TESIS BM185407

JUSTIFIKASI OVERHAUL SIMPLE INSPECTION (SI)/MINOR UNTUK MENINGKATKAN EQUIVALEN AVAILABILITY FACTOR (EAF) PT PEMBANGKIT LISTRIK XYZ, STUDI KASUS PADA STEAM TURBINE 1.0 (ST 1.0)

GUNADI WIJOYO
09211650015009

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

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Manajemen Teknologi (M.MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
GUNADI WIJOYO
NRP. 09211650015009

Tanggal Ujian : 19 Januari 2019
Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh:

1. **Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc (Eng)** (Pembimbing)
   NIP. 196506301990031002

2. **Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja M (Eng)** (Penguji)
   NIP. 196110211986031001

3. **Nani Kurniati ST, MT, PhD** (Penguji)
   NIP. 197504081998022001

Dekan Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi,

Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc
NIP. 19590318 198701 1 001

Scanned by CamScanner

JUSTIFIKASI OVERHAUL MINOR UNTUK MENINGKATKAN EAF PT PEMBANGKIT LISTRIK XYZ STUDI KASUS PADA *STEAM TURBINE* 1.0 (ST 1.0)

Nama mahasiswa : Gunadi Wijoyo
NRP : 09211650015009
Pembimbing : Dr. Ir.Mokh. Suef, M.Sc (Eng)

ABSTRAK

PT Pembangkit Listrik XYZ memiliki *strategic goal* yang tertuang dalam RJPP Tahun 2017-2021 untuk mencapai EAF korporat sesuai standar kelas dunia (top 10% NERC), yaitu sebesar 93.8 %. Pencapaian EAF korporat PT Pembangkit Listrik XYZ pada Tahun 2016 adalah 90.61%. PT Pembangkit Listrik XYZ bertekad mendukung tercapainya sasaran korporat sesuai standar kelas dunia, dengan mencari strategi untuk menaikkan EAF pembangkit.

Terdapat beberapa alternatif strategi yang bisa dipilih untuk menaikkan EAF, yaitu memperpanjang interval *overhaul* (OH), memperpendek durasi OH, dan mengeliminasi OH *minor*. Selama ini, PLTGU PT Pembangkit Listrik XYZ menggunakan siklus pemeliharaan berdasar *manual book* pabrikan adalah *Simple Inspection* (SI) – *Medim Inspection* (ME) – *Simple Inspection* (SI) – *Serious Inspection* (SE) dengan interval 8000 EOH. Sehingga apabila PLTGU tersebut mempertahankan siklus pemeliharaan tersebut, maka target EAF sesuai *road map* sulit tercapai.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan analisis RAM (*Reliability, Availability, Maintainability*) dengan menggunakan software RBD, RGA, dan Weibull dengan inputan data downtime peralatan ST 1.0. Batas nilai reliability yang diijinkan untuk setiap peralatan yaitu diatas 0,6 dengan MTBF lebih dari 16000 jam. Dari running software menunjukkan hanya 12 peralatan yang memiliki nilai reliability dibawah 0,6 dan MTBF dibawah 16000 jam. Sehingga strategi yang ditentukan yaitu melakukan eliminasi overhaul minor untuk meningkatkan EAF pembangkit. Selanjutnya adalah melakukan mitigasi risiko terhadap dampak eliminasi *overhaul minor* (*simple inspection*) dengan menggunakan skala *likelihood* dan skala *impact* serta merangkai seluruh peralatan steam turbine kedalam konfigurasi seri atau parallel sesuai dengan kondisi dilapangan untuk mengetahui output EAF (equivalent availability factor) pembangkit. Hasilnya menunjukkan nilai risiko yang dihasilkan rendah artinya mitigasi eliminasi OH Minor dapat diterima. Kemudian, hasil running software untuk nilai EAF sistem pembangkit sebesar 91, 25% (dengan OH minor) dan 94, 47% (tanpa OH Minor), naik 3, 22%. Hal ini sejalan dengan RJPU perusahaan untuk meningkatkan nilai EAF pada tahun 2021 sebesar 93, 8%.

Kata kunci: *PLTGU, Overhaul Minor, Condition Base Maintenance (CBM), Reliability, Availability, Maintainability (RAM)*

JUSTIFICATION OF MINOR OVERHAUL TO INCREASE EAF AT PT Pembangkit Listrik XYZ CASE STUDY FOR STEAM TURBINE 1.0 (ST 1.0)

Name : Gunadi Wijoyo
NRP : 09211650015009
Advisor : Dr. Ir.Mokh. Suef, M.Sc (Eng)
.

ABSTRACT

PT XYZ Power Plant has a strategic goal set out in the RJPP for 2017-2021 to achieve corporate EAF according to world class standards (top 10% NERC), which is 93.8%. The achievement of corporate EAF of PT XYZ Power Plant in 2016 was 90.61%. PT XYZ Power Plant is determined to support the achievement of corporate targets according to world-class standards, by looking for strategies to increase generator EAF.

There are several alternative strategies that can be chosen to increase EAF, namely extending the interval of overhaul (OH), shortening the duration of OH, and eliminating OH minor. During this time, the PT XYZ Power Plant using a maintenance cycle based on the manufacturer's manual book is Simple Inspection (SI) - Medim Inspection (ME) - Simple Inspection (SI) - Serious Inspection (SE) at 8000 EOH intervals. So that if the PLTGU maintains the maintenance cycle, the EAF target according to the road map is difficult to achieve.

The method used in this study is by analyzing RAM (Reliability, Availability, Maintainability) by using RBD, RGA, and Weibull software with input equipment ST 1.0 data downtime. The limit of the allowable reliability value for each equipment is above 0.6 with MTBF of more than 16000 hours. From running software shows only 12 devices that have reliability values below 0.6 and MTBF below 16000 hours. So the determined strategy is to eliminate minor overhauls to increase generator EAF. Next is to mitigate the risk of the impact of the elimination of minor overhaul (simple inspection) using the likelihood scale and impact scale and assembling all steam turbine equipment into a series or parallel configuration in accordance with the conditions in the field to find out the equivalent availability factor generator. The results show a low risk value means that OH Minor elimination mitigation is acceptable. Then, the results of running software for the EAF generating system value were 91, 25% (with OH minor) and 94, 47% (without OH Minor), up 3, 22%. This is in line with the RJPU company to increase the EAF value in 2021 by 93.8%.

Keywords: *PLTGU, Overhaul Minor, Condition Base Maintenance (CBM), Reliability, Availability, Maintainability (RAM)*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala karunia dan ridho-NYA, sehingga tesis dengan judul "Justifikasi Overhaul Minor Untuk Meningkatkan EAF PT Pembangkit Listrik XYZ Studi Kasus Pada *Steam Turbine* 1.0 (ST 1.0)" ini dapat diselesaikan. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Manajemen Teknologi (M.MT) dalam bidang keahlian Manajemen Industri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Mokh Suef, M.Sc (Eng) atas bimbingan, arahan, dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi selama menjadi dosen pembimbing penulis,
2. Keluarga besar Bapak Rusdiman & Ibu dan Keluarga besar Papa Nugroho & Mama yang telah memberikan *support* dan doannya kepada penulis selama proses pengerjaan tesis ini,
3. Teruntuk Istri penulis tercinta, dr. Attika Dini Ardiana yang selalu menemani penulis dalam suka-duka dalam perjalanan penulisan tesis ini, serta doa, motivasi, dan support yang selalu diberikan kepada penulis sampai akhirnya penulis dapat menyelesaikan tesis untuk Progarm Magister Manajemen Teknologi ini,
4. Seluruh Dosen program Pascasarja Manajemen Industri, Magister Manajemen Teknologi ITS yang telah memberikan ilmu kepada penulis,
5. Rekan-rekan sejawat S-2 MMT kelas X yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, terimakash atas keceriaannya yang selalu diberikan selama proses belajar di MMT ITS
6. Rekan-rekan di PT PJB UP Gresik yang mengizinkan konsentrasi saya terbagi dua antara bekerja dan menimba ilmu di MMT IT

7. Kepada semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Dengan keterbatasan pengalaman, ilmu maupun pustaka yang ditinjau, penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan dan pengembangan lanjut agar benar benar bermanfaat. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran agar tesis ini lebih sempurna serta sebagai masukan bagi penulis untuk penelitian dan penulisan karya ilmiah di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap tesis ini memberikan manfaat bagi kita semua terutama untuk pengembangan ilmu pengetahuan yang ramah lingkungan.

Surabaya, Januari 2019

Gunadi Wijoyo

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN 1
ABSTRAK 1
KATA PENGANTAR 1
DAFTAR ISI 1
DAFTAR GAMBAR 7
DAFTAR TABEL 9
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Perumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Manfaat Peneltian 5
1.5 Batasan Masalah 6
1.6 Asumsi Peneltian 6
1.7 Sistematika Penulisan Proposal Tesis 6
BAB II KAJIAN PUSTAKA 8
2.1 Overview PLTGU UP Gresik 8
2.1.1 Turbin Gas 8
2.1.2 HRSG 9
2.1.3 Turbin Uap (Steam Turbine) 9
2.2 Definisi dan Tipe Ovehaul Pembangkit 10
2.3 Definisi Equivalent Availabiity Factor (EAF) 12
2.4 Strategi Peningkatan EAF 13
2.5 Perawatan/Pemeliharaan 14
2.6 Konsep Kehandalan 15
2.6.1 Kehandalan (Reliability) 15
2.6.2 Nilai Kehandalan 15
2.6.3 Penilaian Kehandalan 16
2.6.4 Fungsi Kehandalan 16

2.6.5 Laju Kegagalan 16
2.6.6 Mean Time Between Failure.....17
2.6.7 Karakteristik Kegagalan.....17
2.7 Model Perawatan/Pemeliharaan.....19
2.7.1 Inspekasi.....20
2.7.2 Perawatan Pencegahan atau Preventive Maintenance 20
2.7.3 Perwatan Prediktif atau Predictive Maintenance 20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 23
3.1 Diagram Alir Penelitian 23
3.2 Diagram Definisi Tujuan dan Ruang Lingkup.....24
3.2.1 Definisi Tujuan 24
3.2.2 Definisi Ruang Lingkup.....24
3.2.3 Batasan Sistem.....24
3.2.4 Deskripsi Sistem 24
3.3 Langkah-Langkah Penelitian 25
3.3.1 Tahap Pendahuluan.....25
3.3.2 Tahap Pengumpulan dan Penolahan Data.....26
3.3.3 Tahap Analisis dan Pembahasan.....28
BAB IV ANALISIS KEANDALAN 30
4.1 Analisis Keandalan *Equipmen*t di ST 1.0 30
4.2 Analisis Keandalan Menggunakan *Softwar*e *Blocksim* dan RGA 30
4.3 Strategi Peningkatan EAF.....55
4.4 Analisa *Standard Job Overhaul Minor (Simple Inspection)* 56
4.5 Mitigasi Risiko Peralatan ST 1.0 dengan Nilai Reliability dibawah R< 0,6 dan MTBF dibawah 2 tahun. 59
4.5.1 Penilaian level risiko terjadinya *failure mode* akibat eliminasi *OH* minor ..61
4.6 *Availability, Reliability,* dan *Probability Density Function* dari Sistem ST 1.0.....65
4.7 Perhitungan Produktivitas Pembangkit ST 1.0 PT Pembangkit Listrik XYZ 69

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 73
5.1 Kesimpulan 73
5.2 Saran 73
DAFTAR PUSTAKA 74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Data Kapasitas Pembangkitan PLTGU UP Gresik 2
Gambar 1.2 *Strategic Goal* PT.PJB 2018 2
Gambar 2.1 *Heat Recovery Steam Generator* 9
Gambar 2.2 Skema umum Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap.....10
Gambar 2.3 Kaidah Utama *Overhaul* 11
Gambar 2.4 Produksi Listrik 2011-2016 13
Gambar 2.5 Strategi Peningkatan *EAF* 14
Gambar 2.6 Tahapan Kegagalan Sistem atau Sub Sistem dan Komponen 18
Gambar 2.7 Tiga (3) Daerah Kemungkinan Inspeksi Dilakukan 21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 23
Gambar 4.1 Konfigurasi PLTGU di PT Pembangkit listrik XYZ 31
Gambar 4.2 Block Diagram Peralatan Utama dan *Common* di ST 1.0 31
Gambar 4.3 Konfigurasi RBD PU ST 1.0 dan *Common-Common* 32
Gambar 4.4 Konfigurasi RBD PU ST 1.0 dan *Common-HRSG* 34
Gambar 4.5 Konfigurasi RBD PU ST 1.0 dan *Common-Turbine* 35
Gambar 4.6 Konfigurasi RBD PU ST 1.0 dan *Common-Generator* 36
Gambar 4.7 *Screenshot* Tampilan *Work order* yang didapat dari PT Pembangkit Listrik XYZ 38
Gambar 4.8 *Screenshot* Tampilan Data *Downtime* Peralatan 38
Gambar 4.9 *Screenshot* Tampilan TBF pada *software* RGA 39
Gambar 4.10 *Screenshot* Tampilan Hasil *Running Software* RGA 40
Gambar 4.11 *Screenshot* Tampilan Hasil *Running Software* RGA 41
Gambar 4.12 Tampilan *Screenshot* Pengisian Nilai Distribusi pada *Blocksim* ...44
Gambar 4.13 Tampilan *Screenshot* Hasil *Running* Nilai MTTR dengan *Software Weibull* 47
Gambar 4.14 *Screensho*t hasil distribusi yang diinputkan kedalam *software* RBD 52
Gambar 4.15 Tampilan Screenshot Hasil Simulasi Menggunakan *Software RBD/Blocksim* 53

Gambar 4.16 *Screenshot* Tampilan *Standard Job OH Minor/Simple Inspection* di PT Pembangkit Listrik XYZ 57
Gambar 4.17 Screenshot Mitigasi Resiko Pada Peralatan di ST 1.0 61
Gambar 4.18 Nilai *Availability* dari Sistem Pembangkit ST 1.0 65
Gambar 4.19 Sistem Pembangkit dengan Siklus Waktu Overhaulnya 66
Gambar 4.20 Sistem Pembangkit ST 1.0 dengan Siklus Waktu OH SI 66
Gambar 4.21 Konfigurasi Subsitem Peralatan di Pembangkit ST 1.0 67
Gambar 4.22 PDF dari Sistem Pembangkit ST 1.0 67
Gambar 4.23 *Screenshot* Simulasi Nilai *Reliability* Pembangkit ST 1.0 68
Gambar 4.24 Tampilan *Screenshot* Simulasi Mencari Nilai *Availability* pada Sistem Pembangkit ST 1.0 beserta siklus *Overhau*lnya 69
Gambar 4.25 Plot Sistem *Block Up/Do*wn Selama 5 tahun 70
Gambar 4.26 Tampilan *Screenshot* Simulasi Mencari Nilai *Availability* pada Sistem Pembangkit ST 1.0 dengan Eliminasi OH minor 71
Gambar 4.27 Plot Sistem *Block Up/Do*wn Selama 5 tahun 71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Siklus *Overhaul* Berdasar Tipe Pembangkit 11
Tabel 4.1 Hasil *Running Software RGA Berupa* Nilai Beta (β), Eta (η), serta Model Distribusinya 41
Tabel 4.2 MTBF Setiap Peralatan di ST 1.0 44
Tabel 4.3 Hasil *Running Software Weibull Berupa Jenis Distribusinya* 47
Tabel 4.4 Hasil Nilai Reliability/Keandalan Peralatan di ST 1.0 53
Tabel 45 Peralatan yang termasuk kedalam *scope* pekerjaan OH *minor/simple inspection* 58
Tabel 4.6 Konfigurasi Susunan Peralatan di ST 1.*0* 60
Tabel 4.7 Skala *Likelihood* 61
Tabel 4.8 Skala Impact 62
Tabel 4.9 Mitigasi Resiko Peralatan *Unit Aux Transformator* 64

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

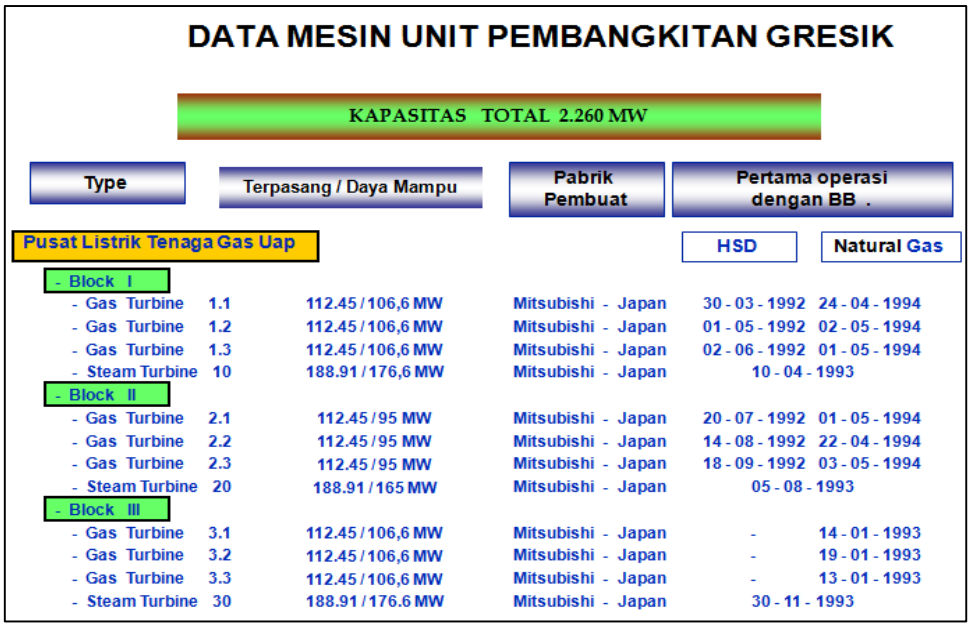
PT Pembangkit listrik XYZ adalah bagian dari suatu perusahaan yang memiliki bisnis dibidang kelistrikan. PT Pembangkit listrik XYZ berperan sebagai produsen listrik yang mensuplai listrik ke beberapa sistem jaringan interkoneksi Jawa Madura Bali (JAMALI). Kapasitas daya terpasang di PT Pembangkit listrik XYZ mencapai 2.218 MW yang terdiri dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), dan pembangkit listrik tenaga gas-uap (PLTGU). Adapun besaran daya terpasang pada saat *commissioning* pada masing-masing pembangkit yaitu:

- PLTU 1-2: 2x100 MW = 200 MW
- PLTU 3-4: 2x200 MW = 400 MW
- PLTG 1-2: 2x20 MW = 40 MW
- PLTGU Blok 1,2,3: 3x526,26 MW = 1578,78 MW

Dari keterangan daya terpasang tersebut, pembangkit listrik tenaga gas-uap (PLTGU) memiliki daya terpasang terbesar dibanding pembangkit listrik tenaga uap maupun gas. Sistem operasi PLTGU di PT Pembangkit listrik XYZ terdiri dari tiga (3) Blok yaitu dimana masing- masing blok terdiri dari konfigurasi tiga *gas turbine generator* (GT) dan satu *steam turbine generator* (ST). Untuk satu *gas turbine generator* (GT) daya terpasangnya ialah sebesar 112,45 MW, sedangkan untuk satu *steam turbine* daya terpasangnya adalah sebesar 188,91 MW. Sehingga masing-masing blok memiliki kapasitas daya terpasang sebesar 526,26 MW dan total kapasitas daya terpasang dari 3 blok PLTGU di PT Pembangkit listrik XYZ yaitu sebesar 1578,78 MW.

Gambar 1.1 berikut memperlihatkan data kapasitas daya terpasang dan daya mampu dari PT Pembangkit listrik XYZ serta tahun operasi dari pembangkit listrik tenaga gas-uap di PT Pembangkit listrik XYZ. Daya terpasang adalah daya saat *commissioning* pertama kali dari pihak *manufacturer* kepada PT Pembangkit

listrik XYZ. Sedangkan daya mampu adalah daya maksimal pembangkit yang dapat beroperasi pada saat ini. Dari gambar dibawah juga memperlihatkan waktu operasi PLTGU di PT Pembangkit Listrik XYZ telah melebihi usia 25 tahun. Hal ini tentu memerlukan perhatian khusus terutama dari segi pemeliharaan serta jadwal waktu pemeliharaannya.



DATA MESIN UNIT PEMBANGKITAN GRESIK

KAPASITAS TOTAL 2.260 MW

Type		Terpasang / Daya Mampu	Pabrik Pembuat	Pertama operasi dengan BB .	
Pusat Listrik Tenaga Gas Uap				HSD	Natural Gas
- Block I					
- Gas Turbine	1.1	112.45 / 106,6 MW	Mitsubishi - Japan	30 - 03 - 1992	24 - 04 - 1994
- Gas Turbine	1.2	112.45 / 106,6 MW	Mitsubishi - Japan	01 - 05 - 1992	02 - 05 - 1994
- Gas Turbine	1.3	112.45 / 106,6 MW	Mitsubishi - Japan	02 - 06 - 1992	01 - 05 - 1994
- Steam Turbine	10	188.91 / 176,6 MW	Mitsubishi - Japan	10 - 04 - 1993	
- Block II					
- Gas Turbine	2.1	112.45 / 95 MW	Mitsubishi - Japan	20 - 07 - 1992	01 - 05 - 1994
- Gas Turbine	2.2	112.45 / 95 MW	Mitsubishi - Japan	14 - 08 - 1992	22 - 04 - 1994
- Gas Turbine	2.3	112.45 / 95 MW	Mitsubishi - Japan	18 - 09 - 1992	03 - 05 - 1994
- Steam Turbine	20	188.91 / 165 MW	Mitsubishi - Japan	05 - 08 - 1993	
- Block III					
- Gas Turbine	3.1	112.45 / 106,6 MW	Mitsubishi - Japan	-	14 - 01 - 1993
- Gas Turbine	3.2	112.45 / 106,6 MW	Mitsubishi - Japan	-	19 - 01 - 1993
- Gas Turbine	3.3	112.45 / 106,6 MW	Mitsubishi - Japan	-	13 - 01 - 1993
- Steam Turbine	30	188.91 / 176.6 MW	Mitsubishi - Japan	30 - 11 - 1993	

Gambar 1.1 Data Kapasitas Pembangkit Listrik Gas - Uap di PT Pembangkit Listrik XYZ.

