



TESIS - PM 147501

**ANALISIS KEANDALAN SEBAGAI DASAR OPTIMASI
INTERVAL PEMELIHARAAN PADA *CONTROL
VALVE HP MAIN LEVEL STEAM DRUM* PLTGU PT
PJB UP GRESIK**

REVAN ARWISI PRATAMA
NRP.09211650013052

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc.(Eng.)

DEPARTEMEN MANAJEMEN TEKNOLOGI
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI
FAKULTAS BISNIS DAN MANAJEMEN TEKNOLOGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

**ANALISIS KEANDALAN SEBAGAI DASAR OPTIMALISASI
INTERVAL PEMELIHARAAN CONTROL VALVE HP MAIN LEVEL
STEAM DRUM PLTGU PT PJB UP GRESIK**

Tesis Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Magister Manajemen Teknologi (M.MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

REVAN ARWISI PRATAMA
NRP . 09211650013052

Tanggal Ujian : 09 Juli 2018
Periode Wisuda : September 2018

Mengetahui / menyetujui

1. Dr. Ir. Mokh. Suf, M.Sc (Eng)
NIP. 196506301990031002

(Pembimbing)

2. Prof. Dr. Drs. M. Isa Irawan, MT
NIP. 196312251989031001

(Penguji)

3. Nani Kurniati, ST, MT, PhD
NIP. 197504081998022001

(Penguji)

Dekan Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi



Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc
NIP. 1959033181987011001

ANALISIS KEANDALAN SEBAGAI DASAR OPTIMALISASI INTERVAL PEMELIHARAAN *CONTROL VALVE HP MAIN LEVEL STEAM DRUM* PLTGU PT PJB UP GRESIK

Nama : Revan Arwisi Pratama
NRP : 0911650013052
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc. (Eng.)

ABSTRAK

PT Pembangkitan Jawa Bali merupakan salah satu anak perusahaan PT PLN (persero) yang bergerak di bidang pembangkitan tenaga listrik. PT PJB bergerak diberbagai bidang pembangkitan kelistrikan seperti Operation & maintenance pembangkit, Jasa konstruksi pembangkit, dan pembangkitan listrik itu sendiri. Salah satu Pembangkit PT PJB adalah UP Gresik. Banyak sekali alat pendukung pembangkit di UP Gresik, Salah satunya adalah *Control valve HP Main Level Drum Heat Recovery Steam Generator (HRSG)*. *Control valve* ini merupakan salah satu alat yang gunanya sebagai pengatur *level steam drum HRSG*. Ketika terjadi gangguan pada *control valve* tersebut dapat mengganggu produksi steam yang nantinya akan berpengaruh juga pada daya MW yang dihasilkan oleh Steam Turbin itu sendiri. Pada 2 tahun terakhir, sering terjadi kerusakan pada *control valve* beserta komponen pendukungnya yang menyebabkan kinerja dari UP Gresik sendiri terganggu. Karena hal itu perlu dilakukan penelitian untuk menganalisa keandalan dan optimalisasi interval pemeliharaan guna menjaga keandalan dari *control valve*. Setelah dilakukan analisis keandalan diketahui bahwa CV tersebut sudah memasuki fase wear out pada kurva laju keandalan. Dengan pemeliharaan preventive yang dilakukan berdasarkan analisa keandalan, gangguan CV dapat dikurangi sehingga keandalan CV meningkat sehingga derating pembangkit yang menyebabkan kerugian dapat dikurangi.

Kata Kunci: *Control Valve, Hazard Rate, Preventive maintenance, Reliability*

**RELIABILITY ANALYSIS AS THE BASIS MAINTENANCE
OPTIMAZATION CONTROL VALVE HP MAIN LEVEL STEAM
DRUM PT PJB COMBINED GAS AND STEAM POWER PLANT
GRESIK**

Name : Revan Arwisi Pratama
NRP : 0911650013052
Supervisor : Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc. (Eng.)

ABSTRACT

PT Pembangkitan Jawa Bali is a subsidiary of PT PLN (persero) which is engaged in power generation. PT PJB is engaged in various power generation fields such as Operation & Maintenance of power plants, power plants construction services, and electricity generation. One of Power plant owned PT PJB is UP Gresik. There is lots of support equipment in UP Gresik, one of them is Control valve HP Main Level Drum Heat Recovery Steam Generator (HRSG). This Control Valve is one of tool that use as level regulator Steam Drum HRSG. When there is disturbance to control valve, can interfere with production of steam which will also affect the MW power generated by steam turbine itself. In last 2 years, disrurbance in control valve and its supporting component increased, caused the performance of UP Gresik itself distrupted. Because of that, it is necessary to conduct research to analyze the reliability and optimization of maintenance to maintain the reliability of the control valve. After reliability analisis, we know that CV entered wear out phase in failure rate graph. With preventive maintenance based reliability analysis, CV disturbancescan be reduced so power plant derating that caused losses income can be reduced

Key Words: Control Valve, Hazard Rate, Preventive maintenance, Reliability

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil ‘Alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Thesis ini dengan judul “ANALISIS KEANDALAN SEBAGAI DASAR OPTIMALISASI INTERVAL PEMELIHARAAN CONTROL VALVE HP MAIN LEVEL STEAM DRUM PLTGU PT PJB UP GRESIK”.

Proposal thesis ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Manajemen Teknologi pada Jurusan Manajemen Industri MMT-ITS.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Segenap keluarga, tercinta yang telah memberikan dukungan dan doanya kepada penulis untuk menyelesaikan thesis.
2. Bapak Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc(Eng) sebagai kepala MMT-ITS dan selaku dosen pembimbing thesis yang telah memberikan banyak arahan dan bimbingannya dalam pengerjaan thesis ini.
3. Teman – teman angkatan Manajemen Industri yang telah banyak membantu dari proses perkuliahan sampai penyelesaian proposal thesis.
4. Teman – teman PT PJB KONIN UPHT yang telah banyak memberikan dukungan, ide serta gagasannya dalam menyelesaikan thesis.
5. Seluruh keluarga besar MMT - ITS, para dosen pengajar, karyawan, dan mahasiswa yang telah banyak memberi ilmu dan bantuan selama penulis menempuh kuliah.

Penulis menyadari bahwa Thesis ini belum sempurna, oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga Thesis ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat pada umumnya.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap.....	7
2.2 <i>Heat Recovery Steam Generator</i>	8
2.3 <i>Control Valve HP Main Level Steam Drum HRSG PLTGU</i>	10
2.4 Keandalan	12
2.5 <i>Mean Time Between Failure</i>	12
2.6 <i>Mean Time To Repair</i>	12
2.7 Laju Kegagalan.....	13
2.8 Karakteristik Kegagalan	13
2.8.1 <i>Burn - in Zone (Early Life)</i>	14
2.8.2 <i>Useful Life Time</i>	14
2.8.3 <i>Wear Out Zone</i>	15
2.9 Distribusi Kegagalan	15
2.9.1 Distribusi <i>Normal</i>	15
2.9.2 Distribusi <i>Weibull</i>	16
2.9.3 Distribusi <i>Lognormal</i>	17
2.9.4 Distribusi <i>Eksponensial</i>	17
2.10 Reliability System	17

2.10.1 Sistem Seri	18
2.10.2 Sistem Paralel.....	19
2.11 Macam Macam Pemeliharaan.....	19
2.12 Penetapan Keandalan Optimal.....	21
2.13 Analisa Biaya Pemeliharaan	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Tinjauan Lapangan.....	28
3.2 Pengumpulan Data	28
3.3 Penentuan dan Uji Distribusi	29
3.4 Menentukan Fungsi Keandalan, Laju Kegagalan ,MTTR dan MTBF	29
3.5 Penentuan Biaya Pemeliharaan Sistem Peralatan	29
3.6 Penentuan Interval Pemeliharaan Sistem Peralatan	29
3.7 Perbandingan Biaya Pemeliharaan Sebelum dan Sesudah Optimasi.....	30
BAB 4 ANALISA KEANDALAN	31
4.1 Analisa Keandalan Subkomponen Plug+Cage	31
4.2 Analisa Keandalan Subkomponen Membran Aktuator	35
4.3 Analisa Keandalan Subkomponen Regulator	39
4.4 Analisa Keandalan Subkomponen Booster Relay	43
4.5 Analisa Keandalan Subkomponen Positioner	46
4.5 Analisa Keandalan Subkomponen Positioner.....	51
BAB 5 PENENTUAN INTERVAL PEMELIHARAAN OPTIMAL.....	55
5.1 Analisa Biaya Pemeliharaan	55
5.1.1 Analisa Biaya Pemeliharaan Subkomponen <i>Plug+Cage</i>	56
5.1.2 Analisa Biaya Pemeliharaan Subkomponen <i>Membran Aktuator</i> ...	57
5.1.3 Analisa Biaya Pemeliharaan Subkomponen <i>Regulator</i>	58
5.1.4 Analisa Biaya Pemeliharaan Subkomponen <i>Booster Relay</i>	60
5.1.5 Analisa Biaya Pemeliharaan Subkomponen <i>Positioner</i>	61
5.2 Penentuan Interval Pemeliharaan Optimal.....	63
5.2.1 Subkomponen <i>Regulator</i>	63
5.2.2 Subkomponen <i>Booster Relay</i>	64
5.2.3 Subkomponen <i>Positioner</i>	65

5.2.4 Subkomponen <i>Membrane Aktuator</i>	66
5.2.5 Subkomponen <i>Plug+Cage</i>	67
5.3 Perbandingan Biaya Pemeliharaan Sebelum dan Sesudah Optimasi	71
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....	75
6.1 Kesimpulan.....	75
6.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 CV HP Main Level Drum HRSG	2
Gambar 2.1 Gambaran Umum PLTGU.....	8
Gambar 2.2 Gambaran Umum HRSG PLTGU	10
Gambar 2.3 CV HP Main Level Steam Drum HRSG	11
Gambar 2.4 RBD CV HP Main Level Steam Drum HRSG	11
Gambar 2.5 Kurva Laju Kegagalan	13
Gambar 2.6 Permodelan Seri.....	18
Gambar 2.7 Permodelan Paralel	19
Gambar 2.8 Macam – Macam Pemeliharaan.....	19
Gambar 3.1 Gambaran Penelitian.....	27
Gambar 4.1 <i>PDF Plot</i> Subkomponen <i>Plug+Cage</i>	34
Gambar 4.2 <i>Failure Rate Plot</i> Subkomponen <i>Plug+ Cage</i>	34
Gambar 4.3 <i>PDF Plot</i> Subkomponen <i>Membrane Aktuator</i>	37
Gambar 4.4 <i>Failure Rate Plot</i> Subkomponen <i>Membrane Aktuator</i>	37
Gambar 4.5 <i>PDF Plot</i> Subkomponen <i>Regulator</i>	40
Gambar 4.6 <i>Failure Rate Plot</i> Subkomponen <i>Regulator</i>	41
Gambar 4.7 <i>PDF Plot</i> Subkomponen <i>Booster Relay</i>	44
Gambar 4.8 <i>Failure Rate Plot</i> Subkomponen <i>Booster Relay</i>	44
Gambar 4.9 <i>PDF Plot</i> Subkomponen <i>Positioner</i>	48
Gambar 4.10 <i>Failure Rate Plot</i> Subkomponen <i>Positioner</i>	48
Gambar 4.11 Permodelan Keandalan <i>Control Valve HRSG</i>	49

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Perencanaan Penelitian	30
Tabel 4.1 TBF Subkomponen Plug+Cage	31
Tabel 4.2 TTR Subkomponen Plug+Cage	32
Tabel 4.3 Penentuan Distribusi Data Plug+Cage	32
Tabel 4.4 Laju Kegagalan, MTBF,MTTR,Keandalan <i>Plug +Cage</i>	33
Tabel 4.5 TBF Subkomponen Membran Aktuator	35
Tabel 4.6 TTR Subkomponen Membran Aktuator	35
Tabel 4.7 Penentuan Distribusi Data Membran Aktuator	36
Tabel 4.8 Laju Kegagalan, MTBF,MTTR,Keandalan <i>Membran Aktuator</i>	36
Tabel 4.9 TBF Subkomponen <i>Regulator</i>	38
Tabel 4.10 TTR Subkomponen <i>Regulator</i>	39
Tabel 4.11 Penentuan Distribusi Data <i>Regulator</i>	39
Tabel 4.12 Laju Kegagalan, MTBF,MTTR,Keandalan <i>Regulator</i>	40
Tabel 4.13 TBF Subkomponen <i>Booster Relay</i>	42
Tabel 4.14 TTR Subkomponen <i>Booster Relay</i>	42
Tabel 4.15 Penentuan Distribusi Data <i>Booster Relay</i>	43
Tabel 4.16 Laju Kegagalan, MTBF,MTTR,Keandalan <i>Booster Relay</i>	43
Tabel 4.17 TBF Subkomponen <i>Positioner</i>	45
Tabel 4.18 TTR Subkomponen <i>Positioner</i>	46
Tabel 4.19 Penentuan Distribusi Data <i>Positioner</i>	46
Tabel 4.20 Laju Kegagalan, MTBF,MTTR,Keandalan <i>Positioner</i>	47
Tabel 4.21 Keandalan CV Beserta subkomponen Selama 1 tahun	50
Tabel 5.1 Biaya Tenaga Kerja <i>Plug+Cage</i>	52
Tabel 5.2 Biaya Tenaga Kerja <i>Membran Aktuatore</i>	54
Tabel 5.3 Biaya Tenaga Kerja <i>Regulator</i>	55
Tabel 5.4 Biaya Tenaga Kerja <i>Booster Relay</i>	57
Tabel 5.5 Biaya Tenaga Kerja <i>Positioner</i>	58
Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Biaya	59

Tabel 5.7 Alokasi Keandalan Masing - Maisng Subkomponen CV	61
Tabel 5.8 Interval Waktu Pemeliharaan Subkomponen CV	67
Tabel 5.9 Perbandingan Biaya Sebelum Dan Sesudah optimasi Subkomponen CV	68
Tabel 5.10 Lanjutan Perbandingan Biaya Sebelum dan Sesudah Optimasi Subkomponen CV.....	69
Tabel 5.11 Perbandingan Biaya Sebelum dan Sesudah Optimasi <i>Control Valve</i> <i>Hp Main Level Steam Drum HRSG</i>	70

BAB 1

PENDAHULUAN

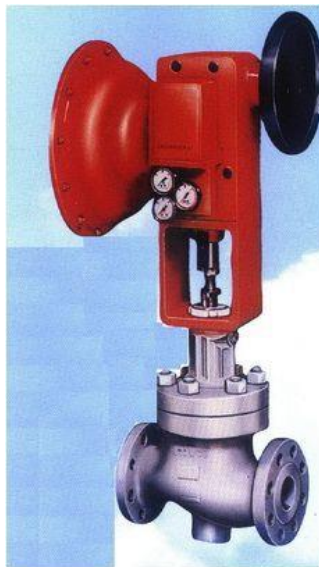
1.1 LATAR BELAKANG

Listrik saat ini sudah menjadi salah satu hal pokok yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat. Selaras dengan hal tersebut bisnis pembangkitan sangat dibutuhkan untuk menopang ketersediaan listrik di Indonesia ini. PT Pembangkitan Jawa Bali merupakan salah satu anak perusahaan PT PLN (persero) yang bergerak di bidang pembangkitan tenaga listrik. PT PJB bergerak diberbagai bidang pembangkitan kelistrikan seperti Operation & maintenance pembangkit, Jasa konstruksi pembangkit, dan pembangkitan listrik itu sendiri. PT PJB memiliki 6 pembangkit yang berada di pulau jawa Indonesia. Pembangkit yang dimiliki PT PJB pada awalnya merupakan penopang utamakelistrikan di pulau jawa ini, walaupun sekarang sudah banyak sekali pembangkit baru yang berdiri, pembangkit PT PJB masih menjadi salah satu andalan PT PLN untuk menerangi pulau jawa. Mengingat pentingnya pembangkit tersebut, PT PJB harus menjaga keandalan pembangkitnya. Untuk menjaga keandalan, maintenance pembangkit sangat penting sehingga pembangkit dapat menjaga suplay listrik untuk PLN.

Salah satu pembangkit PT PJB adalah pembangkit yang terletak di Gresik. Unit Pembangkit (UP) Gresik sendiri sudah berdiri sejak tahun 1994. Unit Pembangkit yang terletak di Gresik ini memiliki 3 type pembangkit yaitu PLTGU, PLTU, dan PLTG dengan total daya terpasang 2.218 MW dengan detail daya yang disumbangkan PLTGU 1.578 MW , PLTU 600 MW dan PLTG 40 MW. Karena itu peralatan yang ada di UP Gresik umurnya tergolong sudah sangat tua. Dengan peralatan yang sudah tua tersebut UP Gresik harus terus memantau peralatan – peralatan yang terdapat di pembangkitnya sehingga tidak sering terjadi *breakdown* yang menyebabkan ketersediaan (*availability*) dari pembangkit UP Gresik berkurang.

Banyak sekali alat pendukung pembangkit di UP Gresik, Salah satunya adalah *Control valve HP Main Level Drum Heat Recovery Steam Generator (HRSG)* seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1. *Control valve* ini merupakan

salah satu alat yang gunanya sebagai pengatur *level steam drum HRSG*. Ketika terjadi gangguan pada *control valve* tersebut dapat mengganggu produksi steam yang nantinya akan berpengaruh juga pada daya MW yang dihasilkan oleh Steam Turbin itu sendiri. *Control valve* itu sendiri terdiri dari beberapa komponen penyusunnya yang perlu diperhatikan juga, karena komponen-komponen tersebutlah yang membentuk *control valve*. Komponen tersebut terdiri dari *plug*, *cage*, *membrane*, *positioner*, *booster relay* dan *regulator*. Pada 2 tahun terakhir, sering terjadi kerusakan pada *control valve* beserta komponen pendukungnya yang menyebabkan kinerja dari UP Gresik sendiri terganggu. Gangguan dari *control valve* sendiri dapat menyebabkan berkurangnya steam yang dihasilkan sehingga menurunkan daya (MW) maksimum Steam Turbin atau bisa menyebabkan HRSG trip sehingga steam turbin juga mengalami trip yang menyebabkan kinerja dari UP Gresik berkurang. Karena itu *Control valve* ini harus sering diperhatikan guna menjaga kinerja dari PLTGU di UP Gresik dan kebutuhan pasokan listrik tetap terpenuhi.



Gambar 1.1 CV HP Main Level Drum HRSG

Dalam operasi pembangkit di PLTGU UP Gresik PT PJB menerapkan berbagai macam pemeliharaan pada peralatannya. Pemeliharaan yang biasa dilakukan oleh PT PJB meliputi *Preventive maintenance*, *Predictive Maintenance* serta *Corrective Maintenance*. *Corrective Maintenance* dibagi lagi menjadi 2 jenis

pemeliharaan yaitu *corrective maintenance* terencana yaitu *Overhaul* dan tidak terencana yaitu *Breakdown*. Untuk *Overhaul* sendiri PT PJB menerapkan 3 jenis inspeksi untuk PLTGU yang dilakukan setiap 8000 *Equivalent Operation Hour (EOH)*. Jenis Inspeksi tersebut meliputi : *Combustion Inspection*, *Turbin Inspection* dan *Mean Inspection*. Dari banyaknya kegiatan pemeliharaan tersebut, untuk *control valve HRSG* tersebut hanya dilakukan *Corrective Maintenance* saja. Sampai saat ini belum pernah dilakukan kegiatan *preventive* maupun *predictive* untuk *control valve HRSG* tersebut. Melihat semakin banyaknya gangguan yang terjadi pada *control valve* tersebut, dalam penelitian ini akan dianalisa bagaimana pengoptimalisasian pemeliharaan guna menjaga keandalan dari *control valve* tersebut.

