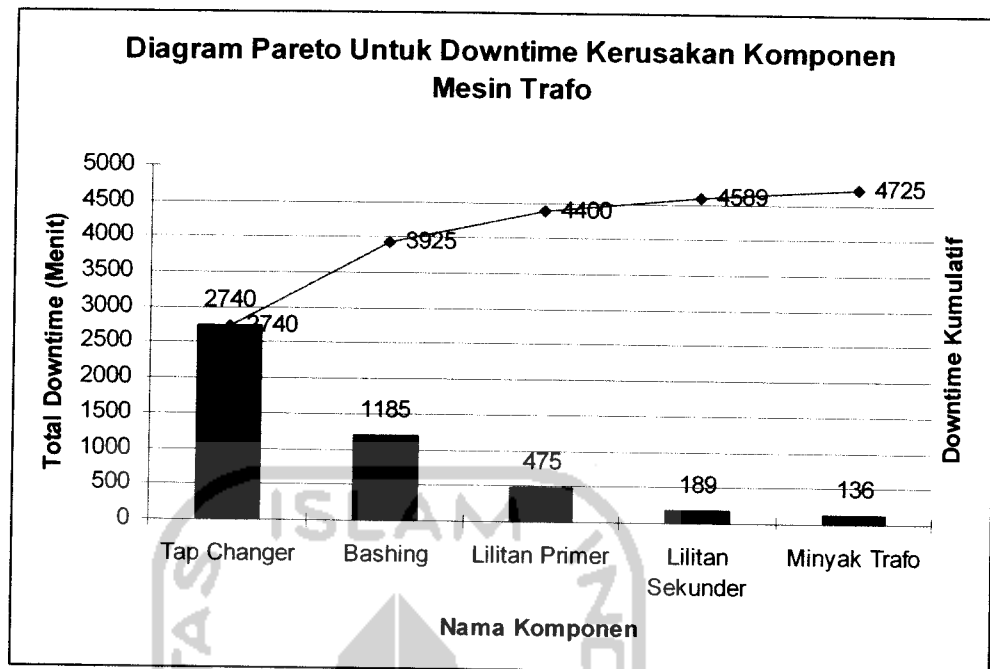
Berdasarkan data *downtime* mesin yang terbesar didapat bahwa mesin kritis adalah mesin Trafo. Setelah mesin kritis tersebut ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah pengumpulan data waktu terjadinya kerusakan komponen-komponen dari mesin Trafo. Data-data *downtime* kerusakan komponen dari mesin Trafo didapat dari data-data perusahaan selama periode 01 Januari 2006 sampai dengan 31 Desember 2006. Data selengkapnya ada di halaman

LAMPIRAN 2, dan data-data komponen dari mesin Trafo yang mengalami kerusakan selama periode diatas dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.4 Data Jumlah Downtime Kerusakan Tiap-tiap Komponen Pada Mesin Trafo

Mesin Trafo				
No	Komponen	Frekuensi	Downtime (Menit)	Downtime Kumulatif (Menit)
1	Tap Changer	22	2740	2740
2	Bashing	17	1185	3925
3	Lilitan Primer	10	475	4400
4	Lilitan Sekunder	7	189	4589
5	Minyak Trafo	4	136	4725
Total		60	4725	

Selanjutnya akan ditentukan komponen kritis dengan menggunakan diagram Pareto berikut ini :



Gambar 4.2 Diagram Pareto Penentuan Komponen Kritis

Dari perhitungan *downtime* kerusakan dari komponen-komponen Trafo dan diagram Pareto diatas maka dapat ditentukan komponen kritis dari mesin Trafo adalah komponen yang memiliki data *downtime* dan frekuensi kerusakan terbesar, dan data *downtime* serta frekuensi kerusakan terbesar ada pada komponen Tap Changer, sehingga dapat ditentukan bahwa komponen kritis adalah Tap Changer.

4.5 Perhitungan Waktu Antar Kerusakan (TTF) Dan Waktu Perbaikan (TTR) Komponen kritis

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



Tabel 4.5 Perhitungan TTR dan TTF

MESIN TRAFO								
KOMPONEN TAP CHANGER								
No	Tanggal	Bulan	Tahun	Jam Padam	Jam Nyala	Downtime (Menit)	TTR (jam)	TTF (Jam)
1	4	Januari	2006	21.00	24.00	180	3	—
2	26	Januari	2006	10.00	12.00	120	2	514
3	11	Februari	2006	17.00	19.00	120	2	389
4	25	Februari	2006	6.30	7.30	60	1	323.5
5	9	Maret	2006	15.30	18.30	180	3	296
6	20	Maret	2006	6.30	9.30	180	3	252
7	1	April	2006	15.30	17.00	90	1.5	294
8	22	April	2006	22.00	23.30	90	1.5	509
9	14	Mei	2006	8.00	10.00	120	2	512.5
10	3	Juni	2006	8.30	11.30	180	3	478.5
11	23	Juni	2006	15.00	18.00	180	3	483.5
12	10	Juli	2006	20.30	23.30	180	3	410.5
13	30	Juli	2006	2.00	5.00	180	3	458.5
14	8	Agustus	2006	16.00	17.00	60	1	227
15	24	Agustus	2006	1.30	3.30	120	2	368.5
16	4	September	2006	22.30	24.00	90	1.5	283
17	20	September	2006	6.00	7.30	90	1.5	366
18	7	Oktober	2006	9.00	12.00	180	3	409.5
19	1	November	2006	22.00	24.00	120	2	610
20	15	November	2006	15.30	16.30	60	1	327.5
21	31	November	2006	17.00	18.00	60	1	360.5
22	14	Desember	2006	21.00	22.40	100	1.67	339
Total						2740	45.67	8212

Keterangan :

- TTR (*Time To Repair*) adalah waktu perbaikan.
- TTF (*Time To Failure*) adalah waktu antar kerusakan.

Langkah-langkah perhitungan TTR pada tabel 4.5 adalah sebagai berikut :

- Contoh data yang dihitung adalah TTR pada tanggal 04 Januari 2006.
- Total downtime 180 menit, dan 60 menit = 1 jam, maka $180/60 = 3$ jam.

Langkah-langkah perhitungan TTF pada tabel 4.5 adalah sebagai berikut :

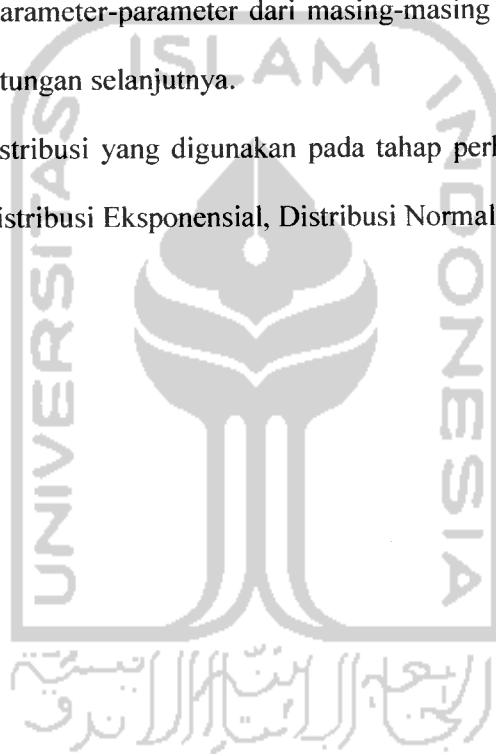
- Contoh data yang dihitung adalah TTF pada tanggal 04 Januari 2006 sampai tanggal 26 Januari 2006.
- Waktu bekerja mesin Trafo adalah 24 jam sehari, dan 7 hari dalam seminggu, pada hari libur nasional dan perayaan hari-hari besar lainnya mesin tetap beroperasi.
- Pada periode tanggal 05 Januari 2006 pukul 00.00 sampai tanggal 25 Januari 2006 pukul 24.00 terdapat 21 hari kerja, maka $(21 \text{ hari kerja} \times 24 \text{ jam}) = 504 \text{ jam}$.
- Tanggal 04 Januari 2006 pukul 24.00 sampai tanggal 05 Januari 2006 pukul 00.00 terdapat 0 jam.
- Tanggal 25 Januari 2006 pukul 24.00 atau tanggal 26 Januari 2006 pukul 00.00 sampai tanggal 26 Januari pukul 10.00 terdapat 10 jam.
- Sehingga waktu diantara kerusakan pada tanggal 04 Januari 2006 pukul 24.00 samapai tanggal 26 Januari pukul 10.00 adalah $= 504 + 0 + 10 = 514$ jam

4.6 Identifikasi Distribusi

4.6.1 Identifikasi Distribusi Untuk Data Waktu Antar Kerusakan (TTF)

Untuk mengetahui distribusi yang sesuai bagi data waktu antar kerusakan (*Time to Failure*) terlebih dahulu dilakukan identifikasi jenis distribusi dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*. Dari perhitungan ini kita memperoleh nilai *index of fit* dan nilai parameter dari masing-masing distribusi. Sehingga parameter-parameter dari masing-masing distribusi dapat kita gunakan untuk perhitungan selanjutnya.

Distribusi yang digunakan pada tahap perhitungan ini adalah Distribusi Weibull, Distribusi Eksponensial, Distribusi Normal, dan Distribusi Lognormal.



4.6.1.1 Identifikasi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) Dengan Distribusi

Weibull

Tabel 4.6 Perhitungan *Index Of Fit* TTF dengan Distribusi Weibull

i	ti (jam)	xi = ln(ti)	F(ti)	yi	Xi . Yi	Xi ²	Yi ²
1	227	5.424950017	0.03271028	-3.40348334	-18.463727	29.43008269	11.58369884
2	252	5.529429088	0.079439252	-2.49166198	-13.77746823	30.57458603	6.208379424
3	283	5.645446898	0.126168224	-2.003463219	-11.31044521	31.87107067	4.01386487
4	294	5.683579767	0.172897196	-1.661645928	-9.444097177	32.30307897	2.76106719
5	296	5.690359454	0.219626168	-1.394398299	-7.934627544	32.38019072	1.944346616
6	323.5	5.779199114	0.26635514	-1.172053652	-6.773531426	33.3991424	1.373709763
7	327.5	5.791488055	0.313084112	-0.97938116	-5.67207429	33.54133389	0.959187457
8	339	5.826000107	0.359813084	-0.807447338	-4.704188277	33.94227725	0.651971203
9	360.5	5.887491957	0.406542056	-0.650492124	-3.82976715	34.66256154	0.423140004
10	366	5.902633333	0.453271028	-0.504508816	-2.977930557	34.84108027	0.254529146
11	368.5	5.909440712	0.5	-0.366512921	-2.165886374	34.92148952	0.134331721
12	389	5.963579344	0.546728972	-0.234122302	-1.396206925	35.56427859	0.054813252
13	409.5	6.014936903	0.593457944	-0.105285078	-0.633283102	36.17946595	0.011084948
14	410.5	6.017375929	0.640186916	0.021928399	0.131951419	36.20881307	0.000480855
15	458.5	6.127960292	0.686915888	0.149525769	0.916287976	37.55189734	0.022357956
16	478.5	6.170656211	0.73364486	0.279845003	1.726827306	38.07699807	0.078313226
17	483.5	6.181051315	0.780373832	0.415962097	2.571083067	38.20539536	0.173024466
18	509	6.232448017	0.827102804	0.562501963	3.505764244	38.84340828	0.316408459
19	512.5	6.239300711	0.873831776	0.727615827	4.539813945	38.92887336	0.529424791
20	514	6.242223265	0.920560748	0.929310672	5.800964696	38.9653513	0.863618325
21	610	6.413458957	0.96728972	1.22965981	7.886372722	41.1324558	1.512063248
Total	8212	124.6730094	10.5	-11.45810662	-62.00416789	741.5238311	33.86981576

$$(\sum x_i)^2 = 15543,35928$$

$$(\sum y_i)^2 = 131,2882073$$

$$\text{Index Of Fit distribusi Weibull} = 0,980947989$$

$$\theta = 428,5533818$$

$$a = -26,75215271$$

$$\beta = b = 4,414244131$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan (2-21), (2-22), (2-23), (2-26), (2-27), (2-28) :

- Urutkan data TTF (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar
- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 21$

$$x_i = \ln t_i \quad x_i = \ln 227 = 5,424950017$$

$$\bullet \quad F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad F(t_i) = \frac{1-0,3}{21+0,4} = 0,03271028$$

$$\bullet \quad y_i = \ln \ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \quad y_i = \ln \ln \left(\frac{1}{1-0,03271028} \right) = -3,40348334$$

Perhitungan parameter :

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

$$\beta = b = \frac{21 * (-62,00416789) - (124,6730094 * -11,45810662)}{(21 * 741,5238311) - 15543,35928} =$$

$$4,414244131$$

- $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^i x_i}{n} = \frac{124,6730094}{21} = 5,936809974$

- $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^i y_i}{n} = \frac{-11,45810662}{21} = -0,545624125$

- $a = \bar{y} - b\bar{x} = -0,545624125 - (4,414244131 * 5,936809974) = -26,75215271$

- $\theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} = e^{-(-26,75215271/4,14244131)} = 428,553818$