Didalam proses bisnis PT Pembagkit listrik XYZ ada istilah EAF atau *equivalent availability factor*. EAF (*Equivalent Availability Factor*) adalah faktor kesiapan unit pembangkit untuk dapat mensuplai energi listrik ke saluran tegangan tinggi milik konsumen. Nilai *EAF* berupa perbandingan yang didapat dari kesiapan pembangkit untuk beroperasi (baik dalam kondisi *stand by* ataupun operasi) dibagi terhadap waktu dalam setahun.

Equivalent availability factor merupakan salah satu parameter utama baik buruknya kinerja pembangkit serta berkontribusi pada sumber pendapatan unit pembangkit tersebut. Hal ini dikarenakan sistem kelistrikan di Indonesia menggunakan model tarif komponen, dimana tarif listrik dari pembangkit dinilai dari dua aspek, yaitu pertama kesiapan EAF unit dan kedua adalah daya distribusi energi listrik yang disalurkan.

PT Pembangkit listrik XYZ bertekad untuk mewujudkan visi Induk perusahaan yaitu: “menjadi perusahaan terpercaya dalam bisnis pembangkitan terintegrasi dengan standar kelas dunia”. Tahapan pencapaian visi tersebut dijabarkan dengan *strategic goal* yang tertuang dalam RJPP (Rencana Jangka Panjang Perusahaan) 2017-2021. Salah satu sasaran yang ingin dicapai oleh Induk perusahaan di Tahun 2021 adalah pencapaian EAF sebesar 93, 8%. EAF Induk perusahaan merupakan hasil gabungan penjumlahan dari EAF pembangkit listrik yang dimilikinya, salah satunya berasal dari EAF PT Pembangkit listrik XYZ. Hal ini memberikan tantangan PT Pembangkit listrik XYZ serta unit pembangkit lainnya untuk mencapai sasaran tersebut. Target EAF tahun 2021 untuk PT Pembangkit listrik XYZ sendiri adalah sebesar 94, 46%, nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan target EAF dari Induk perusahaan.

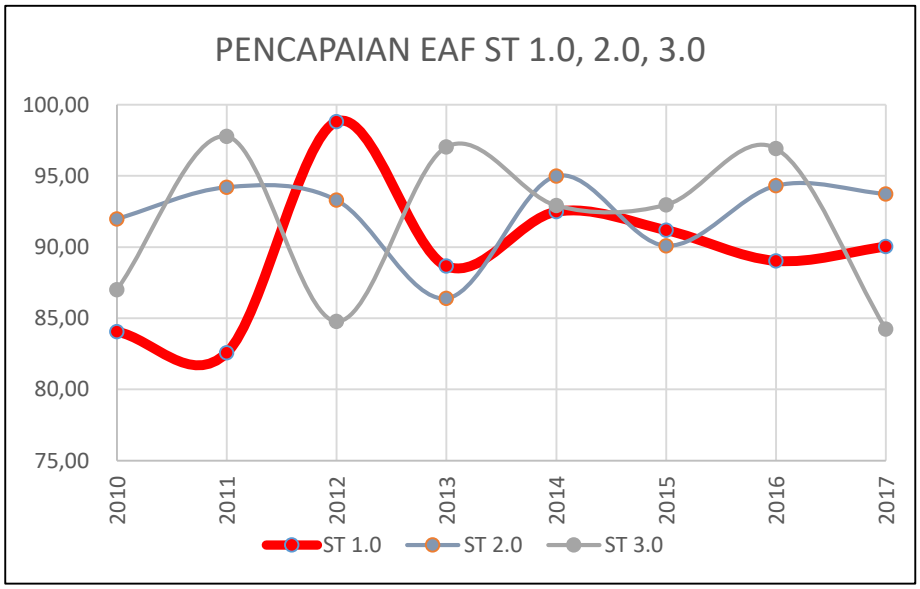
PT Pembangkit listrik XYZ bertekad untuk mendukung tercapainya visi Induk perusahaan. Oleh karena itu, untuk mewujudkan EAF sesuai target yang telah ditentukan, maka diperlukan strategi untuk menaikkan *availability* dari pembangkit. *Availability* pembangkit adalah kesiapan suatu pembangkit listrik untuk dapat beroperasi dengan normal sehingga dapat mensuplai tenaga listrik yang masuk kedalam jaringan dan disalurkan kepada konsumen listrik di Indonesia. Ada 3 macam strategi yang dapat dipilih untuk menaikkan *availability* pembangkit. Dari ketiga strategi tersebut akan dipilih salah satu yang layak untuk diterapkan di PT Pembangkitan listrik XYZ. Sehingga diharapkan dapat menaikan pencapaian dari nilai EAF itu sendiri. Ketiga strategi tersebut yaitu:

1) Memperpanjang interval *overhaul*
2) Memperpendek durasi *overhaul*
3) Mengeliminasi *overhaul minor*

Dalam tesis ini penulis ingin mengidentifikasi terkait waktu pemeliharaan *overhaul* tahunan yang diterapkan oleh PT Pembangkit listrik XYZ guna mendukung sasaran Induk perusahaan terkait pada pencapaian nilai EAF yang telah direncanakan. Berdasarkan manual book pabrikan dari Mitsubishi, siklus pemeliharaan untuk steam turbine adalah sebagai berikut, yaitu *simple inspection* (SI) – *medium inspection* (ME) – *simple inspection* (SI) - *serious inspection* (SE) dengan interval 8000 EOH (*Equivalent Operating Hours*). Penulis

hanya mengidentifikasi pada *overhaul simple inspection* (SI) untuk PLTGU *steam turbine* (ST 1.0) dikarenakan *overhaul simple inspection* merupakan kegiatan *overhaul* yang telah dijadwalkan rutin sesuai siklus *overhaul manual book*, yang dilakukan rata-rata 25 hari kerja sehingga harus dilakukan shutdown unit PLTGU ST dengan cakupan beban pekerjaan yang tidak terlalu berat dan banyak. Pemeliharaan ini menyebabkan unit mengalami *shutdown* sampai pemeliharaan *overhaul* tersebut selesai. Oleh karena itu perlu adanya "justifikasi evaluasi *overhaul minor* atau *simple inspection*" untuk mencari tahu kapan waktu efektif untuk dilakukannya *overhaul simple inspection* guna meningkatkan EAF dari pembangkit.

Pemilihan ST 1.0 didasari oleh rata-rata realisasi pencapaian EAF nya lebih rendah dibandingkan ST 2.0 maupun ST 3.0. Gambar 1.2 memperlihatkan grafik pencapaian EAF untuk steam turbin Blok 1, 2, dan 3 diambil dari tahun 2010-2017.



Gambar 1.2 Kurva Pencapaian EAF dari Kurun Waktu 2010-2017.

Dari gambar tersebut terlihat *trend* pencapaian EAF untuk ST 1.0 lebih rendah dibandingkan dengan ST 2.0 dan ST 3.0. Sehingga dalam tesis ini penulis ingin mengkaji lebih jauh terkait penerapan pola *overhaul simple inspection* pada steam turbine (ST 1.0).

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa siklus pemeliharaan *overhaul* untuk *steam turbine* (ST 1.0) di PT Pembangkit listrik XYZ berdasarkan *history work order* (WO). Permasalahan yang berkaitan dengan peningkatan EAF PT Pembangkit listrik XYZ yang akan diteliti lebih lanjut dalam tesis ini adalah:

1. Bagimana mendapatkan waktu antar kerusakan atau trend laju kerusakan peralatan?
2. Bagaimana mendapatkan *interval* perawatan *overhoul* yang terbaik dalam peningkatan EAF pembangkit.
3. Bagaimana melakukan penentuan alternatif strategi yang terbaik untuk meningkatkan *availability* pembangkit.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan data waktu antar kerusakan atau trend laju kerusakan pada peralatan utama di *steam turbine* (ST 1.0) di PT Pembangkit listrik XYZ.
2. Menentukan interval perawatan *overhaul* yang terbaik untuk *steam turbine* (ST 1.0) di PT Pembangkit listrik XYZ.
3. Mendapatkan strategi yang tepat untuk menaikkan *availability* pembangkit di PT Pembangkit listrik XYZ.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan berguna untuk:

1. Praktisi:

Bahan pertimbangan bagi pengambil keputusan di perusahaan pembangkit listrik khususnya pembangkit *combined cycle* dalam memutuskan dan menentukan metode baku dalam penentuan interval pemeliharaan *overhaul* guna meningkatkan *availability* pembangkit sehingga dapat menaikkan EAF Perusahaan serta mengetahui *life cycle* yang tepat untuk sistim peralatan tersebut.

2. Pengembangan keilmuan:

Bahan informasi bagi penelitian lanjutan di bidang ketenagalistrikkan untuk dapat menganalisa lebih dalam terkait siklus pemeliharaan yang telah

dilakukan selama ini terkait dengan standar manual yang dikeluarkan oleh OEM *(original equipment manufacturer)* pembangkit masing-masing.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memperoleh langkah pemecahan yang tepat dan menjaga supaya analisa yang dilakukan tetap terarah, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Obyek penelitian adalah *equipment* yang masuk kedalam *scope overhaul simple inspection* (SI) pada unit *steam turbin* (ST 1.0*)* PT Pembangkit listrik XYZ.
2. *History work order equipment* yang masuk dalam *scope overhaul simple inspection* diambil dari tahun 2000-2016.
3. Obyek penelitian hanya sebatas level *equipment* dari suatu peralatan berdasarkan *equipment number* yang ada di PT Pembangkit listrik XYZ.
4. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ReliaSoft Syntesis* untuk RGA versi 9, *@Risk* versi 7.5, serta *Reliability Block Diagram.*

1.6 Asumsi Penelitian

Sedangkan asumsi-asumsi yang diambil dalam penelitian ini adalah diasumsikan bahwa:

1. Tidak membahas detail kerusakan level part suatu peralatan.
2. *Work order* yang diambil dari sistem *corvu* PT XYZ UP Gresik merupakan data valid yang di*record* oleh operator saat terjadi kerusakan peralatan.
3. *Nilai Reliability*, *availability*, serta nilai waktu antar kerusakan diperoleh dari *software* yang digunakan untuk mengolah data tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan Tesis

Sistematika penulisan tesis ini secara garis besar dibagi kedalam tiga bab, dimana setiap bab dibagi menjadi sub-sub bab berisi uraian yang mendukung isi secara sistematis dari setiap bab secara keseluruhan. Adapun sistematika tesis ini adalah:

BAB 1: PENDAHULUAN

BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA

BAB 3: METODOLOGI PENELITIAN

BAB 4: ANALISA HASIL

BAB 5: KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2
DASAR TEORI DAN TINJUAN PUSTAKA

2.1 *Overview* PLTGU PT Pembangkit Listrik XYZ

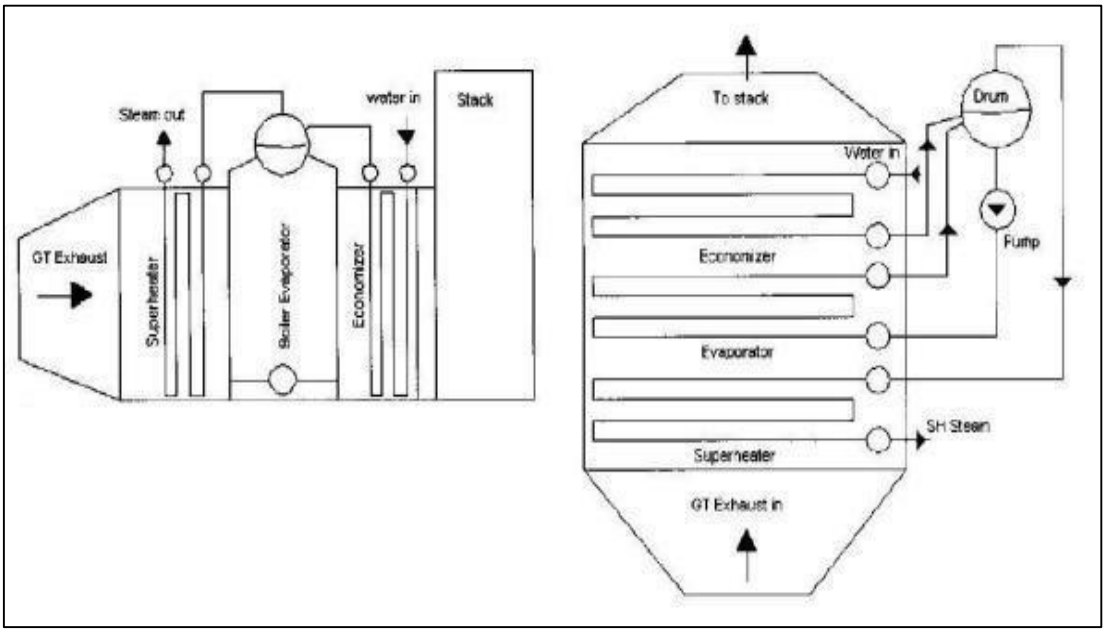
Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) adalah pembangkit siklus ganda (*combined cycle*) yang peralatan utamanya terdiri dari turbin gas dengan generatornya, *HRSG* (*Heat Recovery Steam Generator*), turbin uap dengan generatornya dan alat pendukung lainnya.

2.1.1 Turbin Gas

Turbin gas berfungsi sebagai pembangkit listrik tahap pertama terdiri dari peralatan utama kompresor, ruang pembakaran (*combuser*), turbin dan generator serta penggerak mula (*starting device*). Proses pembangkitan diawali dengan menjalankan motor *starter* sebagai penggerak mula sampai udara masuk ke ruang kompresor dan mengalami proses pemampatan sehingga menjadi udara bertekanan. Bersamaan dengan proses pemampatan udara, pada ruang bakar diinjeksikan bahan bakar. Setelah udara bertekanan dan bahan bakar masuk, kemudian dinyalakan dengan *igniter* yang berfungsi seperti busi, sehingga terjadilah pembakaran yang mengakibatkan kenaikan temperatur dan tekanan dalam ruang bakar. Tekanan ini kemudian akan menekan sudu-sudu turbin gas, sehingga timbul energi mekanik yang menggerakkan dan memutar sudu turbin. Selanjutnya energi mekanik ini dikopel ke generator, menimbulkan fluks listrik, sehingga mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Sementara itu putaran kompresor turbin terus naik sampai 3000 rpm (*full speed no load*), pada putaran ini generator diberikan arus, maka generator akan membangkitkan energi listrik yang bertegangan 10,15 KV kemudian dinaikkan menjadi 150 KV atau 500 KV melalui trafo utama yang kemudian diteruskan dengan jaringan interkoneksi Jawa-Bali.

2.1.2 *HRSG*

HRSG adalah singkatan dari *Heat Recovery Steam Generator*, adalah peralatan utama dari Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) yang berfungsi untuk memanfaatkan gas buang turbin gas untuk memperoduksi uap bertekanan (khususnya *superheated steam*). 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*, *economizer* dan *preheater* serta selanjutnya keluar melalui cerobong pembuangan. Gas buang pembakaran dari turbin dilewatkan dalam HRSG untuk menghasilkan uap tekanan tinggi (*High Pressure/*HP) dan tekanan rendah (*Low Pressure/*LP), ketel ini tanpa pembakaran, jadi murni dari gas buang pembakaran dari turbin gas. Gambar 2.1 berikut merupakan gambar HRSG yang ada di PT Pembangkit listrik XYZ.

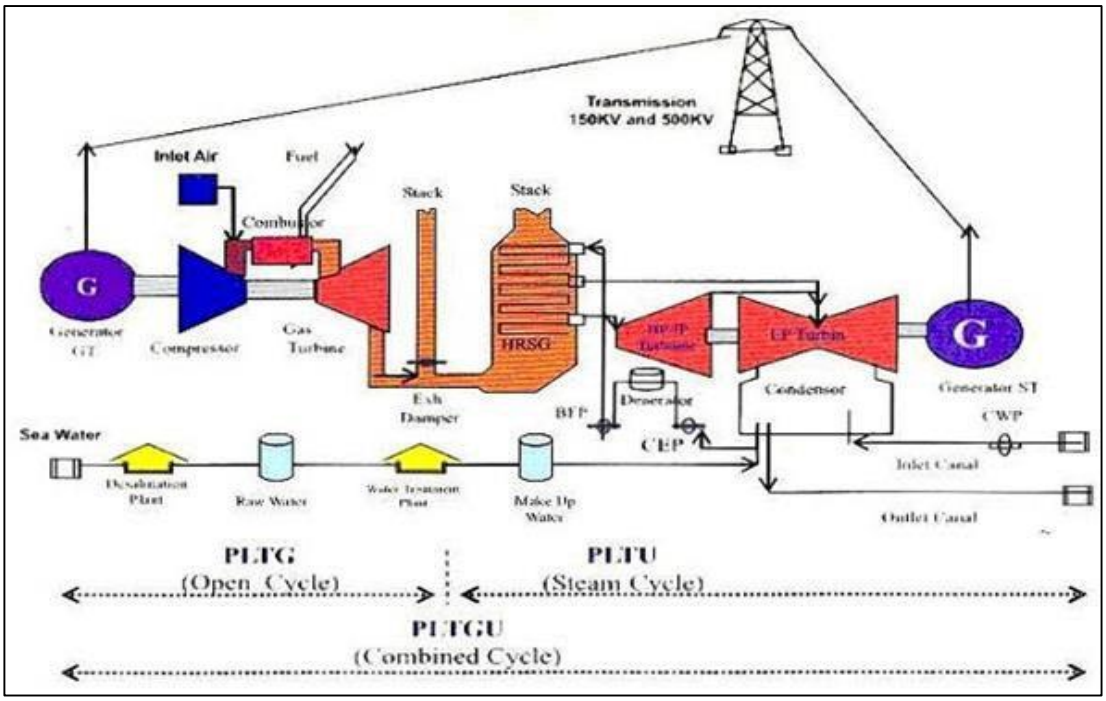


Gambar 2.1 *Heat Recovery Steam Generator.*

2.1.3 Turbin Uap/ *Steam Turbine*

Hasil produksi dari *HRSG* digunakan untuk menggerakkan turbin uap atau

steam turbine. Turbin uap ini adalah jenis *compond tandem* yang terdiri dari turbin tekanan tinggi dan turbin tekanan rendah. Uap dari saluran tekanan tinggi masuk ke turbin tekanan tinggi, selanjutnya bersama-sama uap dari tekanan rendah dikondensasikan dikondensor, air kondensasi dipanaskan kembali ke HRSG sehingga kembali terbentuk uap untuk memutar turbin. Energi mekanik turbin digunakan memutar generator yang kemudian dihasilkan energi listrik dan diparalelkan dengan jaringan interkoneksi Jawa-Bali. Gambar 2.2 seperti dibawah ini memperlihatkan skema umum PLTGU yang terdiri dari gabungan PLTG dan PLTU.



Gambar 2.2 Skema Umum Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap.

2.2 Aktivitas *Maintenance*

Maintenance merupakan kegiatan pengecekan dan perbaikan fungsi suatu komponen agar dapat berfungsi dengan baik tanpa kegagalan yang terjadi dalam periode waktu tertentu (Ebeling, 1997). Sedangkan definisi *maintenance* adalah memastikan suatu komponen dapat melakukan fungsinya (Moubray, 1997). Menurut Daryus A., (2007), dalam buku Manajemen Pemeliharaan Mesin, tujuan dari

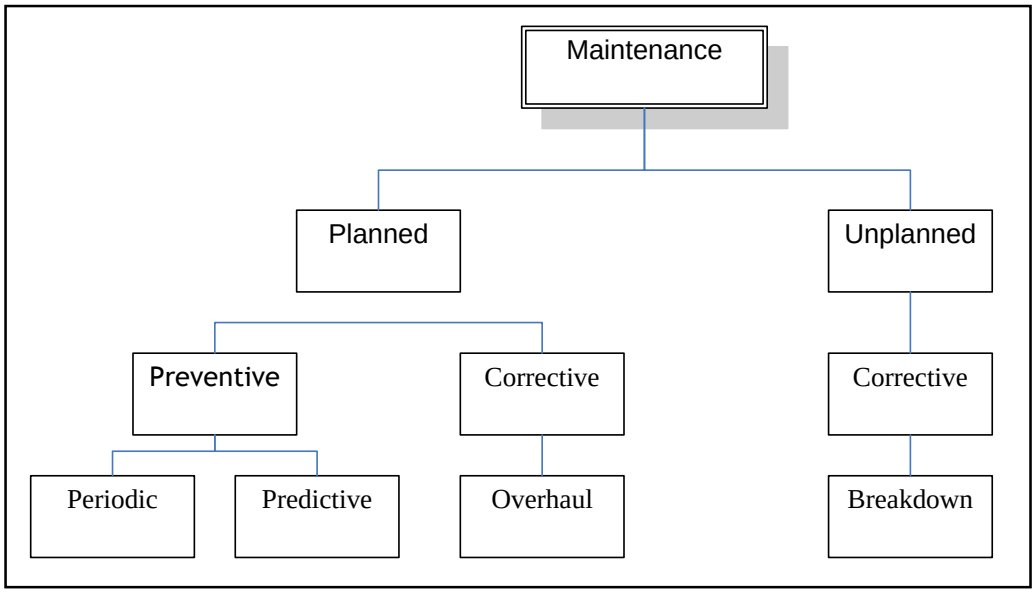
pemeliharaan fasilitas yang paling utama didefinisikan sebagai berikut:

1. Untuk memperpanjang kegunaan asset,
2. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi dan mendapatkan laba investasi maksimum yang mungkin,
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dan seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu,
4. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana/fasilitas tersebut.