Dalam masa kerjanya, suatu komponen atau sistem mengalami berbagai kerusakan. Kerusakan – kerusakan tersebut akan berdampak pada performa kerja dan efisiensinya. Kerusakan – kerusakan tersebut apabila dilihat secara temporer, umumnya memiliki suatu laju tertentu yang berubah – ubah. *Laju kerusakan (failure rate)* dari suatu komponen atau sistem merupakan *dynamic object* dan mempunyai performa yang berubah terhadap waktu t (*sec, min, hour, day, week, month and year*). Keandalan komponen / mesin erat kaitannya dengan laju kerusakan tiap satuan waktu. Kerusakan ini erat kaitannya dengan kurva laju kegagalan. Peran pemeliharaan akan sangat baik bila obyek yang dirawat sudah mencapai fase penuaan (*aging*) yaitu peralatan – peralatan yang memiliki laju kerusakan yang berada pada wilayah ketiga (*wear out region*). Dengan adanya pemeliharaan yang baik dan sesuai jadwal, maka kemungkinan rusaknya komponen dapat dicegah sebelum kerusakan itu terjadi (*preventive maintenance*) dan dengan penggantian sebagian komponen saat pemeliharaan akan menambah umur komponen sehingga dapat menggeser grafik *Hazard Rate* lebih panjang. Dalam *wear-out region*, keandalan secara signifikan dapat bertambah dengan adanya *preventive maintenance* termasuk menggantikan komponen lama. Sebagai hasil mundurnya waktu *wear out*, maka *reliability* komponen juga meningkat. Karena itu *Control valve* ini harus dijaga kehandalannya mengingat umur dari *control valve* itu sendiri sudah sangat tua dan kemungkinan akan memasuki fase *Wear Out* dalam

kurva laju kerusakan. Karena hal itu perlu dilakukan penelitian untuk menganalisa keandalan dan optimalisasi interval pemeliharaan guna menjaga keandalan dari *control valve* itu sendiri.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya, masalah yang akan ditinjau dari penelitian ini adalah bagaimana menentukan interval pemeliharaan yang optimal berdasarkan analisa keandalan *control valve* HP Main Level drum HRSG PLTGU UP Gresik.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan diatas maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui tingkat keandalan *control valve HP Main Level drum HRSG* PLTGU UP Gresik sehingga dapat diketahui subkomponen yang perlu perhatian lebih.
2. Mengetahui penyebab dari turunnya performa dari CV yang dicurigai sudah masuk ke dalam wear out zone dalam grafik laju kegagalan
3. Melakukan analisa biaya pemeliharaan preventif Subkomponen CV sehingga dapat mempermudah mengetahui komponen mana yang perlu pengalokasian keandalan yang lebih tinggi dalam optimasi
4. Menentukan interval pemeliharaan yang optimal untuk *control valve HP Main Level drum HRSG* PLTGU UP Gresik untuk mengurangi resiko terjadinya kerusakan yang menyebabkan *derating* pembangkit sehingga bisa meminimalisasi biaya pemeliharaan .

1.4 BATASAN MASALAH

Dalam penelitian ini perlu pembatasan masalah agar penelitian ini tetap fokus untuk tujuannya dan tidak meluas area penelitiannya. Batasan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data yang digunakan adalah data kegagalan *CV HP Main Drum Level HRSG* PT PJB PLTGU Gresik
2. Data yang digunakan adalah data dari periode tahun 2001 – 2017
3. Data kegagalan yang digunakan merupakan data dari sub komponen *CV HP Main Drum Level* yang dianggap sebagai Komponen kritis

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat yang bisa didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Dapat mengetahui keandalan dari *Control valve HP Main Level Drum* sehingga PT PJB UP Gresik dapat memprediksi kerusakan peralatan.
2. Mengoptimalkan interval waktu pemeliharaan *control valve* HP Main Drum sehingga dapat memperpanjang *useful life* dari *control valve* tersebut dan meminimalisasi biaya pemeliharaan.
3. Dapat memberikan masukan kepada bagian perencanaan pemeliharaan PT PJB UP Gresik dalam melakukan pemeliharaan *Control valve HP Main Level Drum*.

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

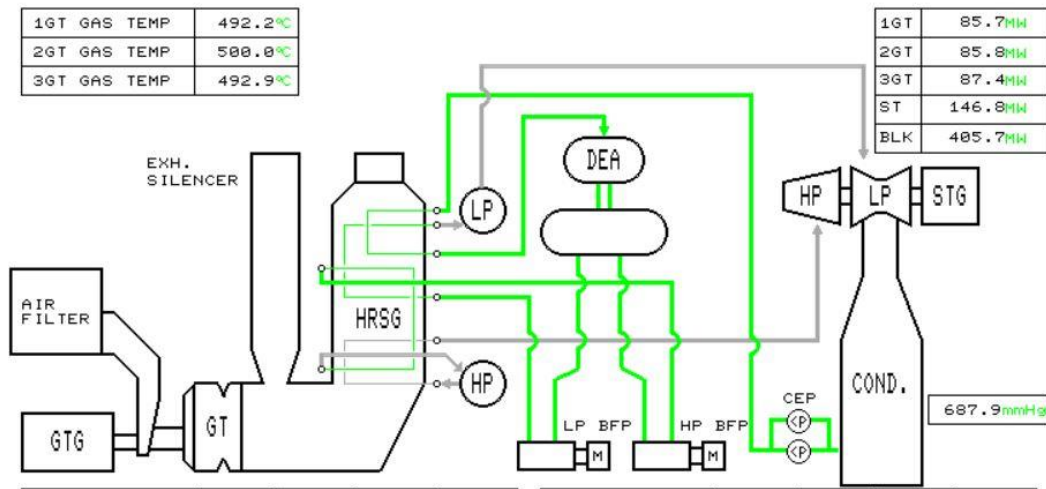
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS UAP

Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) adalah gabungan antara PLTG dengan PLTU, dimana panas dari gas buang dari PLTG digunakan untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai fluida kerja di PLTU. Dan bagian yang digunakan untuk menghasilkan uap tersebut adalah HRSG (Heat Recovery Steam Generator). Dalam PLTGU terdapat suatu instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi panas (hasil pembakaran bahan bakar dan udara) menjadi energi listrik yang bermanfaat untuk memutar turbin. Pada dasarnya, sistem PLTGU ini merupakan penggabungan antara PLTG dan PLTU, seperti ditunjukkan dalam **gambar 2.1**. PLTU memanfaatkan energi panas dan uap dari gas buang hasil pembakaran di PLTG untuk memanaskan air di HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*), sehingga menjadi uap jenuh kering. Uap jenuh kering inilah yang akan digunakan untuk memutar sudu (Turbin).

Pada dasarnya bahan bakar untuk menggerakkan PLTGU ini adalah gas atau BBM. Hal ini dikarenakan proses pertama dalam PLTGU adalah menggerakkan Gas turbin yang bahan bakarnya adalah Gas/BBM. Bahan bakar ini nantinya akan dibakar sehingga menghasilkan Gas panas bertekanan yang dihasilkan dalam ruang bakar pada Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) akan menggerakkan turbin dan kemudian generator, yang akan mengubahnya menjadi energi listrik. Penggunaan bahan bakar menentukan tingkat efisiensi pembakaran dan prosesnya. Dan akhirnya untuk meningkatkan efisiensi maka gas sisa pembakaran yang masih panas tersebut digunakan untuk memanaskan air di HRSG sehingga menghasilkan steam yang akan menggerakkan *Steam Turbin* PLTGU.



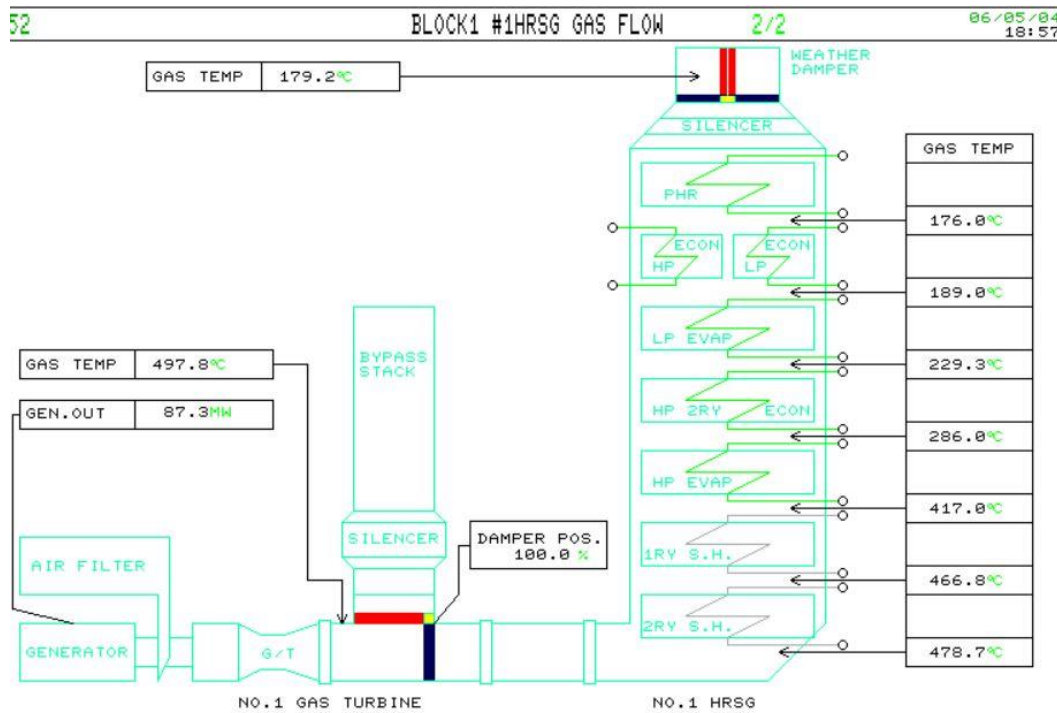
Gambar 2.1 Gambaran umum PLTGU

2.2 HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) adalah peralatan utama dari Pembangkit Listrik Tenaga Gas-Uap yang berfungsi untuk memanfaatkan gas buang turbin gas untuk memproduksi uap bertekanan (*superheated steam*). *HRSG* memanfaatkan energi panas sisa gas buang satu unit turbin gas untuk memanaskan air dan mengubahnya menjadi uap, dan kemudian uap tersebut dipergunakan untuk menggerakkan turbin uap seperti ditunjukkan dalam **gambar 2.2**. Panas/kalor yang dipindahkan dari gas buang tersebut seluruhnya berpindah dengan cara konveksi ke air yang berada dalam pipa. Gas buang turbin gas mengalir memanasi peralatan *HRSG* mulai dari *superheater*, kemudian menuju ke *evaporator*, ke *economizer* dan *preheater* dan selanjutnya keluar melalui cerobong pembuangan.

Kapasitas produksi uap yang dapat dihasilkan *HRSG* tergantung pada kapasitas energi panas yang masih mengandung gas buang dari unit turbin gas yang berarti masih tergantung pada beban unit turbin gas. Pada dasarnya turbin gas yang beroperasi pada putaran tetap, aliran udara masuk kompressor juga tetap, perubahan beban turbin yang tidak konstan dengan aliran bahan bakar tetap, sehingga suhu gas buang juga berubah mengikuti perubahan turbin gas. Ada beberapa bagian utama dari *HRSG* yaitu :

1. *PREHEATER* : Merupakan penukar kalor yang sebagai pemanas awal untuk air kondensat dari kondensasi di kondensor sebelum siap untuk menjadi air pengisi di deaerator. Preheater ini digunakan untuk meningkatkan efisiensi dari *HRSG* itu sendiri. Preheater berada pada bagian akhir atau paling atas dari *HRSG* untuk menyerap energi terendah dari gas buang.
2. *ECONOMISER* : Merupakan pemanas awal untuk air pengisi *HRSG* (*feed water*), dimana air pengisi akan mengalir dari *deaerator* menuju steam drum. Pada *Economiser* ini proses yang terjadi yaitu pemanasan *sensible*, yaitu menaikkan temperature air tanpa merubah fase. Pada pipa-pipa *economiser* dijaga agar tidak terjadi penguapan. Pada beban-beban Gas Turbin rendah hal ini bisa menyebabkan terjadi penguapan, sehingga perlu adanya *Economiser Recirculating* untuk menjaga agar tidak terjadi penguapan.
3. *EVAPORATOR* : Merupakan alat penukar kalor dimana akan menghasilkan uap jenuh (*saturated*) dari *feed water*. Pada *Vertikal HRSG* dengan sirkulasi paksa yang menggunakan pompa sirkulasi, air sirkulasi akan mengalir dari drum masuk deaerator dan kembali ke drum kembali. Air *feed water* dalam fase *saturated* yang ada dalam pipa akan ke drum dan terpisah antara yang masih berupa fase cair dan fase *saturated steam*.
4. *SUPERHEATER* : Merupakan alat penukar kalor pada *HRSG* yang menghasilkan uap panas lanjut (*superheated steam*). *Superheater* dapat terdiri dari satu atau penukar kalor, sebagaimana di beberapa PLTGU *superheater* ada 2 tahap yaitu primary dan secondary superheater. Pada *superheater* biasanya dilengkapi dengan temperature control yang menjaga temperature uap yang keluar dari *superheater* agar tidak melebihi batas high temperature, sistem ini dinamakan *Desuperheater*. *Desuperheater* ini fungsinya menjaga temperature keluar *HRSG* yang masuk ke dalam turbin (*HP Turbine*) agar tidak melebihi set temperature material turbin.
5. *EXHAUST DAMPER*: Merupakan pengarah aliran gas panas exhaust dari turbin gas. Ketika *Open Cycle* (*Simple Cycle*) maka gas buang akan terbuang melalui *by pass stack* sedangkan untuk sistem *Combine Cycle* gas panas akan di arahkan oleh *exhaust damper* masuk ke *HRSG* dengan menutup jalur ke arah *by pass stack*.

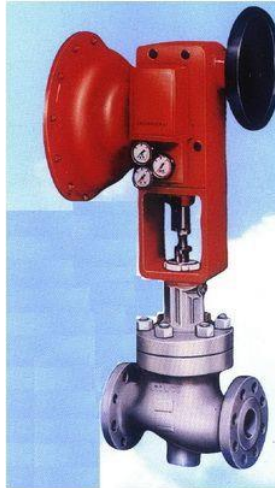


Gambar 2.2 Gambaran umum HRSG PLTGU

2.3 CONTROL VALVE HP MAIN LEVEL STEAM DRUM HRSG PLTGU

Control valve (CV) HP Main Level Steam Drum seperti yang ditunjukkan pada **gambar 2.3**, berguna sebagai pengatur level air steam drum HRSG yang nantinya akan berefek pada hasil Steam untuk memutar turbin. Ada beberapa peralatan yang membentuk *Control valve* itu sendiri yaitu:

1. *Plug* : Komponen Utama CV yang digunakan untuk membuka dan menutup aliran fluida
2. *Cage* : Satu rangkaian dengan plug, merupakan Komponen Utama CV yang digunakan untuk membuka dan menutup aliran fluida
3. *Regulator* : Sebagai Pengatur Udara Supply yang masuk ke positioner Valve
4. *Booster Relay* : Penambah Tekanan yang digunakan untuk Supply *Control valve*
5. *Membran Aktuator*: Salah Satu Unsur Penggerak *control valve* yang digunakan untuk mendorong stem *control valve*
6. *Positioner* : Sebagai pengatur pembukaan *control valve* dengan sinyal berupa arus mA dan Output berupa tekanan

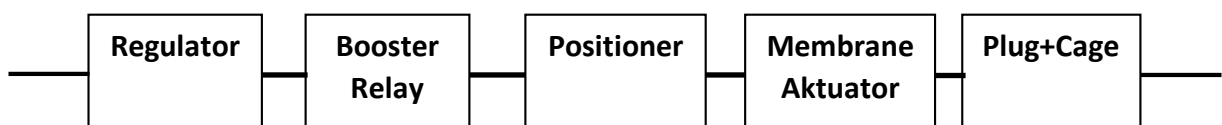


Gambar 2.3 CV HP Main Level Drum HRSG

Sedangkan untuk prinsip kerja CV Level Drum adalah sebagai berikut

1. Udara supply untuk CV diatur melalui subkomponen Regulator sesuai dengan setingan tekanan kerja CV
2. Udara supply Diperkuat oleh Subkomponen Booster Relay sehingga cukup untuk menggerakkan CV
3. Berikutnya udara supply diatur oleh Subkomponen Positioner sehingga dapat diatur lama udara supply masuk ke membrane CV sehingga ber efek pada pembukaan CV
4. Udara supply yang sudah diatur oleh positioner menekan membrane aktuator sehingga CV dapat membuka sesuai dengan perintah
5. Membrane actuator tersambung dengan Stem yang dikopling dengan subkomponen Plug+Cage yang gunanya membuka dan menutup aliran air yang akan masuk ke Drum

Setelah mengetahui prinsip kerja dari CV maka dapat digambarkan Reliability Block Diagram (RBD) Seperti **gambar 2.4** berikut ini :



Gambar 2.4 Reliability Block Diagram CV HP Main

Mengingat sangat pentingnya peralatan tersebut maka CV tersebut perlu dijaga keandalannya. CV tersebut pada beberapa tahun terakhir sering mengalami kegagalan. Ada total 9 HRSG yang masing – masing HRSG terdapat 1 *control valve* pengatur level drum.

2.4 KEANDALAN

Keandalan didefinisikan sebagai Probabilitas suatu komponen dapat melaksanakan fungsinya dengan normal tanpa terjadi kegagalan dalam periode waktu tertentu (Lewis,1987). Fungsi yang dimaksud dapat merupakan fungsi atau gabungan dari berbagai macam fungsi yang diperlukan dalam suatu sistem. Untuk menghitung keandalan suatu peralatan biasanya dipakai suatu fungsi keandalan. Fungsi Keandalan terhadap waktu dapat diformulasikan sebagai berikut (Lewis,1987) :

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (2.1)$$

Dimana :

$R(t)$ = Keandalan (reliability)

$F(t)$ = Probabilitas kegagalan

$f(t)$ = fungsi padat peluang

2.5 MEAN TIME BETWEEN FAILURE

Mean Time Between Failure (MTBF) adalah istilah dalam perhitungan reliability yang artinya waktu peralatan atau aset atau komponen yang dihitung mulai peralatan tersebut dioperasikan sampai dengan terjadinya kerusakan (*failure*) pada peralatan itu. Semakin tinggi MTBFnya maka peralatan cenderung *reliable*. Untuk menghitung MTBF bisa digunakan rumus sebagai berikut (Lewis,1987) :

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (2.2)$$

2.6 MEAN TIME TO REPAIR

Mean Time to Repair (MTTR) adalah istilah dalam perhitungan reliability yang artinya waktu yang diperlukan untuk memperbaiki peralatan atau aset atau

komponen sehingga peralatan itu menjadi normal kembali. Untuk menghitung MTTF bisa digunakan rumus sebagai berikut (*Lewis,1987*) :

$$MTTR = \int_0^{\infty} tm(t)dt \quad (2.3)$$

Dimana :

$m(t)$ = PDF Times to Repair

2.7 LAJU KEGAGALAN

Merupakan banyaknya kegagalan persatuan waktu. Laju kegagalan (λ) adalah nilai laju kegagalan yang dapat dinyatakan sebagai perbandingan waktu kegagalan yang terjadi dengan waktu total saat operasi dari suatu komponen (*Lewis,1987*). Nilai laju kegagalan untuk sebuah system yang memiliki laju kegagalan konstan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini (*Lewis,1987*) :

$$\lambda = \frac{f}{T} = \frac{1}{MTBF} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.4)$$

Dimana :

f = banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

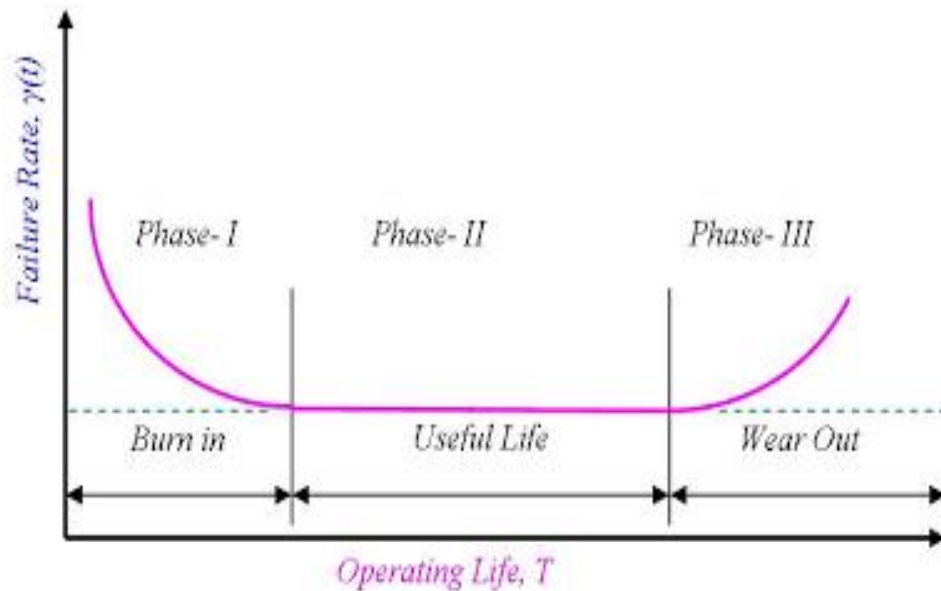
T = total waktu operasi

λ = Laju Kegagalan

$MTBF$ = *Mean Time Between Failure*

2.8 KARAKTERISTIK KEGAGALAN

Dalam masa kerjanya, suatu komponen atau sistem mengalami berbagai kerusakan. Kerusakan – kerusakan tersebut akan berdampak pada performa kerja dan efisiensinya. Kerusakan – kerusakan tersebut apabila dilihat secara temporer, maka ia memiliki suatu laju kegagalan tertentu yang berubah – ubah seperti yang ditunjukkan dalam **gambar 2.4**.