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

$$r = \frac{21 * -62,00416789 - (124,6730094 * -11,45810662)}{\sqrt{[(21 * 741,5238311) - 15543,35928] [(21 * 33,86981576) - 131,2882073]}}$$

$$= 0,980947989$$

4.6.1.2 Identifikasi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) Dengan Distribusi Eksponensial

Tabel 4.7 Perhitungan *Index Of Fit* TTF dengan Distribusi Eksponensial

i	ti (jam)	xi = ti	F(ti)	yi	Xi . Yi	xi ²	yi ²
1	227	227	0.03271028	0.033257222	7.549389339	51529	0.001106043
2	252	252	0.079439252	0.082772286	20.85861614	63504	0.006851251
3	283	283	0.126168224	0.134867398	38.16747368	80089	0.018189215
4	294	294	0.172897196	0.189826282	55.80892704	86436	0.036034018
5	296	296	0.219626168	0.247982203	73.40273197	87616	0.061495173
6	323.5	323.5	0.26635514	0.30973021	100.1977228	104652.25	0.095932803
7	327.5	327.5	0.313084112	0.375543428	122.9904727	107256.25	0.141032866
8	339	339	0.359813084	0.445995089	151.1923352	114921	0.19891162
9	360.5	360.5	0.406542056	0.521788929	188.1049087	129960.25	0.272263686
10	366	366	0.453271028	0.60380208	220.9915614	133956	0.364576952
11	368.5	368.5	0.5	0.693147181	255.424736	135792.25	0.480453014
12	389	389	0.546728972	0.791265037	307.8020992	151321	0.626100358
13	409.5	409.5	0.593457944	0.900067896	368.5778036	167690.25	0.810122218
14	410.5	410.5	0.640186916	1.022170593	419.6010285	168510.25	1.044832722
15	458.5	458.5	0.686915888	1.161283396	532.4484369	210222.25	1.348579125
16	478.5	478.5	0.73364486	1.322924747	633.0194915	228962.25	1.750129887
17	483.5	483.5	0.780373832	1.515828413	732.9030378	233772.25	2.297735779
18	509	509	0.827102804	1.755058102	893.3245741	259081	3.080228943
19	512.5	512.5	0.873831776	2.070139149	1060.946314	262656.25	4.285476096
20	514	514	0.920560748	2.532762671	1301.840013	264196	6.414886747
21	610	610	0.96728972	3.420065866	2086.240178	372100	11.69685053
Total	8212	8212	10.5	20.13027818	9571.391852	3414223.5	35.03178904

$$(\sum x_i)^2 = 67436944$$

$$(\sum y_i)^2 = 405,2280995$$

$$\text{Index Of Fit distribusi Eksponensial} = 0,951040781$$

$$\lambda = b = 0,002803388$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan (2-21), (2-22), (2-24), (2-29), (2-30), (2-31) :

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

- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 21$

$$x_i = t_i \quad x_i = 227$$

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad F(t_i) = \frac{1-0,3}{21+0,4} = 0,03271028$$

$$y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right) \quad y_i = \ln\left(\frac{1}{1-0,03271028}\right) = 0,033257222$$

Perhitungan parameter :

$$\lambda = b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad \lambda = b = \frac{9571,391852}{3414223,5} = 0,002803388$$

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

$$r = \frac{(21 * 9571,391852) - (8212 * 20,13027818)}{\sqrt{[(21 * 3414223,5) - 67436944][(21 * 35,03178904) - 405,2280995]}}$$

$$= 0,951040781$$

4.6.1.3 Identifikasi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) Dengan Distribusi Normal

Tabel 4.8 Perhitungan *Index Of Fit* TTF dengan Distribusi Normal

i	ti (jam)	xi = ti	F(ti)	yi = zi	xi . yi	xi ²	yi ²
1	227	227	0.03271028	-1.842357217	-418.2150883	51529	3.394280115
2	252	252	0.079439252	-1.408864078	-355.0337477	63504	1.984897991
3	283	283	0.126168224	-1.144694569	-323.9485629	80089	1.310325655
4	294	294	0.172897196	-0.942795309	-277.1818208	86436	0.888862994
5	296	296	0.219626168	-0.773470616	-228.9473024	87616	0.598256794
6	323.5	323.5	0.26635514	-0.623886768	-201.8273694	104652.25	0.389234699
7	327.5	327.5	0.313084112	-0.487135276	-159.536803	107256.25	0.237300778
8	339	339	0.359813084	-0.358951776	-121.684652	114921	0.128846377
9	360.5	360.5	0.406542056	-0.236463773	-85.24519017	129960.25	0.055915116
10	366	366	0.453271028	-0.117396394	-42.96708015	133956	0.013781913
11	368.5	368.5	0.5	0	0	135792.25	0
12	389	389	0.546728972	0.117396394	45.66719721	151321	0.013781913
13	409.5	409.5	0.593457944	0.236463773	96.83191504	167690.25	0.055915116
14	410.5	410.5	0.640186916	0.358951776	147.3497039	168510.25	0.128846377
15	458.5	458.5	0.686915888	0.487135276	223.3515242	210222.25	0.237300778
16	478.5	478.5	0.73364486	0.623886768	298.5298184	228962.25	0.389234699
17	483.5	483.5	0.780373832	0.773470616	373.9730429	233772.25	0.598256794
18	509	509	0.827102804	0.942795309	479.8828122	259081	0.888862994
19	512.5	512.5	0.873831776	1.144694569	586.6559664	262656.25	1.310325655
20	514	514	0.920560748	1.408864078	724.1561362	264196	1.984897991
21	610	610	0.96728972	1.842357217	1123.837902	372100	3.394280115
Total	8212	8212	10.5	1.9984E-15	1885.648402	3414223.5	18.00340487



$$(\sum x_i)^2 = 67436944$$

$$(\sum y_i)^2 = 3,99361\text{E-}30$$

$$\text{Index Of Fit distribusi Normal} = 0,986504524$$

$$\sigma = 107,6236971$$

$$a = -3,633471343$$

$$b = 0,009291634$$

$$\mu = 391,047619$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan (2-21), (2-22), (2-23), (2-32), (2-33), (2-34) :

- Urutkan data TTF (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar
- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 21$

$$x_i = t_i \quad x_i = 227$$

$$\bullet \quad F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \quad F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{21 + 0,4} = 0,03271028$$

$$\bullet \quad y_i = z_i = \phi^{-1}[F(t_i)] \quad y_i = z_i = \phi^{-1}[0,03271028] = -1,842357217$$

dimana nilai y_i didapat dari tabel standardized normal probabilities.

Perhitungan parameter :

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

$$= \frac{(21 * 1885,648402) - (8212 * 1,9984\text{E-}15)}{(21 * 3414223,5) - 67436944} = 0,009291634$$

- $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{8212}{21} = 391,047619$

- $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{1,9984E-15}{21} = 9,5162E-17$

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

$$9,5162E-17 - (0,009291634 * 391,047619) = -3,633471343$$

- $\sigma = \frac{1}{b} = \frac{1}{0,009291634} = 107,6236971$

- $\mu = -\left(\frac{a}{b}\right) = -\frac{-3,633471343}{0,009291634} = 391,047619$

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

$$r = \frac{(21 * 1885,648402) - (8212 * 1,9984E-15)}{\sqrt{[(21 * 3414223,5) - 67436944][(21 * 18,00340487) - 3,99361E-30]}}$$

$$= 0,986504524$$

4.6.1.4 Identifikasi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) Dengan Distribusi

Lognormal

Tabel 4.9 Perhitungan *Index Of Fit* TTF dengan Distribusi Lognormal

i	ti (jam)	$x_i = \ln(t_i)$	F(ti)	$y_i = z_i$	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	227	5.424950017	0.03271028	-1.842357217	-9.994695817	29.43008269	3.394280115
2	252	5.529429088	0.079439252	-1.408864078	-7.790214015	30.57458603	1.984897991
3	283	5.645446898	0.126168224	-1.144694569	-6.462312401	31.87107067	1.310325655
4	294	5.683579767	0.172897196	-0.942795309	-5.358452342	32.30307897	0.888862994
5	296	5.690359454	0.219626168	-0.773470616	-4.401325833	32.38019072	0.598256794
6	323.5	5.779199114	0.26635514	-0.623886768	-3.605565855	33.3991424	0.389234699
7	327.5	5.791488055	0.313084112	-0.487135276	-2.821238135	33.54133389	0.237300778
8	339	5.826000107	0.359813084	-0.358951776	-2.091253084	33.94227725	0.128846377
9	360.5	5.887491957	0.406542056	-0.236463773	-1.392178562	34.66256154	0.055915116
10	366	5.902633333	0.453271028	-0.117396394	-0.692947868	34.84108027	0.013781913
11	368.5	5.909440712	0.5	0	0	34.92148952	0
12	389	5.963579344	0.546728972	0.117396394	0.700102709	35.56427859	0.013781913
13	409.5	6.014936903	0.593457944	0.236463773	1.422314675	36.17946595	0.055915116
14	410.5	6.017375929	0.640186916	0.358951776	2.159947775	36.20881307	0.128846377
15	458.5	6.127960292	0.686915888	0.487135276	2.985145631	37.55189734	0.237300778
16	478.5	6.170656211	0.73364486	0.623886768	3.849790758	38.07699807	0.389234699
17	483.5	6.181051315	0.780373832	0.773470616	4.780861569	38.20539536	0.598256794
18	509	6.232448017	0.827102804	0.942795309	5.875922752	38.84340828	0.888862994
19	512.5	6.239300711	0.873831776	1.144694569	7.142093636	38.92887336	1.310325655
20	514	6.242223265	0.920560748	1.408864078	8.794444127	38.9653513	1.984897991
21	610	6.413458957	0.96728972	1.842357217	11.8158824	41.1324558	3.394280115
Total	8212	124.6730094	10.5	1.9984E-15	4.916322117	741.5238311	18.00340487

$$(\sum x_i)^2 = 15543,35928$$

$$(\sum y_i)^2 = 3,99361E - 30$$

$$\text{Index of Fit distribusi Lognormal} = 0,992149891$$

$$s = 0,277415743$$

$$a = -21,40040757$$

$$b = 3,60469809$$

$$t_{\text{med}} = 378,7248582$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan (2-21), (2-22), (2-23), (2-35), (2-36), (2-37):

- Urutkan data TTF (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar
- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 21$

$$x_i = \ln t_i \quad x_i = \ln 227 = 5,424950017$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \quad F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{21 + 0,4} = 0,03271028$$

$$y_i = z_i = \phi^{-1}[F(t_i)] \quad y_i = z_i = \phi^{-1}[0,03271028] = -1,842357217$$

dimana nilai y_i didapat dari tabel standardized normal probabilities.

Perhitungan parameter :

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

$$= \frac{(21 * 4,916322117) - (124,6730094 * 1,9984E - 15)}{(21 * 741,5238311) - 15543,35928} = 3,60469809$$

- $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^i x_i}{n} = \frac{124,6730094}{21} = 5,936809974$

- $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^i y_i}{n} = \frac{1,9984E-15}{21} = 9,5162E-17$

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

$$9,5162E-17 - (3,60469809 * 5,936809974) = -21,40040757$$

- $s = \frac{1}{b} = \frac{1}{3,60469809} = 0,277415743$

- $t_{med} = e^{-sa} = e^{-0,277415743 * -21,40040757} = 378,7248582$

- $e^{s^2/2} = e^{-(0,277415743)/2} = 1,039229681$

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

$$r = \frac{(21 * 4,916322117) - (124,6730094 * 1,9984E-15)}{\sqrt{[(21 * 741,5238311) - 15543,35928][(21 * 18,00340487) - 3,99361E-30]}}$$

$$= 0,992149891$$

4.6.1.5 Nilai Index Of Fit Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) Tiap Distribusi

Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan *index of fit* data waktu antar kerusakan dari masing-masing distribusi :

Tabel 4.10 Perbandingan Nilai *Index Of Fit* Waktu Antar Waktu Kerusakan (TTF)

Distribusi	Index Of Fit
Weibull	0,980947989
Eksponensial	0,951040781
Normal	0,986504524
Lognormal	0,992149891

Pemilihan jenis distribusi dipilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar. Pada data waktu antar kerusakan diperoleh nilai *index of fit* terbesar terdapat pada distribusi Lognormal sebesar 0.992149891.

4.6.2 Identifikasi Distribusi untuk Data Waktu Perbaikan (TTR)

Langkah-langkah perhitungan untuk mencari nilai *index of fit* pada setiap distribusi untuk data waktu perbaikan sama dengan langkah-langkah perhitungan untuk mencari nilai *index of fit* pada data waktu antar kerusakan, yaitu melakukan identifikasi jenis distribusi dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*. Dari perhitungan ini kita memperoleh nilai *index of fit* dan nilai parameter dari masing-masing distribusi. Sehingga parameter-parameter dari masing-masing distribusi dapat kita gunakan untuk perhitungan selanjutnya.

Distribusi yang digunakan pada tahap perhitungan ini adalah Distribusi Weibull, Distribusi Eksponensial, Distribusi Normal, dan Distribusi Lognormal.