Hasil yang diharapkan dari kegiatan pemeliharaan mesin/peralatan (*maintenance*) didasarkan atas dua hal sebagai berikut:

1. *Condition maintenance* yaitu mempertahankan kondisi mesin/peralatan agar berfungsi dengan baik sehingga komponen – komponen yang terdapat dalam mesin juga berfungsi dengan umur ekonomisnya.
2. *Replecement maintenance* yaitu mempertahankan tindakan perbaikan dan penggantian komponen mesin tepat pada waktunya sesuai dengan jadwal yang telah direncanakan.

Adapun gambar 2.3 dibawah memperlihatkan jenis – jenis *maintenance* berdasarkan waktu perencanaan dalam pemeliharaannya.



Gambar 2.3 Diagram Jenis Pemeliharaan.

Dalam melakukan pekerjaan perawatan/pemeliharaan fasilitas produksi ada dua macam sifat perawatan/pemeliharaan, yaitu yang terencana dan tidak terencana. Strategi pemeliharaan/perawatan terencana termasuk bersifat pencegahan (*preventiv*e) misalnya inspeksi, perbaikan (*repair*), maupun penggantian (*replacemen*t), sehingga kerusakan yang bersifat mendadak dapat dicegah atau dikurangi, sehingga dapat memperpanjang umur alat serta menjamin keselamatan operasional (Govil, 1991; Salvendy, 1982). Konsep kehandalan dan karakteristik kegagalan sistem, sub sistem dan komponen dapat dijadikan dasar strategi jadual pemeliharaan/perawatan.

2.3 Aktivitas *overhaul* Pembangkit

Overhaul adalah pemeliharaan pada peralatan termasuk dalam satu paket inspeksi untuk mengembalikan kondisi terbaik dari peralatan. *Overhaul* sebagai siklus pemeliharaan, di mana setiap tahunnya pembangkit akan melakukan *outage* untuk dilakukan pemeliharaan, meliputi inspeksi sesuai *standard job overhaul*, *corrective action*, dan *project engineering*. Untuk dapat melaksanakan kegiata *overhaul* yang maksimal maka ada beberapa kaidah utama dalam proses *overhaul*. Gambar 2.4 dibawah ini memperlihatkan kaidah utama *overhaul.*

Gambar 2.4 Kaidah Utama *Overhaul.*

Tujuan utama *overhaul* adalah mengurangi gangguan, mengembalikan kondisi unit, dan efisiensi yang efektif. Pada Tabel 2.1 seperti berikut memperlihatkan siklus *overhaul* berdasar tipe pembangkit berdasarkan (SK Direksi PT.XYZ Nomor: 097.K/020/DIR/2007).

Tabel 2.1 Siklus *Overhaul* Berdasar Tipe Pembangkit.

UNIT	SIKLUS 1						SIKLUS 2						SIKLUS 3						SIKLUS 4					
PLTU	SI	ME	SI	SE			SI	ME	SI	SE			SI	ME	SI	SE			SI	ME	SI	SE		
PLTG	CI	HGPI	CI	MI			CI	HGPI	CI	MI			CI	HGPI	CI	MI			CI	HGPI	CI	MI		
PLTGU	CI	TI	CI	MI			CI	TI	CI	MI			CI	TI	CI	MI			CI	TI	CI	MI		
PLTGU	TC/TA		TB/TA				TC/TA		TB/TA				TC/TA		TB/TA				TC/TA		TB/TA			
PLTD	TO	SO	TO	MO			TO	SO	TO	MO			TO	SO	TO	MO			TO	SO	TO	MO		
PLTA	AI	AI	GI	AI	AI	MO	AI	AI	GI	AI	AI	MO	AI	AI	GI	AI	AI	MO	AI	AI	GI	AI	AI	MO

SIKLUS PEMELIHARAAN BESAR (OH)

▪ SI	: Simple Inspection	8.000 OH	▪ MI	: Major Inspection	32.000 EOH
▪ ME	: Medium Inspection	16.000 OH	▪ TA	: Type A Inspection	6.000 EOH
▪ SE	: Serius Inspection	32.000 OH	▪ TB	: Type B Inspection	12.000 EOH
▪ AI	: Annual Inspection	8.000 OH	▪ TC	: Type C Inspection	24.000 EOH
▪ GI	: General Inspection	20.000 OH	▪ TO	: Top OH	3.000 OH
▪ MO	: Major OH	40.000 OH	▪ SO	: Semi OH	6.000 OH
▪ CI	: Combustion Inspection	8.000 EOH	▪ MO	: Major OH	12.000 OH
▪ TI	: Turbine Inspection	16.000 EOH			

Sumber: SK Direksi PT.XYZ Nomor: 097.K/020/DIR/2007

Dari table 2.1 tersebut, untuk siklus *overhaul* yang ada pada pembangkit listrik tenaga gas-uap (PLTGU) yang ada di PT. Pembangkit listrik XYZ dibedakan menjadi 2 yang terdiri dari *gas turbine* dan *steam turbine*. Untuk siklus *gas turbine* terdiri dari CI (*combustion inspection*) dan TI (*turbine inspection*) sedangkan untuk *steam turbine* terdiri dari SI (*simple inspection*), ME (*medium inspection*), dan SE (*serius inspection*). Untuk waktu antar kegiatan *overhaul* seperti yang tertera pada table diatas. Kegiatan *overhaul* ini memakan waktu yang berbeda-beda tergantung jenis *overhaul* yang sedang dilakukan. Untuk pemeliharaan SI 20 hari, ME 35 hari dan SE 45 hari.

2.4 Definisi *EAF*

EAF (*Equivalent Availability Factor*) adalah indikator kinerja ketersediaan pembangkit yang telah memperhitungkan dampak dari *derating*

pembangkit. Faktor- faktor yang berpengaruh terhadap *EAF* adalah *planned outage, forced outage, maintenance outage, planned derating, forced derating*, dan *seasonal derating*. *Overhaul* merupakan aktifitas pemeliharaan yang menimbulkan *planned outage*.

EAF = ((PH-POH-FOH-MOH)-(EFDH+ESDH))*100% / PH

Dimana:

PH = *Period Hours;*

POH = *Planned Outage Hours;*

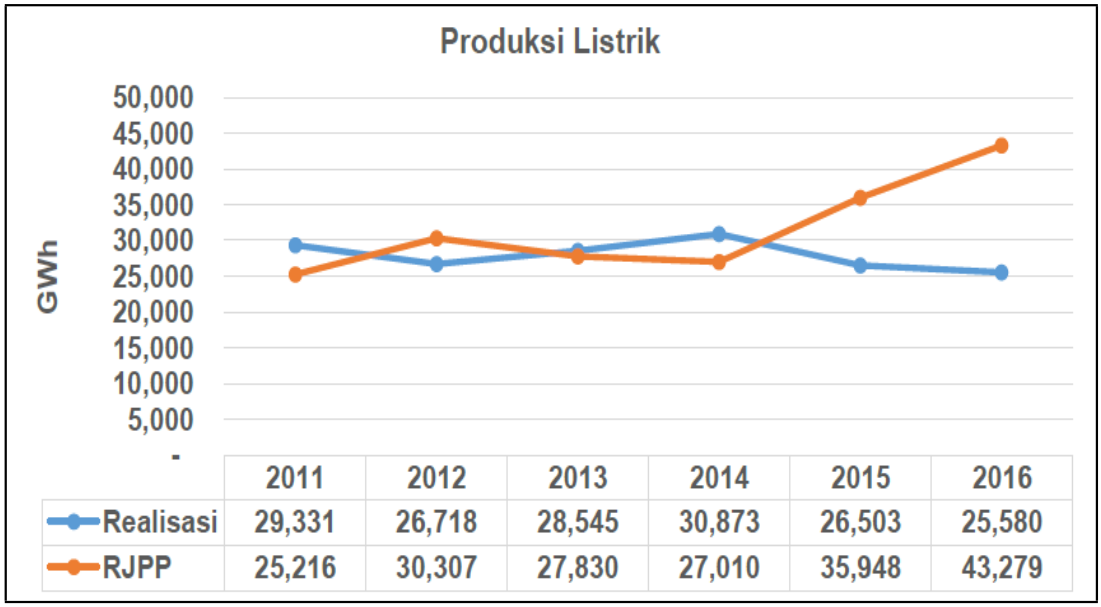
FOH = *Forced Outage Hours;*

MOH =*Maintenance Outage Hours;*

EFDH = *Equivalent Forced Derating Hours;*

ESDH = *Equivalent Scheduled Derating Hours*.

Realisasi pencapaian kinerja operasi XYZ meliputi produksi, konsumsi energi primer, *EAF* (*Equivalent Availability Factor*), *EFOR* (*Equivalent Force Outage Rate*), *SdOF* (*Sudden Outage Frequency*), Efisiensi *Thermal* dapat diperlihatkan pada gambar 2.5 sebagai berikut:



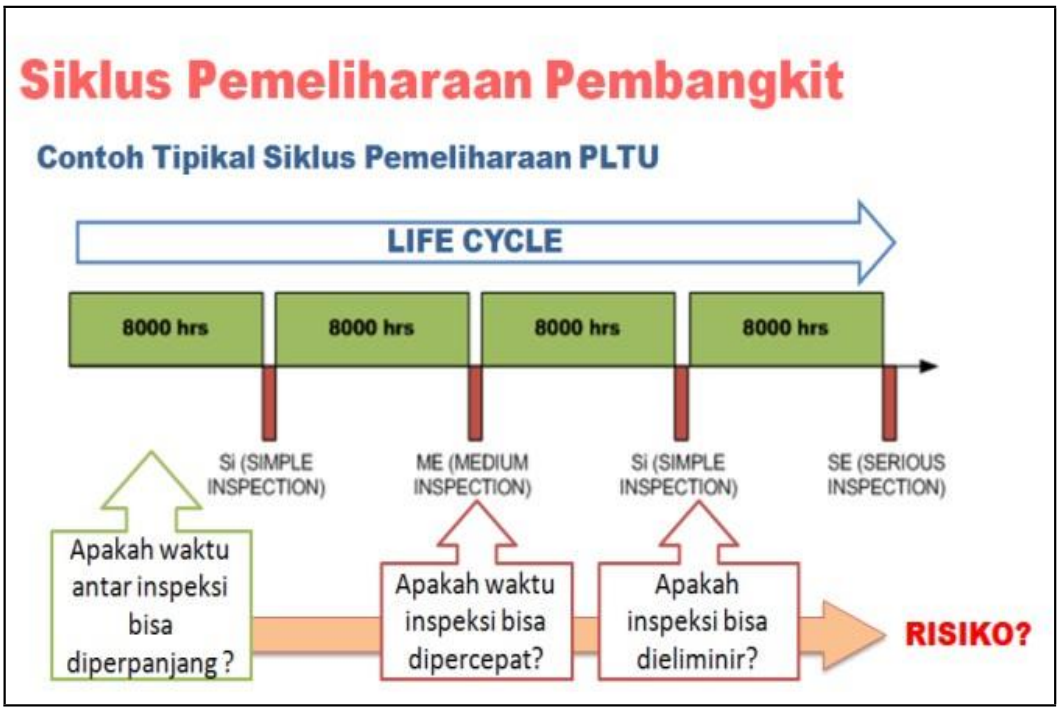
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Realisasi	29,331	26,718	28,545	30,873	26,503	25,580
RJPP	25,216	30,307	27,830	27,010	35,948	43,279

Gambar 2.4 Produksi Listrik 2011-2016.

Dalam periode tersebut, produksi listrik mengalami penurunan sebesar 12,8%, dari 29,3 TWh di tahun 2011 menjadi 25,58 TWh di tahun 2016. Realisasi Produksi Energi Listrik pada Desember 2016 mencapai 25,58 TWh atau lebih rendah 41% dari sasaran RJPP 2013–2018. Penurunan produksi listrik sejak tahun 2015 disebabkan terutama oleh masuknya pembangkit baru dengan kinerja yang lebih baik dan HPP yang lebih rendah sehingga *merit order* pembangkit listrik XYZ menurun, serta dilaksanakannya *maintenance* pembangkit yang meningkatkan *EFOR* perusahaan.

2.5 Strategi Peningkatan EAF

Strategi peningkatan EAF melalui strategi *overhaul* dapat diilustrasikan pada gambar 2.5, dimana siklus pemeliharaan pembangkit yang dicontohkan adalah siklus pemeliharaan pada PLTU.



Gambar 2.6 Strategi Peningkatan EAF.

Ada 3 strategi yang dapat digunakan, yaitu:

a. Apakah waktu antar inspeksi bisa diperpanjang?
b. Apakah waktu inspeksi bisa dipercepat?
c. Apakah inspeksi bisa dieliminir?

Strategi tersebut tentunya menimbulkan risiko yang harus dimitigasi sehingga dampak dari penerapan strategi tidak menimbulkan kerugian perusahaan.

2.6 Konsep Kehandalan

Aplikasi teori kehandalan secara luas sangat banyak dipergunakan karena dapat digunakan untuk memprediksi peluang suatu sistem, sub sistem atau komponen agar dapat bekerja sesuai dengan maksud yang diinginkan dalam kurun waktu tertentu. Basis dari teori ini adalah penerapan aplikasi matematika dan *statistic*. Mengetahui kehandalan suatu sistem dan lain-lainnya menjadi hal ynag penting karena menyangkut biaya pemeliharaan dan pada akhirnya menyangkut profitabilitas suatu perusahaan. Berikut ini penjelasan mengenai beberapa teori kehandalan yang dikutip dari berbagai sumber (Ebeling, 1997; Govil, 1991; Jardine, 1973; Kececioglu, 1991 dan Lewis, 1987)

2.6.1 Kehandalan (Reliability)

Kehandalan adalah kemampuan dari suatu item untuk dapat melakukan atau mengerjakan fungsi yang diperlukan secara baik (beroperasi normal) selama periode waktu yang ditetapkan dalam kondisi operasional tertentu. Penggunaan istilah *item* yang dimaksud dalam definisi kehandalan diatas adalah untuk sembarang komponen, mesin/peralatan, sub sistem atau sistem yang dapat dianggap sebagai suatu kesatuan. Fungsi yang diperlukan dapat berupa sebuah fungsi atau gabungan dari beberapa fungsi yang diperlukan untuk melayani suatu kebutuhan. Kehandalan suatu alat sebenarnya berkaitan dengan keadaan bebas kerusakan *(failure-free operation)* sehingga pengetahuan tentang pola kerusakan suatu alat menjadi sangat penting.

2.6.2 Nilai Kehandalan

Dari nilai kehandalan yang merupakan nilai probabilitas, dapat diperoleh nilai- nilai yang lain yaitu:

- Jumlah kegagalan yang diharapkan akan terjadi dalam periode waktu tertentu.
- Waktu rata-rata diantara dua kegagalan
- Laju kegagalan dari suatu proses
- Durasi rata-rata downtime dari suatu peralatan atau sistem
- Nilai harapan keuntungan yang akan hilang karena kegagalan

2.6.3 Penilaian Kehandalan

Ada dua (2) metode untuk menilai kehandalan komponen, sub sistem atau sistem secara umum dan metode penilaian kehandalan ini, yaitu:

a. Analisa Kualitatif, terbagi 2 yaitu:

1. Anlisa mode dan dampak kegagalan (*Failure Mode and Effect Analysis/ FMEA*)
2. Analisis pohon kegagalan (*Fault Tree Analysis*)

b. Analisi Kuantitatif, terbagi 2 yaitu:

1. Segi analitis yaitu perhitungan langsung untuk sistem yang sederhana, pendekatan dengan probabilitas kondisional, dan proses Markov (*Morkov Process*).

2. Simulasi Monte Carlo (*Monte Carlo Simulation-MCS*).

2.6.4 Fungsi Kehandalan

Kehandalan sistem, sub sistem atau komponen adalah probabilitas item untuk tidak rusak selama periode t atau lebih. Fungsi kehandalan dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$R\,(t) = 1 - F(t) = \int_{t}^{\infty} f(t)dt \qquad (2.1)$$

Dimana:

f (t) = Fungsi padat peluang

R (t) = Kehandalan (*reliability*)

F (T) = Probabilitas kegagalan *(unreliability)*

2.7 Distribusi Kegagalan

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan selama periode tertentu, dengan total waktu operasi sistem, sub sistem, atau komponen serta dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{f}{t} \tag{2.2}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \tag{2.3}$$

Dimana:

F = Banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

T = Total waktu operasi

R (t) = Kehandalan *(reliability*)

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.

2.7.1 Distribusi Normal

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

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \tag{2.4}$$

Dimana:

σ = Deviasi Standar

μ = Rata – rata

Fungsi keandalan *distribusi normal* adalah:

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

Laju Kegagalan distribusi normal adalah:

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

MTBF dari distribusi normal adalah:

$$MTBF = \mu \quad (2.7)$$

2.7.2 Distribusi *Weibull*

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

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta}\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (2.8)$$

Dimana:

β = Parameter Bentuk (*Shape Parameter*), **β**>0

η = Parameter Skala (*Scale Parameter*), **η**>0

γ = Parameter Lokasi

Fungsi Keandalan Distribusi *Weibull*:

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

Laju Kegagalan Distribusi *Weibull*:

$$\lambda(t) == \frac{\beta}{\eta}\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} \quad (2.10)$$

MTBF untuk Distribusi *Weibull* adalah:

$$MTBF = \boldsymbol{\gamma} + \boldsymbol{\eta}\ \Gamma\ (1/\boldsymbol{\beta} + 1) \quad (2.11)$$

2.7.3 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:

$$f(t) = \frac{1}{t.s\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2s^2}\ (\ln t - t0\ )^2\right] \quad (2.12)$$

Dimana:
t_0 = Rata – rata

s = Variansi

Fungsi Keandalan dari distribusi *lognormal* adalah:

$$R(t) = 1 - \phi\left[\frac{1}{s}\ln\frac{t}{t0}\right] \quad (2.13)$$

MTBF dari distribusi *lognormal* adalah:

$$MTBF = \exp\left[t0 + (\ 0{,}5 \times s^2)\right] \quad (2.14)$$

2.7.4 Distribusi *Eksponensial*

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

$$F(t) = \lambda \exp\left[-\lambda t\right] \qquad t > 0,\ \lambda > 0 \quad (2.15)$$

Fungsi keandalan distribusi *eksponensial* adalah:

$$R(t) = \mathrm{Exp}\left[-\lambda t\right] \qquad t \geq 0 \quad (2.16)$$

Laju Kegagalan distribusi *eksponensial* adalah:

$$\lambda \quad (2.17)$$

Sedangkan MTBF nya adalah:

$$MTBF = 1/\lambda \quad (2.18)$$

2.7.4 Mean Time between Failure (MTBF)

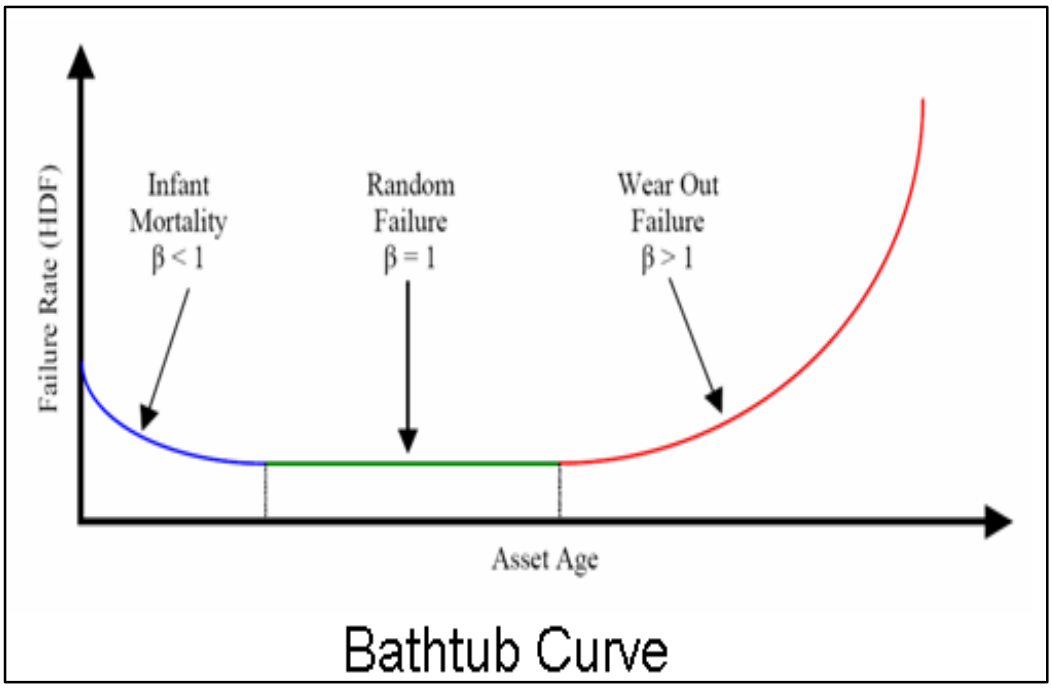
MTBF adalah waktu rata-rata antar kegagalan atau rata-rata waktu beroperasinya sistem, sub sistem atau komponen tanpa mengalami kegagalan. *MTBF* diperoleh dari pembagaian waktu operasi dengan jumlah kerusakan dalam periode waktu tertentu, sehingga dapat dinyatakan sebagai:

$$MTBF\,(\theta) = \frac{jam\ operasi}{jumlah\ kerusakan} \tag{2.19}$$

$$MTBF = \int_0^{\infty} t.f(t)dt = \int_0^{t} R(t)dt \tag{2.20}$$

2.8 Karakteristik Kegagalan

Garis besar karakteristik kegagalan suatu komponen, sistem atau sub sistem yang ditunjukkan pada kurva bathub-shaped dapat dibagi menjadi 3 tahapan seperti pada gambar 2.7 sebagai berikut.