Gambar 2.5 Kurva Laju Kegagalan

2.8.1 Burn – in Zone (Early Life)

Daerah ini adalah periode dimana sebuah system berada pada fase perancangan (*design*) hingga permulaan beroperasinya suatu komponen atau sistem yang masih baru. Pada kurva ditunjukkan bahwa laju kerusakan yang awalnya tinggi kemudian menurun dengan bertambahnya waktu, atau diistilahkan sebagai *Decreasing Failure Rate* (DFR). Kerusakan yang terjadi umumnya disebabkan karena proses manufacturing atau fabrikasi yang kurang sempurna.

2.8.2. Useful Life Time Zone

Periode ini mempunyai laju kerusakan yang paling rendah dan hampir konstan, yang oleh sebab itu disebut *Constant Failure Rate* (CFR). Kerusakan yang terjadi bersifat random dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Ini adalah periode dimana sebagian besar umur berada pada masa pakai komponen atau sistem itu. Dalam analisa, tingkat kehandalan sistem yang berada pada periode *Useful life time*, akan diasumsikan memiliki *failure rate* konstan terhadap waktu. Asumsi ini digunakan karena pada periode *early life time*, tidak dapat ditentukan apakah sistem

tersebut sudah bekerja sesuai dengan standar yang ditentukan atau belum sedangkan pada periode *wear out time*, tidak dapat diprediksi kapan akan terjadi *failure*.

2.8.3. Wear Out Zone

Periode ini adalah periode akhir masa pakai komponen atau sistem. Pada periode ini, laju kerusakannya naik dengan cepat dengan bertambahnya waktu, yang disebut dengan istilah *Increasing Failure Rate* (IFR). Periode ini berakhir saat reliability komponen atau sistem ini mendekati nol, dimana kerusakan yang terjadi sudah sangat parah dan tidak dapat diperbaiki kembali.

2.9 DISTRIBUSI KEGAGALAN

Sebelum diolah, data kegagalan harus ditentukan tipe distribusi yang tepat untuk data tersebut. Distribusi tersebut akan menentukan perhitungan keandalan yang nilainya berbeda beda untuk setiap jenis distribusi.

2.9.1 Distribusi Normal

Distribusi normal mempunyai 2 parameter yaitu rata – rata (μ) dan standar deviasi (σ). Fungsi padat peluangnya (*Probability density function*) adalah :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.5)$$

Dimana :

σ = Deviasi Standar

μ = Rata – rata

- Fungsi keandalan *distribusi normal* adalah :

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] dt \quad (2.6)$$

- Laju Kegagalan distribusi normal adalah :

$$\lambda(t) = \frac{\exp\left[-\left(\frac{t-\mu}{2\sigma}\right)^2\right]}{\int_t^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{t-\mu}{2\sigma}\right)^2\right] dt} \quad (2.7)$$

- MTBF dari distribusi normal adalah :

$$\text{MTBF} = \mu \quad (2.8)$$

2.9.2 Distribusi Weibull

Jika distribusi kerusakan suatu sistem, sub sistem atau komponen mengikuti distribusi *weibull*, maka padat peluangnya adalah :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.9)$$

Dimana :

β = Parameter Bentuk (*Shape Parameter*), $\beta > 0$

η = Parameter Skala (*Scale Parameter*), $\eta > 0$

γ = Parameter Lokasi

- Fungsi Keandalan Distribusi *weibull* :

$$R(t) = \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.10)$$

- Laju Kegagalan Distribusi *Weibull* :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (2.11)$$

- MTBF untuk Distribusi *Weibull* Adalah :

$$MTBF = \gamma + \eta \Gamma (1/\beta + 1) \quad (2.12)$$

2.9.3 Distribusi *Lognormal*

Distribusi *Lognormal* memiliki 2 parameter yang hampir sama dengan distribusi normal yaitu rata – rata (t_0) dan variasinya (s). Fungsi padat peluangnya adalah :

$$f(t) = \frac{1}{t \cdot s \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2s^2} (\ln t - t_0)^2 \right] \quad (2.13)$$

Dimana :

t_0 = Rata – rata

s = Variansi

- Fungsi Keandalan dari distribusi *lognormal* adalah:

$$R(t) = 1 - \Phi \left[\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_0} \right] \quad (2.14)$$

- MTBF dari distribusi *lognormal* adalah:

$$MTBF = \exp [t_0 + (0,5 \times s^2)] \quad (2.15)$$

2.9.4 Distribusi *Eksponensial*

Jika distribusi kerusakannya mengikuti distribusi *eksponensial*, maka fungsi padat peluangnya adalah:

$$f(t) = \lambda \exp [-\lambda t] \quad t > 0, \lambda > 0 \quad (2.16)$$

- Fungsi keandalan distribusi *eksponensial* adalah:

$$R(t) = \exp [-\lambda t] \quad t \geq 0 \quad (2.17)$$

- Laju Kegagalan distribusi *eksponensial* adalah:

$$\lambda \quad (2.18)$$

- Sedangkan MTBF nya adalah:

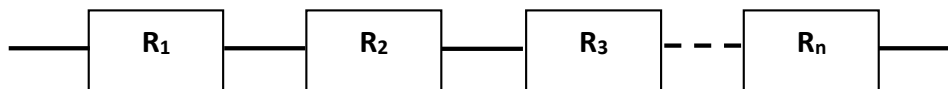
$$MTBF = 1/\lambda \quad (2.19)$$

2.10 Reliability System

Untuk mengevaluasi keandalan dari suatu komponen atau sistem yang pertama kali harus dilakukan adalah dengan memodelkan komponen atau sistem tersebut kedalam diagram blok keandalan (*reliability block diagram*). Dari diagram blok keandalan ini kemudian dihitung keandalan dari komponen atau sistem yang bersangkutan. Hal ini sangat mungkin dilakukan untuk sistem yang sederhana. Ada beberapa *reliability System* yang dapat digunakan dalam menganalisa keandalan suatu sistem, yaitu Sistem seri dan Sistem paralel.

2.10.2 Sistem Seri

Suatu sistem dapat dimodelkan dengan susunan seri jika komponen-komponen yang ada didalam sistem itu harus bekerja atau berfungsi seluruhnya agar sistem tersebut sukses dalam menjalankan misinya. Atau dengan kata lain bila ada satu komponen saja yang tidak bekerja, maka akan mengakibatkan sistem itu gagal menjalankan fungsinya. Secara sederhana sistem permodelan seri dapat dilihat pada **gambar 2.5** dibawah ini.



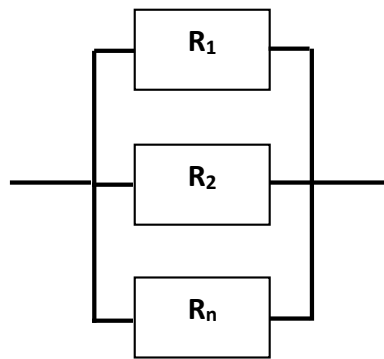
Gambar 2.6 Sistem Seri

Dari gambar diatas jika keandalan masing – masing komponen adalah R_1 , R_2 , $R_3 \dots R_n$ maka keandalan dari sistem tersebut adalah:

$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots \times R_n = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.20)$$

2.10.3 Sistem Paralel

Suatu sistem dapat dimodelkan dengan susunan paralel jika salah satu komponen gagal bekerja maka sistem masih bisa berjalan. Jika seluruh komponen-komponen yang ada didalam sistem itu gagal berfungsi maka akan mengakibatkan sistem itu gagal menjalankan fungsinya. Sistem ini biasanya berfungsi sebagai redundancy yaitu menggunakan lebih dari satu komponen untuk meningkatkan keandalan. Secara sederhana sistem paralel dapat dilihat pada **gambar 2.6** dibawah ini.



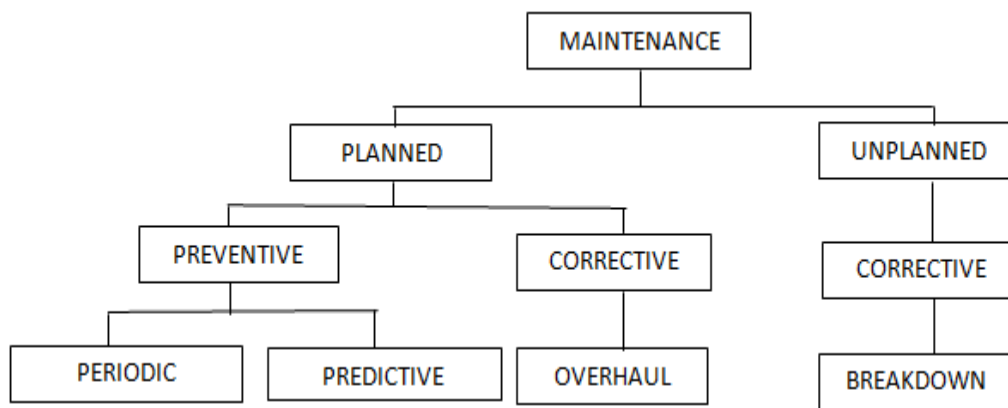
Gambar 2.6 Sistem Paralel

Dari gambar diatas jika keandalan masing – masing komponen adalah R_1 , R_2 , ... R_n maka keandalan dari sistem tersebut adalah :

$$R_p = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \dots (1 - R_n) = 1 - \prod_1^n (1 - R_n) \quad (2.21)$$

2.11 MACAM – MACAM PEMELIHARAAN

Ada beberapa jenis pemeliharaan yang biasanya dilakukan dalam perawatan pemeliharaan. Jenis Jenis pemeliharaan tersebut dapat dilihat dari **Gambar 2.7** dibawah ini :



Gambar 2.7 Macam – macam Pemeliharaan

- **Preventive maintenance** : jenis *Maintenance* yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin selama operasi berlangsung. Contoh *Preventive maintenance* adalah melakukan penjadwalan untuk pengecekan (*inspection*) dan pembersihan (*cleaning*) atau pergantian suku cadang secara rutin dan berkala. *Preventive maintenance* terdiri dari 2 jenis yaitu *Periodic Maintenance* dan *Predictive Maintenance*. **Periodic Maintenance** perawatan berkala yang terjadwal dalam melakukan pembersihan mesin, Inspeksi mesin, meminyaki mesin dan juga pergantian suku cadang yang terjadwal untuk mencegah terjadi kerusakan mesin secara mendadak yang dapat mengganggu kelancaran produksi. *Periodic Maintenance* biasanya dilakukan dalam harian, mingguan, bulanan ataupun tahunan. Sedangkan **Predictive Maintenance** perawatan yang dilakukan untuk mengantisipasi kegagalan sebelum terjadi kerusakan total. *Predictive Maintenance* ini akan memprediksi kapan akan terjadinya kerusakan pada komponen tertentu pada mesin dengan cara melakukan analisa *trend* perilaku mesin/peralatan kerja. Dilakukan monitoring secara terus menerus terhadap kinerja peralatan. Data monitoring ini kemudian digunakan untuk membuat prediksi peristiwa kerusakan peralatan. Tindakan perawatan harus diberikan kepada peralatan tersebut sebekum waktu kerusakan seperti yang ditetapkan dalam prediksi itu. Berbeda dengan *Periodic maintenance* yang

dilakukan berdasarkan waktu (*Time Based*), *Predictive Maintenance* lebih menitik beratkan pada Kondisi Mesin (*Condition Based*).

- **Corrective Maintenance:** Perawatan yang dilakukan dengan cara mengidentifikasi penyebab kerusakan dan kemudian memperbaikinya sehingga Mesin atau peralatan Produksi dapat beroperasi normal kembali. *Corrective Maintenance* biasanya dilakukan pada mesin atau peralatan produksi yang sedang beroperasi secara abnormal (Mesin masih dapat beroperasi tetapi tidak optimal). Ada 2 jenis *Corrective Maintenance* yaitu *Overhaul* dan *Breakdown*. **Overhaul** merupakan kegiatan pemeliharaan berupa penggantian komponen mesin secara serentak atau keseluruhan (juga *overhaul* terencana misalnya *overhaul* tahunan atau dua tahunan, atau suatu perluasan kapasitas produksi). **Breakdown** Merupakan kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan, kegagalan, atau kelainan fasilitas produksi sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik.

2.12 PENETAPAN KEANDALAN OPTIMAL

Setelah melakukan perhitungan keandalan suatu peralatan, masalah yang terjadi selanjutnya adalah bagaimana menetapkan keandalan yang optimal untuk peralatan dan sub – sub komponennya sehingga bisa mendapatkan interval waktu pemeliharaan yang optimal juga. Salah satu metode untuk mengalokasikan keandalan pada komponen penyusun pada suatu sistem adalah dengan program nonlinier. Suatu sistem yang terdiri dari masing masing komponen atau sub sistem, keandalannya ditentukan oleh keandalan dari masing masing komponen penyusun sistem tersebut (*Mettas,2000*). Maka dari itu permasalahan keandalan yang dijelaskan sebelumnya dapat dicari solusi yang optimal dengan menggunakan *program non linier*

Bila suatu sistem terdiri atas n komponen dan nilai keandalan yang ingin dicapai adalah R_G , maka permasalahan yang muncul adalah bagaimana mengalokasikan keandalan untuk semua atau beberapa subsistem penyusun sistem tersebut, sehingga dapat dicapai nilai keandalan system yang telah ditetapkan dengan biaya minimal. Permasalahan ini dapat dirumuskan dengan program nonlinier dibawah ini (*Mettas,2000*):

$$P : \min C = \sum_{i=1}^n c_i (R_i) \quad (2.22)$$

Batasan: $R_s \geq R_G$

$$R_{i, \min} < R_i < R_{i, \max}$$

Dimana:

C = Total biaya Sistem

$c_i (R_i)$ = Biaya Subsistem

R_i = Keandalan subsitem i

n = Jumlah subsistem yang dipertimbangkan dalam optimasi

$R_{i, \min}$ = Keandalan minimum dari komponen atau subsistem

$R_{i, \max}$ = Keandalan maksimum dari komponen atau subsistem i

R_s = Keandalan sistem

R_G = Keandalan sistem yang ingin dicapai

Dari persamaan (2.22) diatas dapat dilihat biaya subsistem merupakan nilai yang sangat menentukan nilai optimasi. Namun pada kenyataannya data mengenai biaya ini sulit didapatkan. Hal ini disebabkan karena tidak adanya data historis dari komponen atau subsistem maupun karena kesulitan dalam engalokasikan biaya pada komponen atau subsistem tersebut.

Langkah selanjutnya adalah menentukan hubungan antara biaya masing masing komponen atau subsistem sebagai fungsi dari keandalan. Pada beberapa kasus jika data data mengenai biaya sulit didapatkan maka dengan memandang sifat sifat dari fungsi biaya dapat diformulasikan hubungan antara biaya dengan fungsi keandalan sebagai berikut (*Mettas,2000*):

$$c_i(R_i, f_i, R_{i, \min}, R_{i, \max}) = \text{Exp} \left[(1 - f_i) \frac{R_i - R_{i, \min}}{R_{i, \max} - R_{i, \min}} \right] \quad (2.23)$$

Formulasi diatas mempunyai sifat eksponensial yang terdiri dari 3 variabel, yaitu :

1. f_i adalah indeks kelayakan atau *feasibility index* untuk konstanta peningkatan keandalan system relative terhadap system lain dalam suatu system yang dioptimasi. *Feasibility Index* menunjukkan tingkat kesulitan peningkatan keandalan system. Nilai *index* diasumsikan berkisar 0-1. Nilai *index* tersebut tergantung pada kompleksitas desain, kondisi operasi, tingkat kekritisn, ketersediaan suku cadang, kelancaran pemeliharaan, dan lain lain. Dengan kata lain semakin sulit suatu system untuk ditingkatkan keandalannya, maka biaya yang dibutuhkan semakin besar. Sesuai dengan persamaan diatas, terlihat bahwa semakin kecil *index feasibility* semakin cepat diperoleh biaya yang tak terhingga. Beberapa metode dapat digunakan untuk menentukan *Feasibility Index* ini seperti factor pembobotan untuk pengalokasian keandalan. Pembobotan ini tergantung dari beberapa factor seperti kompleksitas komponen, kekritisn komponen, dan operasional profil komponen. Untuk menentukan *feasibility index* bisa juga digunakan keputusan engineer yang berdasarkan pengalaman terdahulu, kualitas supplier, *supplier availability* dan lain lain (Mettas,2000),
2. $R_{i,min}$ adalah nilai keandalan awal atau nilai keandalan system sekarang. Nilai keandalan dari system ke-I untuk waktu operasi tertentu didapatkan dari fungsi keandalan yang sesuai dengan distribusi dari kegagalan komponen atau subsistem yang bersangkutan
3. $R_{i,max}$ adalah nilai keandalan maksimum yang mungkin dicapai system. Nilai keandalan maksimum yang mungkin dicapai adalah 1 – 100 %. Jika nilai keandalan maksimum yang mungkin dicapai suatu sistem semakin kecil maka biaya peningkatan keandalan system semakin cepat mencapai nilai terhingga.

Model fungsi biaya pada persamaan (2.20) ditentukan berdasarkan hasil pengamatan terhadap biaya peningkatan keandalan komponen seperti :

- Peningkatan biaya sebagai fungsi alokasi keandalan berawal dari keandalan minimal $R_{i,min}$ atau nilai keandalan sekarang sampai keandalan maksimal $R_{i,max}$ yang mungkin dicapai oleh system
- Biaya sebagai fungsi dari selang peningkatan dimana ada perbedaan atantara nilai $R_{i,min}$ dan $R_{i,max}$
- Eksponen pada persamaan mendekati tak terhingga ketika keandalan mendekati titik maksimal yang mungkin dicapai. Biaya selalu meningkat seiring dengan peningkatan keandalan komponen

Fungsi biaya peningkatan keandalan system pada persamaan (2.21) tidak memiliki satuan, dalam hal ini peranannya hanya sebagai pembobot biaya peningkatan nilai keandalan suatu system dari nilai keandalan sekarang terhadap system lain dalam suatu system yang dioptimasi. Beberapa asumsi yang dipakai dalam penggunaan fungsi biaya pada persamaan yaitu :

- Peningkatan biaya sebagai fungsi dari nilai keandalan system
- Sistem keandalan yang tinggi memiliki biaya yang tinggi
- Sistem keandalan yang rendah memiliki biaya yang rendah

2.13 ANALISA BIAYA PEMELIHARAAN PERALATAN

Dalam Proses pemeliharaan dan operasi peralatan timbul biaya – biaya yang timbul akibat pemeliharaan terencana dan biaya yang timbul akibat terjadi kerusakan mendadak atau tidak terencana. Biaya perawatan terencana terdiri atas biaya penggantian komponen dan biaya tenaga kerja. Biaya akibat terjadi kerusakan terdiri atas biaya suku cadang, biaya tenaga kerja dan kehilangan pendapatan akibat kerusakan.