4.6.2.1 Identifikasi Data Waktu Perbaikan (TTR) Dengan Distribusi Weibull

Tabel 4.11 Perhitungan *Index Of Fit* TTR dengan Distribusi Weibull

i	ti (jam)	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	y_i	$X_i \cdot Y_i$	X_i^2	Y_i^2
1	1	0	0.03125	-3.449903552	0	0	11.90183452
2	1	0	0.075892857	-2.539228628	0	0	6.447682025
3	1	0	0.120535714	-2.052275323	0	0	4.211834
4	1	0	0.165178571	-1.711817127	0	0	2.930317875
5	1.5	0.405465108	0.209821429	-1.446059995	-0.586326872	0.164401954	2.091089509
6	1.5	0.405465108	0.254464286	-1.225359071	-0.496840348	0.164401954	1.501504852
7	1.5	0.405465108	0.299107143	-1.03451067	-0.419457981	0.164401954	1.070212326
8	1.5	0.405465108	0.34375	-0.864615531	-0.35057143	0.164401954	0.747560016
9	1.67	0.512823626	0.388392857	-0.709957432	-0.364082945	0.262988072	0.504039556
10	2	0.693147181	0.433035714	-0.56658684	-0.392728071	0.480453014	0.321020647
11	2	0.693147181	0.477678571	-0.431595374	-0.299159116	0.480453014	0.186274567
12	2	0.693147181	0.522321429	-0.302704726	-0.209818928	0.480453014	0.091630151
13	2	0.693147181	0.566964286	-0.178008782	-0.123386285	0.480453014	0.031687127
14	2	0.693147181	0.611607143	-0.055789775	-0.038670525	0.480453014	0.003112499
15	3	1.098612289	0.65625	0.065638507	0.07211127	1.206948961	0.004308414
16	3	1.098612289	0.700892857	0.18809936	0.206648269	1.206948961	0.035381369
17	3	1.098612289	0.745535714	0.313784508	0.344727517	1.206948961	0.098460718
18	3	1.098612289	0.790178571	0.445645905	0.489592068	1.206948961	0.198600273
19	3	1.098612289	0.834821429	0.588191105	0.646193976	1.206948961	0.345968776
20	3	1.098612289	0.879464286	0.749437333	0.823341064	1.206948961	0.561656316
21	3	1.098612289	0.924107143	0.947181737	1.040585496	1.206948961	0.897153242
22	3	1.098612289	0.96875	1.242924992	1.36549267	1.206948961	1.544862535
Total	45.67	14.38931827	11	-12.02750938	1.707649828	12.97845264	35.72619132

$$(\sum x_i)^2 = 207,0524803$$

$$(\sum y_i)^2 = 144,6609818$$

$$\text{Index Of Fit distribusi Weibull} = 0,938934471$$

$$\theta = 2,357820298$$

$$a = -2,302311337$$

$$\beta = b = 2,684167472$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan (2-21), (2-22), (2-23), (2-26), (2-27), (2-28) :

- Urutkan data TTR (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar
- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 22$

$$x_i = \ln t_i \quad x_i = \ln 1 = 0$$

$$\bullet \quad F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad F(t_i) = \frac{1-0,3}{22+0,4} = 0,03125$$

$$\bullet \quad y_i = \ln \ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \quad y_i = \ln \ln \left(\frac{1}{1-0,03125} \right) = -3,449903552$$

Perhitungan parameter :

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

$$\beta = b = \frac{22 * (1,707649828) - (14,38931827 * -12,02750938)}{(22 * 12,97845264) - 207,0524803} = 2,684167472$$

$$\bullet \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{14,38931827}{22} = 0,654059921$$

- $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{-12,02750938}{22} = -0,546704972$

- $a = \bar{y} - b\bar{x} = -0,546704972 - (2,684167472 * 0,654059921) = -2,302311337$

- $\theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} = e^{-(2,302311337/2,684167472)} = 2,357820298$

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

$$r = \frac{22 * 1,707649828 - (14,38931827 * -12,02750938)}{\sqrt{[(22 * 12,97845264) - 207,0524803] [(22 * 35,72619132) - 144,6609818]}}$$

$$= 0,938934471$$

4.6.2.2 Identifikasi Data Waktu Perbaikan (TTR) Dengan Distribusi Eksponensial

Tabel 4.12 Perhitungan *Index Of Fit* TTR dengan Distribusi Eksponensial

i	ti (jam)	xi = ti	F(ti)	yi	Xi . Yi	xi ²	yi ²
1	1	1	0.03125	0.031748698	0.031748698	1	0.00100798
2	1	1	0.075892857	0.078927259	0.078927259	1	0.006229512
3	1	1	0.120535714	0.128442323	0.128442323	1	0.01649743
4	1	1	0.165178571	0.180537435	0.180537435	1	0.032593765
5	1.5	1.5	0.209821429	0.235496319	0.353244479	2.25	0.055458516
6	1.5	1.5	0.254464286	0.293652239	0.440478359	2.25	0.086231638
7	1.5	1.5	0.299107143	0.355400247	0.53310037	2.25	0.126309335
8	1.5	1.5	0.34375	0.421213465	0.631820198	2.25	0.177420783
9	1.67	1.67	0.388392857	0.491665126	0.82108076	2.7889	0.241734596
10	2	2	0.433035714	0.567458965	1.134917931	4	0.322009677
11	2	2	0.477678571	0.649472117	1.298944234	4	0.421814031
12	2	2	0.522321429	0.738817217	1.477634435	4	0.545850881
13	2	2	0.566964286	0.836935073	1.673870147	4	0.700460317
14	2	2	0.611607143	0.945737933	1.891475866	4	0.894420238
15	3	3	0.65625	1.06784063	3.20352189	9	1.140283611
16	3	3	0.700892857	1.206953432	3.620860297	9	1.456736588
17	3	3	0.745535714	1.368594784	4.105784352	9	1.873051683
18	3	3	0.790178571	1.56149845	4.68449535	9	2.43827741
19	3	3	0.834821429	1.800728139	5.402184418	9	3.242621831
20	3	3	0.879464286	2.115809186	6.347427558	9	4.476648511
21	3	3	0.924107143	2.578432708	7.735298123	9	6.648315229
22	3	3	0.96875	3.465735903	10.39720771	9	12.01132535
Total	45.67	45.67	11	21.12109765	56.17300219	107.7889	36.91529891

$$(\sum x_i)^2 = 2085,7489$$

$$(\sum y_i)^2 = 446,1007659$$

$$\text{Index Of Fit distribusi Eksponensial} = 0,838788344$$

$$\lambda = b = 0,521139024$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan (2-21), (2-22), (2-24), (2-29), (2-30), (2-31) :

- Urutkan data TTR (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar
- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 22$

$$x_i = t_i \quad x_i = 1$$

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad F(t_i) = \frac{1-0,3}{22+0,4} = 0,03125$$

$$y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right) \quad y_i = \ln\left(\frac{1}{1-0,03125}\right) = 0,031748698$$

Perhitungan parameter :

$$\lambda = b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad \lambda = b = \frac{56,17300219}{107,7889} = 0,521139024$$

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

$$r = \frac{(22 * 56,17300219) - (45,67 * 21,12109765)}{\sqrt{[(22 * 107,7889) - 2085,7489][(22 * 36,91529891) - 446,1007659]}}$$

$$= 0,838788344$$

4.6.2.3 Identifikasi Data Waktu Perbaikan (TTR) Dengan Distribusi Normal

Tabel 4.13 Perhitungan *Index Of Fit* TTR dengan Distribusi Normal

i	ti (jam)	xi = ti	F(ti)	yi = zi	xi . yi	xi ²	yi ²
1	1	1	0.03125	-1.862714286	-1.862714286	1	3.46970451
2	1	1	0.075892857	-1.433266733	-1.433266733	1	2.054253529
3	1	1	0.120535714	-1.172321429	-1.172321429	1	1.374337532
4	1	1	0.165178571	-0.973392857	-0.973392857	1	0.947493654
5	1.5	1.5	0.209821429	-0.80705388	-1.210580821	2.25	0.651335966
6	1.5	1.5	0.254464286	-0.660517857	-0.990776786	2.25	0.43628384
7	1.5	1.5	0.299107143	-0.526982297	-0.790473446	2.25	0.277710342
8	1.5	1.5	0.34375	-0.402255435	-0.603383152	2.25	0.161809435
9	1.67	1.67	0.388392857	-0.283517344	-0.473473965	2.7889	0.080382085
10	2	2	0.433035714	-0.168662305	-0.337324609	4	0.028446973
11	2	2	0.477678571	-0.055983489	-0.111966978	4	0.003134151
12	2	2	0.522321429	0.055983489	0.111966978	4	0.003134151
13	2	2	0.566964286	0.168662305	0.337324609	4	0.028446973
14	2	2	0.611607143	0.283517344	0.567034689	4	0.080382085
15	3	3	0.65625	0.402255435	1.206766304	9	0.161809435
16	3	3	0.700892857	0.526982297	1.580946892	9	0.277710342
17	3	3	0.745535714	0.660517857	1.981553571	9	0.43628384
18	3	3	0.790178571	0.80705388	2.421161641	9	0.651335966
19	3	3	0.834821429	0.973392857	2.920178571	9	0.947493654
20	3	3	0.879464286	1.172321429	3.516964286	9	1.374337532
21	3	3	0.924107143	1.433266733	4.2998002	9	2.054253529
22	3	3	0.96875	1.862714286	5.588142857	9	3.46970451
Total	45.67	45.67	11	0	14.57216554	107.7889	18.96978403

$$(\sum x_i)^2 = 2085,7489$$

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

$$\text{Index Of Fit distribusi Normal} = 0,928581219$$

$$\sigma = 0,890885557$$

$$a = -2,330163592$$

$$b = 1,12247863$$

$$\mu = 2,075909091$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan (2-21), (2-22), (2-23), (2-32), (2-32), (2-34) :

- Urutkan data TTR (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar
- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 22$

$$x_i = t_i \quad x_i = 1$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \quad F(t_i) = \frac{1 - 0,3}{22 + 0,4} = 0,03125$$

$$y_i = z_i = \phi^{-1}[F(t_i)] \quad y_i = z_i = \phi^{-1}[0,03125] = -1,862714286 \quad \text{dimana}$$

nilai y_i didapat dari tabel standardized normal probabilities.

Perhitungan parameter :

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

$$= \frac{(22 * 14,57216554) - (45,67 * 0)}{(22 * 107,7889) - 2085,7489} = 1,12247863$$

- $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{45,67}{22} = 2,075909091$

- $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{0}{22} = 0$

- $a = \bar{y} - b\bar{x} = 0 - (1,12247863 * 2,075909091) = -2,330163592$

- $\sigma = \frac{1}{b} = \frac{1}{1,12247863} = 0,89088555745.67$

- $\mu = -\left(\frac{a}{b}\right) = -\frac{-2,330163592}{1,12247863} = 2,075909091$

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

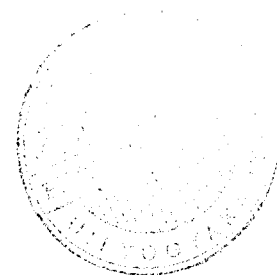
$$r = \frac{(22 * 14,57216554) - (45,67 * 0)}{\sqrt{[(22 * 107,7889) - 2085,7489][(22 * 18,96978403) - 0]}} = 0,928581219$$

4.6.2.4 Identifikasi Data Waktu Perbaikan (TTR) Dengan Distribusi

Lognormal

Tabel 4.14 Perhitungan *Index Of Fit* TTR dengan Distribusi Lognormal

i	ti (jam)	$x_i = \ln(t_i)$	F(ti)	$y_i = z_i$	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	1	0	0.03125	-1.862714286	0	0	3.46970451
2	1	0	0.075892857	-1.433266733	0	0	2.054253529
3	1	0	0.120535714	-1.172321429	0	0	1.374337532
4	1	0	0.165178571	-0.973392857	0	0	0.947493654
5	1.5	0.405465108	0.209821429	-0.80705388	-0.327232189	0.164401954	0.651335966
6	1.5	0.405465108	0.254464286	-0.660517857	-0.267816944	0.164401954	0.43628384
7	1.5	0.405465108	0.299107143	-0.526982297	-0.213672934	0.164401954	0.277710342
8	1.5	0.405465108	0.34375	-0.402255435	-0.163100543	0.164401954	0.161809435
9	1.67	0.512823626	0.388392857	-0.283517344	-0.145394393	0.262988072	0.080382085
10	2	0.693147181	0.433035714	-0.168662305	-0.116907801	0.480453014	0.028446973
11	2	0.693147181	0.477678571	-0.055983489	-0.038804797	0.480453014	0.003134151
12	2	0.693147181	0.522321429	0.055983489	0.038804797	0.480453014	0.003134151
13	2	0.693147181	0.566964286	0.168662305	0.116907801	0.480453014	0.028446973
14	2	0.693147181	0.611607143	0.283517344	0.196519248	0.480453014	0.080382085
15	3	1.098612289	0.65625	0.402255435	0.441922764	1.206948961	0.161809435
16	3	1.098612289	0.700892857	0.526982297	0.578949228	1.206948961	0.277710342
17	3	1.098612289	0.745535714	0.660517857	0.725653035	1.206948961	0.43628384
18	3	1.098612289	0.790178571	0.80705388	0.886639311	1.206948961	0.651335966
19	3	1.098612289	0.834821429	0.973392857	1.069381355	1.206948961	0.947493654
20	3	1.098612289	0.879464286	1.172321429	1.287926728	1.206948961	1.374337532
21	3	1.098612289	0.924107143	1.433266733	1.574604446	1.206948961	2.054253529
22	3	1.098612289	0.96875	1.862714286	2.046400805	1.206948961	3.46970451
Total	45.67	14.38931827	11	0	7.690779914	12.97845264	18.96978403



$$(\sum x_i)^2 = 207,0524803$$

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

$$\text{Index of Fit distribusi Lognormal} = 0,934951495$$

$$s = 0,46379903$$

$$a = -1,410222702$$

$$b = 2,156106276$$

$$t_{\text{med}} = 1,389416031$$

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan (2-21), (2-22), (2-23), (2-35), (2-36), (2-37):

- Urutkan data TTR (t_i) dari yang terkecil sampai yang terbesar
- Banyaknya data interval kerusakan = $n = 22$

$$x_i = \ln t_i \quad x_i = \ln 227 = 5,424950017$$

$$\bullet \quad F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad F(t_i) = \frac{1-0,3}{22+0,4} = 0,03125$$

$$\bullet \quad y_i = z_i = \phi^{-1}[F(t_i)] \quad y_i = z_i = \phi^{-1}[0,03125] = -1,862714286 \quad \text{dimana}$$

nilai y_i didapat dari tabel standardized normal probabilities.