Gambar 2.7 Tahapan Kegagalan Sistem atau Sub Sistem dan Komponen.

Adapun jenis-jenis kegagalannya adalah sebagai berikut:

1. Kegagalan awal (*infant mortality*)

Terjadi pada awal operasi, misalnya pengoperasian mesin baru, dimana terjadi penyesuaian pemakaian (orientasi). Laju kegagalan pada mulanya tinggi kemudian turun. Kegagalan awal umumnya dapat ditanggulangi atau dicegah dengan penangana manajemen atau *burn-in procedure* jika kegagalan awal tidak dapat dicegah dengan manajemen. Aktivitas pemeliharaan atau perawatan pencegahan tidak sesuai pada tahap ini karena akan mengembalikan sistem pada kondisi awal. Beberapa penyebab kegagalan awal yaitu:

a. Pemakaian yang tidak sesuai dengan prosedur pemakaian,
b. Ketidaksesuaian material,
c. Setup atau tidak terinstalasi dengan benar,
d. Kerusakan yang diakibatkan pada saat proses pengiriman, penerimaan, dan lain-lain.

2. Kegagalan Acak

Setelah terjadi laju kegagalan yang menurun pada fase awal, akhirnya laju kegagalan menjadi konstan. Komponen, sistem atau sub sistem telah berjalan dengan normal. Kegiatan berupa perawatan inspeksi yang terjadual sehingga pengaruh kegagalan yang akan terjadi dapat ditekan.

3. Kegagalan keausan *(wear out)*

Pada daerah ini, terjadi kenaikan laju kegagalan yang semakin tinggi. Biasanya sistem, sub sistem atau komponennperalatan yang sudah berumur tua mendekati usang untuk selalu dipakai dengan kapasitas penuh. Kegiatan perawatan/pemeliharaan yang dilakukan pada kondisi ini antara lain yaitu dengan melakukan perawatan pencegahan, yang memiliki interval waktu antara pemeliharaan lebih pendek serta perbaikan atau penggantian, sehingga kegagalan pada saat beroperasi atau mau beroperasi dapat dicegah.

2.9 Model Perawatan/ Pemeliharan

Telah disebutkan diatas bahwa pemeliharaan/perawatan dapat dilakukan pada tahap kegagalan acak dan kegagalan usang. Kegiatan pemeliharaan/perawatan berdasarkan laju kegagalannya (Engineered Software, Inc., 1999), secara garis besar terbagi 3, yaitu:

1. Inspeksi
2. Perawatan pencegahan
3. Perawatan prediktif

1. Inspeksi

Aktifitas inspeksi dapat dilakukan jika laju kegagalan konstan, dimana pada kurva *bathup-shaped* ditunjukkan dengan distribusi *Weibull* yang mempunyai nilai $\beta = 1$. Inspeksi dilakukan dengan mengurangi kegagalan yang bersifat tidak mendadak (*non catasthropic*). Selain itu inspeksi sesuai untuk menentukan cacat (*defect)* suatu produk jadi, dimana produk jadi ini tidak dapat diproses kembali atau

dapat diguakan untuk pemeriksaan jika ditemukan adanya ketidaksesuaian pada fasilitas produksi.

2. Perawatan Pencegahan atau *Preventife Maintenance*

Aktifitas perawatan pencegahan dapat dilakukan jika laju kegagalan semakin tinggi, dimana pada kurva *bathup-shape* ditunjukkan dengan distribusi *Weibull* yang mempunyai nilai $\beta > 1$. Daerah ini disebut juga daerah keusangan (*wear out area*). Kegagalan yang terjadi pada daerah usang dapat dicegah dengan perawatan pencegahan atau *preventive maintenance*. Perawatan pencegahan atau kegiatan *preventive maintenance* yang optimum dapat meminimalkan total biaya per unit waktu.

3. Perawatan Prediktif atau *Predictive Maintenance*

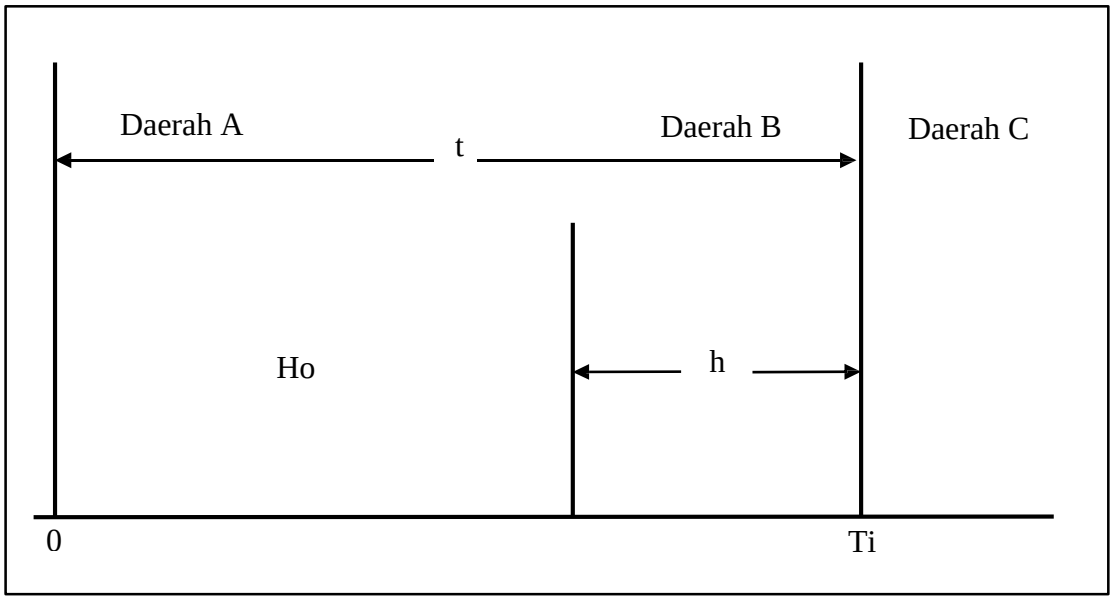
Model perawatan prediktif dapat digunakan untuk mencegah kegagalan suatu fungsi pada saat beroperasi. Aktifitas ini dapat dilakukan untuk laju kegagalan konstan ataupun untuk laju kegagalan yang meningkat. Perbedaanya dengan jenis inspeksi dan pencegahan yang telah dijelaskan sebelumnya adalah dengan ditemukannya gejala ketidakwajaran yang dapat dipakai sebagai salah satu pendeteksi kegagalan, misalnya suhu operasi mesin meningkat, vibrasi *monitoring* suatu peralatan naik, dan lain-lain. Serta melakukan analisa seperti analisa oli (*tribology*), analisa getaran (*vibration analysis*) dan lain sebagainnya pada suatu sistem atau peralatan. Menurut daerahnya, kegagalan dibagi menjadi:

Daerah A: Dimana inspeksi dilakukan dan tidak ditemukan masalah-masalah yang menyebabkan kegagalan. Biaya yang dikeluarkan merupakan biaya inspeksi.

Daerah B: Dimana inspeksi dilakukan karena ditemukan adanya gejala ketidakwajaran yang menyebabkan kegagalan. Biaya yang timbul berupa biaya inspeksi yang dapat mencegah kegagalan, sehingga biaya ini disebut biaya penghematan.

Daerah C: Dimana inspeksi tidak dapat dilakukan karena kegagalan sudah terjadi atau mesin telah menagalami kerusakan.

Ketiga daerah tersebut digambarkan pada gambar 2.8 seperti dibawah ini, dimana gambar tersebut merupakan daerah kemungkinan inspeksi yang dapat dilakukan saat pekerjaan pemeliharaan prediktif. Daerah B disebut daerah "*lapse zone"* yaitu jarak waktu antara deteksi awal sampai dengan inspeksi (Ti) dilakukan, dinyatakan sebagai fungsi h (t).



Gambar 2.8 Tiga (3) Daerah Kemungkinan Inspeksi Dilakukan.

Distribusi waktu untuk gagal dinyatakan sebagai dungsi *f (t),* sehingga jarak waktu sebelum gejala awal ditemukan adalah:

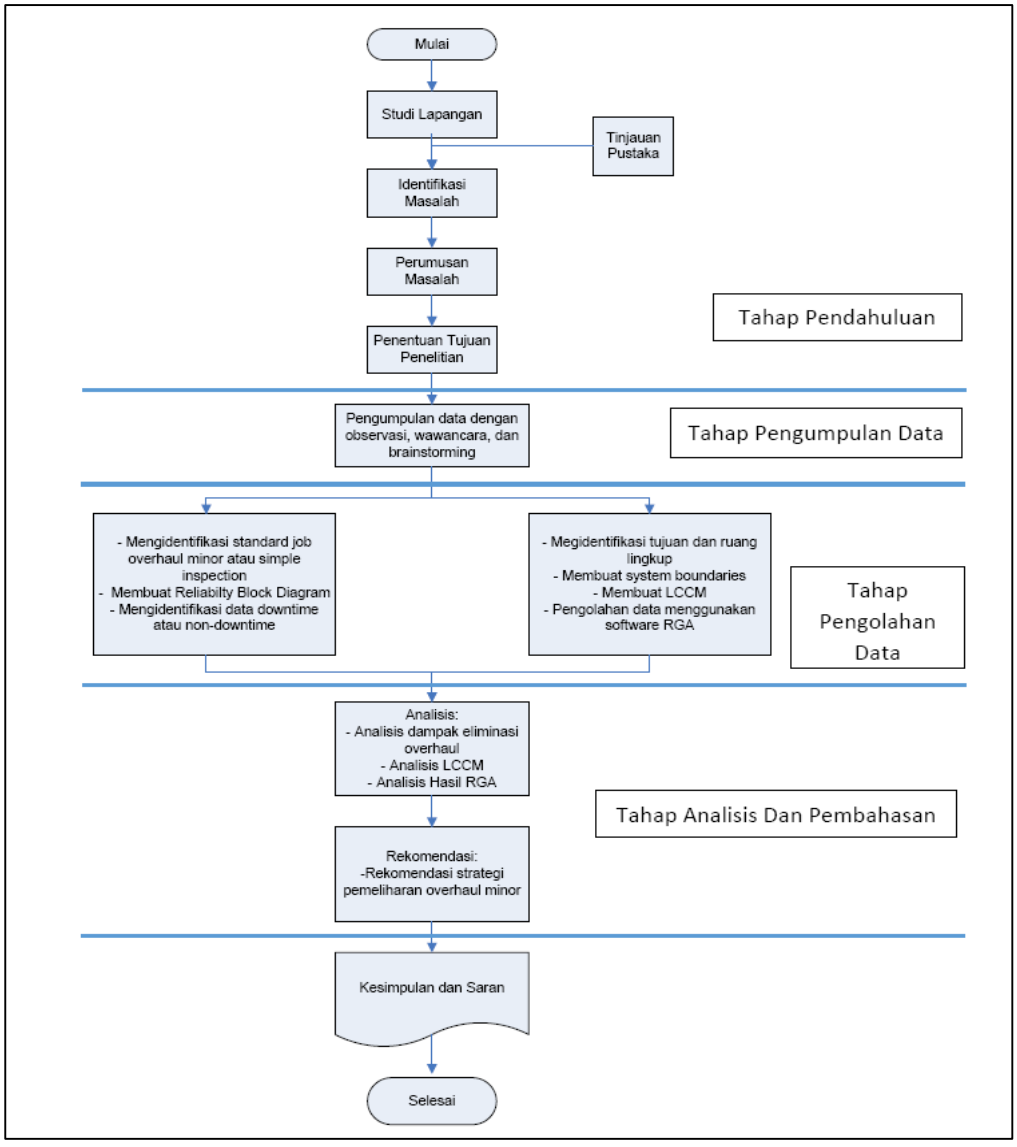
$$g(t) = f(t) - h(t) \qquad (2.21)$$

Berdasarkan penjelasan diatas, maka waktu optimum perawatan prediktif didapatkan dengan meminimalkan total penghematan biaya per unit waktu. Total penghematan biaya yang dimaksud adalah biaya kegagalan yang dapat dicegah atau dihemat apabila ditemukan adanya deteksi awal ketidakwajaran.

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan menjelaskan tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, tahapan atau urutan langkah yang dilakukan dalam penelitian dan penjelasan data yang digunakan agar proses penelitian dapat dilakukan dengan sistemastis.

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

3.2 Definisi Tujuan dan Ruang Lingkup

Definisi tujuan dan Ruang lingkup akan dijabarkan seperti dibawah ini:

3.2.1 Definisi Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan identifikasi data waktu antar kerusakan sehingga akan didapatkan *trend* laju kerusakan pada peralatan utama di *steam turbine* PLTGU UP Gresik. Selain itu untuk menentukann *interval* perawatan *overhaul* yang terbaik untuk *steam turbine* PLTGU dan yang terakhir adalah mendapatkan metode strategi yang tepat untuk menaikkan *availability* pembangkit. Dalam penelitian ini terdapat pembatasan ruang lingkup yang digunakan sehingga penelitian tidak melebar pada peralatan di unit pembangkit lain.

3.2.2 Definisi Ruang Lingkup

Definisi ruang lingkup penelitian dari metode justifikasi eliminasi *overhaul* minor untuk meningkatkan EAF PT XYZ mengidentifikasi jadwal *overhaul* untuk steam turbine PLTGU, waktu antar kerusakan peralatan utama steam turbine, serta ruang lingkup *overhaul* minor yang ada di PLTGU UP Gresik.

3.2.3 Batasan Sistem

Dalam penelitian ini, batasan sistem adalah pada *equipment number* untuk *steam turbin* (ST 1.0) yang ada pada PLTGU UP Gresik yang masuk dalam *scope overhaul minor* (*simple inspection*)

3.2.4 Deskripsi Sistem

Deskripsi dari sistem adalah lingkup pekerjaan *overhaul minor* atau *simple inspection* yang ada di *standart job* PT. XYZ UP Gresik. Data kerusakan diambil berdasarkan *work order* dari tahun 2001-2017. Kerusakan peralatan dipilih berdasarkan keterangan *down time* atau *non-downtime*nya suatu peralatan saat dilakukan pemeliharaan. Data kerusakan yang menyebabkan *downtime* digunakan sebagai inputan dari software RGA untuk menentukan *mean remaining lifetime*.

3.3 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dibagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap pendahuluan, tahap pengumpulan dan pengolahan data, tahap analisis dan pembahasan, dan kesimpulan. Berikut ini akan dijelaskan mengenai masing-

masing tahapan tersebut.

3.3.1 Tahap Pendahuluan

Pada tahap pendahuluan, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Studi Lapangan

Langkah awal yang perlu dilakukan adalah pengamatan awal di PT. XYZ UP Gresik. Dari hasil studi lapangan ini, peneliti dapat mengetahui permasalahan yang terjadi pada perusahaan PT. XYZ UP Gresik khususnya di unit ST.10 PLTGU.

2. Studi Pustaka

Studi pustaka digunakan untuk mempelajari teori dan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti karena dapat memberikan gambaran yang jelas tentang permasalahan yang terjadi pada perusahaan tersebut. Studi pustaka digunakan untuk mempelajari teori dan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan permasalahan yang terjadi. Sumber literatur berasal dari buku, jurnal, internet, dan studi terhadap penelitian terdahulu dalam penelitian ini.

3. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yaitu mengidentifikasi secara detail permasalahan pada sistem yang akan diteliti. Identifikasi masalah dilakukan dengan tujuan untuk mencari penyebab timbulnya masalah dan kemudian mencari permasalahan yang terjadi.

4. Perumusan Masalah

Setelah mengidentifikasi masalah, tahap selanjutnya adalah merumuskan masalah sesuai dengan kenyataan di lapangan. Perumusan masalah merupakan rincian dari permasalahan yang dikaji yang nantinya akan menunjukkan tujuan dari penelitian ini dan hal ini dilakukan agar memudahkan dalam menentukan metode yang akan digunakan untuk menyelesaikan masalah yang telah teridentifikasikan.

5. Penentuan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dijabarkan sebelumnya. Hal ini ditujukan untuk menentukan batasan-batasan dalam pengolahan data dan memudahkan dalam penyelesaian masalah.

3.3.2 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Langkah-langkah pada tahap pengumpulan dan pengolahan data adalah sebagai berikut.

1. Pengumpulan data

Metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi empat metode, yaitu:

a. Observasi

Observasi merupakan kegiatan pengamatan langsung yang dilakukan dengan mengamati kegiatan *overhaul* yang ada di PT. XYZ UP Gresik.

b. Wawancara

Wawancara merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mendapatkan informasi dengan cara bertanya secara langsung kepada karyawan yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Wawancara dilakukan kepada operator, bagian pemeliharaan, dan enjiniring.

c. *Brainstorming*

Brainstorming adalah diskusi atau kegiatan bertukar pikiran dengan karyawan/manajemen yang capable berkaitan dengan permasalahan yang diangkat. *Brainstorming* dilakukan dengan *supervisor* dan *manager*.

d. Dokumentasi

Dokumentasi merupakan metode pengumpulan data dengan cara mempelajari dokumen-dokemen perusahaan yang berisikan laporan-laporan seputar kegiatan *overhaul* terutama saat *overhaul* minor atau simple inspection, dan lain-lain.

2. Pengolahan Data

Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan kemudian dilakukan pengolahan data dengan metode yang relevan dengan permasalahan yang dihadapi. Tahapan pengolahan data adalah sebagai berikut.

a. Membuat *Reliability Block Diagram.*

Setelah mengetahui siklus steam turbin PLTGU, langkah selanjutnya adalah membuat *block diagram* dengan *software BlockSim* dari *product Reliasoft.*

b. Melakukan Identifikasi *Downtime* atau *Non-downtime* Peralatan.

Berdasarkan *work order* yang ada dapat ditentukan apakah peralatan tersebut memerlukan *downtime* atau *non-downtime* pada saat dilakukan pemeliharaan.

c. Melakukan Identifikasi *Standard Job overhaul Minor* atau *Simple Inspection.*

Mengidentifikasi *scope standart job overhaul minor* atau simple yang ada di unit *steam turbine* PT Pembangkit listrik XYZ berdasarkan *job task description* dan petunjuk pelaksanaan.

d. Identifikasi *goal EAF* Perusahaan PT Pembangkit listrik XYZ.

Mengidentifikasi tujuan dari peningkatan atau menjaga EAF PT Pembangkit Listrik.

e. Membuat sistem *boundaries*

Membuat batasan dari justifikasi yang diteliti dimana menentukan apa yang termasuk dan tidak termasuk.

f. Pengolahan data di *software* RGA.

Pengolahan data berdasarkan inputan dari peralatan *downtime.*

g. Pengolahan data di *software Blocksim*

Pengolahan data berdasarkan inputan dari data *Preventive maintenance, Predictive maintenance,* dan *overhaul.*

3.3.3 Tahap Analisis dan Pembahasan

Pada tahapan ini akan dilakukan analisis dan pembahasan mengenai hal-hal sebagai berikut.

a. Analisis dampak terbesar dari eliminasi OH

   Eliminasi *overhaul mino*r pada *steam turbine* PT Pembangkit Listrik XYZ. Berdasarkan pengolahan data di s*oftware RGA*, maka dapat dianalisis *running hour* peralatan kedepan.

b. Rekomendasi

   Rekomendasi dampak strategi eliminasi pemeliharaan *overhaul* minor Mengevaluasi apakah jadwal *overhaul* minor sesuai dengan trend laju kerusakan dan umur ekonomis dari suatu perlatan tersebut atau tidak, dll.

BAB 4
ANALISIS KEANDALAN

Dalam bab ini akan dilakukan analisis keandalan untuk menentukan nilai keandalan dan ketersediaan dari tiap – tiap *equipment* pada *steam turbine* ST 1.0 PT Pembangkit listrik XYZ. Analisis keandalan dilakukan dengan bantuan program *software* dari *Reliasoft.* Data yang digunakan adalah data waktu *downtime equipment steam turbine* ST 1.0 PT Pembangkit listrik XYZ.

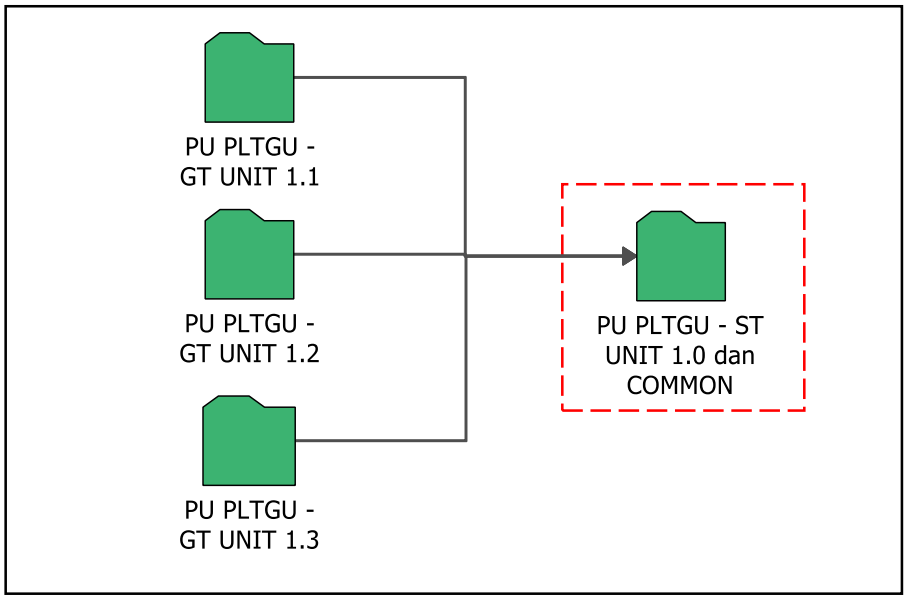
4.1 Analisis Keandalan *Equipmen*t di ST 1.0

Steam turbine atau disingkat ST 1.0 merupakan bagian dari Pembangkit listrik Tenaga Gas-Uap (PLTGU) Blok 1. PLTGU blok 1 merupakan suatu konfigurasi gabungan dari pembangkit *gas turbine* GT 1.1, 1.2, 1.3 serta ST 1.0 yang ada di PT Pembakit listrik XYZ. Beberapa faktor penting harus diperhatikan dalam melakukan analisis keandalan. Faktor penting pertama dalam melakukan analisis keandalan adalah mendefinisikan kegagalan. Dalam tesis ini kegagalan yang dimaksud adalah kegagalan yang menyebabkan *equipment* tersebut berhenti beroperasi atau *downtime*. Operator lapangan mengisikan nilai *downtime* kedalam sistim dengan angka 1 pada lembar *job card work order* yang tersedia. Faktor lain yang berpengaruh pada keandalan adalah waktu perbaikan atau *repair time*.