Biaya Kerusakan (C_f) adalah biaya yang terjadi akibat kerusakan komponen kritis yang diluar perkiraan yang mengakibatkan kerugian pendapatan perusahaan. Biaya ini terdiri dari biaya suku cadang, biaya akibat kehilangan pendapatan dan biaya tenaga kerja yang dihitung sebagai berikut (Lewis,1987)

$C_f = [(Biaya \text{ tenaga kerja} + Kehilangan \text{ pendapatan akibat kerusakan}) \times Rata - rata \text{ waktu penggantian}] + biaya \text{ pembelian suku cadang komponen}$

Biaya perawatan terencana merupakan biaya yang terjadi karena adanya perawatan terencana yang dijadwalkan perusahaan. Dalam perhitungan ini biaya kehilangan pendapatan akibat kerusakan tidak dimasukkan jadi :

$C_p = (Biaya \text{ tenaga kerja} \times Rata - rata \text{ waktu penggantian}) + biaya \text{ pembelian suku cadang komponen}$

Sedangkan total biaya pemeliharaan dari suatu komponen untuk kurun/ jangka waktu tertentu adalah (Lewis,1987):

$$C = ((1-R(t)) \times C_f) + (R(t) \times C_p) \quad (2.24)$$

Dimana :

C = Total biaya pemeliharaan

$R(t)$ = keandalan system dalam kurun waktu t

C_f = Biaya yang timbul akibat kerusakan mendadak

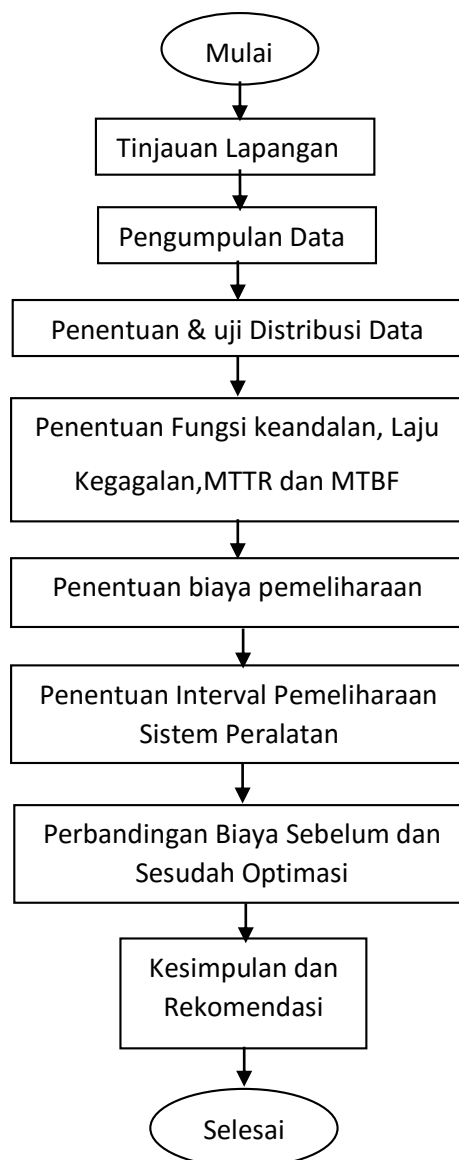
C_p = Biaya perawatan terencana

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dibahas tentang proses langkah – langkah secara terperinci untuk melaksanakan proses penelitian yang dapat dipahami dan diikuti pihak lain secara sistematis. Metodologi penelitian ini merupakan gambaran bagaimana penelitian ini akan dikerjakan dan sebagai gambaran umum penelitian ini. Langkah – langkah untuk penelitian kali ini mengikuti diagram yang ditampilkan pada gambar 3.1 :



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

3.1 TINJAUAN LAPANGAN

Tinjauan lapangan dilakukan di PT PJB UP Gresik. Tinjauan lapangan diperlukan untuk mendapatkan data – data yang diperlukan guna kepentingan penelitian. Dari tinjauan lapangan didapatkan data penelitian, brainstorming dengan manajemen perusahaan guna menentukan syarat – syarat yang digunakan untuk pengerjaan penelitian dan pemahaman mendetail tentang plant dan peralatan yang nantinya akan digunakan dalam penelitian ini. Tinjauan lapangan dilakukan di site PLTGU yaitu di HRSG plant lebih tepatnya di *drum level HP Main system*.

3.2 PENGUMPULAN DATA

Dalam hal ini, data yang digunakan adalah data kegagalan per tahun *control valve HP Main Level Drum HRSG* dan masing – masing komponen yang menyusun *control valve* tersebut. Data tersebut digunakan sebagai dasar analisis keandalan yang akan diteliti dalam penelitian ini. Sumber data yang dikumpulkan adalah sebagai berikut :

- Data umum perusahaan dari pihak manajemen
- Data operasional PLTGU perusahaan
- Data *Downtime Control valve HP Main Level Drum HRSG PLTGU* yang didapat dari bagian perencanaan dan pengendalian PLTGU UP Gresik yang berupa riwayat kegagalan *Control valve* dari tahun 2005 hingga akhir tahun 2017.
- Data Lama waktu yang diperlukan untuk pemeliharaan *Control valve* dari tahun 2012 hingga akhir tahun 2017.
- Data kerugian perusahaan akibat *Downtime Control valve HP Main Level Drum HRSG PLTGU* trip.
- Data biaya Pemeliharaan *Downtime Control valve HP Main Level Drum HRSG PLTGU*

3.3 PENENTUAN DAN UJI DISTRIBUSI

Dalam hal ini digunakan untuk menentukan distribusi yang cocok dengan data kegagalan yang sudah didapatkan dari hasil pengumpulan data. Untuk menguji distribusi dari data tersebut digunakan bantuan *software Weibull++*. Uji distribusi ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan fungsi keandalan, laju kegagalan dan MTBF *system Control valve HP Main Steam Drum HRSG PLTGU*.

3.4 PENENTUAN FUNGSI KEANDALAN, LAJU KEGAGALAN, MTTR DAN MTBF

Penentuan fungsi keandalan, laju kegagalan dan MTBF didapatkan dari data kegagalan yang telah diuji data distribusinya. Fungsi keandalan, laju kegagalan dan MTBF setiap komponen *control valve* bisa berbeda beda sesuai dengan type distribusi yang ditentukan menggunakan *software Weibull++*. Penentuan fungsi keandalan, laju kegagalan, MTTR dan MTBF nantinya akan digunakan untuk penentuan interval yang optimal untuk pemeliharaan *control valve HP Main Level Steam Drum HRSG PLTGU*.

3.5. PENENTUAN BIAYA PEMELIHARAAN SISTEM PERALATAN

Untuk menentukan biaya pemeliharaan system peralatan Control Valve HP Main Level Steam Drum HRSG PLTGU dalam penelitian ini digunakan data kerugian akibat *Downtime Control valve HP Main Level Drum HRSG PLTGU* dan data biaya pemeliharaan *Control valve HP Main Level Drum HRSG PLTGU* dengan Mengikuti Persamaan (2.24). Hasil dari total biaya ini digunakan untuk menentukan Interval Pemeliharaan *Control Valve*.

3.6 PENENTUAN INTERVAL PEMELIHARAAN SISTEM PERALATAN

Untuk menentukan interval pemeliharaan sistem peralatan *control valve HP Main Level Steam Drum HRSG PLTGU* dalam penelitian ini digunakan program nonlinier yang digunakan untuk menentukan keandalan optimal tiap – tiap komponen penyusun *control valve HP Main Level Steam Drum HRSG PLTGU*. Program nonlinier mengikuti persamaan (2.22) yang telah dijelaskan sebelumnya. Untuk menentukan interval pemeliharaan yang optimal untuk *Control Valve* dan

komponen penyusunnya digunakan bantuan *software Lingo* sebagai tool pembantu penyelesaian *program nonlinier*.

3.7 PERBANDINGAN BIAYA PEMELIHARAAN SEBELUM DAN SESUDAH OPTIMASI

Dalam suatu penelitian pastinya kita mengharapkan hasil yang lebih baik untuk objek yang kita teliti. Dalam penelitian ini perbandingan biaya pemeliharaan sebelum dan sesudah optimasi interval pemeliharaan digunakan sebagai indikator keberhasilan penelitian dimana seharusnya biaya sesudah optimasi lebih rendah dari sebelum optimasi keandalan. Data yang digunakan disini adalah data biaya komponen subsistem, biaya tenaga kerja dan biaya kerugian kehilangan pendapatan dan dicari menggunakan persamaan (2.24)

BAB 4

ANALISIS KEANDALAN

Dalam bab ini dilakukan analisis keandalan untuk menentukan keandalan dari tiap – tiap sub komponen *Control Valve HP Main Level Steam Drum* PLTGU PT PJB UP Gresik. Analisis keandalan dilakukan dengan bantuan program *Weibull++*. Data yang digunakan adalah data TBF dan TTR subkomponen *Control Valve HP Main Level Steam Drum* PLTGU PT PJB UP Gresik.

4.1 ANALISIS KEANDALAN SUBKOMPONEN *PLUG+CAGE*

Plug merupakan salah satu komponen CV yang berguna untuk menutup dan membuka aliran Fluida dari CV. Untuk mengukur keandalan dari subkomponen plug digunakan data TBF dan TTR *Plug + Cage* yang sudah direkap di **tabel 4.1** dan **tabel 4.2** berikut :

Tabel 4.1 TBF Subkomponen *Plug+Cage*

Data No.	TBF (Jam)	Data No.	TBF (Jam)
1	17784	11	15984
2	8136	12	4104
3	10392	13	11304
4	7896	14	7872
5	9432		
6	3168		
7	2568		
8	96		
9	13944		
10	18216		

Tabel 4.2 TTR Subkomponen *Plug+ Cage*

Data No.	TTR (Jam)	Data No.	TTR (Jam)
1	6	11	6
2	6	12	6
3	12	13	12
4	6	14	6
5	42	15	12
6	6		
7	12		
8	6		
9	12		
10	6		

Dari **tabel 4.1** diatas langkah selanjutnya adalah menentukan distribusi yang sesuai untuk data . Langkah – langkah untuk pemlilihan distribusi dengan bantuan program *Weibull++* adalah sebagai berikut :

- Data TBF dari subkomponen kita input ke software *Weibull ++* untuk pengujian
- Program *Weibull++* akan melakukan 3 pengujian yaitu AVGOV, AVPLOT dan LKV yang masing – masing punya fungsinya sendiri dalam penentuan distribusi
- Hasil dari running program tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah. Software akan meranking distribusi yang sesuai dengan data kita.

Tabel 4.3 Penentuan Distribusi dari data *Plug + Cage*

DISTRIBUTION	AVGOV	AVPLOT	LKV	RANGKING
EXPONENTIAL 1	83,728787	11,5777959	-142,1112	5
EXPONENTIAL 2	83,1691117	11,4729969	-141,96072	3
NORMAL	0,00099156	3,6585791	-140,53941	1
LOGNORMAL	71,1967656	9,64286144	-145,92816	4
WEIBULL 2	37,562283	7,70577005	-142,47785	2
WEIBULL 3	1,2890672	2,88985803	-140,46293	1

- Dari **tabel 4.3** dapat dilihat bahwa distribusi weibull 3 parameter menempati urutan pertama dalam perankingan distribusi. Karena itu kita memilih distribusi WEIBULL 3 sebagai distribusi keandalan.
- Terlihat bahwa ada kesamaan rangking kegagalan subkomponen *Plug + Cage* yaitu *NORMAL* dan *WEIBULL 3*. Dalam hal ini yang distribusi yang dipilih adalah distribusi *WEIBULL 3* karena distribusi WEIBULL lebih umum digunakan pada analisa keandalan. Ketika kita memakai distribusi WEIBULL untuk analisa keandalan, parameter untuk keandalan seperti failure rate, PDF dan lain –lain dapat diketahui secara akurat.
- Langkah selanjutnya adalah penentuan parameter distribusi *WEIBULL 3* untuk mencari keandalan, laju kerusakan dan MTBF subkomponen. Dalam hal ini digunakan software *Weibull++* untuk mencari parameter dari distribusi *WEIBULL 3*. Parameter yang didapat adalah sebagai berikut :

$$\beta = 2,0226$$

$$\eta = 14120$$

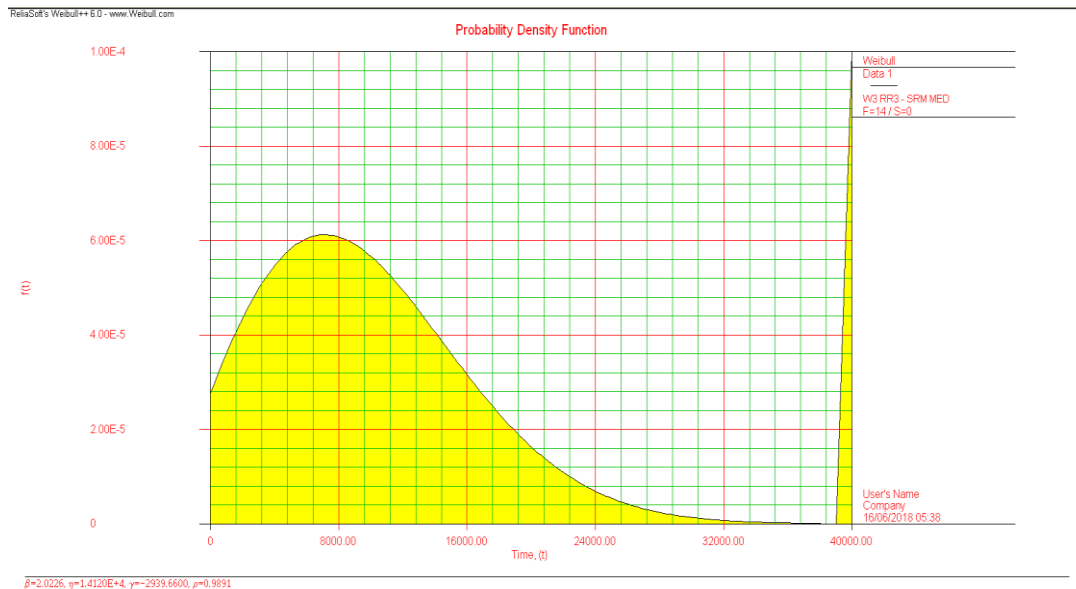
$$Y = -2939,66$$

- Perlu dijadikan perhatian khusus ketika parameter Y bernilai minus, lebih baik ntuk nilai $Y = 0$. Atau dengan kata lain distribusi yang kita gunakan adalah sama dengan distribusi WEIBULL 2
- Dengan distribusi dan parameter – parameter yang telah ditentukan dengan bantuan program *Weibull++* kita menggunakan persamaan (2.9), Persamaan (2.10) , Persamaan (2.3) dan persamaan (2.11),dengan asumsi $t = 8760$ jam kita bisa menentukan keandalan, laju kerusakan, MTBF dan MTTR dari sub komponen *Plug+Cage* yang direkap di **tabel 4.4** berikut :

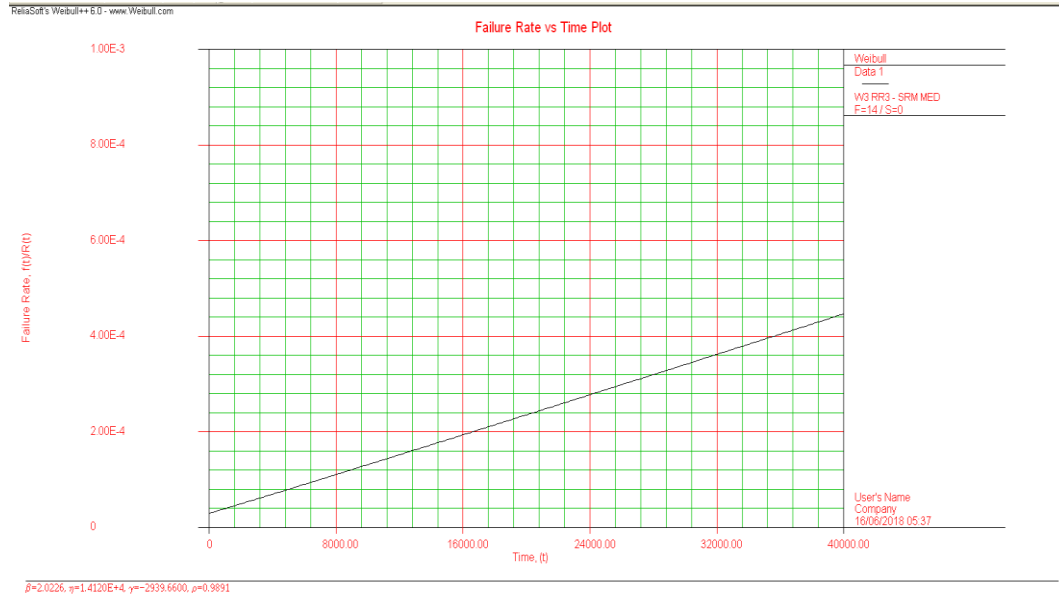
Tabel 4.4 Laju Kegagalan, MTBF, MTTR, Keandalan *Plug +Cage*

t	β	η	Υ	Laju Kegagalan	MTBF	MTTR	R(t)
8760	2,0226	14120	0	0.000088	12511.16	10.4	0.68

Untuk memperkuat analisa tentang keandalan subkomponen *PLUG+CAGE*, maka diperlukan plot grafik *PDF* dan *Failure rate* dari subkomponen. **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2** berturut turut merupakan hasil plot PDF dan Failure Rate subkomponen *PLUG + Cage*



Gambar 4.1 PDF Plot Subkomponen *Plug + Cage*



Gambar 4.2 Failure Rate Plot Subkomponen Plug+Cage

Dari hasil plot grafik *failure rate* subkomponen *Plug+Cage* dapat terlihat terjadi kenaikan dari waktu ke waktu. Dapat disimpulkan kemungkinan menurunnya keandalan dari subkomponen *Plug+Cage* dikarenakan telah masuk Fase *Wear Out* dalam kurva laju kegagalan.

4.2 ANALISIS KEANDALAN SUBKOMPONEN MEMBRAN AKTUATOR

Membran Aktuator merupakan salah satu komponen CV yang berguna untuk mendorong stem aktuatur dari CV yang nantinya akan menggerakkan CV tersebut. Untuk mengukur keandalan dari subkomponen *Membran Aktuator* digunakan data TBF dan TTR Membran yang sudah direkap di **tabel 4.5** dan tabel 4.6 berikut :

Tabel 4.5 TBF Subkomponen *Membran Aktuator*

Data No.	TBF (Jam)
1	15000
2	14016
3	4872
4	33528
5	39312

Tabel 4.6 TTR Subkomponen *Membran Aktuator*

Data No.	TTR (Jam)
1	3
2	12
3	3
4	3
5	3
6	3

Dari **tabel 4.5** diatas langkah selanjutnya adalah menentukan distribusi yang sesuai untuk data . Langkah – langkah untuk pemlilihan distribusi dengan bantuan program *Weibull++* adalah sebagai berikut :

- Data TBF dari subkomponen kita input ke software *Weibull ++* untuk pengujian
- Program *Weibull++* akan melakukan 3 pengujian yaitu AVGOV, AVPLOT dan LKV yang masing – masing punya fungsinya sendiri dalam penentuan distribusi
- Hasil dari running program tersebut dapat dilihat pada **tabel 4.7** dibawah. Software akan meranking distribusi yang sesuai dengan data kita.