Perhitungan parameter :

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

$$= \frac{(22 * 7,690779914) - (14,38931827 * 0)}{(22 * 12,97845264) - 207,0524803} = 2,156106276$$

- $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^i x_i}{n} = \frac{14,38931827}{22} = 0,654059921$

- $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^i y_i}{n} = \frac{0}{22} = 0$

- $a = \bar{y} - b\bar{x} = 0 - (2,156106276 * 0,654059921) = -1,410222702$

- $s = \frac{1}{b} = \frac{1}{2,156106276} = 0,46379903$

- $t_{med} = e^{-sa} = e^{-0,46379903 * -1,410222702} = 1,389416031$

- $e^{s^2/2} = e^{0,46379903/2} = 1,113551849$

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

$$r = \frac{(22 * 7,690779914) - (14,38931827 * 0)}{\sqrt{[(22 * 12,97845264) - 207,0524803][(22 * 18,96978403) - 0]}}$$

$$= 0,934951495$$

4.6.2.5 Nilai Index Of Fit Data Waktu Perbaikan (TTR) Tiap Distribusi

Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan *index of fit* data waktu perbaikan dari masing-masing distribusi :

Tabel 4.15 Perbandingan Nilai *Index Of Fit* Waktu Perbaikan (TTR)

Distribusi	Index Of Fit
Weibull	0,938934471
Ekspensial	0,838788344
Normal	0,928581219
Lognormal	0,934951495

Pemilihan jenis distribusi dipilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar. Pada data waktu perbaikan diperoleh nilai *index of fit* terbesar terdapat pada distribusi Weibull sebesar 0.938934471

4.7 Uji Kecocokan Distribusi (Uji Goodness Of Fit)

4.7.1 Perhitungan Uji Goodness Of Fit atau Uji Kecocokan Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF)

Berdasarkan hasil pemilihan nilai *index of fit* terbesar untuk data waktu antar kerusakan, maka dilakukan pengujian kesesuaian distribusi untuk menentukan apakah data waktu antar kerusakan (TTF) pada komponen kritis benar-benar mendekati distribusi yang sesuai dengan *index of fit* terbesar. Jika hasil pengujian menyatakan data tersebut tidak mendekati distribusi yang terpilih, maka pilih kembali distribusi yang memiliki nilai *index of fit* terbesar ke dua, dan

diikuti kembali dengan uji kesesuaian distribusi sampai data tersebut mendekati distribusi tertentu.

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

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

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

1. H_0 : Data waktu antar kerusakan berdistribusi Lognormal.
2. H_1 : Data waktu antar kerusakan tidak berdistribusi Lognormal.
3. Taraf nyata (α) = 0,05.
4. Wilayah kritik : Terima H_0 jika $D_{hitung} < D_{tabel} (21, 0,05) = 0,188$.
5. Hasil perhitungan berdasarkan persamaan

(2-43), (2-44), (2-45), (2-46), (2-47) :

Tabel 4.16 Perhitungan Uji Goodness Of Fit Data Waktu Antar Kerusakan (TTF)
Dengan Kolmogorov-Smirnov Untuk Distribusi Lognormal

Uji Goodness Of Fit Data TTF Dengan Kolmogorov-Smirnov Untuk Distribusi Lognormal									
i	(i - 1)/n	i/n	ti' (jam)	ti = ln ti'	(ti - M) ²	Zi = (ti - t)/s	Φ(Zi)	D1(i)	D2(i)
1	0	0.047619048	227	5.424950017	0.262000615	-1.960109963	0.024993622	0.024993622	0.022625425
2	0.047619048	0.095238095	252	5.529429088	0.165959186	-1.56001915	0.059377759	0.011758712	0.035860336
3	0.095238095	0.142857143	283	5.645446898	0.084892442	-1.115742033	0.132271205	0.03703311	0.010585938
4	0.142857143	0.19047619	294	5.683579767	0.064125537	-0.96971651	0.166091156	0.023234013	0.024385034
5	0.19047619	0.238095238	296	5.690359454	0.060737858	-0.943754463	0.172652612	-0.017823579	0.065442626
6	0.238095238	0.285714286	323.5	5.779199114	0.024841183	-0.603553008	0.273070401	0.034975163	0.012643884
7	0.285714286	0.333333333	327.5	5.791488055	0.02111846	-0.556493894	0.288939088	0.003224802	0.044394245
8	0.333333333	0.380952381	339	5.826000107	0.012278826	-0.424333883	0.335662467	0.002329133	0.045289914
9	0.380952381	0.428571429	360.5	5.887491957	0.002432267	-0.188857782	0.425098891	0.044146511	0.003472537
10	0.428571429	0.476190476	366	5.902633333	0.001168043	-0.130875588	0.447934143	0.019362714	0.028256334
11	0.476190476	0.523809524	368.5	5.909440712	0.000749077	-0.104807501	0.458261422	-0.017929054	0.065548102
12	0.523809524	0.571428571	389	5.963579344	0.000716599	0.102510283	0.540152508	0.016342984	0.031276064
13	0.571428571	0.619047619	409.5	6.014936903	0.006103817	0.299178264	0.617596097	0.046167526	0.001451522
14	0.619047619	0.666666667	410.5	6.017375929	0.006490873	0.308518238	0.621155449	0.00210783	0.045511218
15	0.666666667	0.714285714	458.5	6.127960292	0.036538444	0.731988581	0.767914529	0.101247862	-0.053628814
16	0.714285714	0.761904762	478.5	6.170656211	0.054684063	0.895487787	0.814735239	0.100449525	-0.052830477
17	0.761904762	0.80952381	483.5	6.181051315	0.059653833	0.935294665	0.825176024	0.063271262	-0.015652214
18	0.80952381	0.857142857	509	6.232448017	0.087401852	1.132112537	0.871203633	0.061679823	-0.014060776
19	0.857142857	0.904761905	512.5	6.239300711	0.091500646	1.158354157	0.876642602	0.019499745	0.028119303
20	0.904761905	0.952380952	514	6.242223265	0.093277279	1.16954575	0.878908241	-0.025853663	0.073472711
21	0.952380952	1	610	6.413458957	0.227194254	1.825273515	0.966020787	0.013639835	0.033979213
				124.6730094	1.363865155				

- $n = 21$

- $M = \bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{124,6730094}{21} = 5,936809974$

- $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{M})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1,363865155}{21-1}} = 0,261138388$

- Contoh Perhitungan

$$z_i = \frac{(t_i - \bar{t})}{s} = \frac{(5,424950017 - 5,936809974)}{0,261138388} = -1,960109963$$

- Contoh Perhitungan

$\Phi(z_i) \rightarrow \Phi(-1,960109963) = 0,024993622$ (didapat dari tabel standardized normal probabilities).

- $D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{s}\right) - \frac{i-1}{n} \right\} = (0,966020787 - 1) = 0,101247862$
- $D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - \Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{s}\right) \right\} = (0,952380952 - 0,878908241) = 0,073472711$
- $D_n = \max(\text{antara } D_1 \text{ dengan } D_2) = 0,101247862$

6. Kesimpulan : $D_{hitung}(0,101247862) < D_{tabel}(0,188)$, maka terima H_0 dan data waktu antar kerusakan berdistribusi Lognormal.

4.7.2 Perhitungan Uji Goodness Of Fit atau Uji Kecocokan Distribusi Data

Waktu Perbaikan (TTR)

Langkah-langkah perhitungan untuk uji *Goodness Of Fit* pada setiap distribusi untuk data waktu perbaikan sama dengan langkah-langkah perhitungan untuk uji *Goodness Of Fit* pada data waktu antar kerusakan. Pengujian yang digunakan untuk masing-masing distribusi tersebut adalah sebagai berikut :

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

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

1. H_0 : Data waktu perbaikan berdistribusi Weibull.
2. H_1 : Data waktu perbaikan tidak berdistribusi Weibull.
3. Taraf nyata (α) = 0,05.
4. Wilayah kritik : Terima H_0 jika $M < F_{\text{tabel}}(0,05, 21, 21) = 2,0975$
5. Hasil perhitungan berdasarkan persamaan (2-38), (2-39), (2-40), (2-41) :

Tabel 4.17 Perhitungan Uji Goodness Of Fit Data Waktu Perbaikan (TTR)
Dengan Mann's Test Untuk Distribusi Weibull

Uji Goodness Of Fit Data TTR Dengan Mann's Test Untuk Distribusi Weibull								
i	t _i (jam)	ln t _i	1 - [(i - 0,5)/(n + 0,25)]	- ln [1 - ((i - 0,5)/(n + 0,25))]	Z _i	M _i	ln t _{i+1} - ln t _i	(ln t _{i+1} - ln t _i) / M _i
1	1	0	0.97752809	0.022728251	-3.784146587	1.121964599	0	0
2	1	0	0.93258427	0.069795762	-2.662181988	0.535133128	0	0
3	1	0	0.887640449	0.119188517	-2.127048861	0.361823758	0	0
4	1	0	0.842696629	0.171148256	-1.765225103	0.277812294	0.405465108	1.459493033
5	1.5	0.405465108	0.797752809	0.225956493	-1.487412808	0.228433686	0	0
6	1.5	0.405465108	0.752808989	0.28394375	-1.258979123	0.196221243	0	0
7	1.5	0.405465108	0.707865169	0.345501643	-1.062757879	0.173836481	0	0
8	1.5	0.405465108	0.662921348	0.411098926	-0.888921398	0.157663512	0.107358518	0.68093446
9	1.67	0.512823626	0.617977528	0.481303184	-0.731257886	0.145728	0.180323554	1.23739813
10	2	0.693147181	0.573033708	0.556810737	-0.585529887	0.136878692	0	0
11	2	0.693147181	0.528089888	0.638488768	-0.448651195	0.130422288	0	0
12	2	0.693147181	0.483146067	0.727436254	-0.318228907	0.125947584	0	0
13	2	0.693147181	0.438202247	0.825074724	-0.192281323	0.123240209	0	0
14	2	0.693147181	0.393258427	0.933288308	-0.069041114	0.122249281	0.405465108	3.316707517
15	3	1.098612289	0.348314607	1.054649165	0.053208167	0.123094902	0	0
16	3	1.098612289	0.303370787	1.192799504	0.176303068	0.126126341	0	0
17	3	1.098612289	0.258426966	1.353142154	0.302429409	0.132074878	0	0
18	3	1.098612289	0.213483146	1.544197391	0.434504287	0.142438331	0	0
19	3	1.098612289	0.168539326	1.780586169	0.576942618	0.160575977	0	0
20	3	1.098612289	0.123595506	2.090741097	0.737518595	0.195718226	0	0
21	3	1.098612289	0.078651685	2.542726221	0.933236821	0.287600204	0	0
22	3	1.098612289	0.033707865	3.390024081	1.220837025			
Total	45.67	14.38931827	11.12359551	20.76062935	-12.94668407	5.004983612	1.098612289	6.694533141

$$\bullet \quad n = 22 \qquad r = 22$$

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

$$Z_1 = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1 - 0,5}{22 + 0,25} \right) \right] = -3,784146587$$

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

$$M_1 = -2,662181988 - (-3,784146587) = 1,121964599$$

- $k_1 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor = \frac{22}{2} = 11$

- $k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor = \frac{22-1}{2} = 10,5 \approx 10$

- $$M = \frac{k_1 \sum_{i=k+1}^{r-1} \left[\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^k \left[\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i} \right]} = \frac{k_1 \sum_{i=11}^{21} 3,316707517}{k_2 \sum_{i=1}^{10} 3,377825624}$$

$$M = \frac{11 * [3,316707517]}{10 * [3,377825624]} = \frac{36,48378269}{33,77825624} = 1,080096688$$

6. Kesimpulan : *Nilai M* (1,080096688) < F_{tabel} (2,0975), maka terima H_0 dan data waktu perbaikan berdistribusi Weibull.