4.2 Analisis Keandalan Menggunakan *Softwar*e *Blocksim* dan RGA

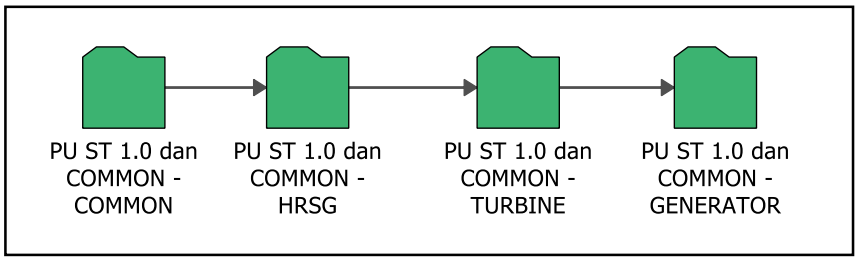
Reliability Block Diagram (RBD) atau Diagram Blok Keandalan adalah representasi grafis dari komponen sistem serta keterkaitannya dengan sistem keandalan. *Block diagram* merepresentasikan status yang berfungsi (yaitu, keberhasilan atau kegagalan) sistem dalam hal status fungsi komponennya. Sebagai contoh, konfigurasi seri sederhana menunjukkan bahwa semua komponen harus beroperasi agar sistem dapat beroperasi, konfigurasi paralel sederhana menunjukkan bahwa setidaknya satu dari komponen harus beroperasi, dan seterusnya. Kegunaan RBD adalah untuk mensimulasikan operasi sistem dan

memperoleh serangkaian pemeliharaan serta hasil ketersediaan sistem. Gambar 4.1 merupakan gambaran konfigurasi PLTGU dengan menggunakan *software blocksim RBD.*



Gambar 4.1 Konfigurasi PLTGU di PT Pembangkit listrik XYZ.

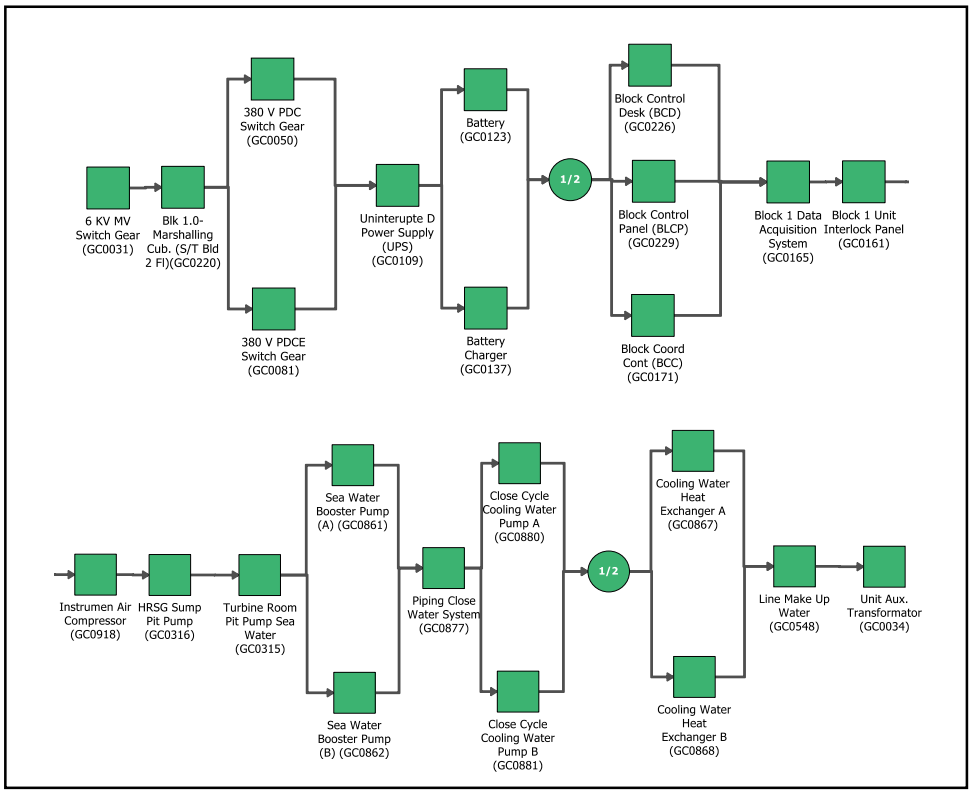
Peralatan atau *equipment* yang ada di *steam turbine* ST 1.0 terdiri dari beberapa peralatan utama dan peralatan pendukung atau *common*. Adapun peralatan utama dan *common* yang akan dianalisa keandalannya seperti yang ditunjukan pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Block Diagram Peralatan Utama dan *Common* di ST 1.0

Didalam Blok diagram tersebut terdiri dari beberapa *equipment,* dimana *equipment* tersebut memiliki *history* dari *time between failure* atau TBF yang berbeda-beda. *Equipment* tersebut disusun secara seri ataupun parlel tergantung dari konfigurasi yang ada dilapangan. *Equipment* yang masuk didalam Blok ST 1.0

dan *common-common* disertai dengan penomoroan KKS (sistem klasifikasi *power plant*) adalah seperti ditunjukan pada gambar 4.3 berikut.



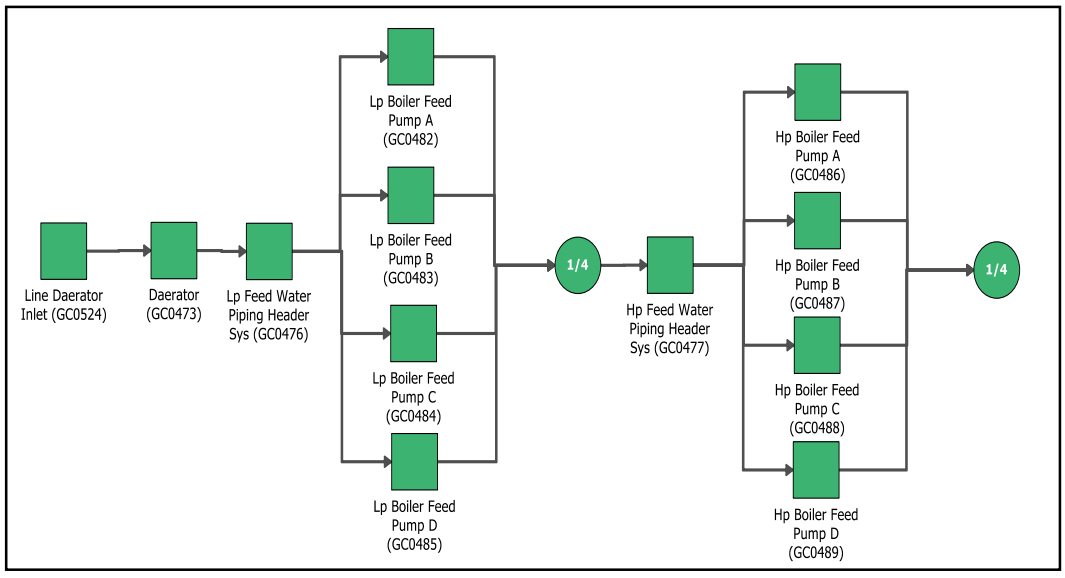
Gambar 4.3 Konfigurasi RBD PU ST 1.0 dan *Common-Common.*

Adapun peralatan-peralatan serta penomoran KKS yang termasuk didalam PU ST 1.0 dan *common-common* adalah sebagai berikut:

1. *6 KV MV Switch Gear (GC0031)*
2. *Blk 1.0-Marshalling Cub. (S/T Bld 2 Fl)(GC0220)*
3. *380 V PDC Switch Gear (GC0050)*
4. *380 V PDCE Switch Gear (GC0081)*
5. *Uninterrupted D Power Supply (UPS) (GC0109)*
6. *Battery (GC0123)*
7. *Battery Charger (GC0137)*
8. *Block Control Desk (BCD)(GC0226)*
9. *Block Control Panel (BLCP)(GC0229)*
10. *Block Coord Cont. (BCC)(GC0171)*
11. *Block 1 Data Acquisition System (GC0165)*

12. *Block 1 Unit Interlock Panel (GC0161)*
13. *Instrument Air Compressor (GC0918)*
14. *HRSG Sump Pit Pump (GC0316)*
15. *Turbine Room Pit Pump Sea Water (GC0315)*
16. *Sea Water Booster Pump (A) (GC0861)*
17. *Sea Water Booster Pump (B) (GC0862)*
18. *Piping Close Water System (GC0877)*
19. *Close Cycle Cooling Water Pump A (GC0880)*
20. *Close Cycle Cooling Water Pump B (GCGC0881)*
21. *Cooling Water Heat Exchanger A (GC0867)*
22. *Cooling Water Heat Exchanger B (GC0868)*
23. *Line Make Up Water (GC0548)*
24. *Unit Aux. Transformator (GC0034)*

Equipment yang masuk didalam Blok ST 1.0 dan *common-HRSG* disertai dengan penomoroan KKS (sistem klasifikasi *power plant*) adalah seperti ditunjukan pada gambar 4.4 dibawah ini.



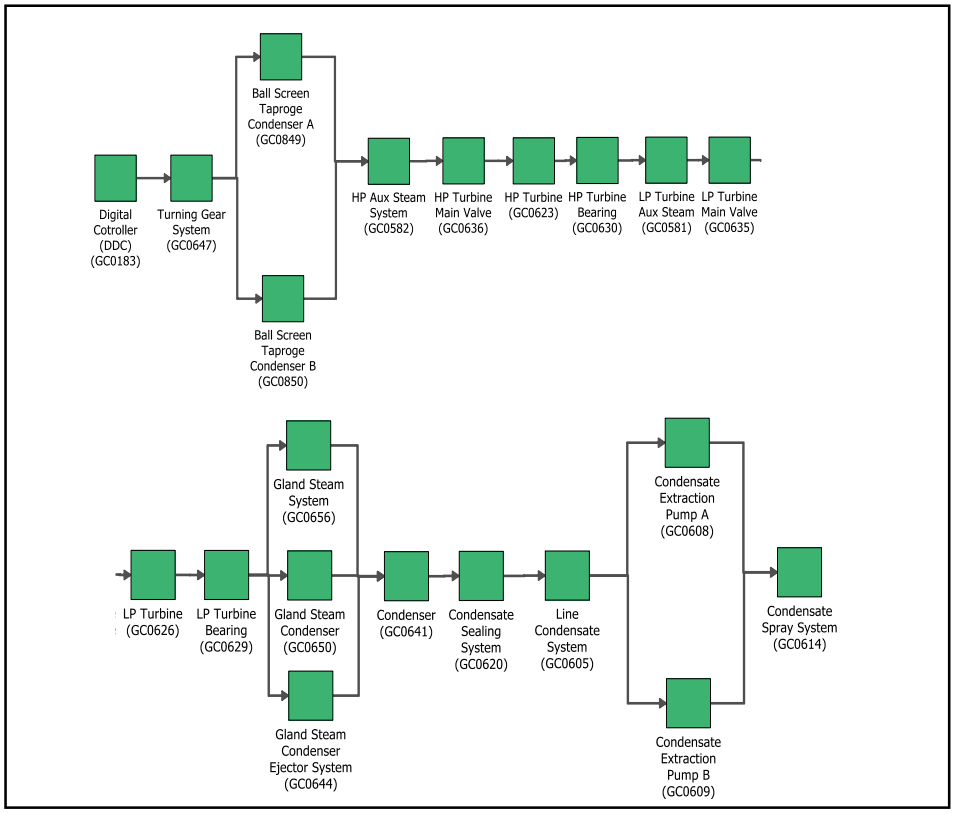
Gambar 4.4 Konfigurasi RBD PU ST 1.0 dan *Common-HRSG*.

Gambar diatas merupakan konfigurasi yang disusun dari *reliability block diagram* untuk PU ST 1.0 dan *common-HRSG*. *Equipment* yang masuk didalam

Blok ST 1.0 dan *common-HRSG* disertai dengan penomoroan KKS (sistem klasifikasi *power plant*) adalah sebagai berikut:

1. *Line Daerator Inlet (GC0524)*
2. *Daerator (GC0473)*
3. *Hp Boiler Feed Pump A (GC0486)*
4. *Hp Boiler Feed Pump B (GC0487)*
5. *Hp Boiler Feed Pump C (GC0488)*
6. *Hp Boiler Feed Pump D (GC0489)*
7. *Lp Boiler Feed Pump A (GC0482)*
8. *Lp Boiler Feed Pump B (GC0483)*
9. *Lp Boiler Feed Pump C (GC0484)*
10. *Lp Boiler Feed Pump D (GC0485)*

Equipment yang masuk didalam Blok ST 1.0 dan *common-Turbine* ditunjukan pada gambar 4.5 dan disertai dengan penomoroan KKS (sistem klasifikasi *power plant*).

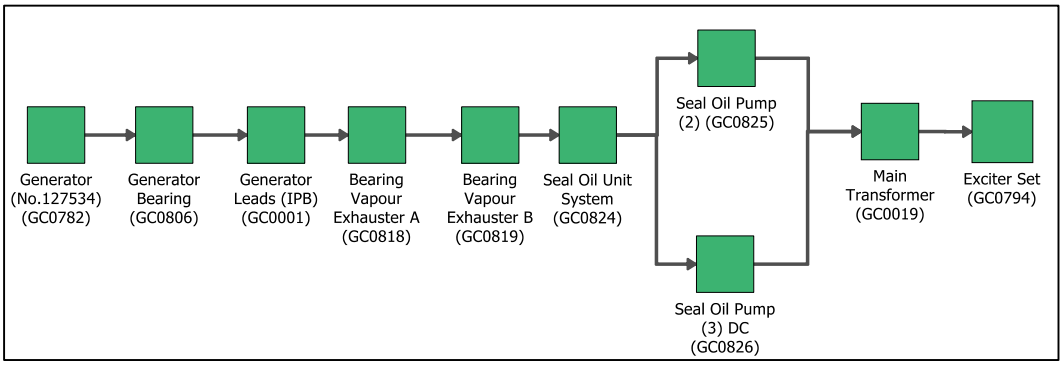


Gambar 4.5 Konfigurasi RBD PU ST 1.0 dan *Common-Turbine.*

Adapun *Equipment* yang masuk didalam Blok ST 1.0 dan *common-turbine* disertai dengan penomoroan KKS (sistem klasifikasi *power plant*) adalah sebagai berikut:

1. *Digital Controller (DDC) (GC0183)*
2. *220 V DC Starter Panel (GC0149)*
3. *Turning Gear System (GC0647)*
4. *Ball Screen Taproge Condenser A (GC0849)*
5. *Ball Screen Taproge Condenser B (GC0850)*
6. *HP Aux Steam System (GC0582)*
7. *HP Turbine Main Valve (GC0636)*
8. *HP TBV Spray System (GC0551)*
9. *HP Turbine (GC0623)*
10. *HP Turbine Bearing (GC0630)*
11. *LP AUX Steam System (GC0581)*
12. *LP Turbine Main Valve (GC0635)*
13. *LP Turbine (GC0626)*
14. *LP Turbine Bearing (GC0629)*
15. *Gland Steam Condenser (GC0650)*
16. *Ejector System (GC0644)*
17. *Condenser (GC0641)*
18. *Line Condensate System (GC0605)*
19. *Condensate Sealing System (GC0620)*
20. *Condensate Extraction Pump A (GC0608)*
21. *Condensate Extraction Pump B (GC0609)*
22. *Condensate Spray System (GC0614)*

Equipment yang masuk didalam Blok ST 1.0 dan *common-Generator* disertai dengan penomoroan KKS (sistem klasifikasi *power plant*) adalah ditunjukkan pada gambar 4.6 berikut.



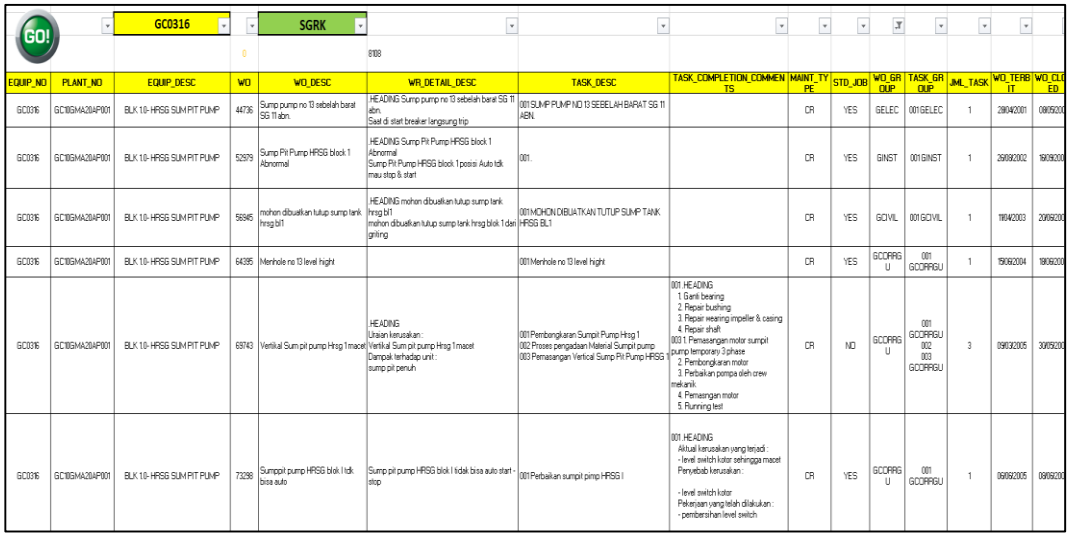
Gambar 4.6 Konfigurasi RBD PU ST 1.0 dan *Common-Generator.*

Adapun *Equipment* yang masuk didalam Blok ST 1.0 dan *common-generator* disertai dengan penomoroan KKS (sistem klasifikasi *power plant*) adalah sebagai berikut:

1. *Generator (No.127534) (GC0782)*
2. *Generator Bearing (GC0806)*
3. *Generator Leads (IPB) (GC0001)*
4. *Bearing Vapor Exhauster A (GC0818)*
5. *Bearing Vapor Exhauster B (GC0819)*
6. *Seal Oil Unit System (GC0824)*
7. *Seal Oil Pump(2) (GC0825)*
8. *Seal Oil Pump (3) DC (GC0826)*
9. *Main Transformer (GC0019)*
10. *Exciter Set (GC0794)*

Data inputan yang dimasukkan kedalam *software* RBD adalah data yang didapat dari hasil *running software* RGA. Data yang diolah didalam software RGA ini adalah data *failure* masing-masing peralatan yang merupakan data *work order* yang didapatkan dari PT Pembangkit listrik XYZ. Data *work order* adalah data yang di*input*kan oleh bidang operator dan bidang pemeliharaan yang meliputi bagian mekanik, listrik, dan kontrol. Selanjutnya data tersebut dimasukkan kedalam sistem operasi *Ellips* oleh bidang perencanaan dan pengendalian. Data *work order* tersebut

selanjutnya dimodelkan dengan menggunakan *software* RGA untuk mendapatkan model distribusi *failure rate*. Model distribusi *failure rate* yang dihasilkan dari simulasi *software* RGA pada proses selanjutnya akan diinputkan pada masing-masing blok peralatan di RBD yang telah dibuat. Gambar 4.7 memeperlihatkan *screenshot* tampilan *work order* yang di dapat dari PT Pembangkit listrik XYZ.