Tabel 4.7 Penentuan Distribusi dari data *Membran Aktuator*

DISTRIBUTION	AVGOV	AVPLOT	LKV	RANGKING
EXPONENTIAL 1	0,12171101	7,32624822	-54,845218	5
EXPONENTIAL 2	0,0023939	8,2269878	-53,580519	3
NORMAL	0,08488	5,560345	-54,63148	4
LOGNORMAL	9,2624E-06	6,66481724	-54,474917	3
WEIBULL 2	9,9997E-11	5,81872119	-54,307576	1
WEIBULL 3	7,239E-08	5,58468852	-54,425142	2

- Dari **tabel 4.7** dapat dilihat bahwa distribusi weibull 2 parameter menempati urutan pertama dalam perankingan distribusi. Karena itu kita memilih distribusi WEIBULL 2 sebagai distribusi keandalan.
- Langkah selanjutnya adalah penentuan parameter distribusi *WEIBULL 2* untuk mencari keandalan, laju kerusakan dan MTBF subkomponen. Dalam hal ini digunakan software *Weibull++* untuk mencari parameter dari distribusi *WEIBULL 2*. Parameter yang didapat adalah sebagai berikut :

$$\beta = 1,2783$$

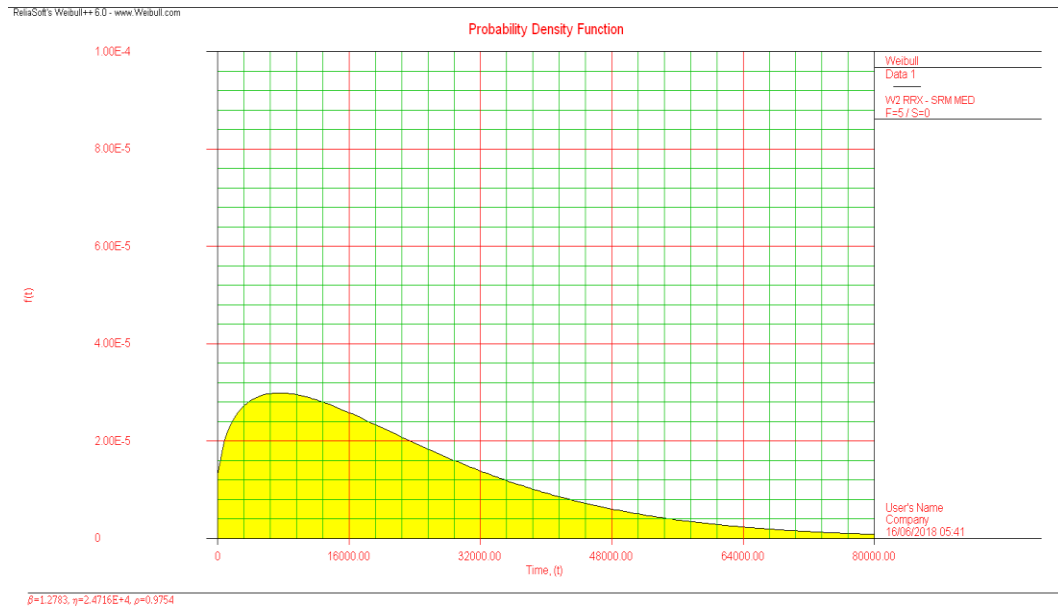
$$\eta = 24716$$

- Dengan distribusi dan parameter – parameter yang telah ditentukan dengan bantuan program *Weibull++* kita menggunakan persamaan (2.9), Persamaan (2.10) , Persamaan (2.3) dan persamaan (2.11),dengan asumsi $t = 8760$ jam kita bisa menentukan keandalan, laju kerusakan, MTBF dan MTTR dari sub komponen *Membrane Aktuator* yang direkap di **tabel 4.4** berikut :

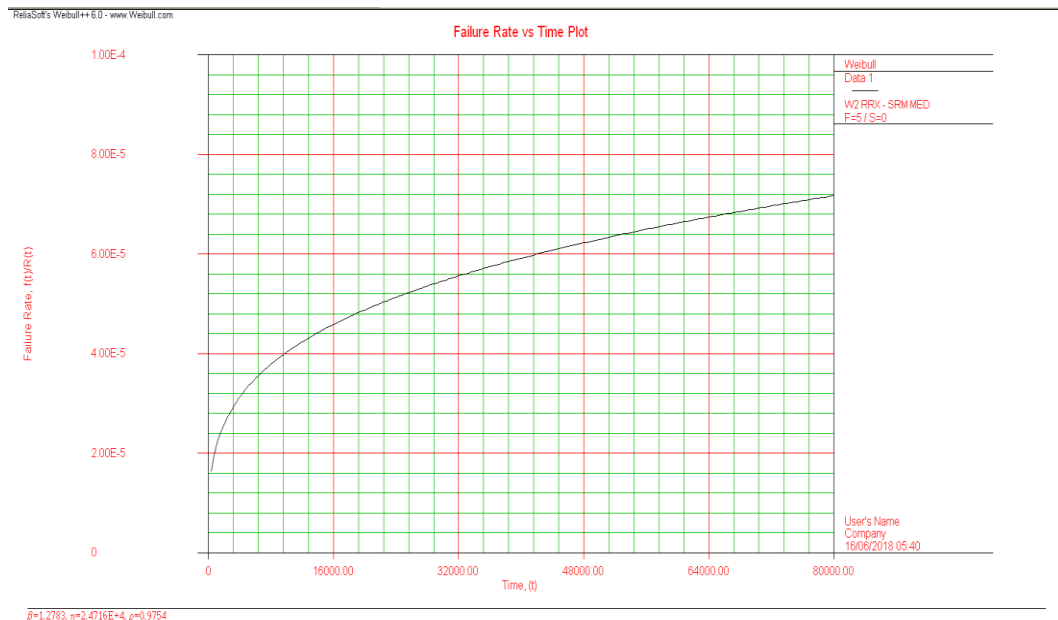
Tabel 4.8 Laju Kegagalan, MTBF,MTTR,Keandalan *Membrane Aktuator*

t	β	η	Laju Kegagalan	MTBF	MTTR	R(t)
8760	1,2783	24716	0,000039	22906,84	4,5	0,77

Untuk memperkuat analisa tentang keandalan subkomponen *Membrane Aktuator*, maka diperlukan plot grafik *PDF* dan *Failure rate* dari subkomponen. **Gambar 4.3** dan **Gambar 4.4** berturut turut merupakan hasil plot *PDF* dan *Failure Rate* subkomponen *Membrane Aktuator*.



Gambar 4.3 PDF Plot Subkomponen *Membrane Aktuator*



Gambar 4.4 Failure Rate Plot Subkomponen *Membrane Aktuator*

Dari hasil plot grafik *failure rate* subkomponen *Membrane Aktuator* dapat terlihat terjadi kenaikan dari waktu ke waktu. Dapat disimpulkan kemungkinan

menurunnya keandalan dari subkomponen *Membrane Aktuator* dikarenakan telah masuk Fase *Wear Out* dalam kurva laju kegagalan.

4.3 ANALISIS KEANDALAN SUBKOMPONEN *REGULATOR*

Regulator merupakan salah satu komponen CV yang berguna untuk mengatur udara supply yang dibutuhkan untuk menggerakkan CV. Untuk mengukur keandalan dari subkomponen *Regulator* digunakan data TBF dan TTR *Regulator* yang sudah direkap di **tabel 4.9** dan tabel **4.10** berikut :

Tabel 4.9 TBF Subkomponen *Regulator*

Data No.	TBF (Jam)	Data No.	TBF (Jam)
1	5400	11	4296
2	8568	12	9744
3	6600	13	8520
4	2616	14	9696
5	9960	15	12840
6	8568	16	7248
7	6192	17	19176
8	2472		
9	8664		
10	5736		

Tabel 4.10 TTR Subkomponen *Regulator*

Data No.	TTR (Jam)	Data No.	TTR (Jam)
1	21	11	3
2	3	12	3
3	3	13	3
4	18	14	3
5	3	15	3
6	3	16	3
7	3	17	3
8	9	18	3
9	3		
10	3		

Dari **tabel 4.9** diatas langkah selanjutnya adalah menentukan distribusi yang sesuai untuk data . Langkah – langkah untuk pemlilihan distribusi dengan bantuan program *Weibull++* adalah sebagai berikut :

- Data TBF dari subkomponen kita input ke software *Weibull ++* untuk pengujian
- Program *Weibull++* akan melakukan 3 pengujian yaitu AVGOV, AVPLOT dan LKV yang masing – masing punya fungsinya sendiri dalam penentuan distribusi
- Hasil dari running program tersebut dapat dilihat pada **tabel 4.11** dibawah. Software akan meranking distribusi yang sesuai dengan data kita.

Tabel 4.11 Penentuan Distribusi dari data *Regulator*

DISTRIBUTION	AVGOV	AVPLOT	LKV	RANGKING
EXPONENTIAL 1	97,4808023	17,5328122	-170,15674	6
EXPONENTIAL 2	66,4304061	10,5146576	-163,59635	5
NORMAL	23,8436146	4,62372469	-164,42841	4
LOGNORMAL	8,75071479	5,57506531	-163,31788	2
WEIBULL 2	8,5533387	4,06033653	-163,43394	1
WEIBULL 3	16,7123339	4,32897846	-163,70985	2

- Dari **tabel 4.7** dapat dilihat bahwa distribusi weibull 2 parameter menempati urutan pertama dalam perankingan distribusi. Karena itu kita memilih distribusi WEIBULL 2 sebagai distribusi keandalan.
- Langkah selanjutnya adalah penentuan parameter distribusi *WEIBULL 2* untuk mencari keandalan, laju kerusakan dan MTBF subkomponen. Dalam hal ini digunakan software *Weibull++* untuk mencari parameter dari distribusi *WEIBULL 2*. Parameter yang didapat adalah sebagai berikut :

$$\beta = 2,3027$$

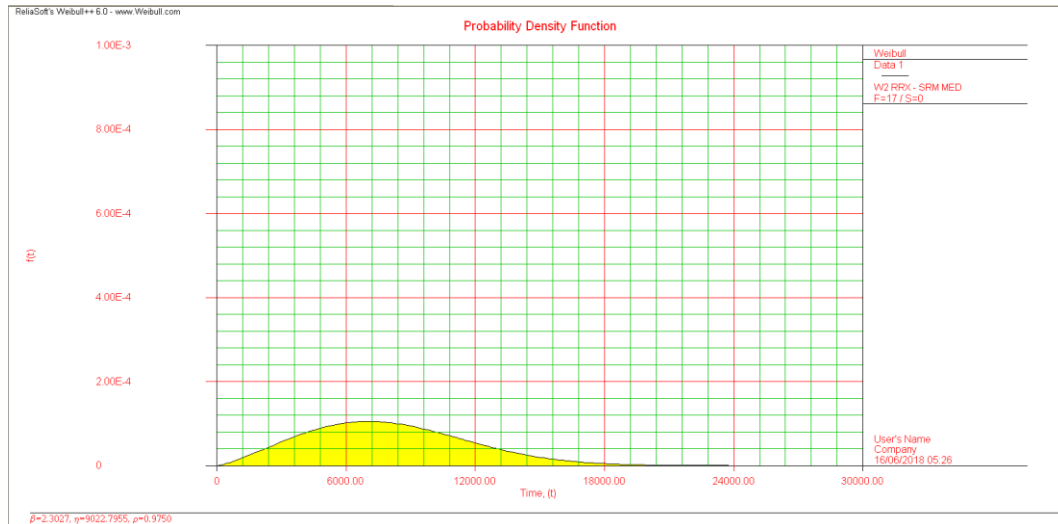
$$\eta = 9022,7955$$

- Dengan distribusi dan parameter – parameter yang telah ditentukan dengan bantuan program *Weibull++* kita menggunakan persamaan (2.9), Persamaan (2.10) , Persamaan (2.3) dan persamaan (2.11), dengan asumsi $t = 8760$ jam kita bisa menentukan keandalan, laju kerusakan, MTBF dan MTTR dari sub komponen *Regulator* yang direkap di **tabel 4.4** berikut :

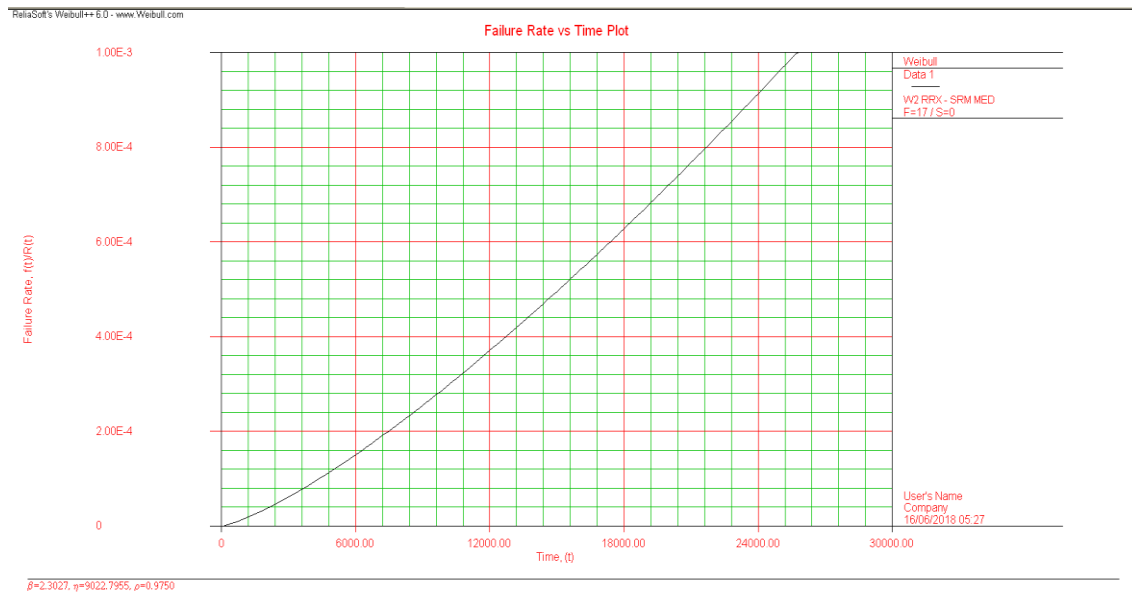
Tabel 4.12 Laju Kegagalan, MTBF, MTTR, Keandalan *regulator*

t	β	η	Laju Kegagalan	MTBF	MTTR	R(t)
8760	2,3027	9022,8	0,00025	7993,54	5,17	0,39

Untuk memperkuat analisa tentang keandalan subkomponen *Regulator*, maka diperlukan plot grafik *PDF* dan *Failure rate* dari subkomponen. **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** berturut turut merupakan hasil plot *PDF* dan *Failure Rate* subkomponen *Regulator*.



Gambar 4.5 *PDF Plot Subkomponen Regulator*



Gambar 4.6 *Failure Rate Plot Subkomponen Regulator*

Dari hasil plot grafik *failure rate* subkomponen *Regulator* dapat terlihat terjadi kenaikan dari waktu ke waktu. Dapat disimpulkan kemungkinan menurunnya keandalan dari subkomponen *Regulator* dikarenakan telah masuk Fase *Wear Out* dalam kurva laju kegagalan.

4.4 ANALISIS KEANDALAN SUBKOMPONEN *BOOSTER RELAY*

Booster Relay merupakan salah satu komponen CV yang berguna untuk penambah tekanan udara supply yang dibutuhkan untuk menggerakkan CV. Untuk mengukur keandalan dari subkomponen Regulator digunakan data TBF dan TTR *Booster Relay* yang sudah direkap di **tabel 4.13** dan tabel **4.14** berikut :

Tabel 4.13 TBF Subkomponen *Booster Relay*

Data No.	TBF (Jam)	Data No.	TBF (Jam)
1	8736	11	10632
2	9744	12	9072
3	9024	13	9480
4	2544	14	9840
5	15600		
6	9216		
7	10920		
8	17136		
9	9576		
10	888		

Tabel 4.14 TTR Subkomponen *Booster Relay*

Data No.	TTR (Jam)	Data No.	TTR (Jam)
1	3	11	3
2	3	12	3
3	3	13	3
4	3	14	3
5	3	15	3
6	3		
7	3		
8	3		
9	3		
10	3		

Dari **tabel 4.13** diatas langkah selanjutnya adalah menentukan distribusi yang sesuai untuk data . Langkah – langkah untuk pemilihan distribusi dengan bantuan program *Weibull++* adalah sebagai berikut :

- Data TBF dari subkomponen kita input ke software *Weibull ++* untuk pengujian
- Program *Weibull++* akan melakukan 3 pengujian yaitu AVGOV, AVPLOT dan LKV yang masing – masing punya fungsinya sendiri dalam penentuan distribusi
- Hasil dari running program tersebut dapat dilihat pada **tabel 4.15** dibawah. Software akan meranking distribusi yang sesuai dengan data kita.

Tabel 4.15 Penentuan Distribusi dari data *Booster Relay*

DISTRIBUTION	AVGOV	AVPLOT	LKV	RANGKING
EXPONENTIAL 1	99,90506	18,7665987	-142,59984	6
EXPONENTIAL 2	99,869788	17,5041943	-141,13183	5
NORMAL	66,6115996	10,0909352	-135,94134	2
LOGNORMAL	96,8944067	13,2279699	-141,47489	4
WEIBULL 2	89,3893271	11,5686673	-137,92223	3
WEIBULL 3	60,8141153	9,82244867	-136,4281	1

- Dari **tabel 4.3** dapat dilihat bahwa distribusi weibull 3 parameter menempati urutan pertama dalam perankingan distribusi. Karena itu kita memilih distribusi WEIBULL 3 sebagai distribusi keandalan.
- Langkah selanjutnya adalah penentuan parameter distribusi *WEIBULL 3* untuk mencari keandalan, laju kerusakan dan MTBF subkomponen. Dalam hal ini digunakan software *Weibull++* untuk mencari parameter dari distribusi *WEIBULL 3*. Parameter yang didapat adalah sebagai berikut :

$$\beta = 5,1616$$

$$\eta = 23881$$

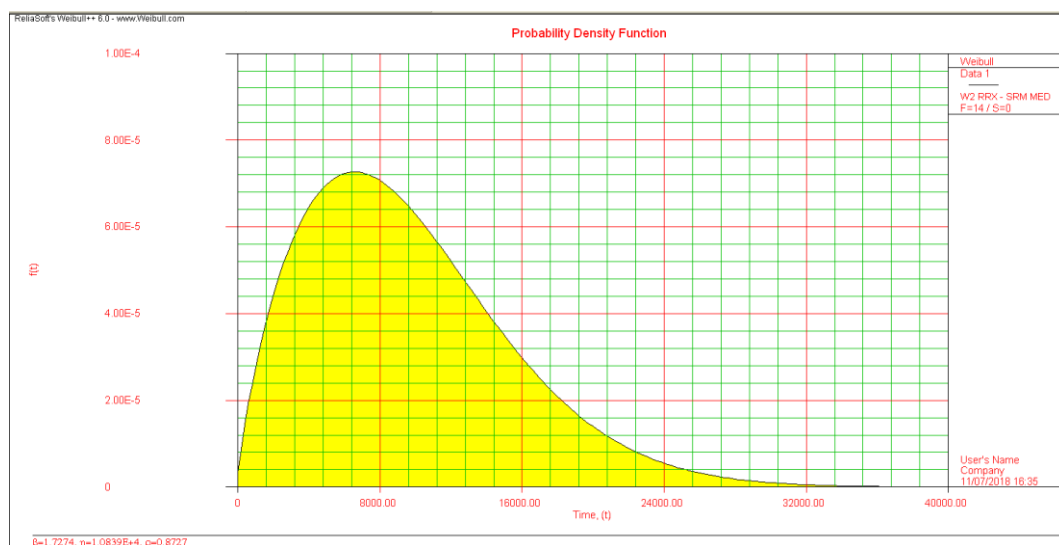
$$\gamma = -12467$$

- Perlu dijadikan perhatian khusus ketika parameter γ bernilai minus, lebih baik ntuk nilai $\gamma = 0$. Atau dengan kata lain distribusi yang kita gunakan adalah sama dengan distribusi WEIBULL 2
- Dengan distribusi dan parameter – parameter yang telah ditentukan dengan bantuan program *Weibull++* kita menggunakan persamaan (2.9), Persamaan (2.10) , Persamaan (2.3) dan persamaan (2.11),dengan asumsi $t = 8760$ jam kita bisa menentukan keandalan, laju kerusakan, MTBF dan MTTR dari sub komponen *Booster Relay* yang direkap di **tabel 4.16** berikut :

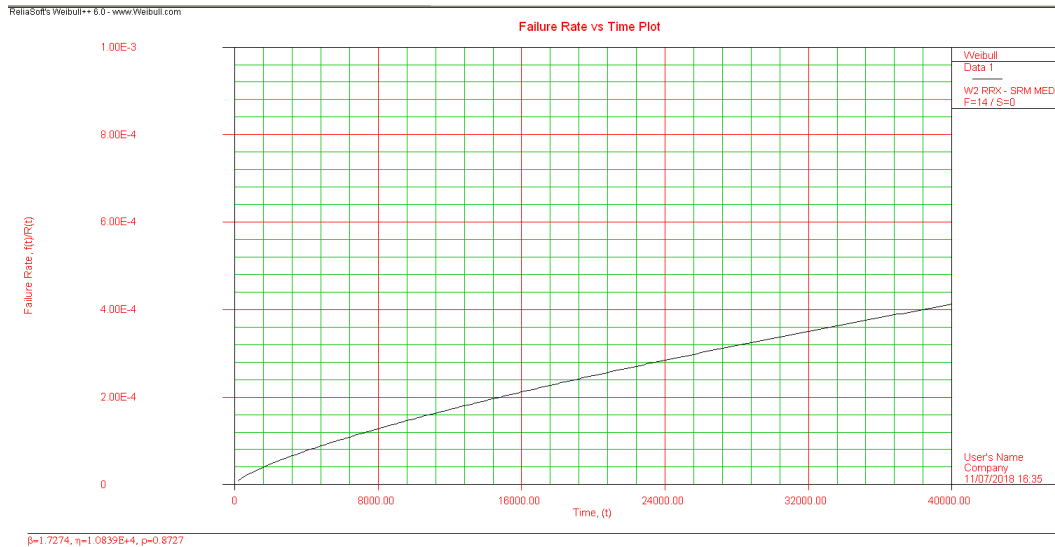
Tabel 4.16 Laju Kegagalan, MTBF, MTTR, Keandalan *Booster Relay*

t	β	η	γ	Laju Kegagalan	MTBF	MTTR	R(t)
8760	5.1616	23881	0	0.00014	9660.95	3	0.50

Untuk memperkuat analisa tentang keandalan subkomponen *Booster Relay*, maka diperlukan plot grafik *PDF* dan *Failure rate* dari subkomponen. **Gambar 4.7** dan **Gambar 4.8** berturut turut merupakan hasil plot *PDF* dan *Failure Rate* subkomponen *Booster Relay*.