4.8 Perhitungan Nilai Rata-rata Waktu Antar Kerusakan (MTTF) dan Nilai Rata-rata Waktu Perbaikan (MTTR)

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

Setelah diketahui bahwa distribusi terpilih untuk data waktu antar kerusakan adalah distribusi Lognormal selanjutnya, maka perhitungan selanjutnya adalah menghitung nilai MTTF, dan nilai-nilai yang akan digunakan pada perhitungan MTTF adalah nilai parameter-parameter dari distribusi Lognormal yang telah dihitung sebelumnya pada sub-bab 4.6.1.4 (tentang identifikasi waktu

antar kerusakan (TTF) dengan distribusi Lognormal). Dari perhitungan berdasarkan persamaan (2-37), (2-52) didapat nilai :

$$t_{med} = e^{-sa} = e^{-0,277415743 \cdot 21,40040757} = 378,7248582$$

$$e^{s^2/2} = e^{-(0,277415743)^2/2} = 1,039229681$$

$$MTTF = t_{med} e^{s^2/2} = (378,7248582 \cdot 1,039229681) = 393,5821136$$

$$s = 0,277415743$$

4.8.2 Perhitungan Mean Time To Repair (MTTR) Data Waktu Perbaikan

Setelah diketahui bahwa distribusi terpilih untuk data untuk data waktu perbaikan adalah distribusi Weibull, maka perhitungan selanjutnya adalah menghitung nilai MTTR, dan nilai-nilai yang akan digunakan pada perhitungan MTTR adalah nilai parameter-parameter dari distribusi Weibull yang telah dihitung sebelumnya pada sub-bab 4.6.2.1 (tentang identifikasi data waktu perbaikan (TTR) dengan distribusi Weibull). Dari perhitungan berdasarkan persamaan (2-28), (2-54) didapat nilai :

$$\beta = 2,684167472$$

$$\theta = 2,357820298$$

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

$$MTTR = 2,357820298 \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,684167472}\right)$$

$$MTTR = 2,357820298 \Gamma(1,372554995)$$

$\Gamma(1.372554995) = 0,889113265$ didapat dari tabel Gamma

Fuction, sehingga :

$$MTTR = 2,357820298 * 0,889113265 = 2,096369303$$

4.9 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Berdasarkan Kriteria Minimasi Downtime

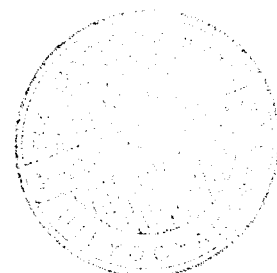
Setelah mengetahui distribusi yang sesuai untuk data Time To Failure dan Time To Repair serta nilai MTTF dan MTTR berdasarkan distribusi terpilih, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan kriteria *minimasi downtime*. Perhitungan dilakukan secara *trial and error*, yang dimulai dengan kondisi $t_p = 125$ jam dan seterusnya.

- Data interval waktu antar kerusakan atau Time To Failure (TTF) berdistribusi Lognormal, dengan nilai :

- $MTTF = 393,5821136$
- $t_{med} = 378,7248582$
- $s = 0,277415743$

- Data waktu perbaikan atau Time To Repair (TTR) berdistribusi Weibull, dengan nilai :

- $MTTR = T_f = T_p = 2,096369303$



Tabel 4.18 Interval Penggantian Komponen Kritis

tp (jam)	$(1/s * \ln tp/t_{med})$	$F(tp)=\Phi(1/s * \ln tp/t_{med})$	$R(tp)=1 - F(tp)$	$Tp * R(tp)$	$M(tp)$	$D(tp)$
125	-3.995794265	0.00003	0.99997	2.096306412	13119403.79	0.004026255
130	-3.854415436	0.00006	0.99994	2.096243521	6559701.893	0.00398799
140	-3.58727857	0.000162721	0.999837279	2.096028179	2418747.879	0.003913651
150	-3.338580098	0.00042142	0.99957858	2.095485851	933942.8719	0.003842212
200	-2.301573081	0.010675954	0.989324046	2.073988562	36866.22511	0.003531957
250	-1.497207948	0.067172967	0.932827033	1.955549958	5859.233743	0.003333469
260	-1.355829118	0.087577341	0.912422659	1.912774854	4494.108962	0.003312279
270	-1.21978663	0.111270754	0.888729246	1.863104711	3537.156894	0.003298069
280	-1.088692252	0.138149012	0.861850988	1.806757955	2848.967989	0.00329102
281	-1.075841265	0.141001557	0.858998443	1.800777968	2791.331692	0.003290709
282	-1.06303593	0.14388388	0.85611612	1.794735554	2735.414933	0.00329047
283	-1.050275923	0.146796814	0.853203186	1.788628969	2681.135265	0.003290306
284	-1.037560926	0.149738304	0.850261696	1.782462519	2628.466479	0.003290214
285	-1.024890621	0.152705814	0.847294186	1.776241523	2577.387884	0.003290191
286	-1.012264695	0.155708738	0.844291262	1.769946285	2527.681612	0.003290251
287	-0.999682839	0.15873707	0.84126293	1.763597782	2479.459355	0.003290379
288	-0.987144746	0.161789537	0.838210463	1.757198684	2432.679642	0.003290574
289	-0.974650113	0.164866772	0.835133228	1.750747663	2387.273728	0.003290838
290	-0.962198639	0.167978142	0.832021858	1.744225083	2343.055529	0.003291185
300	-0.83999378	0.200451754	0.799548246	1.676148399	1963.475529	0.003298549
350	-0.284327119	0.388082713	0.611917287	1.282804616	1014.170691	0.003437519
400	0.197013237	0.578092176	0.421907824	0.884474612	680.8293387	0.003714059
450	0.62158552	0.732890051	0.267109949	0.559961098	537.0275026	0.004063692
500	1.00137837	0.841672187	0.158327813	0.331913567	467.619246	0.004414874
600	1.658592537	0.951397846	0.048602154	0.101888063	413.6882537	0.004934494
700	2.214259198	0.986594813	0.013405187	0.028102223	398.9298428	0.005175427

Diketahui :

T_f = Waktu untuk melakukan perbaikan kerusakan komponen.

T_p = Waktu untuk melakukan penggantian preventif.

t_p = Panjang interval waktu antara tindakan perawatan pencegahan.

$R(t_p)$ = Probabilitas terjadinya siklus pencegahan.

$F(t_p)$ = Probabilitas terjadinya siklus kerusakan.

$D(t_p)$ = Total downtime per unit waktu.

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan (2-20), (2-58), (2-59) :

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

$$F(125) = \Phi\left(\frac{1}{0,277415743} \ln \frac{125}{378,7248582}\right)$$

$F(125) = \Phi(-3,995794265) = 0,00003$, dimana nilai 0,00003 didapat dari tabel standardized normal probabilities.

- $R(t_p) = 1 - F(t_p)$ $R(125) = 1 - 0,00003 = 0,99997$

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

$$M(125) = \frac{393,5821136}{1 - 0,99997} = 13119403,79$$

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

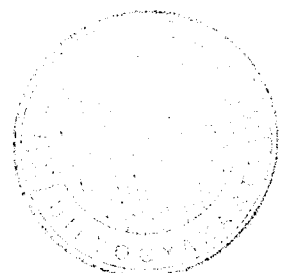
$$D(125) = \frac{2,096369303 \cdot 0,99997 + 2,096369303 \cdot 0,00003}{(125 + 2,096369303) \cdot 0,99997 + (13119403,79 + 2,096369303) \cdot 0,00003}$$

$$= 0,004026255$$

Dari tabel perhitungan dihasilkan :

- Min D (tp) = 0,003290191

- Age Replacement = 285 jam



4.10 Penentuan Frekuensi dan Interval Waktu Pemeriksaan Dengan Kriteria Minimasi Downtime

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan, diketahui bahwa waktu pemeriksaan komponen Tap Changer pada Mesin Trafo adalah 25 menit atau 0,4166 jam.

Langkah perhitungan berdasarkan persamaan (2-61), (2-62), (2-63), (2-65) :

1. Perkiraan jumlah kerusakan (k)

- Frekuensi kerusakan komponen = 22 kali
- Periode penelitian = 12 bulan
- $$K = \frac{\text{Frekuensi jumlah kerusakan}}{\text{Periode terjadinya kerusakan}} = \frac{22}{12} = 1,833$$

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

- MTTR = 2,096369303 jam
- Jam kerja per bulan (1 minggu = 7 hari kerja, 1 bulan = 4 minggu kerja, dan 1 hari = 24 jam kerja) , sehingga jam kerja per bulan = 7 x 4 x 24 = 672 jam / bulan
- Waktu rata-rata untuk melakukan penggantian $1/\mu$

$$= \frac{MTTR}{\text{Jam kerja per bulan}} = \frac{2,096369303}{672} = 0,003119597177$$
- $$\mu = \frac{1}{0,003119597177} = 320,5542072$$

1. Waku rata-rata untuk melakukan pemeriksaan (1 / i)

- Waktu untuk melakukan pemeriksaan = 25 menit atau 0,4166 jam
- Jam kerja per bulan = 672 jam / bulan

- Rata-rata waktu pemeriksaan = $\frac{0,4166}{672} = 0,0006199404762$
- $i = \frac{1}{0,0006199404762} = 1613 \text{ jam}$

2. Perhitungan frekuensi (n) dan interval pemeriksaan (1/n)

- $n = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}}$
- $n = \sqrt{\frac{1,833 \times 1613}{320,5542072}} = 3,027591331 \approx 3 \text{ pemeriksaan / bulan}$
- Interval waktu pemeriksaan = $\frac{1}{n} \times \text{jam kerja per bulan}$
 $= \frac{1}{3} \times 672 = 224 \text{ jam}$

4.11 Perhitungan Availability (Ketersediaan)

Total *availability* atau ketersediaan komponen kritis diperoleh dari hasil kali *availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan dengan *availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan. Langkah perhitungannya berdasarkan persamaan (2-66), (2-67), (2-68) :

- *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan

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

$$D(n) = \frac{1,833}{3 \times 320,5542072} + \frac{3}{1613} = 0,003765962282$$

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

$$A(n) = 1 - 0,003765962282 = 0,996234037$$

- *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan

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

$$A(tp) = 1 - 0,003290191 = 0,996709809$$

- *Availability* total

$$Availability\ total = A(n) \times A(tp)$$

$$Availability\ total = 0,996234037 \times 0,996709809 = 0,992956237$$

4.12 Perhitungan Reliability (Keandalan) Sebelum Dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan

Perhitungan keandalan (reliability) komponen kritis sebelum dan sesudah adanya tindakan perawatan adalah sebagai berikut :

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

- $MTTF = 393,5821136$

- $t_{med} = 378,7248582$

- $s = 0,277415743$

- Interval waktu penggantian = $T = t_p = 285$ jam
- Nilai t dimulai dari waktu 285 jam

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Keandalan Sebelum Dan Sesudah Dilakukan
Tindakan Perawatan Pencegahan

t (jam)	n	Sekarang	Usulan
285	1	0.847294187	1
300	1	0.799548246	1
420	1	0.354616018	0.9999
450	1	0.267109949	0.998630063
500	1	0.158327813	0.979373068
570	2	0.070284776	1
600	2	0.048602154	1
700	2	0.013405187	0.99994
750	2	0.006893804	0.996335025
800	2	0.003514004	0.963891878
855	3	0.001663625	1
900	3	0.000899484	1
980	3	0.00030286	0.99997
1050	3	0.00012	0.991642395
1100	3	6E-05	0.941793783
1140	4	4E-05	1

Contoh perhitungan keandalan dengan mengikuti distribusi Lognormal
pada nilai $t = 450$ jam, dan berdasarkan persamaan (2-72), (2-76) :

- Reability kondisi sekarang (sebelum diterapkan tindakan perawatan)

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

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,277415743} \ln \frac{450}{378,7248582}\right) = 1 - \Phi(-1,024890622)$$

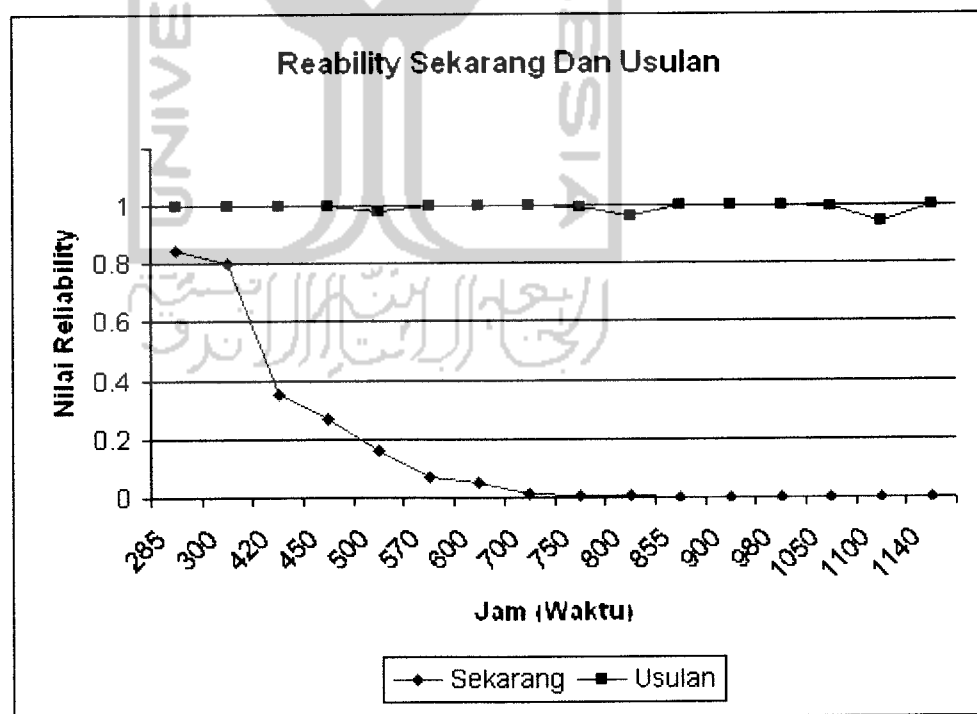
$R(t) = 1 - 0,152705813 = 0,267109949$ dimana nilai 0,152705813 didapat dari tabel standardized normal probabilities.