EQUIP_NO	PLANT_NO	EQUIP_DESC	WO	WO_DESC	WR_DETAIL_DESC	TASK_DESC	TASK_COMPLETION_COMMENTS	MAINT_TYPE	STD_JOB	WO_GROUP	TASK_GROUP	JML_TASK	WO_TERBIT	WO_CLOSED
GC0316	GC11GSMA20AP001	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	44736	Sump pump no 13 sebelah barat SG 11 abn.	HEADING Sump pump no 13 sebelah barat SG 11 abn. Saat di start breaker langsung trip	001 SUMP PUMP NO 13 SEBELAH BARAT SG 11 ABN.		CR	YES	GELEC	001 GELEC	1	29042001	09052001
GC0316	GC11GSMA20AP001	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	52979	Sump Pit Pump HRSG block 1 Abnormal	HEADING Sump Pit Pump HRSG block 1 Abnormal Sump Pit Pump HRSG block 1 posisi Auto tdk mau stop & start	001.		CR	YES	GINST	001 GINST	1	29092002	19092002
GC0316	GC11GSMA20AP001	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	56945	mohon dibuatkan tutup sump tank hrsg bl1	HEADING mohon dibuatkan tutup sump tank hrsg bl1 mohon dibuatkan tutup sump tank hrsg blok 1 dari grilling	001 MOHON DIBUATKAN TUTUP SUMP TANK HRSG BL1		CR	YES	GCIVIL	001 GCIVIL	1	11042003	20052003
GC0316	GC11GSMA20AP001	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	64395	Menhole no 13 level hight		001 Menhole no 13 level hight		CR	YES	GCORRGU	001 GCORRGU	1	15062004	18062004
GC0316	GC11GSMA20AP001	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	69743	Vertikal Sum pit pump Hrsg 1 macet	HEADING Uraian kerusakan : Vertikal Sum pit pump Hrsg 1 macet Dampak terhadap unit : sump pit penuh	001 Pembongkaran Sumpit Pump Hrsg 1 002 Proses pengadaan Material Sumpit pump 003 Pemasangan Vertical Sump Pit Pump HRSG 1	001 HEADING 1. Ganti bearing 2. Repair bushing 3. Repair wearing impeller & casing 4. Repair shaft 002 1. Pemasangan motor sumpit pump temporary 3 phase 2. Pembongkaran motor 3. Perbaikan pompa oleh crew mekanik 4. Pemasngan motor 5. Running test	CR	NO	GCORRGU	001 GCORRGU 002 003 GCORRGU	3	09032005	30052005
GC0316	GC11GSMA20AP001	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	73298	Sumppit pump HRSG blok I tdk bisa auto	Sump pit pump HRSG blok I tidak bisa auto start - stop	001 Perbaikan sumpit pimp HRSG I	001 HEADING Aktual kerusakan yang terjadi : - level switch kotor sehingga macet Penyebab kerusakan : - level switch kotor Pekerjaan yang telah dilakukan : - pembersihan level switch	CR	YES	GCORRGU	001 GCORRGU	1	09092005	09092005

Gambar 4.7 *Screenshot* Tampilan *Work order* yang didapat dari PT Pembangkit Listrik XYZ.

Setelah melakukan penarikan data *work order*, tahap selanjutnya adalah memilah jenis kerusakan yang akan dimasukkan kedalam *software* RGA. Jenis kerusakan tersebut yaitu kerusakan yang dapat menyebabkan terjadinya *downtime* peralatan diberi nilai 1, dan yang tidak menyebabkan terjadinya *downtime* peralatan diberi nilai 0. Gambar 4.8 memperlihatkan kerusakan yang menyebabkan *downtime* peralatan.

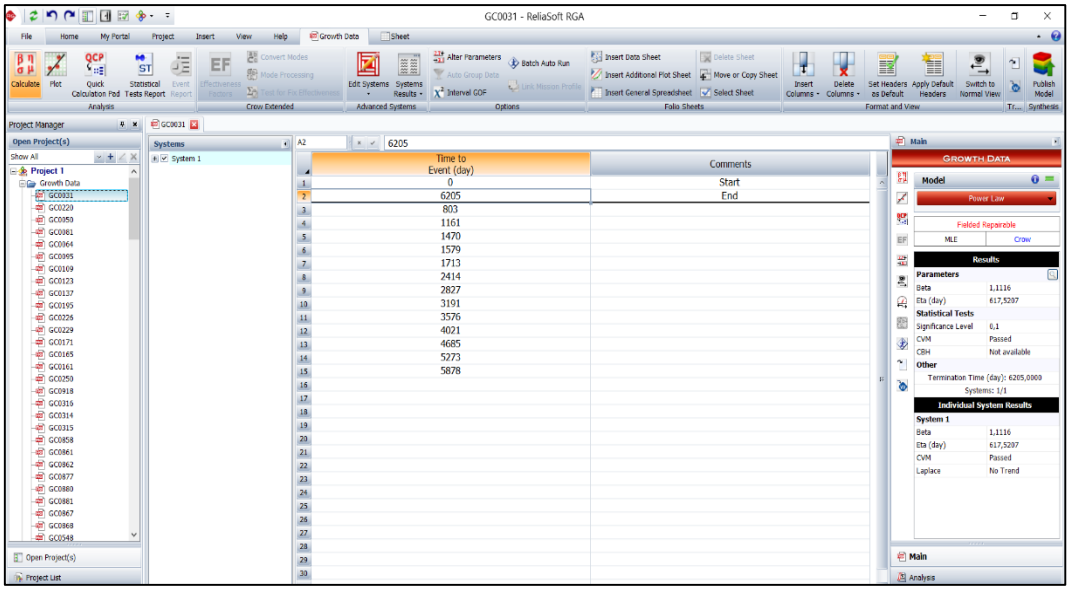
WO	EQUIP_NO	EQ_DESC	TERBIT	ORIGINATOR	WO_DESCRIPTION	TASK_DESC	TERBIT	CLOSED	YEAR	DOWN?
44736	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20010428	95320G	Sump pump no 13 sebelah barat SG 11 abn.	SUMP PUMP NO 13 SEBELAH BARAT SG 11 ABN.	28-Apr-01	8-May-01	2001	1
64395	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20040615	96233G	Menhole no 13 level hight	Menhole no 13 level hight	15-Jun-04	18-Jun-04	2004	1
69743	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20050309	97002G	Vertikal Sum pit pump Hrsg 1 macet	Pembongkaran Sumpit Pump Hrsg 1	9-Mar-05	17-Mar-05	2005	1
74385	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20050713	95188G	Kopling sump pit pump HRSG block 1 rusak	Investigasi Lapangan	13-Jul-05	15-Jul-05	2005	1
77787	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20051031	03001G	Penggantian Line sumpit fresh wtr ST1.0	Penggantian Line sumpit fresh wtr ST1.0	31-Oct-05	5-Jan-06	2005	1
120204	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20090306	06005Z	Sump-pit gas station (G2) abnormal	Sump-pit gas station (G2) abnormal	6-Mar-09	7-Mar-09	2009	1
122955	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20090526	95128G	Sumppit pump HRSG Blok 1 Mati	Sumppit pump HRSG Blok 1 Mati	26-May-09	26-May-09	2009	1
125017	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20090728	95129G	Sump pit pump HRSG Blok 1 Trip	Sump pit pump HRSG Blok 1 Trip	28-Jul-09	29-Jul-09	2009	1
126976	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20090928	95129G	Sump pit pump HRSG Blok 1 abn	Sump pit pump HRSG Blok 1 abn	28-Sep-09	29-Sep-09	2009	1
132302	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20100223	95534G	Modifikasi Sumppit pump HRSG Blok 1	Modifikasi Sumppit pump HRSG Blok 1	23-Feb-10	23-Feb-10	2010	1
146578	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20110204	95132G	Sumpit pump No: 13 di HRSG 1.1 boocor	Sumpit pump No: 13 di HRSG 1.1 boocor	4-Feb-11	8-Feb-11	2011	1
153183	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20110713	95188G	Sump Pit Pump HRSG blok 1 megger zerro	Sump Pit Pump HRSG blok 1 megger zerro	13-Jul-11	18-Jul-11	2011	1
184577	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20130527	95363G	Sump Pit pump No.13 magger Zerro	Sump Pit pump No.13 magger Zerro	27-May-13	19-Dec-13	2013	1
206961	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20140324	95319G	Pompa sumppit no13 elbow pecahboocor	Pompa sumppit no13 elbow pecahboocor	24-Mar-14	25-Mar-14	2014	1
208683	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20140421	95319G	L-bow line Sump pump NO 13 lepas	L-bow line Sump pump NO 13 lepas	21-Apr-14	23-Apr-14	2014	1
256425	GC0316	BLK 1.0- HRSG SUM PIT PUMP	20160113	150727G	Sumpit manhole no 13 barat SG#1 1 abnorma	PERBAIKAN KERUSAKAN	13-Jan-16	19-Jan-16	2016	1

Gambar 4.8 *Screenshot* Tampilan Data *Downtime* Peralatan.

Setalah melakukan validasi *downtime* dari tiap-tiap *equipment* yang ada di ST 1.0, kemudian menetukan nilai TBF (*Time between failure*) dari *equipmen*t tersebut dan di*input*kan kedalam *software* RGA.

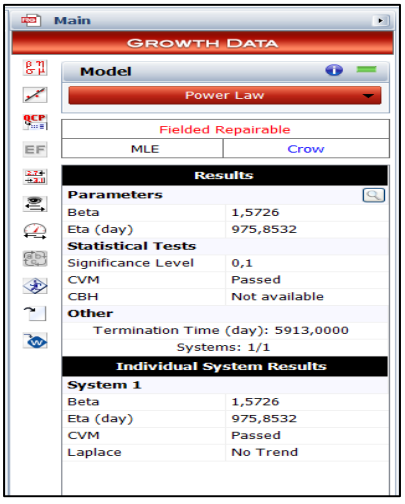
Peralatan yang dianalisa pada tesis ini adalah peralatan yang ada di PT Pembangkit listrik XYZ sesuai dengan KKS yang ada. Peralatan ini adalah peralatan dengan jenis *repairable system*. Jadi apabila pada saat operasi mengalami kegagalan maka peralatan tersebut tidak digantikan dengan peralatan yang baru, tetapi di perbaiki sesuai dengan kondisi yang mengalami kerusakan. Karena pencatatan informasi yang ada di *work order* berdasarkan level *equipmen*t KKS tidak sampai kedalam level komponen/*part*. Perhitungan waktu kegagalan yang dimasukkan kedalam *software* RGA ialah waktu tiap kegagalan *equipment* tersebut dikurangi dengan *history* waktu *work order* yang di*input*kan kedalam sistem *Ellips*, yaitu diasumsikan waktu awal adalah 1 januari tahun 2000.

Pada *software* RGA data yang dimasukkan adalah data *time to event* saat terjadi *failure* peralatan yang dikurangi dengan waktu awal peralatan tersebut beropeasi (pada tesis ini data yang digunakan adalah data saat *equipment* tersebut mulai ter*record* oleh sistem yang ada di PT Pembangkit Listrik XYZ). Gambar 4.9 memperlihatkan data inputan pada *software* RGA yaitu data awal sampai data kegagalan akhir yang akan dianalisa.



Gambar 4.9 *Screenshot* Tampilan TBF pada *software* RGA.

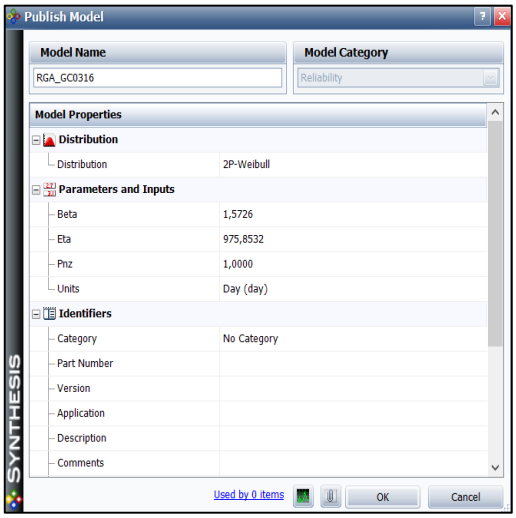
Pada *software* RGA diatas menunjukan *time to event* pada unit *days*/hari. Dimana nilai awalnya (*start*) adalah 0 dan nilai akhirnya (*end*) adalah 6205. Data *work order* diambil dalam rentan waktu tahun 2000 sampai dengan tahun 2017. Selanjutnya adalah meng*calculat*e data tersebut sehingga dihasilkan nilai distribusinya. Pada *Software* RGA akan secara otomatis diarahkan untuk memakai distribusi yang paling *fitted* atau sesuai dengan data yang diinputkan. Dalam tesis ini, distribusi yang dihasilkan adalah distribusi weibull dengan 2 parameter yaitu *beta* (β) dan *eta* (η). Gambar 4.10 dibawah memperlihatan contoh hasil dari *running software* RGA.



Gambar 4.10 *Screenshot* Tampilan Hasil *Running Software* RGA.

Berbeda dengan Distribusi Weibull 3 Parameter, pada model 2 parameter hanya dua parameter yangdigunakan secara simultan. Distribusi Weibull 2 Parameter dikelompokkan menjadi tiga versi yaitu: versi skala bentuk, versi lokasi bentuk, dan versi pergeseran skala.

Software RGA digunakan untuk jenis *equipment* yang bersifat *repairable* artinya dapat diperbaiki. Sehingga data yang dimasukkan kedalam *software* tersebut adalah pebedaan kejadian waktu kegagalan *equipment* tersebut dengan waktu awal peralatan tersebut dioperasikan. Pada kasus di PT Pembangkit Listrik XYZ ini, waktu awal peralatan tersebut adalah saat *history work order* mulai tersimpan kedalam *system Ellips* sebagai data *history* peralatan tersebut. Gambar 4.11 memperlihatkan hasil *running software* RGA yang sudah di*publis*h agar memudahkan dalam memanggil kembali pada *software blocksim* yang akan digunakan setelah tahap ini.



Gambar 4.11 *Screenshot* Tampilan Hasil *Publish Software* RGA.

Perbedaan antara *softwa*re RGA dengan *software* pengolahan data lainnya seperti *weibull* yaitu tidak adanya pemeringkatan distribusi yang nantinya akan digunakan di *software* RGA. Setelah melakukan *publish model* maka secara otomatis *software* RGA menentukan distribusi yang paling sesuai dengan data tersebut. Terihat pada gambar 4.11 diatas bahwa distribusi yang paling sesuai dengan data *failure* yang diinputkan kedalam *software* RGA adalah 2P-Weibull.

Berikut ini adalah nilai *beta (β)* dan *eta (η)* serta distribusi yang digunakan pada peralatan di ST 1.0 yang akan ditunjukkan pada table 4.1.

Tabel 4.1 Hasil *Running Software RGA Berupa* Nilai Beta (β), Eta (η), serta Model Distribusinya.

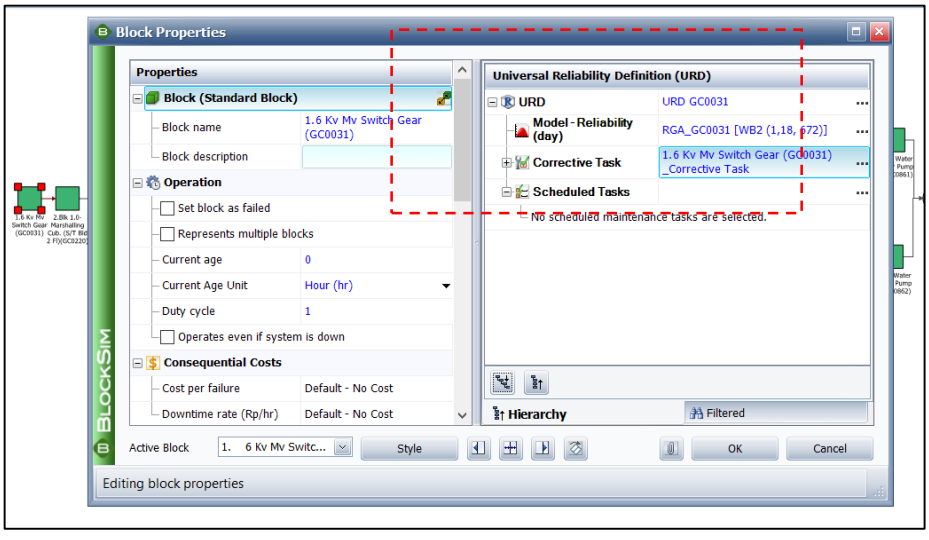
No	Peralatan	*Beta (β)*	*Eta (η)*	Model Distribusi
1	*6 KV MV Switch Gear (GC0031)*	1,1828	672,1202	2P-Wibull
2	*Blk 1.0-Marshalling Cub. (S/T Bld 2 Fl)(GC0220)*	1,4842	1987,3956	2P-Wibull
3	*380 V PDC Switch Gear (GC0050)*	1,272	635,1722	2P-Wibull
4	*380 V PDCE Switch Gear (GC0081)*	1,4175	1158,0798	2P-Wibull
5	*Uninterrupted D Power Supply (UPS) (GC0109)*	1,3748	782,2695	2P-Wibull
6	*Battery (GC0123)*	0,9219	326,3888	2P-Wibull
7	*Battery Charger (GC0137)*	1,3143	948,1724	2P-Wibull
8	*Block Control Desk (BCD)(GC0226)*	1,222	743,9488	2P-Wibull
9	*Block Control Panel (BLCP)(GC0229)*	1,1532	681,4603	2P-Wibull
10	*Block Coord Cont. (BCC)(GC0171)*	0,9612	328,458	2P-Wibull
11	*Block 1 Data Acquisition System (GC0165)*	1,5603	780,9685	2P-Wibull
12	*Block 1 Unit Interlock Panel (GC0161)*	1,3695	855,7596	2P-Wibull
13	*Instrument Air Compressor (GC0918)*	1,1647	386,2051	2P-Wibull
14	*HRSG Sump Pit Pump (GC0316)*	1,5726	975,8532	2P-Wibull
15	*Turbine Room Pit Pump Sea Water (GC0315)*	1,4446	1482,0692	2P-Wibull
16	*Sea Water Booster Pump (A) (GC0861)*	1,1429	492,7144	2P-Wibull
17	*Sea Water Booster Pump (B) (GC0862)*	1,3481	1065,2451	2P-Wibull
18	*Piping Close Water System (GC0877)*	1,4652	1959,6969	2P-Wibull
19	*Close Cycle Cooling Water Pump A (GC0880)*	1,2876	573,8965	2P-Wibull
20	*Close Cycle Cooling Water Pump B (GC0881)*	1,3162	837,32	2P-Wibull
21	*Cooling Water Heat Exchanger A (GC0867)*	0,897	187,3672	2P-Wibull
22	*Cooling Water Heat Exchanger B (GC0868)*	0,9374	254,1846	2P-Wibull
23	*Line Make Up Water (GC0548)*	1,2732	1029,7714	2P-Wibull
24	*Unit Aux. Transformator (GC0034)*	1,1678	452,002	2P-Wibull
25	*Line Daerator Inlet (GC0524)*	1,2441	1012,2099	2P-Wibull
26	*Daerator (GC0473)*	1,2232	425,1488	2P-Wibull
27	*Hp Boiler Feed Pump A (GC0486)*	1,0727	188,7114	2P-Wibull
28	*Hp Boiler Feed Pump B (GC0487)*	1,1078	214,5814	2P-Wibull

No	Peralatan	*Beta (β)*	*Eta (η)*	Model Distribusi
29	*Hp Boiler Feed Pump C (GC0488)*	0,9421	122,494	2P-Wibull
30	*Hp Boiler Feed Pump D (GC0489)*	1,6739	695,2353	2P-Wibull
31	*Lp Boiler Feed Pump A (GC0482)*	1,297	236,7928	2P-Wibull
32	*Lp Boiler Feed Pump B (GC0483)*	1,3839	450,2713	2P-Wibull
33	*Lp Boiler Feed Pump C (GC0484)*	1,4342	590,4522	2P-Wibull
34	*Lp Boiler Feed Pump D (GC0485)*	1,5122	481,881	2P-Wibull
35	*Digital Controller (DDC) (GC0183)*	1,5589	620,7202	2P-Wibull
36	*Turning Gear System (GC0647)*	1,2517	1241,9044	2P-Wibull
37	*Ball Screen Taproge Condenser A (GC0849)*	1,1093	901,8616	2P-Wibull
38	*Ball Screen Taproge Condenser B (GC0850)*	1,2047	1328,3078	2P-Wibull
39	*HP Aux Steam System (GC0582)*	1,3156	581,0611	2P-Wibull
40	*HP Turbine Main Valve (GC0636)*	1,2742	582,9384	2P-Wibull
41	*HP TBV Spray System (GC0551)*	1,0484	562,8938	2P-Wibull
42	*HP Turbine (GC0623)*	1,3	428,0787	2P-Wibull
43	*HP Turbine Bearing (GC0630)*	1,3562	839,6647	2P-Wibull
44	*LP AUX Steam System (GC0581)*	1,4499	950,0542	2P-Wibull
45	*LP Turbine Main Valve (GC0635)*	1,0713	395,8305	2P-Wibull
46	*LP Turbine (GC0626)*	1,4369	730,785	2P-Wibull
47	*LP Turbine Bearing (GC0551)*	0,9967	770,2732	2P-Wibull
48	*Gland Steam Condenser (GC0650)*	1,4219	1164,0146	2P-Wibull
49	*Ejector System (GC0644)*	1,1339	465,6941	2P-Wibull
50	*Condenser (GC0641)*	1,515	506,0644	2P-Wibull
51	*Line Condensate System (GC0605)*	1,5636	1022,4187	2P-Wibull
52	*Condensate Sealing System (GC0620)*	1,3918	2165,801	2P-Wibull
53	*Condensate Extraction Pump A (GC0608)*	1,235	622,6065	2P-Wibull
54	*Condensate Extraction Pump B (GC0609)*	1,2309	780,7199	2P-Wibull
55	*Condensate Spray System (GC0614)*	1,358	1078,6707	2P-Wibull
56	*Generator (No.127534) (GC0782)*	1,3105	708,6022	2P-Wibull
57	*Generator Bearing (GC0806)*	1,409	1071,8051	2P-Wibull
58	*Generator Leads (IPB) (GC0001)*	1,3329	972,6056	2P-Wibull
59	*Bearing Vapor Exhauster A (GC0818)*	1,0103	1490,5073	2P-Wibull
60	*Bearing Vapor Exhauster B (GC0819)*	0,6589	1031,7168	2P-Wibull
61	*Seal Oil Unit System (GC0824)*	1,4157	867,8939	2P-Wibull
62	*Seal Oil Pump(2) (GC0825)*	1,7152	2713,4882	2P-Wibull
63	*Seal Oil Pump (3) DC (GC0826)*	1,2726	2568,194	2P-Wibull
64	*Main Transformer (GC0019)*	1,2906	372,6446	2P-Wibull

No	Peralatan	*Beta (β)*	*Eta (η)*	Model Distribusi
65	*Exciter Set (GC0794)*	1,2229	354,5913	2P-Wibull

Tabel 4.1 diatas memperlihatkan data nilai *beta (β)*, *eta (η)*, dan model distribusi yang digunakan. Distribusi 2P-Weibull membutuhkan 2 paremeter *beta (β) dan eta (η).* Parameter tersebut kemudian dimasukkan kedalam *software blocksim* untuk disimulasikan. *Software block*sim merupakan *software* untuk mensimulasikan nilai distribusi kegagalan dari suatu peralatan pembangkit. *Block* dari peralatan tersebut kemudian dirangkai secara seri maupun parallel sesuai dengan fungsi dan kegunaanya di unit pembangkit. Apabila *block* tersebut berupa rangkaian seri maka jika mengalami suatu kegagalan kerja atau *failure* dapat mengakibatkan satu sistem pembangkit tersebut mengalami *shutdown* sampai dengan waktu *repair time* nya. Sedangkan apabila rangkaian tersebut berupa pararel maka kemungkinan apabila terjadi kegagalan maka unit akan *derating*, atau dapat ter*cover* dengan peralatan sejenis yang dirangkai pararel secara bersama-sama.