Gambar 4.7 *PDF Plot* Subkomponen *Booster Relay*



Gambar 4.8 *Failure Rate Plot* Subkomponen *Booster Relay*

Dari hasil plot grafik *failure rate* subkomponen *Booster Relay* dapat terlihat terjadi kenaikan dari waktu ke waktu. Dapat disimpulkan kemungkinan menurunnya keandalan dari subkomponen *Booster Relay* dikarenakan telah masuk Fase *Wear Out* dalam kurva laju kegagalan.

4. 5 ANALISIS KEANDALAN SUBKOMPONEN *POSITIONER*

Positioner merupakan salah satu komponen CV yang berguna untuk mengubah sinyal mA menjadi Tekanan udara yang nantinya akan berguna untuk menentukan berapa besar bukaan dari CV tersebut. Untuk mengukur keandalan dari subkomponen Positoner digunakan data TBF dan TTR *Positioner* yang sudah direkap di **tabel 4.17** dan **tabel 4.18** berikut :

Tabel 4.17 TBF Subkomponen *Positioner*

Data No.	TBF (Jam)	Data No.	TBF (Jam)
1	18744	11	9336
2	8064	12	144
3	6864	13	8520
4	5064	14	5568
5	2040	15	816
6	7128	16	12888
7	10320	17	7320
8	3192	18	2832
9	2760	19	1176
10	24216	20	120

Tabel 4.18 TTR Subkomponen *Positioner*

Data No.	TTR (Jam)	Data No.	TTR (Jam)	Data No.	TTR (Jam)
1	6	11	6	21	6
2	6	12	6	22	6
3	6	13	60		
4	6	14	6		
5	6	15	6		
6	6	16	6		
7	6	17	6		
8	6	18	6		
9	42	19	6		
10	6	20	18		

Dari **tabel 4.17** diatas langkah selanjutnya adalah menentukan distribusi yang sesuai untuk data . Langkah – langkah untuk pemlilihan distribusi dengan bantuan program *Weibull++* adalah sebagai berikut :

- Data TBF dari subkomponen kita input ke software *Weibull ++* untuk pengujian

- Program Weibull++ akan melakukan 3 pengujian yaitu AVGOV, AVPLOT dan LKV yang masing – masing punya fungsinya sendiri dalam penentuan distribusi
- Hasil dari running program tersebut dapat dilihat pada **tabel 4.19** dibawah. Software akan meranking distribusi yang sesuai dengan data kita.

Tabel 4.19 Penentuan Distribusi dari data *Positioner*

DISTRIBUTION	AVGOV	AVPLOT	LKV	RANGKING
EXPONENTIAL 1	1,21679036	3,54557851	-196,66498	2
EXPONENTIAL 2	0,85841906	3,73917473	-196,31693	1
NORMAL	5,40621456	6,11426918	-202,58098	4
LOGNORMAL	33,1109181	7,0452239	-199,70879	5
WEIBULL 2	1,3982252	4,56149059	-197,23598	3
WEIBULL 3	0,05310317	3,08289108	-197,46998	1

- Dari **tabel 4.3** dapat dilihat bahwa distribusi weibull 3 parameter menempati urutan pertama dalam perankingan distribusi. Karena itu kita memilih distribusi WEIBULL 3 sebagai distribusi keandalan.
- Terlihat bahwa ada kesamaan ranking kegagalan subkomponen *Positioner* yaitu *EXPONENTIAL 2* dan *WEIBULL 3*. Dalam hal ini yang distribusi yang dipilih adalah distribusi *WEIBULL 3* karena distribusi WEIBULL lebih umum digunakan pada analisa keandalan. Ketika kita memakai distribusi WEIBULL untuk analisa keandalan, parameter untuk keandalan seperti failure rate, PDF dan lain –lain dapat diketahui secara akurat.
- Langkah selanjutnya adalah penentuan parameter distribusi *WEIBULL 3* untuk mencari keandalan, laju kerusakan dan MTBF subkomponen. Dalam hal ini digunakan software *Weibull++* untuk mencari parameter dari distribusi *WEIBULL 3*. Parameter yang didapat adalah sebagai berikut :

$$\beta = 1,0592$$

$$\eta = 7781,8799$$

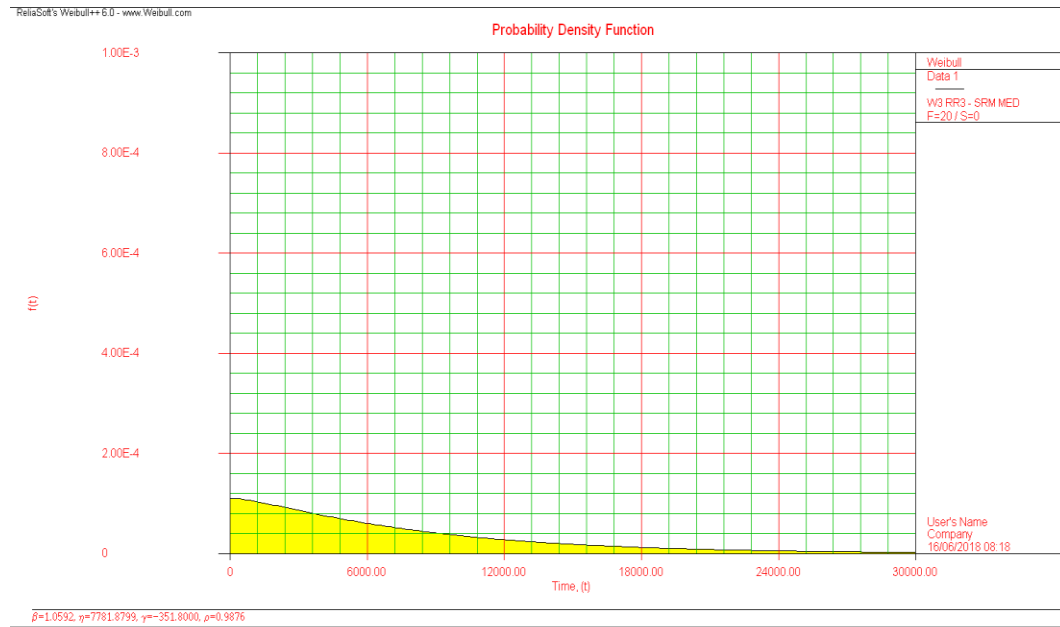
$$\Upsilon = -351,8$$

- Perlu dijadikan perhatian khusus ketika parameter Υ bernilai minus, lebih baik ntuk nilai $\Upsilon = 0$. Atau dengan kata lain distribusi yang kita gunakan adalah sama dengan distribusi WEIBULL 2
- Dengan distribusi dan parameter – parameter yang telah ditentukan dengan bantuan program *Weibull++* kita menggunakan persamaan (2.9), Persamaan (2.10) , Persamaan (2.3) dan persamaan (2.11),dengan asumsi $t = 8760$ jam kita bisa menentukan keandalan, laju kerusakan, MTBF dan MTTR dari sub komponen *Positioner* yang direkap di **tabel 4.20** berikut :

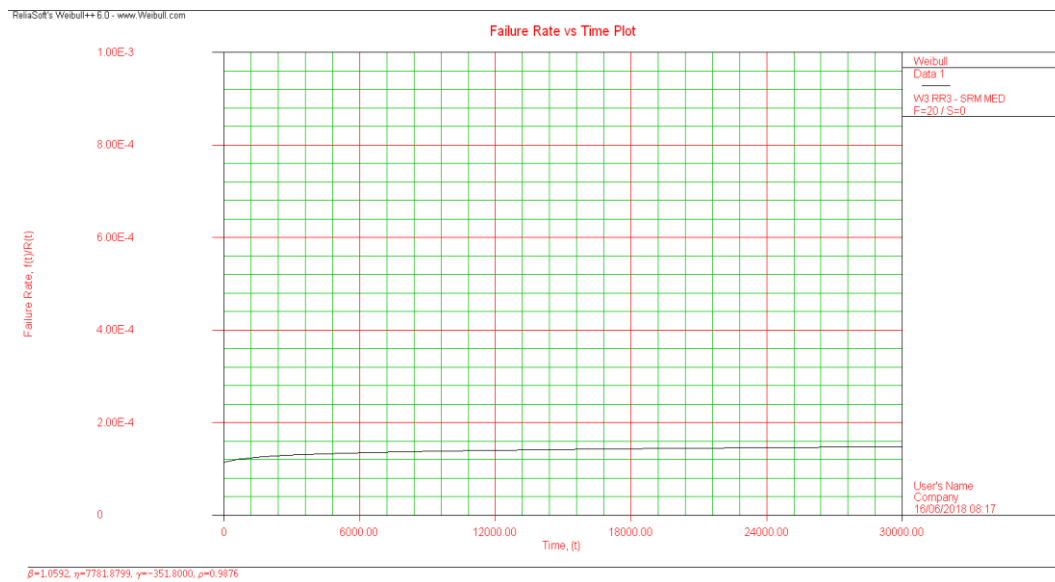
Tabel 4.20 Laju Kegagalan, MTBF,MTTR,Keandalan *Positioner*

t	β	η	Υ	Laju Kegagalan	MTBF	MTTR	R(t)
8760	1,0592	7781,88	0	0.000137	7607.90	10.63	0.32

Untuk memperkuat analisa tentang keandalan subkomponen *Positioner*, maka diperlukan plot grafik *PDF* dan *Failure rate* dari subkomponen. **Gambar 4.9** dan **Gambar 4.10** berturut turut merupakan hasil plot *PDF* dan *Failure Rate* subkomponen *Positioner*.



Gambar 4.9 *PDF Plot Subkomponen Positioner*



Gambar 4.10 *Failure Rate Plot Subkomponen Positioner*

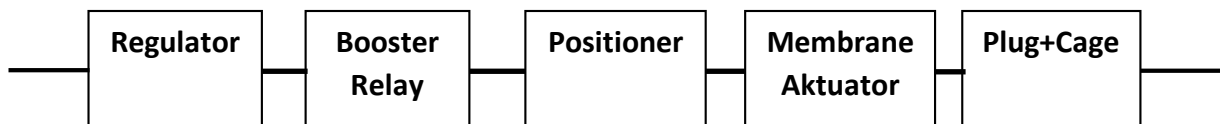
Dari hasil plot grafik *failure rate* subkomponen *Positioner* dapat terlihat terjadi kenaikan dari waktu ke waktu. Dapat disimpulkan kemungkinan menurunnya keandalan dari subkomponen *Positioner* dikarenakan telah masuk Fase *Wear Out* dalam kurva laju kegagalan.

4.6 ANALISIS KEANDALAN CONTROL VALVE HP MAIN LEVEL STEAM DRUM HRSG PLTGU

Dari data keandalan subkomponen *control valve* yang sudah didapatkan diatas kita bisa menentukan keandalan dari *control valve HP Main Level Steam Drum HRSG PLTGU*. Sedangkan untuk prinsip kerja CV Level Drum adalah sebagai berikut

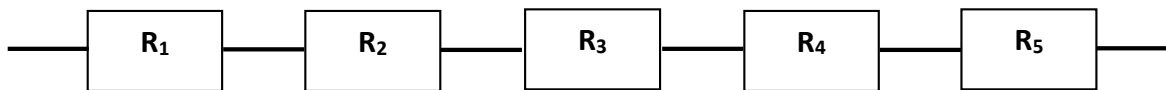
1. Udara supply untuk CV diatur melalui subkomponen Regulator sesuai dengan setingan tekanan kerja CV
2. Udara supply Diperkuat oleh Subkomponen Booster Relay sehingga cukup untuk menggerakkan CV
3. Berikutnya udara supply diatur oleh Subkomponen Positioner sehingga dapat diatur lama udara supply masuk ke membrane CV sehingga ber efek pada pembukaan CV
4. Udara supply yang sudah diatur oleh positioner menekan membrane aktuator sehingga CV dapat membuka sesuai dengan perintah
5. Membrane actuator tersambung dengan Stem yang dikopling dengan subkomponen Plug+Cage yang gunanya membuka dan menutup aliran air yang akan masuk ke Drum

Setelah mengetahui prinsip kerja dari CV maka dapat digambarkan Reliability Block Diagram (RBD) Seperti **gambar 4.11** berikut ini :



Gambar 4.11 Reliability Block Diagram CV HP Main

Karena ketika salah satu komponen saja gagal bekerja, *control valve* juga akan gagal bekerja, keandalan *Control Valve* ini mengikuti Reliability System seri yang rumus keandalannya mengikuti persamaan (2.20). Sedangkan System keandalannya dapat digambarkan sebagai system seri yang dapat dilihat pada **Gambar 4.12**



Gambar 4.12 Permodelan Keandalan *Control Valve HRSG*

Dari gambar diatas ditunjukkan System keandalan CV dimana R_1 merupakan keandalan subkomponen *Regulator*, R_2 merupakan keandalan subkomponen *Booster Relay*, R_3 merupakan keandalan subkomponen *membrane Aktuator*, R_4 merupakan keandalan subkomponen *Membrane aktuator*, dan R_5 merupakan keandalan subkomponen *Plug+Cage*.

Langkah berikutnya adalah menentukan keandalan CV itu sendiri .**Tabel 4.21** merupakan hasil rekapan keandalan CV beserta Subkomponennya perbulan selama 1 tahun.

Tabel 4.21 Keandalan CV beserta Subkomponen Selama 1 tahun

t	R1	R2	R3	R4	R5	RS
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
720	1.00	0.99	0.92	0.99	1.00	0.90
1440	0.99	0.97	0.85	0.97	0.99	0.78
2160	0.96	0.94	0.77	0.96	0.98	0.66
2880	0.93	0.90	0.71	0.94	0.96	0.53
3600	0.89	0.86	0.64	0.92	0.94	0.42
4320	0.83	0.82	0.59	0.90	0.91	0.33
5040	0.77	0.77	0.53	0.88	0.88	0.24
5760	0.70	0.71	0.48	0.86	0.85	0.18
6480	0.63	0.66	0.44	0.83	0.81	0.12
7200	0.55	0.61	0.40	0.81	0.77	0.08
7920	0.48	0.56	0.36	0.79	0.73	0.06
8760	0.39	0.50	0.32	0.77	0.68	0.03

Dapat dilihat dari tabel diatas keandalan terkecil dari sub komponen adalah keandalan R_3 yang merupakan keandalan subkomponen *Positioner*. Hal ini dikarenakan subkomponen positioner adalah subkomponen yang paling sering

bekerja di dalam system ini. Subkomponen ini juga merupakan komponen mekanikal dan elektrikal.

Sedangkan keandalan tertinggi ialah keandalan dari sub komponen *Membrane actuator* (R_4). Hal ini dikarenakan subkomponen ini waktu kerjanya lebih sedikit dari subkomponen lain. Subkomponen ini hanya bekerja pada waktu CV close guna mendorong Stem.

Nilai keandalan system CV sendiri pada $t = 8760$ adalah 0,03. karena hal tersebut perlu dilakukan optimalisasi interval waktu pemeliharaan untuk meningkatkan keandalan CV beserta subkomponennya.

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 5

PENENTUAN INTERVAL PEMELIHARAAN OPTIMAL

Setelah ditentukan keandalan actual CV HP Main Level Drum HRSG PLTGU pada bab sebelumnya, dilakukan optimalisasi pemeliharaan sebagai upaya peningkatan keandalan CV. Untuk penentuan optimalisasi pemeliharaan, perlu ditentukan terlebih dahulu alokasi keandalan untuk masing – masing sub komponen penyusun CV tersebut. Untuk penentuan alokasi keandalan tersebut digunakan program nonlinier yang mengikuti persamaan (2.22). Dari persamaan (2.22) dapat dilihat biaya subsistem merupakan nilai yang sangat menentukan nilai optimasi. Karena itu sebelum menentukan alokasi keandalan optimal perlu dilakukan analisa biaya pemeliharaan yang nantinya akan digunakan dalam program nonlinier.

5.1 ANALISA BIAYA PEMELIHARAAN

Dalam analisa biaya terdapat 2 biaya yang perlu diperhitungkan. Yaitu biaya kerusakan dan biaya perawatan terencana. Biaya Kerusakan (C_f) adalah biaya yang terjadi akibat kerusakan komponen kritis yang diluar perkiraan yang mengakibatkan kerugian pendapatan perusahaan. Biaya ini terdiri dari biaya suku cadang, biaya akibat kehilangan pendapatan dan biaya tenaga kerja yang dihitung sebagai berikut (*Lewis,1987*) :

$$C_f = [(Biaya tenaga kerja + Kehilangan pendapatan akibat kerusakan) \times Rata - rata waktu penggantian] + biaya pembelian suku cadang komponen$$

Biaya perawatan terencana merupakan biaya yang terjadi karena adanya perawatan terencana yang dijadwalkan perusahaan. Dalam perhitungan ini biaya kehilangan pendapatan akibat kerusakan tidak dimasukkan jadi :

$$C_p = (Biaya tenaga kerja \times Rata - rata waktu penggantian) + biaya pembelian suku cadang komponen)$$

5.1.1 Analisa Biaya Pemeliharaan Subkomponen *Plug+Cage*

Biaya – biaya yang diperlukan untuk perhitungan biaya pemeliharaan sub komponen *Plug + Cage* adalah biaya tenaga kerja, biaya pembelian suku cadang komponen dan biaya kehilangan pendapatan akibat kerusakan. Untuk detail perhitungan biaya adalah sebagai berikut

- Biaya tenaga kerja

Tenaga kerja yang diperlukan untuk melakukan pemeliharaan *Plug dan Cage* adalah sebanyak 2 orang karyawan PJB dan 4 orang karyawan lepas. Untuk perhitungan biaya karena pekerjaan pastinya dilakukan pada hari libur, biaya yang dikeluarkan adalah biaya lembur pegawai, dengan jumlah upah lembur karyawan PJB sebanyak IDR 25.000 /jam dan tenaga karyawan lepas IDR 10.000/ jam. Perhitungan lengkap untuk biaya tenaga kerja dapat dilihat pada **tabel 5.1** dibawah ini

Tabel 5.1 Biaya Tenaga Kerja *Plug+Cage*

	Upah Dasar	Jumlah Pegawai	Total Biaya
PJB	IDR 25.000	2	IDR 50.000
Lepas	IDR 10.000	4	IDR 40.000
Total			IDR 90.000

- Biaya Kehilangan Pendapatan Akibat Kerusakan

Dalam hal ini biaya kehilangan pendapatan akibat kerusakan dapat dihitung dengan asumsi gangguan yang terjadi mengakibatkan *HRSG trip* sehingga Steam Turbin mengalami derating. Jika 1 *HRSG trip* maka mengakibatkan Steam Turbin derating sebanyak 60 MW dari total keseluruhan daya yang dihasilkan. Sehingga biaya untuk derating sebanyak 60 MW selama adalah IDR 27.442.068/ jam.