- Reability kondisi usulan (setelah diterapkan tindakan perawatan)

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

$$R(t - nT) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,277415743} \ln \frac{450 - (1 \times 285)}{378,7248582}\right) = 1 - \Phi(-2,995015678)$$

$R(t - nT) = 1 - 0,001369937 = 0,998630063$ dimana nilai 0,001369937 didapat dari tabel standardized normal probabilities.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Reability Kondisi Sekarang Dan Kondisi Usulan

BAB V

ANALISA HASIL

5.1 Analisa Penentuan Mesin Kritis

Penentuan mesin kritis ditentukan dengan menghitung jumlah total *downtime* dan frekuensi kerusakan dari masing-masing mesin, dan yang menjadi kriteria untuk penentuan mesin kritis adalah mesin yang memiliki jumlah total *downtime* terbesar dan frekuensi kerusakan terbanyak. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan data *downtime* dan frekuensi kerusakan yang diperoleh dari perusahaan selama periode Januari 2006 sampai Desember 2006, dan berdasarkan data jumlah *downtime* kerusakan mesin-mesin dapat diketahui bahwa mesin yang memiliki jumlah *downtime* terbesar serta frekuensi kerusakan terbanyak adalah mesin Trafo, sehingga dapat ditentukan bahwa mesin kritis adalah mesin Trafo.

5.2 Analisa Penentuan Komponen Kritis

Setelah ditentukan mesin kritis yaitu mesin Trafo, maka tahap selanjutnya adalah menentukan komponen kritis, dimana cara penentuan komponen kritis sama seperti cara penentuan mesin kritis, yaitu berdasarkan jumlah *downtime* terbesar dan frekuensi kerusakan terbanyak, hanya saja jumlah *downtime* dan frekuensi kerusakan yang dihitung adalah jumlah *downtime* dan frekuensi kerusakan komponen-komponen dari mesin Trafo. Dan berdasarkan data jumlah *downtime* dan frekuensi kerusakan tiap-tiap komponen pada mesin Trafo, dapat diketahui bahwa komponen yang memiliki jumlah *downtime* terbesar

dan frekuensi kerusakan terbanyak adalah komponen Tap Changer, sehingga dapat ditentukan bahwa komponen kritis adalah komponen Tap Changer.

5.3 Analisa Perhitungan Waktu Antar Kerusakan (TTF) Dan Waktu Perbaikan (TTR) Komponen Kritis

Setelah komponen kritis ditentukan, langkah selanjutnya adalah menghitung waktu antar kerusakan (TTF) dan waktu perbaikan (TTR), dan dari hasil perhitungan didapatkan waktu antar kerusakan (TTF) dan waktu perbaikan (TTR) untuk komponen Tap Changer adalah sebagai berikut :



Tabel 5.1 Nilai TTF dan TTR Komponen Kritis

No	TTR (jam)	TTF (Jam)
1	3	—
2	2	514
3	2	389
4	1	323,5
5	3	296
6	3	252
7	1,5	294
8	1,5	509
9	2	512,5
10	3	478,5
11	3	483,5
12	3	410,5
13	3	458,5
14	1	227
15	2	368,5
16	1,5	283
17	1,5	366
18	3	409,5
19	2	610
20	1	327,5
21	1	360,5
22	1,67	339
Total	45,67	8212

5.4 Analisa Identifikasi Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan (TTF) Dan Waktu Perbaikan (TTR)

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

Hasil dari perhitungan *index of fit* dari setiap distribusi untuk data TTF dan TTR adalah sebagai berikut :

Tabel 5.2 Nilai Index Of Fit Masing-Masing Distribusi Untuk Data TTF

Distribusi	Index Of Fit	Distribusi Terpilih
Weibull	0,980947989	Lognormal
Eksponensial	0,951040781	
Normal	0,986504524	
Lognormal	0,992149891	

Tabel 5.3 Nilai Index Of Fit Masing-Masing Distribusi Untuk Data TTR

Distribusi	Index Of Fit	Distribusi Terpilih
Weibull	0,938934471	Weibull
Eksponensial	0,838788344	
Normal	0,928581219	
Lognormal	0,934951495	

5.5 Analisa Uji Kecocokan Distribusi (Goodness Of Fit)

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

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

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

Untuk Data TTF dilakukan uji *Kolmogorov – Smirnov Test* karena distribusi terpilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar adalah distribusi

Lognormal, dan hasilnya H_0 diterima, yang berarti data TTF berdistribusi Lognormal. Sedangkan untuk data TTR dilakukan uji *Mann's Test* karena distribusi terpilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar adalah distribusi Weibull, dan hasilnya H_0 diterima, yang berarti data TTR berdistribusi Weibull.

5.6 Analisa Perhitungan Rata-rata Waktu Antar Kerusakan (MTTF) Dan Rata-rata Waktu Perbaikan (MTTR)

Setelah didapatkan distribusi terpilih dari hasil pengujian kecocokan distribusi, maka perhitungan selanjutnya adalah dengan menentukan nilai rata-rata waktu antar kerusakan (MTTF) dan nilai rata-rata waktu perbaikan (MTTR), perhitungan MTTF dan MTTR didapatkan melalui perhitungan parameter-parameter dari data TTF dan TTR distribusi terpilih, dan hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

Untuk waktu antar kerusakan (TTF) :

- Distribusi terpilih = Distribusi Lognormal
- MTTF = 393,5821136

Untuk waktu perbaikan (TTR) :

- Distribusi terpilih = Distribusi Weibull
- MTTR = 2,096369303

5.7 Analisa Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan

Setelah mengetahui distribusi yang sesuai untuk data Time To Failure dan Time To Repair serta nilai MTTF dan MTTR, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan kriteria minimasi

downtime, dimana perhitungan dilakukan secara *trial and error*, dan hasil yang didapat adalah sebagai berikut :

- Min D (tp) = 0,003290191
- Age Replacement = 285 jam

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

Berdasarkan hasil perhitungan interval waktu penggantian pencegahan diperoleh hasil 285 jam yang berarti penggantian komponen Tap Changer dilakukan kira-kira setiap 285 jam dihitung dari waktu komponen Tap Changer pertama kali beroperasi.

5.8 Analisa Penentuan Frekuensi Dan Interval Waktu Pemeriksaan

Pemeriksaan merupakan salah satu bagian yang penting dalam melakukan perawatan, pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui apakah suatu komponen pada mesin masih berada dalam keadaan baik ataukah ada hal yang perlu diperbaiki, sehingga dapat mengantisipasi kerusakan yang mungkin terjadi.

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

- Frekuensi Pemeriksaan = 3 pemeriksaan / bulan.
- Interval Pemeriksaan = 224 jam

Pada perhitungan interval waktu pemeriksaan dan frekuensi pemeriksaan diperoleh hasil 224 jam dan 3 pemeriksaan / bulan, maksudnya interval waktu pemeriksaan dilakukan setiap 224 jam atau dilakukan rata-rata 3 pemeriksaan / bulan dari waktu komponen Tap Changer mulai beroperasi.

5.9 Analisa Perhitungan Availability (Ketersediaan)

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

- *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan

$$A(n) = 0,996234037$$

- *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan

$$A(tp) = 0,996709809$$

- *Availability* total

$$Availability\ total = 0,996234037 \times 0,996709809 = 0,992956237$$

Dari hasil diatas didapat nilai *availability* total adalah 0,992956237 yang menunjukkan probabilitas komponen Tap Changer dapat berfungsi seperti yang diharapkan setelah dilakukan tindakan penggantian pencegahan dan pemeriksaan adalah sebesar 99,29 %.

5.10 Analisa Perhitungan Reliability (Keandalan) Sebelum Dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan

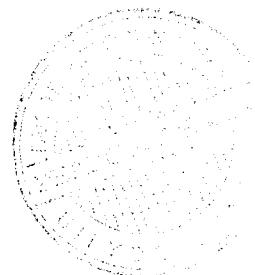
Perhitungan tingkat keandalan dilakukan untuk kondisi sebelum dan sesudah adanya tindakan perawatan pencegahan dalam beberapa waktu, dengan demikian bisa didapatkan suatu gambaran yang jelas bagaimana sistem perawatan pencegahan dapat meningkatkan keandalan. Perhitungan ini dilakukan dengan memperhatikan distribusinya, karena perbedaan distribusi menyebabkan adanya perbedaan cara perhitungan tingkat keandalan. Berikut ini merupakan hasil perhitungan tingkat keandalan komponen kritis sebelum dan sesudah adanya tindakan perawatan pencegahan.



Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Keandalan Sebelum Dan Sesudah Dilakukan
Tindakan Perawatan Pencegahan

t (jam)	n	Sekarang	Usulan
285	1	0.847294187	1
300	1	0.799548246	1
420	1	0.354616018	0.9999
450	1	0.267109949	0.998630063
500	1	0.158327813	0.979373068
570	2	0.070284776	1
600	2	0.048602154	1
700	2	0.013405187	0.99994
750	2	0.006893804	0.996335025
800	2	0.003514004	0.963891878
855	3	0.001663625	1
900	3	0.000899484	1
980	3	0.00030286	0.99997
1050	3	0.00012	0.991642395
1100	3	6E-05	0.941793783
1140	4	4E-05	1

Berdasarkan hasil perhitungan keandalan sebelum dilakukan tindakan perawatan pencegahan dan setelah dilakukan tindakan perawatan pencegahan menunjukkan bahwa dengan menerapkan tindakan perawatan pencegahan keandalan dapat terus terjaga pada tingkat yang tinggi.



BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

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

1. Mesin kritis adalah mesin yang memiliki total *downtime* dan frekuensi kerusakan terbesar. Dalam perhitungan, yang ditentukan sebagai mesin kritis adalah mesin Trafo.
2. Komponen kritis adalah komponen yang memiliki total *downtime* dan frekuensi kerusakan terbesar dari mesin kritis. Adapun komponen kritis tersebut adalah Tap Changer dengan total downtime sebesar 2740 menit dan jumlah frekuensi kerusakan sebanyak 22 kali.
3. Interval waktu penggantian pencegahan komponen kritis berdasarkan kriteria minimasi downtime adalah 285 jam, sedangkan interval waktu pemeriksaan optimal adalah setiap 224 jam, dan frekuensi pemeriksaan optimal sebanyak 3 pemeriksaan / bulan.
4. Berdasarkan hasil perhitungan keandalan sebelum dan sesudah dilakukan tindakan perawatan, dapat diketahui bahwa setelah dilakukan tindakan perawatan pencegahan nilai keandalan mesin tetap dalam kondisi yang baik, dimana probabilitas keandalannya mendekati nilai 1, yang artinya keandalan mesin dalam kondisi yang baik.

6.2 Saran

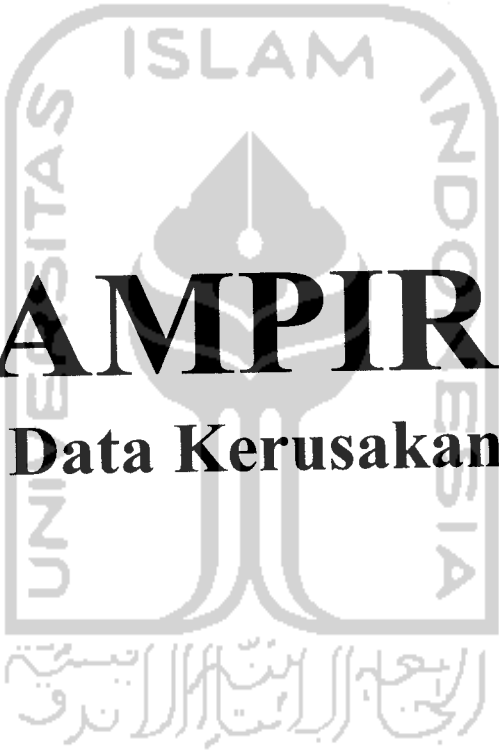
Adapun saran-saran yang dapat diberikan kepada pihak perusahaan berdasarkan hasil penelitian adalah sebagai berikut :

1. Perusahaan diharapkan dapat menerapkan kegiatan penggantian komponen dan kegiatan pemeriksaan sesuai jadwal waktu penggantian dan pemeriksaan yang telah diusulkan sehingga proses distribusi dapat berjalan dengan lancar dan hambatan-hambatan berupa kerusakan mesin dapat dikurangi.
2. Perusahaan sebaiknya membuat penjadwalan untuk perawatan mesin agar kerusakan mesin dapat ditekan sekecil mungkin.