Distribusi yang dihasilkan dari proses *running* RGA dimasukkan kedalam *blocksim* sebagai nilai model *reliability*nya. Gambar 4.12 memperlihatkan tampilan isian pada *block diagram* peralatan pembangkit.



Gambar 4.12 Tampilan *Screenshot* Pengisian Nilai Distribusi pada *Blocksim*.

Distribusi yang telah diinputkan kedalam *software blocksim* dapat digunakan untuk mencari nilai MTBF atau *mean life* dari peralatan tersebut. Tabel 4.2 menunjukan hasil nilai MTBF hasil olahan dari *software blocksim* untuk simulasi 1 tahun mendatang (*simulation end time 1 year*).

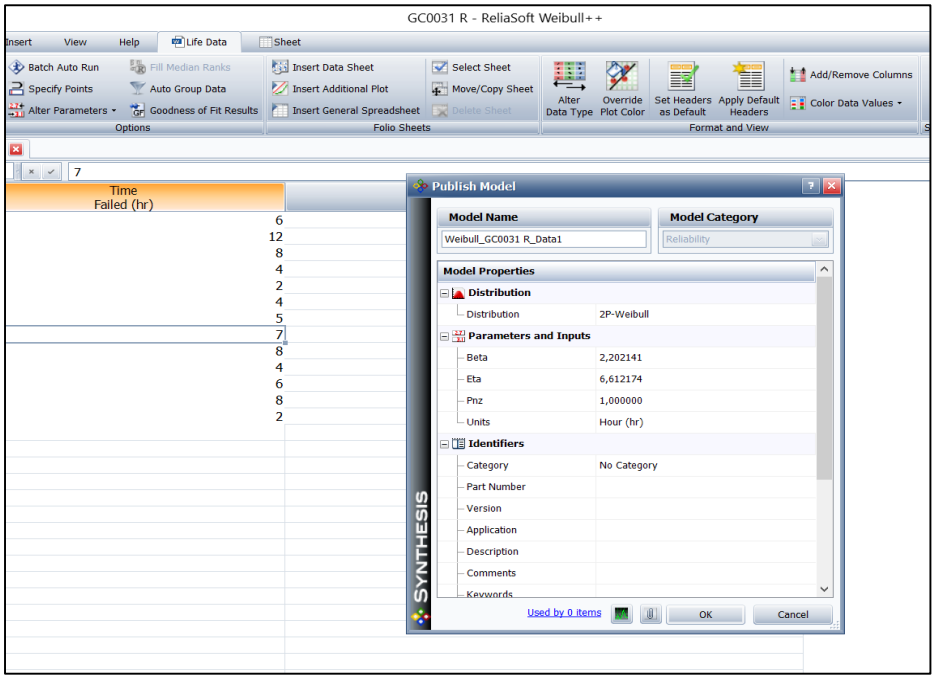
Tabel 4.2 MTBF Setiap Peralatan di ST 1.0.

NO	PERALATAN	MTBF (HOURS)	MTBF (DAYS)	MTBF (YEARS)
1	*6 KV MV Switch Gear (GC0031)*	17871,71481	744,6547838	2,040
2	*Blk 1.0-Marshalling Cub. (S/T Bld 2 Fl)(GC0220)*	67373,65879	2807,235783	7,691
3	*380 V PDC Switch Gear (GC0050)*	17870,06145	744,5858938	2,040
4	*380 V PDCE Switch Gear (GC0081)*	54743,48299	2280,978458	6,249
5	*Uninterrupted D Power Supply (UPS) (GC0109)*	46099,82496	1920,82604	5,263
6	*Battery (GC0123)*	7294,049404	303,9187252	0,833
7	*Battery Charger (GC0137)*	35034,31364	1459,763068	3,999
8	*Block Control Desk (BCD)(GC0226)*	35032,99887	1459,708286	3,999
9	*Block Control Panel (BLCP)(GC0229)*	17169,3964	715,3915167	1,960
10	*Block Coord Cont (BCC)(GC0171)*	8753,372775	364,7238656	0,999
11	*Block 1 Data Acquisition System (GC0165)*	51522,04303	2146,751793	5,882
12	*Block 1 Unit Interlock Panel (GC0161)*	39813,05408	1658,877253	4,545
13	*Instrument Air Compressor (GC0918)*	17169,3964	715,3915167	1,960
14	*HRSG Sump Pit Pump (GC0316)*	35035,40098	1459,808374	3,999
15	*Turbine Room Pit Pump Sea Water (GC0315)*	43795,56285	1824,815119	4,999
16	*Sea Water Booster Pump (A) (GC0861)*	9838,381981	409,9325825	1,123
17	*Sea Water Booster Pump (B) (GC0862)*	35035,35618	1459,806508	3,999
18	*Piping Close Water System (GC0877)*	67380,39013	2807,516255	7,692
19	*Close Cycle Cooling Water Pump A (GC0880)*	35033,9177	1459,746571	3,999
20	*Close Cycle Cooling Water Pump B (GC0881)*	23662,95678	985,9565325	2,701
21	*Cooling Water Heat Exchanger A (GC0867)*	6163,097375	256,795724	0,704
22	*Cooling Water Heat Exchanger B (GC0868)*	7417,968776	309,0820323	0,847
23	*Line Make Up Water (GC0548)*	23670,78757	986,2828154	2,702
24	*Unit Aux. Transformator (GC0034)*	12690,49853	528,7707721	1,449
25	*Line Daerator Inlet (GC0524)*	43793,30919	1824,721216	4,999
26	*Daerator (GC0473)*	23668,75751	986,1982296	2,702
27	*Hp Boiler Feed Pump A (GC0486)*	4329,304741	180,3876975	0,494
28	*Hp Boiler Feed Pump B (GC0487)*	8753,787399	364,7411416	0,999

NO	PERALATAN	MTBF (HOURS)	MTBF (DAYS)	MTBF (YEARS)
29	*Hp Boiler Feed Pump C (GC0488)*	5572,805882	232,2002451	0,636
30	*Hp Boiler Feed Pump D (GC0489)*	38081,28293	1586,720122	4,347
31	*Lp Boiler Feed Pump A (GC0482)*	6033,71646	251,4048525	0,689
32	*Lp Boiler Feed Pump B (GC0483)*	13680,81462	570,0339425	1,562
33	*Lp Boiler Feed Pump C (GC0484)*	23669,44036	986,2266817	2,702
34	*Lp Boiler Feed Pump D (GC0485)*	25759,20735	1073,300306	2,941
35	*Digital Controller (DDC) (GC0183)*	36493,19397	1520,549749	4,166
36	*Turning Gear System (GC0647)*	67374,12894	2807,255373	7,691
37	*Ball Screen Taproge Condenser A (GC0849)*	54747,54233	2281,147597	6,250
38	*Ball Screen Taproge Condenser B (GC0850)*	87593,6046	3649,733525	9,999
39	*HP Aux Steam System (GC0582)*	25759,73275	1073,322198	2,941
40	*HP Turbine Main Valve (GC0636)*	39812,29417	1658,84559	4,545
41	*HP TBV Spray System (GC0551)*	19895,82742	828,9928092	2,271
42	*HP Turbine (GC0623)*	23668,64777	986,1936571	2,702
43	*HP Turbine Bearing (GC0630)*	35034,18638	1459,757766	3,999
44	*LP AUX Steam System (GC0581)*	51522,40282	2146,766784	5,882
45	*LP Turbine Main Valve (GC0635)*	35034,90215	1459,78759	3,999
46	*LP Turbine (GC0626)*	38080,74461	1586,697692	4,347
47	*LP Turbine Bearing (GC0629)*	67378,83329	2807,451387	7,692
48	*Gland Steam Condenser (GC0650)*	62566,38166	2606,932569	7,142
49	*Ejector System (GC0644)*	32425,60507	1351,066878	3,702
50	*Condenser (GC0641)*	25758,8094	1073,283725	2,941
51	*Line Condensate System (GC0605)*	35033,73888	1459,73912	3,999
52	*Condensate Sealing System (GC0620)*	67379,54329	2807,48097	7,692
53	*Condensate Extraction Pump A (GC0608)*	35037,04861	1459,877025	4,000
54	*Condensate Extraction Pump B (GC0609)*	23669,49952	986,2291467	2,702
55	*Condensate Spray System (GC0614)*	38081,53303	1586,730543	4,347
56	*Generator (No.127534) (GC0782)*	18632,63723	776,3598846	2,127
57	*Generator Bearing (GC0806)*	51523,55019	2146,814591	5,882
58	*Generator Leads (IPB) (GC0001)*	35033,59083	1459,732951	3,999
59	*Bearing Vapor Exhauster A (GC0818)*	25757,40866	1073,225361	2,940
60	*Bearing Vapor Exhauster B (GC0819)*	18630,96769	776,2903204	2,127
61	*Seal Oil Unit System (GC0824)*	62565,38982	2606,891243	7,142
62	*Seal Oil Pump(2) (GC0825)*	109491,7415	4562,155896	12,499
63	*Seal Oil Pump (3) DC (GC0826)*	46095,19998	1920,633333	5,262
64	*Main Transformer (GC0019)*	23668,30421	986,1793421	2,702
65	*Exciter Set (GC0794)*	12677,64703	528,2352929	1,447

Data table tersebut berisikan nilai MTBF masing-masing peralatan utama dan *common* yang di proses menggunakan *software* RBD. Nilai MTBF merupakan hasil angka pengolahan perhitungan statistik yang menunjukkan perkiraan *equipment* tersebut masih dapat berfungsi atau gagal selama periode penggunaan *equipment* tersebut.

Data *main time to repair* (MTTR) pada setiap kegagalan pada peralatan/ *equipment* di ST 1.0 bukan merupakan data yang tetap/*fix* tetapi merupakan data yang memiliki waktu berbeda-beda, artinya waktu pekerjaan perbaikan setiap kegagalan tidak sama. Oleh karena itu, diperlukan suatu distribusi yang tepat untuk memperkirakan MTTR apabila terjadi kegagalan berikutnya. *Mean Time to Repair* (MTTR) adalah waktu rata-rata untuk waktu pengecekan atau perbaikan saat komponen atau unit tersebut diperiksa sampai komponen atau unit tersebut digunakan atau dihidupkan kembali. *History* data MTTR yang dibuat oleh operator lapangan digunakan sebagai dasar penginputan nilai kedalam *software Weibull*. Gambar 4.13 memperlihatkan *screenshot* penggunaan *software weibull* dalam mengolah nilai *main time to repair* (MTTR) setiap kegagalan yang terjadi pada *equipment* di ST 1.0.



Gambar 4.13 Tampilan *Screenshot* Hasil *Running* Nilai MTTR dengan *Software Weibull*.

Berikut ini adalah nilai yang dipakai untuk menggambarkan nilai MTTR dari pekerjaan perbaiakan yang dilakukan pada peralatan di ST 1.0. Tabel 4.3 memperlihatkan data nilai distribusi yang dihasilkan dari menjalankan *software* Weibull untuk data MTTRnya.

Tabel 4.3 Hasil *Running Software Weibull Berupa Jenis Distribusinya.*

No	Peralatan	Nilai	Jenis Distribusi
1	*6 KV MV Switch Gear (GC0031)*	*Beta: 2,202141* *Eta (hr): 6,612174*	*Weibull 2P*
2	*Blk 1.0-Marshalling Cub. (S/T Bld 2 Fl)(GC0220)*	*Beta: 4,245098* *Eta (hr): 12,734126* *Gamma (hr): -5,995*	*Weibull 3P*
3	*380 V PDC Switch Gear (GC0050)*	*Beta: 1,217982* *Eta (hr): 5,994939* *Gamma (hr): 2,1025*	*Weibull 3P*
4	*380 V PDCE Switch Gear (GC0081)*	*Mean (hr): 7,2* *Std (hr): 4,059819*	*Normal 2P*
5	*Uninterrupted D Power Supply (UPS) (GC0109)*	*Beta: 1,809669* *Eta (hr): 6,727634* *Gamma (hr): 0,505*	*Weibull 3P*
6	*Battery (GC0123)*	*Beta: 1,580504* *Eta (hr): 4,019104* *Gamma (hr): 2,64*	*Weibull 3P*
7	*Battery Charger (GC0137)*	*Beta: 1,047218* *Eta (hr): 2,778351* *Gamma (hr): 3,44*	*Weibull 3P*
8	*Block Control Desk (BCD)(GC0226)*	*Mean Time (hr): 4,939238* *Gamma (hr): 2,995927*	*Exponential 2P*
9	*Block Control Panel (BLCP)(GC0229)*	*Beta 2,361546* *Eta (hr): 7,260323* *Gamma (hr): 0,59*	*Weibull 3P*
10	*Block Coord Cont. (BCC)(GC0171)*	*Beta: 1,60941* *Eta (hr): 5,012633* *Gamma (hr): 2,33*	*Weibull 3P*
11	*Block 1 Data Acquisition System (GC0165)*	*Beta: 2,985132* *Eta (hr): 9,228472* *Gamma (hr): -1,99*	*Weibull 3P*
12	*Block 1 Unit Interlock Panel (GC0161)*	*Beta: 2,080664* *Eta (hr): 5,19642* *Gamma (hr): 1,09*	*Weibull 3P*
13	*Instrument Air Compressor (GC0918)*	*Beta: 2,506238* *Eta (hr): 4,994369* *Gamma (hr): 0,56*	*Weibull 3P*
14	*HRSG Sump Pit Pump (GC0316)*	*Beta: 2,598632* *Eta (hr): 5,529331*	*Weibull 2P*

No	Peralatan	Nilai	Jenis Distribusi
15	*Turbine Room Pit Pump Sea Water (GC0315)*	*Mean (hr): 4,714285* *Std (hr): 2,023455*	*Normal 2P*
16	*Sea Water Booster Pump (A) (GC0861)*	*Beta: 2,020625* *Eta (hr): 4,393418* *Gamma (hr): 0,485*	*Weibull 3P*
17	*Sea Water Booster Pump (B) (GC0862)*	*Beta: 1,064119* *Eta (hr): 3,968824* *Gamma (hr): 1,38*	*Weibull 3P*
18	*Piping Close Water System (GC0877)*	*Beta: 2,033031* *Eta (hr): 5,523618*	*Weibull 2P*
19	*Close Cycle Cooling Water Pump A (GC0880)*	*Mean (hr): 6,125* *Std (hr): 1,407774*	*Normal 2P*
20	*Close Cycle Cooling Water Pump B (GC0881)*	*Beta: 4,273023* *Eta (hr): 14,065127* *Gamma (hr): -5,935*	*Weibull 3P*
21	*Cooling Water Heat Exchanger A (GC0867)*	*Beta: 1,442338* *Eta (hr): 3,6002* *Gamma (hr): 3,03*	*Weibull 3P*
22	*Cooling Water Heat Exchanger B (GC0868)*	*Beta: 2,880105* *Eta (hr): 5,36448* *Gamma (hr): 1,09*	*Weibull 3P*
23	*Line Make Up Water (GC0548)*	*Mean Time (hr): 4,122641* *Gamma (hr): 5,473183*	*Exponential 2P*
24	*Unit Aux. Transformator (GC0034)*	*Mean Time (hr): 5,830523* *Gamma (hr): 5,806185*	*Exponential 2P*
25	*Line Daerator Inlet (GC0524)*	*Beta: 3,394343* *Eta (hr): 7,790169*	*Weibull 2P*
26	*Daerator (GC0473)*	*Beta: 1,815916* *Eta (hr): 5,692371* *Gamma (hr): 2,08*	*Weibull 3P*
27	*Hp Boiler Feed Pump A (GC0486)*	*Beta: 2,974694* *Eta (hr): 8,307399* *Gamma (hr): -0,315*	*Weibull 3P*
28	*Hp Boiler Feed Pump B (GC0487)*	*Beta: 2,673274* *Eta (hr): 7,011274*	*Weibull 2P*
29	*Hp Boiler Feed Pump C (GC0488)*	*Beta: 2,947103* *Eta (hr): 8,068017* *Gamma (hr): -0,505*	*Weibull 3P*
30	*Hp Boiler Feed Pump D (GC0489)*	*Beta: 2,675455* *Eta (hr): 6,097952* *Gamma (hr): 0,47*	*Weibull 3P*
31	*Lp Boiler Feed Pump A (GC0482)*	*Beta: 3,523662* *Eta (hr): 8,850612* *Gamma (hr): -1,215*	*Weibull 3P*
32	*Lp Boiler Feed Pump B (GC0483)*	*Beta: 3,48041* *Eta (hr): 6,523619*	*Weibull 3P*

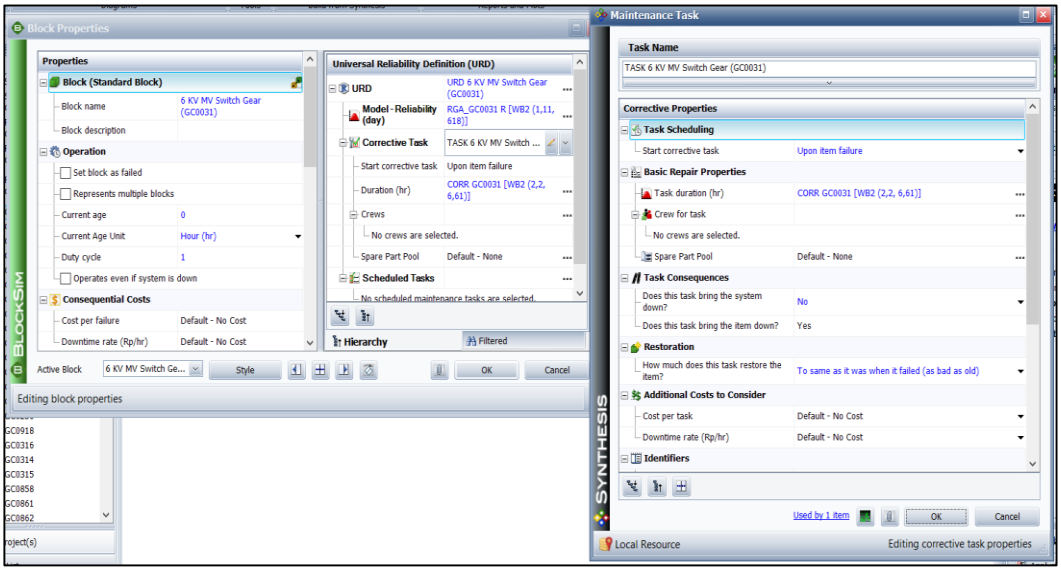
No	Peralatan	Nilai	Jenis Distribusi
		Gamma (hr): 0,92	
33	*Lp Boiler Feed Pump C (GC0484)*	*Beta: 2,320369* *Eta (hr): 5,632566* *Gamma (hr): 1,435*	*Weibull 3P*
34	*Lp Boiler Feed Pump D (GC0485)*	*Beta: 1,803331* *Eta (hr): 5,614975* *Gamma (hr): 0,71*	*Weibull 3P*
35	*Digital Controller (DDC) (GC0183)*	*Mean (hr): 6,863636* *Std (hr): 2,288703*	*Normal 2P*
36	*Turning Gear System (GC0647)*	*Beta: 5,897432* *Eta (hr): 11,75839*	*Weibull 2P*
37	*Ball Screen Taproge Condenser A (GC0849)*	*Mean Time (hr): 1,587565* *Gamma (hr): 3,342308*	*Exponential 2P*
38	*Ball Screen Taproge Condenser B (GC0850)*	*Log-Mean (hr): 1,935601* *Log-Std: 0,171519*	*Lognormal 2P*
39	*HP Aux Steam System (GC0582)*	*Beta: 2,429674* *Eta (hr): 5,716012*	*Weibull 2P*
40	*HP Turbine Main Valve (GC0636)*	*Beta: 2,672848* *Eta (hr): 7,12092*	*Weibull 2P*
41	*HP TBV Spray System (GC0551)*	*Beta: 6,507797* *Eta (hr): 14,125387* *Gamma (hr): -7,7*	*Weibull 3P*
42	*HP Turbine (GC0623)*	*Beta: 3,261029* *Eta (hr): 7,93044*	*Weibull 2P*
43	*HP Turbine Bearing (GC0630)*	*Beta: 2,320507* *Eta (hr): 5,097397* *Gamma (hr): 1,45*	*Weibull 3P*
44	*LP AUX Steam System (GC0581)*	*Mean (hr): 7,285714* *Std (hr): 1,429736*	*Normal 2P*
45	*LP Turbine Main Valve (GC0635)*	*Beta: 2,14445* *Eta (hr): 6,006669*	*Weibull 2P*
46	*LP Turbine (GC0626)*	*Mean (hr): 6,428571* *Std (hr): 2,131712*	*Normal 2P*
47	*LP Turbine Bearing (GC0551)*	*Beta: 6,507797* *Eta (hr): 14,125387* *Gamma (hr): -7,7*	*Weibull 3P*
48	*Gland Steam Condenser (GC0650)*	*Beta: 4,553879* *Eta (hr): 5,796571*	*Weibull 2P*
49	*Ejector System (GC0644)*	*Beta: 7,86633* *Eta (hr): 19,485196* *Gamma (hr): -11,88*	*Weibull 3P*
50	*Condenser (GC0641)*	*Beta: 3,969444* *Eta (hr): 6,469904*	*Weibull 2P*
51	*Line Condensate System (GC0605)*	*Mean (hr): 6,333333* *Std (hr): 1,584203*	*Normal 2P*
52	*Condensate Sealing System (GC0620)*	*Beta: 1,514244*	*Weibull 3P*