- Biaya Pembelian Suku Cadang Komponen

Biaya ini dapat dihitung dengan melihat harga komponen untuk 1 kali pemeliharaan. Dalam hal ini untuk subkomponen *Plug+ Cage* PT PJB UP

Gresik biasanya melakukan repair komponen yang rusak tersebut. Sehingga didapat biaya untuk 1 kali repair adalah IDR 5.800.000

Dari biaya – biaya yang telah didapatkan diatas dapat kita hitung C_f dan C_p dari subkomponen Plug+Cage yaitu :

$$\begin{aligned} C_f &= [(Biaya tenaga kerja + Kehilangan pendapatan akibat kerusakan) \times Rata \\ &\quad - rata waktu penggantian] + biaya pembelian suku cadang komponen \\ &= [(90.000 + 27.442.068) \times 10,4] + 5.800.000 = \text{IDR } 292.133.507 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_p &= (Biaya tenaga kerja \times Rata - rata waktu penggantian) + biaya pembelian \\ &\quad \text{suku cadang komponen} \\ &= (90.000 \times 10,4) + 5.800.000 = \text{IDR } 6.736.000 \end{aligned}$$

5.1.2 Analisa Biaya Pemeliharaan Subkomponen *Membran Aktuator*

Biaya – biaya yang diperlukan untuk perhitungan biaya pemeliharaan sub komponen *Membrane Aktuator* adalah biaya tenaga kerja, biaya pembelian suku cadang komponen dan biaya kehilangan pendapatan akibat kerusakan. Untuk detail perhitungan biaya adalah sebagai berikut

- Biaya tenaga kerja

Tenaga kerja yang diperlukan untuk melakukan pemeliharaan *Membrane Aktuator* adalah sebanyak 2 orang karyawan PJB dan 4 orang karyawan lepas. Untuk perhitungan biaya karena pekerjaan pastinya dilakukan pada hari libur, biaya yang dikeluarkan adalah biaya lembur pegawai, dengan jumlah upah lembur karyawan PJB sebanyak IDR 25.000/jam dan tenaga karyawan lepas IDR 10.000/ jam. Perhitungan lengkap untuk biaya tenaga kerja dapat dilihat pada **tabel 5.2** dibawah ini

Tabel 5.2 Biaya Tenaga Kerja Membran Aktuator

	Upah Dasar	Jumlah Pegawai	Total Biaya
PJB	IDR 25.000	2	IDR 50.000
Lepas	IDR 10.000	4	IDR 40.000
Total			IDR 90.000

- Biaya Kehilangan Pendapatan Akibat Kerusakan
 Dalam hal ini biaya kehilangan pendapatan akibat kerusakan dapat dihitung dengan asumsi gangguan yang terjadi mengakibatkan *HRSG trip* sehingga Steam Turbin mengalami derating. Jika 1 *HRSG trip* maka mengakibatkan Steam Turbin derating sebanyak 60 MW dari total keseluruhan daya yang dihasilkan. Sehingga biaya untuk derating sebanyak 60 MW selama adalah IDR 27.442.068/ jam.
- Biaya Pembelian Suku Cadang Komponen
 Biaya ini dapat dihitung dengan melihat harga komponen untuk 1 kali pemeliharaan. Sehingga didapat biaya untuk 1 pembelian subkomponen *membrane Aktuator* adalah IDR 1.950.000

Dari biaya – biaya yang telah didapatkan diatas dapat kita hitung C_f dan C_p dari subkomponen *Membrane Aktuator* yaitu :

$$\begin{aligned}
 C_f &= [(Biaya tenaga kerja + Kehilangan pendapatan akibat kerusakan) \times Rata \\
 &\quad - rata waktu penggantian] + biaya pembelian suku cadang komponen \\
 &= [(90.000 + 27.442.068) \times 4,5] + 1.950.000 = \text{IDR } 125.846.736
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_p &= (Biaya tenaga kerja \times Rata - rata waktu penggantian) + biaya pembelian \\
 &\quad suku cadang komponen) \\
 &= (90.000 \times 4,5) + 1.950.000 = \text{IDR } 2.355.000
 \end{aligned}$$

5.1.3 Analisa Biaya Pemeliharaan Subkomponen *Regulator*

Biaya – biaya yang diperlukan untuk perhitungan biaya pemeliharaan sub komponen *Regulator* adalah biaya tenaga kerja, biaya pembelian suku cadang komponen dan biaya kehilangan pendapatan akibat kerusakan. Untuk detail perhitungan biaya adalah sebagai berikut

- Biaya tenaga kerja

Tenaga kerja yang diperlukan untuk melakukan pemeliharaan *Regulator* adalah sebanyak 1 orang karyawan PJB dan 2 orang karyawan lepas. Untuk perhitungan biaya karena pekerjaan pastinya dilakukan pada hari libur, biaya yang dikeluarkan adalah biaya lembur pegawai, dengan jumlah upah lembur karyawan PJB sebanyak IDR 25.000/jam dan tenaga karyawan lepas IDR 10.000/ jam. Perhitungan lengkap untuk biaya tenaga kerja dapat dilihat pada **tabel 5.3** dibawah ini

Tabel 5.3 Biaya Tenaga Kerja *Regulator*

	Upah Dasar	Jumlah Pegawai	Total Biaya
PJB	IDR 25.000,00	1	IDR 25.000
Lepas	IDR 10.000	2	IDR 20.000
Total			IDR 45.000

- Biaya Kehilangan Pendapatan Akibat Kerusakan

Dalam hal ini biaya kehilangan pendapatan akibat kerusakan dapat dihitung dengan asumsi gangguan yang terjadi mengakibatkan *HRSG trip* sehingga Steam Turbin mengalami derating. Jika 1 *HRSG trip* maka mengakibatkan Steam Turbin derating sebanyak 60 MW dari total keseluruhan daya yang dihasilkan. Sehingga biaya untuk derating sebanyak 60 MW selama adalah IDR 27.442.068 / jam.

- Biaya Pembelian Suku Cadang Komponen

Biaya ini dapat dihitung dengan melihat harga komponen untuk 1 kali pemeliharaan. Sehingga didapat biaya untuk 1 pembelian subkomponen *Regulator* adalah IDR 4.500.000

Dari biaya – biaya yang telah didapatkan diatas dapat kita hitung C_f dan C_p dari subkomponen Regulator yaitu :

$$C_f = [(Biaya tenaga kerja + Kehilangan pendapatan akibat kerusakan) \times Rata - rata waktu penggantian] + biaya pembelian suku cadang komponen$$

$$= [(45.000 + 27.442.068) \times 5,17] + 4.500.000 = \text{IDR } 146.608.142$$

$$C_p = (Biaya tenaga kerja \times Rata - rata waktu penggantian) + biaya pembelian suku cadang komponen)$$

$$= (45.000 \times 5,17) + 4.500.000 = \text{IDR } 4.732.650$$

5.1.4 Analisa Biaya Pemeliharaan Subkomponen *Booster Relay*

Biaya – biaya yang diperlukan untuk perhitungan biaya pemeliharaan sub komponen *Booster Relay* adalah biaya tenaga kerja, biaya pembelian suku cadang komponen dan biaya kehilangan pendapatan akibat kerusakan. Untuk detail perhitungan biaya adalah sebagai berikut

- Biaya tenaga kerja

Tenaga kerja yang diperlukan untuk melakukan pemeliharaan *Booster Relay* adalah sebanyak 1 orang karyawan PJB dan 2 orang karyawan lepas. Untuk perhitungan biaya karena pekerjaan pastinya dilakukan pada hari libur, biaya yang dikeluarkan adalah biaya lembur pegawai, dengan jumlah upah lembur karyawan PJB sebanyak IDR 25.000/jam dan tenaga karyawan lepas IDR 10.000/ jam. Perhitungan lengkap utnuk biaya tenaga kerja dapat dilihat pada **tabel 5.4** dibawah ini

Tabel 5.4 Biaya Tenaga Kerja *Booster Relay*

	Upah Dasar	Jumlah Pegawai	Total Biaya
PJB	IDR 25.000	1	IDR 25.000
Lepas	IDR 10.000	2	IDR 20.000
Total			IDR 45.000

- Biaya Kehilangan Pendapatan Akibat Kerusakan

Dalam hal ini biaya kehilangan pendapatan akibat kerusakan dapat dihitung dengan asumsi gangguan yang terjadi mengakibatkan *HRSG trip* sehingga Steam Turbin mengalami derating. Jika 1 *HRSG trip* maka mengakibatkan Steam Turbin derating sebanyak 60 MW dari total keseluruhan daya yang dihasilkan. Sehingga biaya untuk derating sebanyak 60 MW selama adalah IDR 27.442.068 / jam.

- Biaya Pembelian Suku Cadang Komponen

Biaya ini dapat dihitung dengan melihat harga komponen untuk 1 kali pemeliharaan. Sehingga didapat biaya untuk 1 pembelian subkomponen Booster Relay adalah IDR 2.500.000

Dari biaya – biaya yang telah didapatkan diatas dapat kita hitung C_f dan C_p dari subkomponen *Booster Relay* yaitu :

$$C_f = [(Biaya tenaga kerja + Kehilangan pendapatan akibat kerusakan) \times Rata - rata waktu penggantian] + biaya pembelian suku cadang komponen$$

$$= [(45.000 + 27.442.068) \times 3] + 2.500.000 = \text{IDR } 84.961.204$$

$$C_p = (Biaya tenaga kerja \times Rata - rata waktu penggantian) + biaya pembelian suku cadang komponen)$$

$$= (45.000 \times 3) + 2.500.000 = \text{IDR } 2.635.000$$

5.1.5 Analisa Biaya Pemeliharaan Subkomponen *Positioner*

Biaya – biaya yang diperlukan untuk perhitungan biaya pemeliharaan sub komponen *Positioner* adalah biaya tenaga kerja, biaya pembelian suku cadang komponen dan biaya kehilangan pendapatan akibat kerusakan. Untuk detail perhitungan biaya adalah sebagai berikut

- Biaya tenaga kerja

Tenaga kerja yang diperlukan untuk melakukan pemeliharaan *Positioner* adalah sebanyak 2 orang karyawan PJB dan 2 orang karyawan lepas. Untuk

perhitungan biaya karena pekerjaan pastinya dilakukan pada hari libur, biaya yang dikeluarkan adalah biaya lembur pegawai, dengan jumlah upah lembur karyawan PJB sebanyak IDR 25.000 /jam dan tenaga karyawan lepas IDR 10.000/ jam. Perhitungan lengkap untuk biaya tenaga kerja dapat dilihat pada **tabel 5.5** dibawah ini

Tabel 5.5 Biaya Tenaga Kerja *Positioner*

	Upah Dasar	Jumlah Pegawai	Total Biaya
PJB	IDR 25.000	2	IDR50.000
Lepas	IDR 10.000	2	IDR 20.000
Total			IDR 70.000

- Biaya Kehilangan Pendapatan Akibat Kerusakan

Dalam hal ini biaya kehilangan pendapatan akibat kerusakan dapat dihitung dengan asumsi gangguan yang terjadi mengakibatkan *HRSG trip* sehingga Steam Turbin mengalami derating. Jika 1 *HRSG trip* maka mengakibatkan Steam Turbin derating sebanyak 60 MW dari total keseluruhan daya yang dihasilkan. Sehingga biaya untuk derating sebanyak 60 MW selama adalah IDR 27.442.068 / jam.

- Biaya Pembelian Suku Cadang Komponen

Biaya ini dapat dihitung dengan melihat harga komponen untuk 1 kali pemeliharaan. Sehingga didapat biaya untuk 1 pembelian subkomponen *Positioner* adalah IDR 4.650.000

Dari biaya – biaya yang telah didapatkan diatas dapat kita hitung C_f dan C_p dari subkomponen *Positioner* yaitu :

$$C_f = [(Biaya tenaga kerja + Kehilangan pendapatan akibat kerusakan) \times Rata - rata waktu penggantian] + biaya pembelian suku cadang komponen$$

$$= [(70.000 + 27.442.068) \times 10,63] + 4.650.000 = \text{IDR } 296.429.183$$

$$C_p = (\text{Biaya tenaga kerja} \times \text{Rata – rata waktu penggantian}) + \text{biaya pembelian suku cadang komponen})$$

$$= (70.000 \times 10,63) + 4.650.000 = \text{IDR } 5.394.100$$

Dari perhitungan – perhitungan biaya diatas dapat kita rangkum sehingga lebih mudah untuk diamati untuk perhitungan pada **tabel 5.6** dibawah ini

Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Biaya

Subkomponen	C_f	C_p
Plug+Cage	IDR 292.133.507	IDR 6.736.000
Membrane Aktuator	IDR 125.846.736	IDR 2.355.000
Regulator	IDR 146.608.142	IDR 4.732.650
Booster Relay	IDR 84.961.204	IDR 2.635.000
Positioner	IDR 297.103.283	IDR 5.394.100

5.2 PENENTUAN INTERVAL WAKTU PEMELIHARAAN OPTIMAL

Untuk penentuan interval waktu pemeliharaan yang optimal digunakan program nonlinier yang mengikuti persamaan (2.22). Program nonlinier digunakan karena CV terdiri dari beberapa subkomponen yang biaya perawatannya berbeda – beda. Untuk keandalan system yang sama, alokasi keandalan untuk subkomponennya bisa bervariasi. Dengan program nonlinier, kita dapat menentukan alokasi keandalan dengan biaya perawatan yang paling kecil namun keandalan sistem sesuai dengan keandalan yang kita inginkan

Untuk biaya pemeliharaan yang digunakan masing – masing subkomponen CV adalah biaya perawatan terencana yang sudah direkap pada **tabel 5.6** diatas. Sedangkan target keandalan yang diinginkan disini atas dasar diskusi dengan bidang Kontrol Instrumen PT PJB UPHT ditetapkan target keandalan secara berkala yaitu 50%,60%,70% dan 80% . Target keandalan ini ditentukan berdasarkan perhitungan derating pembangkit dan target yang ditetapkan oleh PLN

mengenai MW yang harus disiapkan PT PJB UP Gresik. Perumusan optimasi keandalan dengan *program nonlinier* adalah sebagai berikut :

$$P : \min C = 4.732.650 (R_1) + 2.635.000(R_2) + 5.394.100 (R_3) + 2.355.000 (R_4) + 6.736.000 (R_5)$$

Batasan:

$$R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5 \geq R_G$$

$$R_{1 \min} \leq R_1 \leq R_{1 \max}$$

$$R_{2 \min} \leq R_2 \leq R_{2 \max}$$

$$R_{3 \min} \leq R_3 \leq R_{3 \max}$$

$$R_{4 \min} \leq R_4 \leq R_{4 \max}$$

$$R_{5 \min} \leq R_5 \leq R_{5 \max}$$

Dimana :

R_1 = Keandalan Subkomponen *Regulator*

R_2 = Keandalan Subkomponen *Booster Relay*

R_3 = Keandalan Subkomponen *Positioner*

R_4 = Keandalan Subkomponen *Membrane Aktuator*

R_5 = Keandalan Subkomponen *Plug+Cage*

R_G = Target keandalan (50%,60%,70% dan 80%)

Langkah selanjutnya adalah menentukan keandalan optimal untuk masing – masing subkomponen CV dengan menyelesaikan *program nonlinier* diatas. Target keandalan ditentukan dengan hasil diskusi dengan manajemen PT PJB. Untuk menyelesaikan program nonlinier diatas digunakan bantuan program Lingo. Hasil untuk alokasi keandalan tiap – tiap subkomponen dapat dilihat pada **tabel 5.7** dibawah ini

Tabel 5.7 Alokasi Keandalan Masing – Masing Subkomponen CV

Target Keandalan	Keandalan Optimal Sub Komponen				
	Regulator (R1)	Booster (R2)	Positioner (R3)	Membran (R4)	Plug+ Cage (R5)
0,50	0,93	0,94	0,84	0,97	0,71
0,60	0,94	0,95	0,93	0,97	0,75
0,70	0,95	0,96	0,94	0,98	0,83
0,80	0,96	0,97	0,95	0,99	0,91

Setelah menentukan keandalan optimal yang didapat dari program nonlinier diatas, langkah selanjutnya yaitu menentukan interval pemeliharaan optimal yang didapatkan dari keandalan optimal subkomponen CV diatas dengan menggunakan persamaan (2.10) untuk distribusi weibull dengan parameter yang sudah didapat di bab 4 .Perhitungan untuk masing – masing komponen dapat dilihat dibawah ini :

5.2.1 Subkomponen *Regulator*

Berikut perhitungan untuk masing – masing keandalan system subkomponen *Regulator*.

- Keandalan sistem 0,5

$$\begin{aligned}
 R_{(t)} &= \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \right] \\
 \ln (R_{(t)}) &= -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \\
 \ln (0.93) &= -\left(\frac{t-0}{9022,796}\right)^{2,3027} \\
 t &= 2878,16 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

- Keandalan sistem 0,6

$$\begin{aligned}
 R_{(t)} &= \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \right] \\
 \ln (R_{(t)}) &= -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \\
 \ln (0,94) &= -\left(\frac{t-0}{9022,796}\right)^{2,3027} \\
 t &= 2680,09 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

- Keandalan sistem 0,7

$$\begin{aligned}
 R_{(t)} &= \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \right] \\
 \ln (R_{(t)}) &= -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \\
 \ln (0,95) &= -\left(\frac{t-0}{9022,796}\right)^{2,3027} \\
 t &= 2470,03 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

- Keandalan sistem 0,8

$$\begin{aligned}
 R_{(t)} &= \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \right] \\
 \ln (R_{(t)}) &= -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \\
 \ln (0,96) &= -\left(\frac{t-0}{9022,796}\right)^{2,3027} \\
 t &= 2249,52 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

5.2.2 Subkomponen *Booster Relay*

Berikut perhitungan untuk masing – masing keandalan system subkomponen *Booster Relay*.

- Keandalan sistem 0,5

$$\begin{aligned}
 R_{(t)} &= \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \right] \\
 \ln (R_{(t)}) &= -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \\
 \ln (0,94) &= -\left(\frac{t-0}{23881}\right)^{5,1616} \\
 t &= 2266,83 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

- Keandalan sistem 0,6

$$\begin{aligned}
 R_{(t)} &= \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \right] \\
 \ln (R_{(t)}) &= -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \\
 \ln (0,95) &= -\left(\frac{t+12467}{23881}\right)^{5,1616}
 \end{aligned}$$

$$t = 2049,42 \text{ jam}$$

- Keandalan sistem 0,7

$$R_{(t)} = \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \right]$$

$$\ln (R_{(t)}) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln (0,96) = -\left(\frac{t-0}{23881}\right)^{5,1616}$$

$$t = 1816,35 \text{ jam}$$

- Keandalan sistem 0,8

$$R_{(t)} = \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \right]$$

$$\ln (R_{(t)}) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln (0,97) = -\left(\frac{t-0}{23881}\right)^{5,1616}$$

$$t = 1572,57 \text{ jam}$$

5.2.3 Subkomponen *Positioner*

Berikut perhitungan untuk masing – masing keandalan system subkomponen *Positioner*.

- Keandalan sistem 0,5

$$R_{(t)} = \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \right]$$

$$\ln (R_{(t)}) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln (0,86) = -\left(\frac{t-0}{7781,88}\right)^{1,0592}$$

$$t = 1495,93 \text{ jam}$$

- Keandalan sistem 0,6

$$R_{(t)} = \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \right]$$

$$\ln (R_{(t)}) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln (0,93) = -\left(\frac{t-0}{7781,88}\right)^{1,0592}$$

$$t = 684,30 \text{ jam}$$

- Keandalan sistem 0,7

$$R_{(t)} = \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \right]$$

$$\ln (R_{(t)}) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln (0,94) = -\left(\frac{t-0}{7781,88}\right)^{1,0592}$$

$$t = 530,30 \text{ jam}$$

- Keandalan sistem 0,8

$$R_{(t)} = \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \right]$$

$$\ln (R_{(t)}) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln (0,95) = -\left(\frac{t-0}{7781,88}\right)^{1,0592}$$

$$t = 452,98 \text{ jam}$$

5.2.4 Subkomponen *Membran Aktuator*

Berikut perhitungan untuk masing – masing keandalan system subkomponen *Membran Aktuator*.

- Keandalan sistem 0,5

$$R_{(t)} = \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \right]$$

$$\ln (R_{(t)}) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln (0,97) = -\left(\frac{t-0}{24716}\right)^{1,2783}$$

$$t = 1762,98 \text{ jam}$$

- Keandalan sistem 0,6

$$R_{(t)} = \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \right]$$

$$\ln (R_{(t)}) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln (0,97) = -\left(\frac{t-0}{24716}\right)^{1,2783}$$

$$t = 1513,75 \text{ jam}$$

- Keandalan sistem 0,7

$$R_{(t)} = \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \right]$$

$$\ln (R_{(t)}) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}$$

$$\ln (0,98) = -\left(\frac{t-0}{24716}\right)^{1,2783}$$

$$t = 1011,75 \text{ jam}$$

- Keandalan sistem 0,8

$$R_{(t)} = \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \right]$$

$$\ln (R_{(t)}) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}$$

$$\ln (0,99) = -\left(\frac{t-0}{24716}\right)^{1,2783}$$

$$t = 676,25 \text{ jam}$$

5.2.5 Subkomponen *Plug+Cage*

Berikut perhitungan untuk masing – masing keandalan system subkomponen *Plug + Cage*.