Daftar Pustaka

- Corder, A., S., (1988). *teknik manajemen pemeliharaan*. Erlangga, Jakarta.
- Ebeling, Charles., E., (1997). *an introduction to reliability and maintainability engineering*. McGraw-Hill Book Co, Singapura.
- Hari Adianto, (2001). Penerapan model preventive maintenance. *Jurnal Teknik Industri*, Petra, vol. 3, no. 1, hlm. 51-60, Juni.
- Jardine., A.,K.,S., (1973). *maintenance replacement and reliability*. Pitman Publishing, London.
- Sirod Hantoro, (2002). sistem informasi manajemen perawatan mesin industri. *Jurnal Teknologi Industri*, UII, vol. 7,no. 2, hlm. 129-140, Juni.
- Sofjan Assauri, (1993). *manajemen produksi dan operasi*. Edisi IV. LPFEUI, Jakarta.
- T., Hani Handoko, (1984). *dasar-dasar manajemen produksi dan operasi*. Edisi I. BPFE, Yogyakarta.
- Walpole, Ronald., E., (1992). *pengantar statistika*. Edisi Ketiga. PT.Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.



LAMPIRAN 1

Data Kerusakan Mesin

Data Kerusakan Mesin Trafo Sepanjang tahun 2006
PLN.APJ Bekasi

No	Tanggal	Bulan	Tahun	Jam Padam	Jam Nyala	Downtime (Menit)	Nama Mesin	Jenis Gangguan	Nama Komponen
1	2	Januari	2006	10.25	11.25	60	Trafo	lilitan primer terbakar	Lilitan Primer
2	4	Januari	2006	21.00	24.00	180	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
3	12	Januari	2006	14.00	14.50	50	Trafo	lilitan sekunder terbakar	Lilitan Sekunder
4	14	Januari	2006	8.20	9.00	40	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
5	23	Januari	2006	16.30	17.05	35	Trafo	minyak bocor	Minyak Trafo
6	26	Januari	2006	10.00	12.00	120	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
7	3	Februari	2006	21.00	22.40	100	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
8	11	Februari	2006	17.00	19.00	120	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
9	25	Februari	2006	6.30	7.30	60	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
10	27	Februari	2006	15.00	16.00	60	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
11	5	Maret	2006	11.10	11.50	40	Trafo	lilitan primer tidak ada tegangan	Lilitan Primer
12	9	Maret	2006	15.30	18.30	180	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
13	12	Maret	2006	14.00	14.50	50	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
14	20	Maret	2006	6.30	9.30	180	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
15	26	Maret	2006	17.20	17.44	24	Trafo	lilitan sekunder tidak ada tegangan	Lilitan Sekunder
16	1	April	2006	15.30	17.00	90	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
17	12	April	2006	3.00	4.00	60	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
18	14	April	2006	6.10	6.30	20	Trafo	lilitan sekunder tidak ada tegangan	Lilitan Sekunder
19	19	April	2006	15.20	16.20	60	Trafo	lilitan primer terbakar	Lilitan Primer
20	22	April	2006	22.00	23.30	90	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
21	30	April	2006	21.30	23.00	90	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
22	8	Mei	2006	14.20	15.00	40	Trafo	minyak bocor	Minyak Trafo
23	14	Mei	2006	8.00	10.00	120	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
24	20	Mei	2006	22.25	23.30	65	Trafo	lilitan primer terbakar	Lilitan Primer
25	24	Mei	2006	10.20	11.00	40	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
26	3	Juni	2006	8.30	11.30	180	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
27	23	Juni	2006	15.00	18.00	180	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
28	26	Juni	2006	15.45	16.00	15	Trafo	lilitan sekunder tidak ada tegangan	Lilitan Sekunder
29	30	Juni	2006	14.00	15.40	100	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
30	10	Juli	2006	20.30	23.30	180	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
31	16	Juli	2006	22.10	23.00	50	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
32	18	Juli	2006	8.30	9.06	36	Trafo	minyak bocor	Minyak Trafo
33	24	Juli	2006	21.10	21.50	40	Trafo	lilitan primer tidak ada tegangan	Lilitan Primer
34	27	Juli	2006	1.30	3.00	90	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
35	30	Juli	2006	2.00	5.00	180	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
36	8	Agustus	2006	16.00	17.00	60	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
37	16	Agustus	2006	8.30	9.15	45	Trafo	lilitan primer tidak ada tegangan	Lilitan Primer
38	21	Agustus	2006	20.00	20.50	50	Trafo	lilitan sekunder tidak ada tegangan	Lilitan Sekunder
39	24	Agustus	2006	1.30	3.30	120	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
40	29	Agustus	2006	23.15	24.00	45	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
41	4	September	2006	22.30	24.00	90	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
42	8	September	2006	2.20	2.40	20	Trafo	lilitan sekunder tidak ada tegangan	Lilitan Sekunder
43	13	September	2006	18.30	19.00	30	Trafo	lilitan primer tidak ada tegangan	Lilitan Primer
44	20	September	2006	6.00	7.30	90	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
45	25	September	2006	5.50	6.30	100	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
46	7	Oktober	2006	9.00	12.00	180	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
47	12	Oktober	2006	9.10	10.10	60	Trafo	lilitan primer terbakar	Lilitan Primer
48	18	Oktober	2006	22.25	22.50	25	Trafo	minyak bocor	Minyak Trafo
49	26	Oktober	2006	15.00	15.50	50	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
50	1	November	2006	22.00	24.00	120	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
51	12	November	2006	18.00	19.00	60	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
52	15	November	2006	15.30	16.30	60	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
53	20	November	2006	22.30	23.00	30	Trafo	lilitan primer tidak ada tegangan	Lilitan Primer
54	26	November	2006	21.30	22.30	60	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
55	29	November	2006	21.55	22.05	10	Trafo	lilitan sekunder terbakar	Lilitan Sekunder
56	31	November	2006	17.00	18.00	60	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
57	6	Desember	2006	8.10	9.40	90	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
58	14	Desember	2006	21.00	22.40	100	Trafo	tap changer terbakar	Tap Changer
59	18	Desember	2006	14.00	15.40	100	Trafo	bashing terbakar dan meleleh	Bashing
60	24	Desember	2006	2.00	2.45	45	Trafo	lilitan primer tidak ada tegangan	Lilitan Primer

Data Kerusakan Mesin Kubikel Sepanjang tahun 2006
PLN.APJ Bekasi

No	Tanggal	Bulan	Tahun	Jam Padam	Jam Nyala	Downtime (Menit)	Nama Mesin	Jenis Gangguan	Nama Komponen
1	8	Januari	2006	20.15	21.00	45	Kubikel	kabel terbakar	Kabel
2	20	Januari	2006	6.30	8.00	90	Kubikel	switch compartement terbakar	Switch Compartement
3	25	Januari	2006	14.00	14.50	50	Kubikel	MILV tidak ada tegangan	MILV Compartement
4	5	Februari	2006	19.00	20.00	60	Kubikel	switch compartement terbakar	Switch Compartement
5	22	Februari	2006	10.30	12.00	90	Kubikel	switch compartement terbakar	Switch Compartement
6	3	Maret	2006	9.40	11.00	80	Kubikel	busbar terbakar	Busbar
7	10	Maret	2006	17.00	17.40	40	Kubikel	kabel terbakar	Kabel
8	27	Maret	2006	21.30	22.30	60	Kubikel	MILV terbakar	MILV Compartement
9	13	April	2006	1.45	3.00	75	Kubikel	kabel terbakar	Kabel
10	18	April	2006	18.30	21.30	120	Kubikel	switch compartement terbakar	Switch Compartement
11	15	Mei	2006	15.40	16.20	40	Kubikel	MILV terbakar	MILV Compartement
12	26	Mei	2006	22.30	23.45	75	Kubikel	busbar terbakar	Busbar
13	1	Juni	2006	2.00	3.00	60	Kubikel	kabel terbakar	Kabel
14	14	Juni	2006	20.00	21.30	90	Kubikel	switch compartement terbakar	Switch Compartement
15	20	Juli	2006	4.15	5.00	45	Kubikel	MILV tidak ada tegangan	MILV Compartement
16	11	Agustus	2006	10.00	10.50	50	Kubikel	kabel terbakar	Kabel
17	7	September	2006	15.45	17.00	75	Kubikel	switch compartement terbakar	Switch Compartement
18	29	September	2006	19.30	21.00	90	Kubikel	switch compartement terbakar	Switch Compartement
19	16	Oktober	2006	3.30	4.00	30	Kubikel	MILV terbakar	MILV Compartement
20	30	Oktober	2006	18.00	19.00	60	Kubikel	switch compartement terbakar	Switch Compartement
21	26	November	2006	13.30	14.30	60	Kubikel	busbar terbakar	Busbar
22	2	Desember	2006	21.20	22.00	40	Kubikel	kabel terbakar	Kabel
23	17	Desember	2006	16.30	17.20	50	Kubikel	switch compartement terbakar	Switch Compartement
						1475			

Data Kerusakan Mesin Rak TR Sepanjang tahun 2006
PLN.APJ Bekasi

No	Tanggal	Bulan	Tahun	Jam Padam	Jam Nyala	Downtime (Menit)	Nama Mesin	Jenis Gangguan	Nama Komponen
1	5	Januari	2006	14.00	14.40	40	Rak TR	NH Fuse putus	NH Fuse
2	21	Januari	2006	19.45	20.20	35	Rak TR	NH Fuse putus	NH Fuse
3	10	Februari	2006	22.30	23.20	50	Rak TR	high boom terbakar	High Boom
4	25	Maret	2006	1.30	2.30	60	Rak TR	CT tidak ada aliran	CT
5	20	April	2006	9.00	10.00	60	Rak TR	NH Fuse putus	NH Fuse
6	18	Mei	2006	12.30	13.40	70	Rak TR	rell tidak mengalirkan arus	Rel
7	28	Mei	2006	15.00	15.30	30	Rak TR	high boom terbakar	High Boom
8	19	Juni	2006	2.45	3.30	45	Rak TR	NH Fuse putus	NH Fuse
9	24	Agustus	2006	4.00	4.50	50	Rak TR	rell tidak mengalirkan arus	Rel
10	6	September	2006	21.00	23.00	120	Rak TR	NH Fuse putus	NH Fuse
11	22	September	2006	2.00	2.45	45	Rak TR	high boom terbakar	High Boom
12	15	Oktober	2006	20.00	21.00	60	Rak TR	CT tidak ada aliran	CT
13	1	November	2006	17.30	19.00	90	Rak TR	NH Fuse putus	NH Fuse
14	27	November	2006	21.30	22.25	55	Rak TR	NH Fuse putus	NH Fuse
						810			

Data Kerusakan Mesin PB Sepanjang tahun 2006 PLN.APJ Bekasi									
No	Tanggal	Bulan	Tahun	Jam Padam	Jam Nyala	Downtime (Menit)	Nama Mesin	Jenis Gangguan	Nama Komponen
1	10	Januari	2006	20.00	21.30	90	Pemutus Beban (PB)	fuse tabung terbakar	Fuse Tabung
2	28	Februari	2006	17.30	19.00	90	Pemutus Beban (PB)	fuse tabung terbakar	Fuse Tabung
3	5	April	2006	22.00	23.40	100	Pemutus Beban (PB)	fuse tabung terbakar	Fuse Tabung
4	17	Mei	2006	2.00	2.40	40	Pemutus Beban (PB)	LBS terbakar	LBS
5	25	Juni	2006	4.30	5.00	90	Pemutus Beban (PB)	fuse tabung terbakar	Fuse Tabung
6	16	Juli	2006	10.30	11.00	30	Pemutus Beban (PB)	LBS terbakar	LBS
7	30	September	2006	15.00	15.45	45	Pemutus Beban (PB)	LBS terbakar	LBS
8	8	November	2006	18.45	19.00	75	Pemutus Beban (PB)	fuse tabung terbakar	Fuse Tabung
9	21	Desember	2006	21.00	22.00	60	Pemutus Beban (PB)	fuse tabung terbakar	Fuse Tabung
						620			

Data Kerusakan Mesin Meteran Sepanjang tahun 2006 PLN.APJ Bekasi									
No	Tanggal	Bulan	Tahun	Jam Padam	Jam Nyala	Downtime (Menit)	Nama Mesin	Jenis Gangguan	Nama Komponen
1	16	April	2006	17.00	17.15	15	Meteran	roda gigi patah	Roda Gigi
2	4	September	2006	14.00	14.20	20	Meteran	roda gigi macet	Roda Gigi
						35			