- Keandalan sistem 0,5

$$R_{(t)} = \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \right]$$

$$\ln (R_{(t)}) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}$$

$$\ln (0,69) = -\left(\frac{t-0}{14120}\right)^{2,0226}$$

$$t = 8313,02 \text{ jam}$$

- Keandalan sistem 0.6

$$R_{(t)} = \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \right]$$

$$\begin{aligned}\ln (R_{(t)}) &= -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \\ \ln (0,75) &= -\left(\frac{t-0}{14120}\right)^{2,0226} \\ t &= 7644,50 \text{ jam}\end{aligned}$$

- Keandalan sistem 0,7

$$\begin{aligned}R_{(t)} &= \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \right] \\ \ln (R_{(t)}) &= -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \\ \ln (0,83) &= -\left(\frac{t-0}{14120}\right)^{2,0226} \\ t &= 6137,29 \text{ jam}\end{aligned}$$

- Keandalan sistem 0,8

$$\begin{aligned}R_{(t)} &= \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \right] \\ \ln (R_{(t)}) &= -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \\ \ln (0,91) &= -\left(\frac{t-0}{14120}\right)^{2,0226} \\ t &= 4393,84 \text{ jam}\end{aligned}$$

Dari perhitungan – perhitungan Interval Pemeliharaan diatas dapat kita rangkum sehingga lebih mudah untuk diamati pada **tabel 5.8** dibawah ini :

Tabel 5.8 Interval Waktu Pemeliharaan Subkomponen CV

Target Keandalan	Interval Waktu Pemeliharaan (Jam)				
	Regulator (R1)	Booster (R2)	Positioner (R3)	Membran (R4)	Plug+ Cage (R5)
0,50	2878,16	2266,83	1495,93	1762,98	8313,02
0,60	2680,09	2049,42	684,80	1513,75	7644,50
0,70	2470,03	1816,35	530,30	1011,75	6137,29
0,80	2249,52	1572,57	452,98	676,25	4393,84

5.3 PERBANDINGAN BIAYA SEBELUM DAN SESUDAH OPTIMASI INTERVAL PEMELIHARAAN

Target keandalan yang ditetapkan perusahaan pastinya tidak lepas dari untung rugi pendapatan perusahaan tersebut. Perbandingan biaya pemeliharaan sebelum dan sesudah optimasi disini diperlukan agar kita bias mengetahui apakah interval waktu pemeliharaan yang sudah dilakukan dalam penelitian ini dapat memberikan profit pada perusahaan. Perhitungan biaya mengikuti persamaan (2.24) dengan asumsi biaya perawatan terencana (C_p) sebelum dilakukan optimasi = 0. Hal ini dikarenakan sebelum dilakukan penelitian ini, PT PJB tidak pernah melakukan pemeliharaan terencana untuk CV tersebut. Hasil perbandingan biaya dapat dilihat di **tabel 5.9** dan **tabel 5.10** dibawah ini :

Tabel 5.9 Perbandingan Biaya sebelum dan sesudah optimasi subkomponen CV

Subkomponen	Sebelum Optimasi		Setelah Optimasi		Total Penghematan
	Keandalan	Total Biaya	Keandalan	Total Biaya	
<i>Plug+Cage</i>	0,68	IDR 144,672,394	0,71	IDR 89.501.277	IDR 3.005.493
			0,75	IDR 78.382.704	IDR 14.124.066
			0,83	IDR 55.032.878	IDR 37.473.891
			0,91	IDR 32.421.776	IDR 60.084.994
<i>Membran Aktuator</i>	0,77	IDR 29,350,207	0,97	IDR 6.508.027	IDR 22.842.180
			0,97	IDR 5.783.131	IDR 23.567.077
			0,98	IDR 4.414.842	IDR 24.935.365
			0,99	IDR 3.589.917	IDR 25.760.290
<i>Regulator</i>	0,39	IDR 89,005,839	0,93	IDR 14.588.740	IDR 74.417.098
			0,94	IDR 13.141.610	IDR 75.864.228
			0,95	IDR 11.737.043	IDR 77.268.796
			0,96	IDR 10.407.670	IDR 78.598.169

Tabel 5.10 Lanjutan Perbandingan Biaya sebelum dan sesudah optimasi subkomponen CV

Subkomponen	Sebelum Optimasi		Setelah Optimasi		Total Penghematan
	Keandalan	Total Biaya	Keandalan	Total Biaya	
<i>Booster Relay</i>	0,50	IDR 35.667.232	0,94	IDR 7.970.561	IDR 34.470.437
			0,95	IDR 7.141.536	IDR 35.299.462
			0,96	IDR 6.312.512	IDR 36.128.487
			0,97	IDR 5.516.417	IDR 36.924.581
<i>Positioner</i>	0,32	IDR 205.981.885	0,86	IDR 52.067.569	IDR 149.407.303
			0,93	IDR 26.798.320	IDR 174.676.553
			0,94	IDR 21.866.918	IDR 179.607.955
			0,95	IDR 19.396.141	IDR 182.078.732

Dari tabel terlihat bahwa masing – masing subkomponen memiliki penurunan biaya yang berbeda – beda seiring dengan perubahan keandalan subkomponen tersebut. Agar lebih mudah dianalisa, **tabel 5.11** menyajikan perubahan biaya sebelum dan sesudah optimalisasi secara keseluruhan sistem CV *HP Main Level Drum*. Total biaya merupakan hasil penjumlahan semua komponen CV dalam keandalan tertentu.

Tabel 5.11 Perbandingan Biaya Pemeliharaan sebelum dan sesudah Optimasi Control Valve HP Main Level Steam Drum HRSG.

System	Sebelum Optimasi		Setelah Optimasi		Total Penghematan
	Keandalan	Total Biaya	Keandalan	Total Biaya	
Control Valve HP Main Level HRSG	0,03	IDR 454.778.687	0,50	IDR 170.636.175	IDR 284.142.512
			0,60	IDR 131.247.301	IDR 323.531.386
			0,70	IDR 99.364.193	IDR 355.414.494
			0,80	IDR 71.331.921	IDR 383.446.766

Dari tabel terlihat bahwa terjadi perbedaan yang cukup signifikan pada biaya pemeliharaan CV sebelum dan sesudah optimasi interval pemeliharaan. Semakin tinggi tingkat keandalan, semakin rendah biaya pemeliharaan yang akan ditanggung oleh perusahaan. Hal ini menunjukkan bahwa biaya pemeliharaan berbanding terbalik dengan tingkat keandalan peralatan. Hal ini dikarenakan ketika keandalan system meningkat, biaya yang disebabkan oleh biaya kerugian perusahaan akibat terjadi gangguan tidak terencana akan berkurang juga.

Perhitungan pendapatan tersebut erat kaitannya dengan kehilangan MW selama 1 tahun. Agar lebih jelas untuk mengamati MW yang hilang setiap target keandalan yang sudah disebutkan, pihak engineering PT PJB sudah melakukan perhitungan untuk setiap target keandalan. Perhitungan didapat dari MTBF dan MTTR setiap target keandalan. Hasil Perhitungan tersebut dapat dilihat pada **tabel 5.12** dibawah ini

Tabel 5.12 Hasil Perhitungan MW hilang akibat Derating Pembangkit

Keandalan	Downtime (1 tahun)	MW Hilang (1 Tahun)
0,5	4380	262800
0,6	3504	210240
0,7	2628	157680
0,8	1752	105120

Penerapan metode alokasi interval pemeliharaan merupakan salah satu upaya yang bisa dilakukan perusahaan untuk meningkatkan keandalan suatu peralatan. Dengan diterapkan alokasi interval pemeliharaan tersebut kerugian perusahaan dapat diminimalisasi sehingga perusahaan mendapatkan keuntungan yang lebih besar.

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang sudah dilakukan pada bab – bab maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari analisa keandalan didapatkan keandalan masing - masing subkomponen CV sehingga dapat dilihat subkomponen mana yang perlu perhatian lebih. Sub komponen yang perlu perhatian lebih adalah *Positioner* karena tingkat keandalannya lebih kecil daripada yang lain sehingga berpengaruh lebih besar kepada keseluruhan sistem.
2. Dari Hasil *Plot Failure Rate* tiap – tiap subkomponen CV dapat terlihat terjadi kenaikan dari waktu ke waktu. Hal ini menunjukkan Subkomponen CV telah memasuki *Fase Wear Out* dalam Kurva Laju Kerusakan
3. Setelah dilakukan analisa biaya dan optimasi system CV didapatkan bahwa komponen yang memiliki biaya pemeliharaan paling tinggi adalah subkomponen *Plug+Cage* yaitu IDR 6.736.000. Hal ini perlu diperhatikan pada pengalokasian keandalan yang menyebabkan alokasi keandalan untuk subkomponen *Plug+Cage* bernilai lebih kecil dari pada subkomponen lainnya. Hal ini diperlukan untuk menekan biaya pemeliharaan.
4. Setelah dilakukan optimasi interval pemeliharaan, biaya pemeliharaan untuk CV dapat ditekan yaitu untuk alokasi keandalan 0,5 didapat penghematan biaya IDR 284.142.512, untuk alokasi keandalan 0,6 didapat penghematan biaya IDR 323.531.386, untuk alokasi keandalan

0,7 didapat penghematan biaya IDR 355.414.494 dan untuk alokasi keandalan 0.8 didapat penghematan biaya IDR 383.446.766.

6.2 SARAN

Berikut ini adalah beberapa saran dari pihak peneliti yang bisa dijadikan pertimbangan untuk perusahaan maupun untuk penelitian lebih lanjut :

1. Menerapkan interval pemeliharaan sesuai dengan hasil penelitian sehingga keandalan *CV HP Main Level Steam Drum HRSG* dapat ditingkatkan.
2. Ketika menerapkan interval pemeliharaan perlu dilakukan perencanaan lebih lanjut dari manajemen pihak PT PJB selaku pemilik unit pembangkit dan PT PLN sebagai pihak pengatur beban di Pulau Jawa. Pemeliharaan harus dilakukan pada hari dimana kebutuhan beban listrik pulau jawa rendah sehingga tidak mengganggu kinerja unit PT PJB. Kebutuhan beban rendah biasanya terjadi pada hari libur dimana perkantoran dan pabrik – pabrik libur, sehingga PT PJB perlu menyiapkan biaya untuk lembur karyawannya.
3. Untuk penelitian selanjutnya bisa dipersiapkan mengenai penelitian perencanaan barang di gudang PT PJB sehingga dapat mendukung pemeliharaan *CV HP Main Level Steam Drum HRSG*

DAFTAR PUSTAKA

Lewis, E.E., 1987, Introduction to Reliability Engineering, John Wiley & Sons, New York, Chischester, Brisbane, Toronto, Singapore.

Mettas, Adamantios, 2000, Reliability Allocation and Optimazation for Complex System, Reliasoft Corporation, Tucson..

Govil, A.K., 1983 Reliability Engineering, Tata McGraw-Hill Publishing Company United, New Delhi.

Verschoof, Ing.J,1999, Crane; Design, Practice and Maintenance, Professional Engineering Publishing Limited London, UK.

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN

- Hasil pengolahan Program Weibull ++ subkomponen *Plug+Cage*

Step 1 of 3

Main Wizard Settings and Comments

DISTRIBUTION	AVGOF	AVPLOT	LKV
Exponential 1	83.7287870	11.5777959	-142.11120
Exponential 2	83.1691117	11.4729969	-141.96072
Normal	9.9156E-04	3.65857910	-140.53941
Lognormal	71.1967656	9.64286144	-145.92816
Weibull 2	37.5652283	7.70577005	-142.47785
Weibull 3	1.28940627	2.88985803	-140.46293

Next Step >

Begin Auto Run

Implement Suggestion

Report...

Rank Regression Estimation (RRX)

Step 1 is completed!
The first three columns show the results.
The first column is the Average Goodness of Fit, (AVGOF).
larger values indicate a bad fit.
The second column is a normalized measure of how well
the plotted values fit (AVPLOT).
The third column is the value of the Likelihood Function, (LKV).

Abort Distribution Weibull++ Distribution Wizard Help

Wizard Step 3 of 3 Done.

Main Wizard Settings and Comments

DISTRIBUTION	Ranking
Exponential 1	5
Exponential 2	3
Normal	1
Lognormal	4
Weibull 2	2
Weibull 3	1

Restart

Begin Auto Run

Implement Suggestion

Report...

Rank Regression Estimation (RRX)

Step 3 is completed!
Column 1 presents the ranking of distributions.
You may press <Implement Suggestion>
to implement the top ranking distribution.

Abort Distribution Weibull++ Distribution Wizard Help

100 % Close

Parameters/Type

1 2 3

Mixed Comp. FM

Beta 2.0226

Eta 1.4120E+4

Gamma -2939.6600

Rho 0.9891

Lk Value -140.4629

RRX	SRM
FM	MED
CHKD	
F=14/S=0	

2. Hasil pengolahan Program Weibull ++ subkomponen *Membran Aktuator*

The image shows two screenshots of the Weibull++ Distribution Wizard software interface.

Top Screenshot: Step 1 of 3

The "Main Wizard" tab is active. It displays a table with the following data:

DISTRIBUTION	AVGOF	AVPLOT	LKV
Exponential 1	0.12171101	7.32624822	-54.845218
Exponential 2	2.3939E-03	8.22692878	-53.580159
Normal	8.4880E-02	5.56034537	-54.631480
Lognormal	9.2624E-06	6.66481724	-54.474917
Weibull 2	9.9997E-11	5.81872119	-54.307576
Weibull 3	7.2390E-08	5.58468852	-54.425142

Buttons: "Next Step >", "Begin Auto Run", "Implement Suggestion", "Report...", "Rank Regression Estimation (RRX)".

Text: "Step 1 is completed! The first three columns show the results. The first column is the Average Goodness of Fit, (AVGOF), larger values indicate a bad fit. The second column is a normalized measure of how well the plotted values fit (AVPLOT). The third column is the value of the Likelihood Function, (LKV)."

Bottom Screenshot: Wizard Step 3 of 3 Done.

The "Main Wizard" tab is active. It displays a table with the following data:

DISTRIBUTION	Ranking
Exponential 1	5
Exponential 2	3
Normal	4
Lognormal	3
Weibull 2	1
Weibull 3	2

Buttons: "Restart", "Begin Auto Run", "Implement Suggestion", "Report...", "Rank Regression Estimation (RRX)".

Text: "Step 3 is completed! Column 1 presents the ranking of distributions. You may press <Implement Suggestion> to implement the top ranking distribution."

Right Panel:

Buttons: "Main", "Set Analysis", "Other".

Radio buttons: "Weibull" (selected), "Normal", "Lognormal", "Exponential".

Text: "More >>>".

Parameters/Type: "1", "2" (selected), "3".

Radio buttons: "Mixed", "Comp. FM".

Parameters: Beta = 1.2783, Eta = 2.4716E+4, Rho = 0.9754, Lk Value = -54.3076.

Buttons: "RRX", "SRM", "FM", "MED", "CHKD", "F=5/S=0".

4. Hasil pengolahan Program Weibull ++ subkomponen *Regulator*

The image shows two screenshots of the Weibull++ Distribution Wizard software interface.

Top Screenshot: Step 1 of 3

The main window displays the "Main Wizard" tab. It shows a table of results for various distributions:

DISTRIBUTION	AVGOF	AVPLOT	LKV
Exponential 1	97.4808023	17.5328122	-170.15674
Exponential 2	66.4304061	10.5146576	-163.59635
Normal	23.8436146	4.62372469	-164.42841
Lognormal	8.75071479	5.57506531	-163.31788
Weibull 2	8.55333870	4.06033653	-163.43394
Weibull 3	16.7123339	4.32897846	-163.70985

Buttons: "Next Step >", "Begin Auto Run", "Implement Suggestion", "Report...", "Rank Regression Estimation (RRX)".

Text: "Step 1 is completed! The first three columns show the results. The first column is the Average Goodness of Fit, (AVGOF), larger values indicate a bad fit. The second column is a normalized measure of how well the plotted values fit (AVPLOT). The third column is the value of the Likelihood Function, (LKV)."

Bottom Screenshot: Wizard Step 3 of 3 Done.

The main window displays the "Main Wizard" tab. It shows a table of results for various distributions:

DISTRIBUTION	Ranking
Exponential 1	6
Exponential 2	5
Normal	4
Lognormal	2
Weibull 2	1
Weibull 3	3

Buttons: "Restart", "Begin Auto Run", "Implement Suggestion", "Report...", "Rank Regression Estimation (RRX)".

Text: "Step 3 is completed! Column 1 presents the ranking of distributions. You may press <Implement Suggestion> to implement the top ranking distribution."

Right Panel: Set Analysis

Buttons: "Weibull", "Normal", "Lognormal", "Exponential", "More >>>".

Parameters/Type: 1, 2, 3, Mixed, Comp. FM.

Beta: 2.3027, Eta: 9022.7955, Rho: 0.9750, Lk Value: -163.4339.

Buttons: "RRX", "SRM", "FM", "MED", "CHKD", "F=17/S=0".

5. Hasil pengolahan Program Weibull ++ subkomponen *Booster Relay*

Step 1 of 3

Main Wizard Settings and Comments

DISTRIBUTION	AVGOF	AVPLOT	LKV
Exponential 1	99.9095060	18.7665987	-142.59984
Exponential 2	99.8697888	17.5041943	-141.13183
Normal	66.6115996	10.0903352	-135.94134
Lognormal	96.8944067	13.2279699	-141.47489
Weibull 2	89.3893271	11.5686673	-137.92223
Weibull 3	60.8141153	9.82244867	-136.42810

Next Step >
Begin Auto Run
Implement Suggestion

Report... Rank Regression Estimation (RRX)

Step 1 is completed!
The first three columns show the results.
The first column is the Average Goodness of Fit, (AVGOF),
larger values indicate a bad fit.
The second column is a normalized measure of how well
the plotted values fit (AVPLOT).
The third column is the value of the Likelihood Function, (LKV).

Abort Distribution **Weibull++ Distribution Wizard** Help

80 % Close

Wizard Step 3 of 3 Done.

Main Wizard Settings and Comments

DISTRIBUTION	Ranking
Exponential 1	6
Exponential 2	5
Normal	2
Lognormal	4
Weibull 2	3
Weibull 3	1

Restart
Begin Auto Run
Implement Suggestion

Report... Rank Regression Estimation (RRX)

Step 3 is completed!
Column 1 presents the ranking of distributions.
You may press <Implement Suggestion>
to implement the top ranking distribution.

Abort Distribution **Weibull++ Distribution Wizard** Help

100 % Close

Main Set Analysis Other

Weibull Normal

Lognormal Exponential

More >>>

Parameters/Type

☐ 1 ☐ 2 ☒ 3

☐ Mixed ☐ Comp. FM

Beta 5.1616

Eta 2.3881E+4

Gamma -1.2467E+4

Rho 0.9200

Lk Value -136.4281

RRX SRM

FM MED

CHKD

F=14/S=0

6. Hasil pengolahan Program Weibull ++ subkomponen *Positioner*

Step 1 of 3

Main Wizard Settings and Comments

DISTRIBUTION	AVGOF	AVPLOT	LKV
Exponential 1	1.21679036	3.54557851	-196.66498
Exponential 2	0.85841906	3.73917473	-196.31693
Normal	5.40621456	6.11426918	-202.58098
Lognormal	33.1109181	7.04522390	-199.70879
Weibull 2	1.39822520	4.56149059	-197.23598
Weibull 3	0.05310317	3.08289108	-197.46998

Next Step >

Begin Auto Run

Implement Suggestion

Report... Rank Regression Estimation (RRX)

Step 1 is completed!
The first three columns show the results.
The first column is the Average Goodness of Fit, (AVGOF).
larger values indicate a bad fit.
The second column is a normalized measure of how well
the plotted values fit (AVPLOT).
The third column is the value of the Likelihood Function, (LKV).

Abort Distribution **Weibull++ Distribution Wizard** Help

80 % Close

Wizard Step 3 of 3 Done.

Main Wizard Settings and Comments

DISTRIBUTION	Ranking
Exponential 1	2
Exponential 2	1
Normal	4
Lognormal	5
Weibull 2	3
Weibull 3	1

Restart

Begin Auto Run

Implement Suggestion

Report... Rank Regression Estimation (RRX)

Step 3 is completed!
Column 1 presents the ranking of distributions.
You may press <Implement Suggestion>
to implement the top ranking distribution.

Abort Distribution **Weibull++ Distribution Wizard** Help

100 % Close

Main Set Analysis Other

Weibull Normal

Lognormal Exponential

More >>>

Parameters/Type

☐ 1 ☐ 2 ☒ 3

☐ Mixed ☐ Comp. FM

Beta 1.0592

Eta 7781.8799

Gamma -351.8000

Rho 0.9876

Lk Value -197.4700

RRX SRM

FM MED

CHKD

F=20/S=0