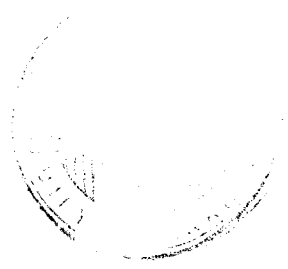


LAMPIRAN 2

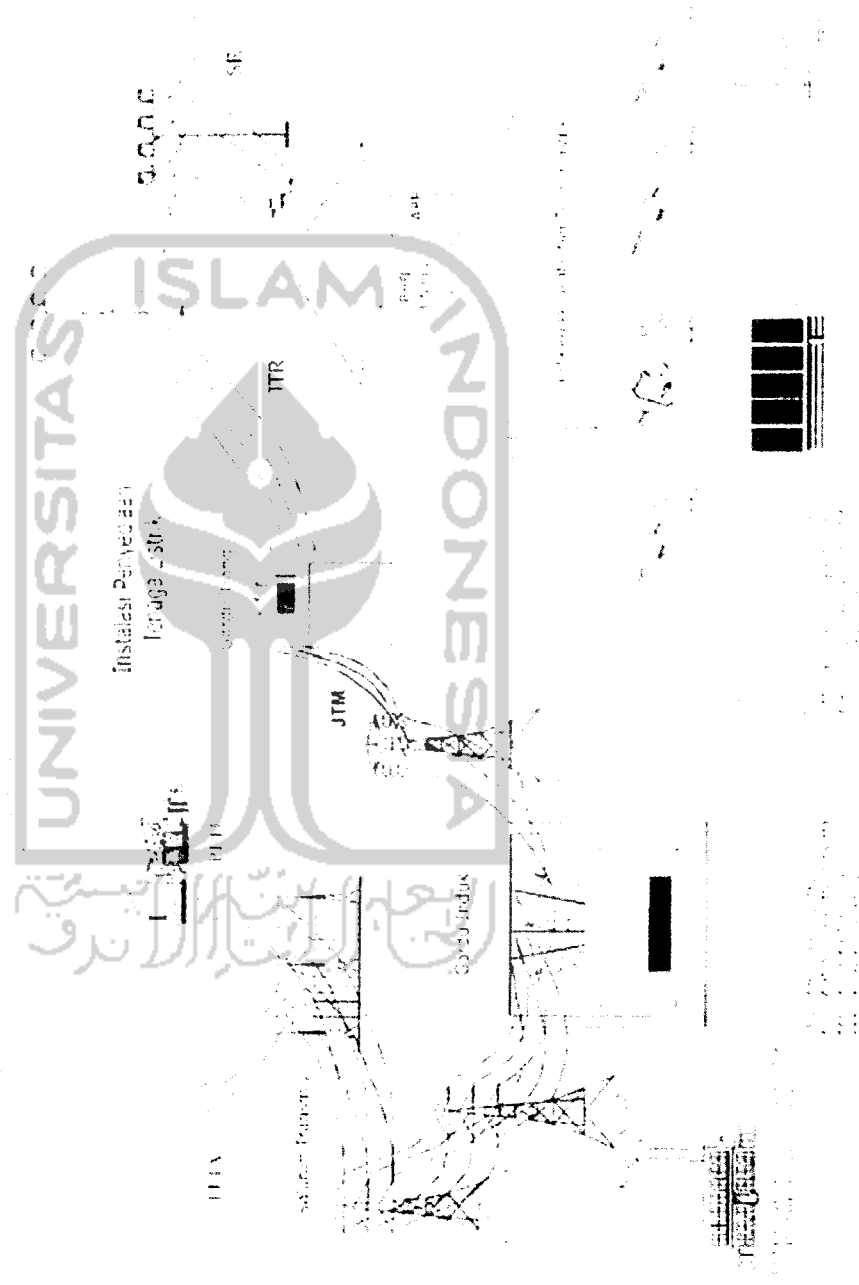
**Data Kerusakan Komponen
Dari Mesin Kritis**

LAMPIRAN 3

Gambar Proses Pendistribusian Listrik



02 INSTALASI PENYEDIAAN DAN PEMANFAATAN TENAGA LISTRIK



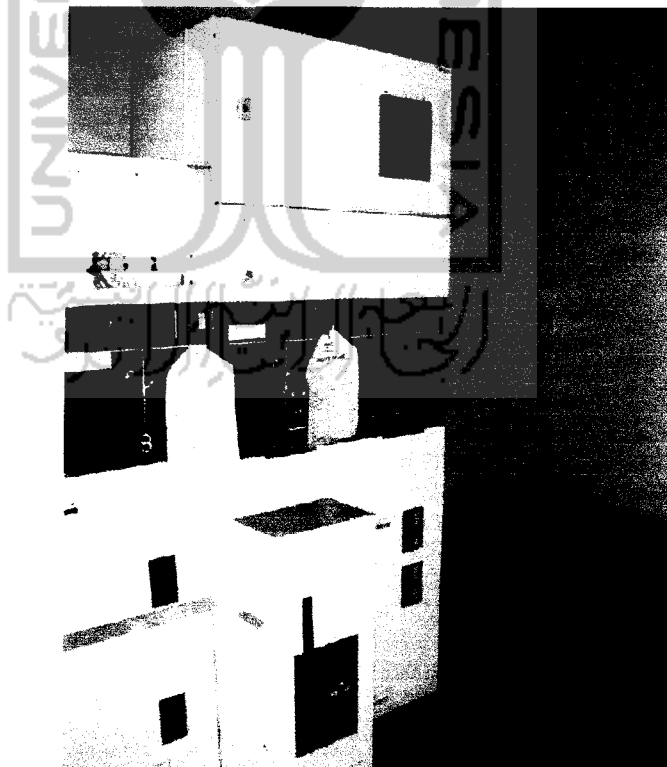
LAMPIRAN 4

Gambar Mesin-mesin

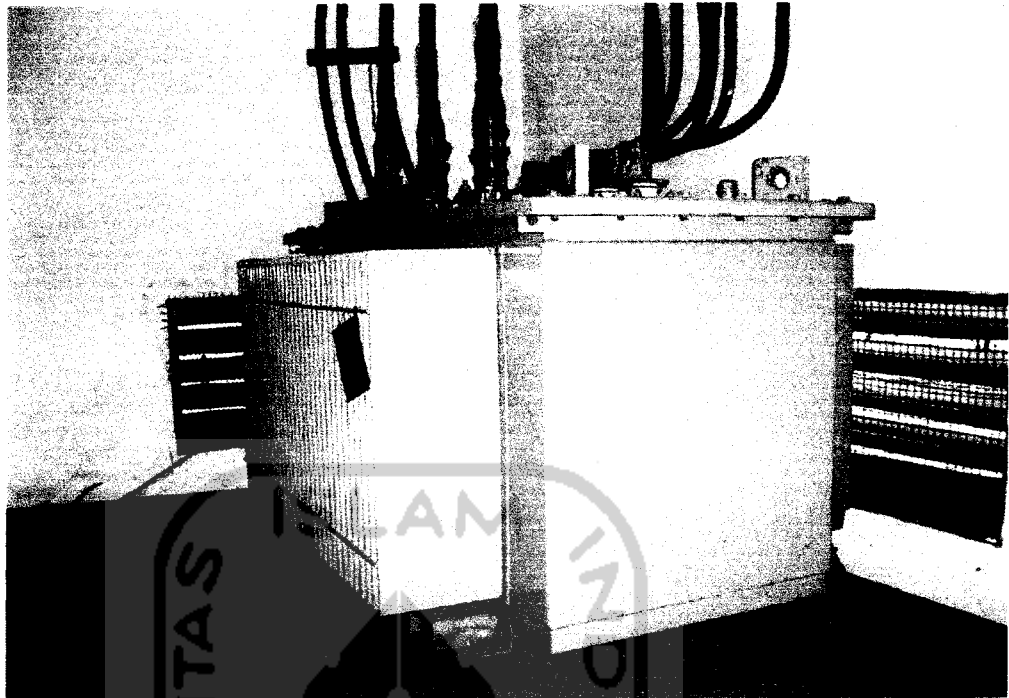




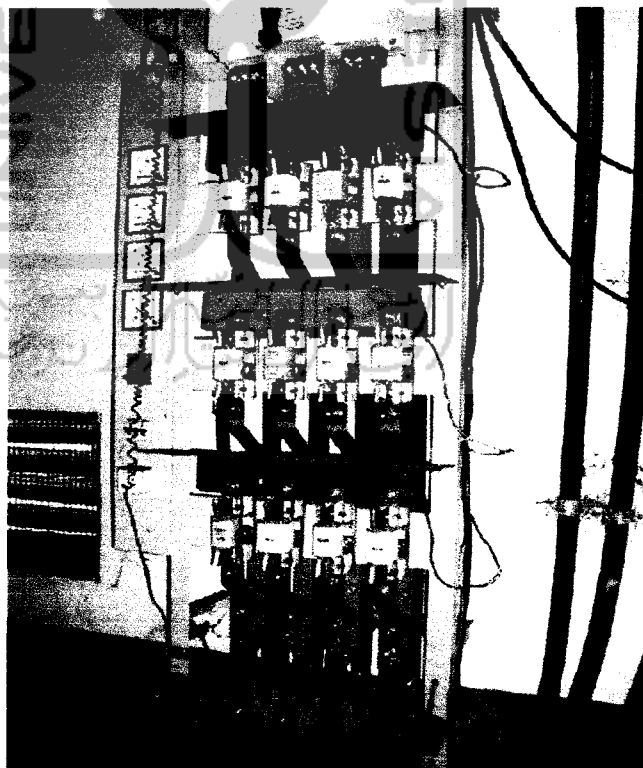
GAMBAR MESIN KUBIKEL



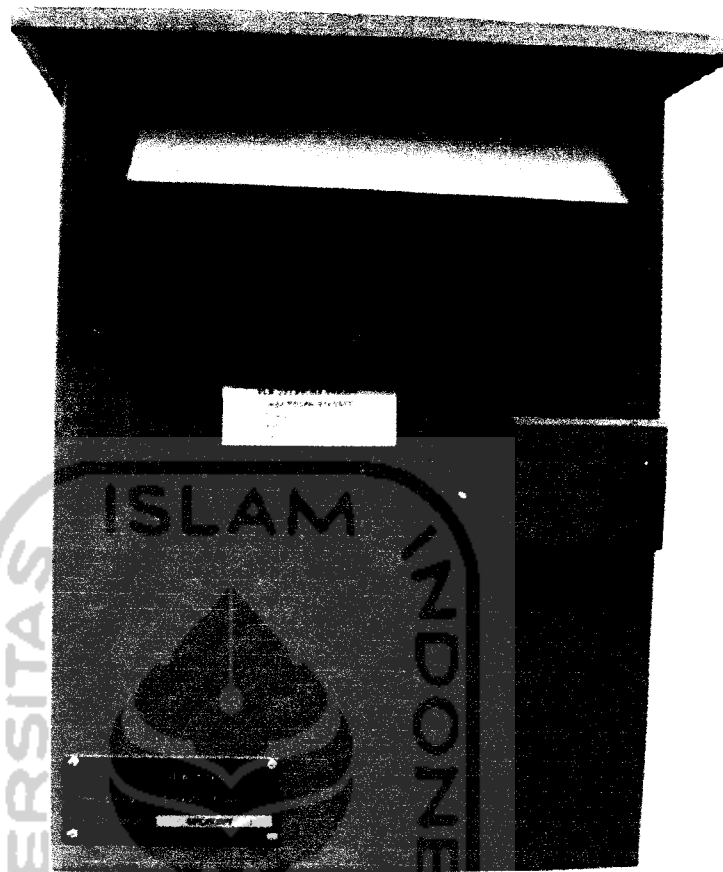
GAMBAR MESIN PB (PEMUTUS BEBAN)



GAMBAR MESIN TRAF0



GAMBAR MESIN RAK TR (RUMAH BAGI)



GAMBAR MESIN METERAN

Raya Cut Mutiah No. 44 Bekasi 17113
: (021) 8812222 (Hunting)
Pos :

Telex :
Facsimile : (021) 8816130
E-mail : plnbks@indosat.net.id

Alamat Kawat :
Bank : BNI, BTN
Bukopin

SURAT KETERANGAN
No. 008.SKt/330/APJBKS/2007

Yang bertanda-tangan dibawah ini :

N a m a : Juhandi
No. Induk : 6383003 T
Jabatan : ASMAN SDM & ADMINISTRASI
Unit Kerja : PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat & Banten APJ Bekasi
Alamat : Jl. Cut Meutia No. 44 Bekasi

Menerangkan dengan sesungguhnya bahwa :

N a m a : Iman Fajar Meditantra
N P M : 01522266
Mahasiswa : Universitas Islam Indonesia - Yogyakarta
Jurusan : Teknik Industri
Alamat : Jl. Kaliurang Km 14 Selman

telah melaksanakan Penelitian di Perusahaan kami selama 1 (satu) bulan terhitung tanggal 01 Maret sampai dengan 30 Maret 2007.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bekasi, 02 April 2007

An. MANAJER,
ASMAN SDM & ADMINISTRASI