No	Peralatan	Nilai	Jenis Distribusi
		Eta (hr): 3,799739 *Gamma (hr): 2,32*	
53	*Condensate Extraction Pump A (GC0608)*	*Mean Time (hr): 2,289722* *Gamma (hr): 3,179637*	*Exponential 2P*
54	*Condensate Extraction Pump B (GC0609)*	*Beta: 1,627031* *Eta (hr): 3,975739* *Gamma (hr): 2,82*	*Weibull 3P*
55	*Condensate Spray System (GC0614)*	*Beta: 2,120962* *Eta (hr): 4,432846* *Gamma (hr): 1,79*	*Weibull 3P*
56	*Generator (No.127534) (GC0782)*	*Beta: 1,850309* *Eta (hr): 4,862017* *Gamma (hr): 1,4425*	*Weibull 3P*
57	*Generator Bearing (GC0806)*	*Mean Time (hr): 2,289722* *Gamma (hr): 7,179637*	*Exponential 2P*
58	*Generator Leads (IPB) (GC0001)*	*Beta: 3,907122* *Eta (hr): 7,142208*	*Weibull 2P*
59	*Bearing Vapor Exhauster A (GC0818)*	*Beta: 6,418332* *Eta (hr): 7,806592*	*Weibull 2P*
60	*Bearing Vapor Exhauster B (GC0819)*	*Beta: 6,418332* *Eta (hr): 7,806592*	*Weibull 2P*
61	*Seal Oil Unit System (GC0824)*	*Beta: 3,198829* *Eta (hr):7,268986*	*Weibull 2P*
62	*Seal Oil Pump(2) (GC0825)*	*Mean Time (hr): 3,17513* *Gamma (hr): 6,684616*	*Exponential 2P*
63	*Seal Oil Pump (3) DC (GC0826)*	*Beta: 3,689872* *Eta (hr): 11,765769* *Gamma (hr): 0,09*	*Weibull 3P*
64	*Main Transformer (GC0019)*	*Beta: 4,37878* *Eta (hr): 8,104923* *Gamma (hr): -0,44*	*Weibull 3P*
65	*Exciter Set (GC0794)*	*Beta: 12,622691* *Eta (hr): 18,896592* *Gamma (hr): -11,18*	*Weibull 3P*

Data yang dihasilkan menggunakan *software* Weibull cenderung memiliki varian distibusi yang cukup banyak, dikarenakan waktu untuk perbaikan peralatan yang mengalami kegagalan tidaklah sama, tergantung dari berat atau ringannya kegagalan yang terjadi pada peralatan tersebut. Untuk distribusi Weibull 3, perlu dijadikan perhatian khusus ketika parameter ϒ bernilai minus, lebih baik untuk nilai ϒ = 0. Atau dengan kata lain distribusi yang kita gunakan adalah sama dengan distribusi Weibull 2.

Setelah diketahui distribusi yang digunakan dengan menggunakan *software* Weibull, selanjutnya nilai tersebut dimasukkan kedalam *software* RBD. Nilai tersebut di*input*kan kedalam bagian *corrective task (maintenance task).* Nilai MTBF dan MTTR diperlukan untuk mengetahui nilai ketersediaan atau *availability* dari suatu perlatan atau sistem serta keandalan/*reliability* peralatan tersebut.

Ketersediaan (*uptime*) merupakan perbandingan waktu selama selang tertentu, dimana peralatan bekerja dengan baik dibagi jumlah waktu seluruhnya dalam selang waktu tersebut. Untuk mencapai ketersediaan yang tinggi maka nilai MTTR diusahan harus rendah mungkin. Gambar 4.14 dibawah memperlihatkan *screenshot* tampilan RBD pada bagian *corrective task*. MTTR diinputkan dengan distribusi yang telah di *running* dengan *software* weibull sebelumnya.

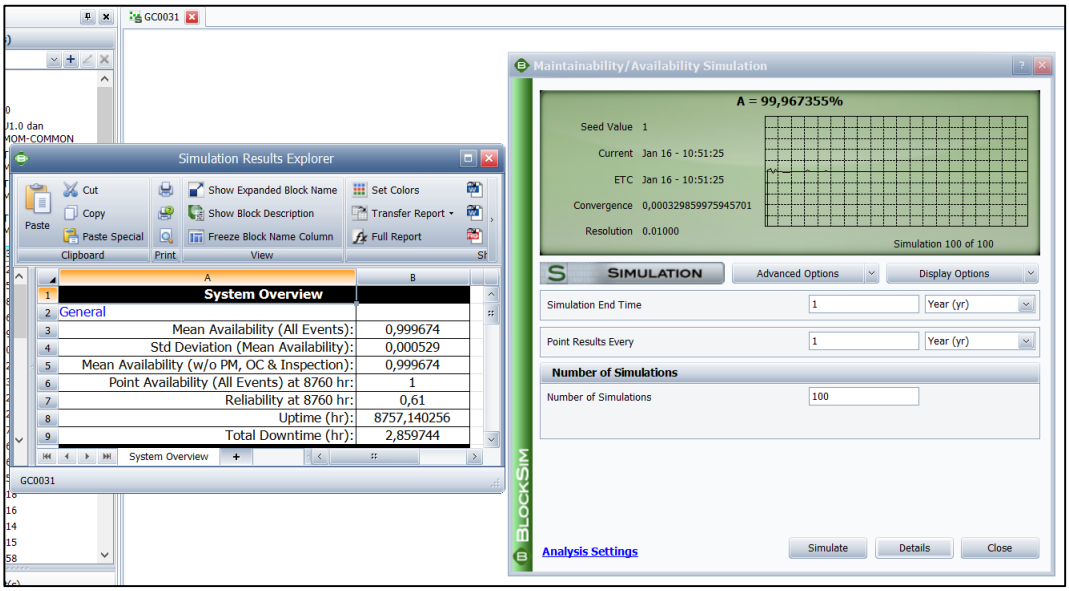


Gambar 4.14 *Screenshot* hasil distribusi yang diinputkan kedalam *software* RBD.

Data-data yang dimasukkan kedalam setiap peralatan di *steam turbine* ST 1.0 terdiri dari distribusi kegagalan, distribusi waktu perbaikan/pengerjaan, serta nilai throughput dari setiap peralatan. Nilai *throughput* merupakan nilai yang ada pada tiap-tiap peralatan yang terhubung menjadi suatu kesatuan sistem *steam turbine* ST 1.0. Nilai *throughput* beruapa nilai DMN (Daya mampu netto) suatu pembangkit. Dalam tesis ini, pembangkit ST 1.0 memiliki DMN sebesar 180 MW/h. Nilai ini dimasukkan dalam tiap peralatan yang dapat mengalirkan nilai tersebut.

Susunan peralatan dalam membentuk suatu sistem pembangkit dapat berupa rangkaian seri dan pararel, tergantung fungsinya dilapangan. Apabila dilapangan suatu peralatan termasuk kedalam rangkaian seri, maka nilai t*hroughput* diisi sebesar 180 dengan unit hours, yang bisa diartikan 180 MW/h. Sedangkan, apabila suatu peralatan termasuk kedalam rangkaian parallel, maka nilai *throughput* dari peralatan tersebut tergantung dari daya mampunya atau dibagi total jumlah suatu peralatan di rangkaian parallel tersebut. Fungsi dari memasukkan nilai *throughput* kedalam suatu peralatan adalah untuk mengetahui nilai *availabitity*/ketersediaan sistem pembangkit ST 1.0 berupa besaran nilai *throughput* sesuai dengan waktu yang ingin kita perkirakan.

Data distribusi dari kegagalan dan waktu perbaikan masing-masing peralatan di *steam turbine* kemudian disimulasikan menggunakan *software* RBD untuk mengetahui nilai keandalan/*reliabity* peralatan tersebut. Gambar 4.15 memperlihatkan screenshot simulasi pada software RBD tersebut.



Gambar 4.15 Tampilan Screenshot Hasil Simulasi Menggunakan *Software RBD/Blocksim.*

Hasil dari simulasi *software RBD/blocksim* salah satunya adalah berupa nilai *reliability*/keandalan dari tiap peralatan sesuai dengan distribusi kegagalan yang telah dimasukkan, serta distribusi nilai waktu perbaikan atau *mean time to*

repair nya. Tabel 4.4 memperlihatkan nilai reliability/keandalan dari tiap-tiap peralatan di ST 1.0.

Tabel 4.4 Hasil Nilai Reliability/Keandalan Peralatan di ST 1.0.

No	Peralatan	Nilai *Reliability*
1	*6 KV MV Switch Gear (GC0031)*	0,61
2	*Blk 1.0-Marshalling Cub. (S/T Bld 2 Fl)(GC0220)*	0,87
3	*380 V PDC Switch Gear (GC0050)*	0,61
4	*380 V PDCE Switch Gear (GC0081)*	0,85
5	*Uninterrupted D Power Supply (UPS) (GC0109)*	0,82
6	*Battery (GC0123)*	0,28
7	*Battery Charger (GC0137)*	0,77
8	*Block Control Desk (BCD)(GC0226)*	0,77
9	*Block Control Panel (BLCP)(GC0229)*	0,59
10	*Block Cord Cont. (BCC)(GC0171)*	0,34
11	*Block 1 Data Acquisition System (GC0165)*	0,84
12	*Block 1 Unit Interlock Panel (GC0161)*	0,8
13	*Instrument Air Compressor (GC0918)*	0,34
14	*HRSG Sump Pit Pump (GC0316)*	0,77
15	*Turbine Room Pit Pump Sea Water (GC0315)*	0,81
16	*Sea Water Booster Pump (A) (GC0861)*	0,4
17	*Sea Water Booster Pump (B) (GC0862)*	0,77
18	*Piping Close Water System (GC0877)*	0,87
19	*Close Cycle Cooling Water Pump A (GC0880)*	0,77
20	*Close Cycle Cooling Water Pump B (GC0881)*	0,72
21	*Cooling Water Heat Exchanger A (GC0867)*	0,2
22	*Cooling Water Heat Exchanger B (GC0868)*	0,3
23	*Line Make Up Water (GC0548)*	0,72
24	*Unit Aux. Transformator (GC0034)*	0,5
25	*Line Daerator Inlet (GC0524)*	0,81
26	*Daerator (GC0473)*	0,72
27	*Hp Boiler Feed Pump A (GC0486)*	0,07
28	*Hp Boiler Feed Pump B (GC0487)*	0,34
29	*Hp Boiler Feed Pump C (GC0488)*	0,21
30	*Hp Boiler Feed Pump D (GC0489)*	0,79
31	*Lp Boiler Feed Pump A (GC0482)*	0,22

No	Peralatan	Nilai *Reliability*
32	*Lp Boiler Feed Pump B (GC0483)*	0,54
33	*Lp Boiler Feed Pump C (GC0484)*	0,72
34	*Lp Boiler Feed Pump D (GC0485)*	0,74
35	*Digital Controller (DDC) (GC0183)*	0,77
36	*Turning Gear System (GC0647)*	0,87
37	*Ball Screen Taproge Condenser A (GC0849)*	0,85
38	*Ball Screen Taproge Condenser B (GC0850)*	0,9
39	*HP Aux Steam System (GC0582)*	0,74
40	*HP Turbine Main Valve (GC0636)*	0,8
41	*HP TBV Spray System (GC0551)*	0,67
42	*HP Turbine (GC0623)*	0,72
43	*HP Turbine Bearing (GC0630)*	0,77
44	*LP AUX Steam System (GC0581)*	0,84
45	*LP Turbine Main Valve (GC0635)*	0,77
46	*LP Turbine (GC0626)*	0,79
47	*LP Turbine Bearing (GC0551)*	0,67
48	*Gland Steam Condenser (GC0650)*	0,86
49	*Ejector System (GC0644)*	0,79
50	*Condenser (GC0641)*	0,74
51	*Line Condensate System (GC0605)*	0,77
52	*Condensate Sealing System (GC0620)*	0,87
53	*Condensate Extraction Pump A (GC0608)*	0,79
54	*Condensate Extraction Pump B (GC0609)*	0,72
55	*Condensate Spray System (GC0614)*	0,79
56	*Generator (No.127534) (GC0782)*	0,63
57	*Generator Bearing (GC0806)*	0,84
58	*Generator Leads (IPB) (GC0001)*	0,77
59	*Bearing Vapor Exhauster A (GC0818)*	0,74
60	*Bearing Vapor Exhauster B (GC0819)*	0,63
61	*Seal Oil Unit System (GC0824)*	0,86
62	*Seal Oil Pump(2) (GC0825)*	0,92
63	*Seal Oil Pump (3) DC (GC0826)*	0,82
64	*Main Transformer (GC0019)*	0,72
65	*Exciter Set (GC0794)*	0,5

Tabel 4.4 diatas memperlihatkan nilai *reliability*/keandalan tiap-tiap peralatan di ST. 1.0. Nilai Keandalan suatu sistem pembangkit dapat diperoleh dengan menggunakan *software* RBD (*reliability block diagram*) yaitu merangkai *block-block* peralatan tersebut menjadi suatu rangkaian seri dan parallel, sehingga dapat disimulasikan berapa nilai keandalan sistem pembangkit ST 1.0.

4.3 Strategi Peningkatan EAF

Strategi peningkatan *EAF* pembangkit bisa dilakukan dengan cara memperpanjang interval *overhaul*, memperpendek durasi *overhaul*, dan mengeliminasi *overhaul* minor. Permasalahannya, selama ini belum terdapat pedoman baku di lingkungan PT Pembangkit Listrik XYZ dalam melakukan justifikasi penerapan strategi *overhaul* yang akan dipilih. Dikarenakan belum adanya pedoman baku tersebut, maka berpotensi terjadinya kesalahan pemilihan strategi peningkatan *EAF* pembangkit sehingga berdampak pada kerugian perusahaan.

Pertimbangan kenapa memilih strategi eliminasi *OH minor* adalah bahwa lingkup pekerjaan pada *OH* minor *(Simple Inspection)* pada PT Pembangkit Listrik XYZ sifatnya adalah pekerjaan minor, dan bisa dilakukan mitigasi di luar *overhaul*. Dasar pemikiran dari strategi eliminasi *OH* minor ini adalah bahwa sesuai tipikal profil risiko pengoperasian *equipment*, pada OH minor (*simple inspection*) tipikal resiko nya adalah kecil sehingga mencegah biaya inspeksi yang tidak perlu bila risiko nya kecil.

Bila eliminasi *OH* minor diimplementasikan, maka siklus *OH* yang masih dilaksanakan adalah *OH* medium (*Mean Inspection*) dan *OH major* (*Serious Inspection*). Contoh, interval *OH* PT Pembangkit Listrik XYZ pasca eliminasi *OH* minor adalah 2 tahunan atau 16000 *EOH*. Dengan bertambah panjangnya interval *OH*, maka ada kemungkinan munculnya *failure mode* pada saat unit beroperasi selama durasi antar *OH*. Selanjutnya diidentifikasi mitigasi yang bisa dilakukan untuk mencegah terjadinya *failure mode* tersebut. Bila mitigasi bisa dilakukan di luar lingkup *OH* minor, baik itu di *Preventive Maintenance* maupun di *OH* medium (*Mean Inspection*), maka strategi eliminasi *OH* minor bisa dilanjutkan untuk proses justifikasi selanjutnya. Namun bila mitigasi tidak bisa dilakukan di luar *OH* minor,

maka strategi eliminasi *OH* minor tidak bisa diterima, sehingga harus kembali ke siklus *OH* eksisting.

4.4 Analisa *Standard Job Overhaul Minor (Simple Inspection)*

Dalam buku *operation and manual* ST 1.0 menerangkan bahwasanya mengenai perbaikan OH *minor/simple inspection*, tidak ada definisi intervalnya. Dalam inspeksi OH *minor/simple inspection* ini, instrumen dan pengontrol harus diperiksa dan dikalibrasi. Selanjutnya, mesin yang memiliki kelainan apa pun dalam kondisi operasinya harus diperiksa serta diambil tindakan korektif yang tepat. Oleh karena itu, penulis mencoba menganalisa peralatan yang ada di ST 1.0 yang mengalami siklus *Overhaul minor/simple inspection* melalui analisa dengan menggunakan software RGA, Weibull, dan juga RBD/blocksim. Hasil analisa tersebut berupa nilai keandalan*/reliability* dari tiap-tiap peralatan, nilai *mean time between failures (MTBF),* dan nilai ketersedian/*availabilit*y dari sistem pembangkit ST 1.0. Nilai tersebut berdasarkan simulasi untuk 1 tahun mendatang. Gambar 4.16 memeperlihatkan screenshot tampilan *standard job overhaul minor/simple inspection* yang dilakukan di PT. Pembangkit Listrik XYZ.

STANDAR JOB SIMPLE INSPECTION (SI) STEAM TURBINE (ST) PLTGU

No.	STD JOB DISCRIPTION & EQUIPMENT NUMBER	STD JOB CODE	NO. TASK	WORK GROUP	JOB TASK CODE	JOB TASK DISCRIPTION & PETUNJUK PELAKSANAAN
1	SI - ST MAIN TRANSFORMER	BATSIA	001	GELEC	BATSIL01	PEKERJAAN MAIN TRANSFORMER
	GC10BAT10GT001 GC20BAT10GT001 GC30BAT10GT001					1. Bersihkan sisi luar, termasuk fan & oil pump 2. Lakukan pemeriksaan dan pengujian sbb : - Periksa kebocoran minyak trafo - Uji *f* analisa minyak trafo di labor - Tes tegangan tembus minyak trafo - Tes sequence & interlock - Megger
			002	GELEC	BATSIL02	PEKERJAAN RELAY PROTEKSI - Pemeriksaan Bucolz relay - Periksan Thermal replica - Periksa Microswitch
2	SI - ST 6 KV MV SWITCH GEAR	BBASIA	001	GELEC	BBASIL01	PEKERJAAN 6 kV SWICTH GEAR & PANEL
	GC10BBA10GW001 GC20BBA10GW001 GC30BBA10GW001					1. Periksa dan bersihkan sisi luar & dalam panel 2. Periksa kondisi bus bar(rel) & wiring dan lakukan cek kekecangan semua baut connector 3. Periksa kondisi seal kabel 4. Periksa kondisi lampu indikator & meter 5. Bersihkan, periksa, pemberian pelumas/grease dan lakukan test kondisi mekanik breaker 6. Periksa dan kalibrasi setting relay : - Synchronize relay - Faulty relay - Interposing Relay - High Speed Transfer Relay 7. Test sequential & interlock Catatan : Pekerjaan Breaker 6 kV meliputi : - Breaker HP BFP A (*0 - Breaker HP BFP B (*0

Gambar 4.16 *Screenshot* Tampilan *Standard Job OH Minor/Simple Inspection* di PT Pembangkit Listrik XYZ.

Peralatan yang dianalisa dalam tesis ini adalah peralatan di *steam turbine* ST 1.0 yang menyebabkan unit mengalami *downtime* ataupun *derating* apabila terjadi kerusakan pada peralatan tersebut. Dari 65 equipment yang ada pada ST 1.0, hanya 44 peralatan yang termasuk kedalam *scope overhaul minor/simple inspection.* Tabel 4.6 menunjukan peralatan di ST 1.0 yang termasuk kedalam *scope* pekerjaan *overhaul minor/simple inspection.*

Tabel 4.5 Peralatan yang termasuk kedalam *scope* pekerjaan OH *minor/simple inspection*.

No	Peralatan	Nilai *Reliability*	MTBF
1	*SI - ST MAIN TRANSFORMER*	0,72	2,702
2	*SI - ST 6 KV MV SWITCH GEAR*	0,61	2,04
3	*SI - ST UNIT AUX TRANSFORMATOR*	0,5	1,449
4	*SI - ST 380 V PDC SWITCH GEAR*	0,61	2,04
5	*SI - ST 380 V PDCE SWITCH GEAR*	0,85	6,249
6	*SI - ST UNINTERUPTED POWER SUPPLY*	0,82	5,263
7	*SI - ST BATTERY*	0,28	0,833
8	*SI - ST BATTERY CHARGER*	0,77	3,999
9	*SI - BLOCK UNIT INTERLOCK PANEL*	0,8	4,545
10	*SI - BLOK DATA ACQUISITION SYSTEM*	0,84	5,882
11	*SI - BLOCK COORD. CONT. (BCC)*	0,34	0,999
12	*SI - ST DIGITAL CONTROLLER (DDC)*	0,77	4,166
13	*SI - BLOCK 1.0 Marshalling Cub. (S/T Bld 2 FI)*	0,87	7,691
14	*SI - BLOCK CONTROL DESK (BCD)*	0,77	3,999
15	*SI - BLOCK CONTROL PANEL (BLCP)*	0,59	1,96
16	*SI - ST DEAERATOR & PIPING SYSTEM*	0,72	2,702
17	*SI - LP BFP A & PIPING SYSTEM*	0,22	0,689
18	*SI - LP BFP B & PIPING SYSTEM*	0,54	1,562
19	*SI - LP BFP C & PIPING SYSTEM*	0,72	2,702
20	*SI - LP BFP D & PIPING SYSTEM*	0,74	2,941
21	*SI - ST HP BFP A & PIPING SYSTEM*	0,07	0,494
22	*SI - ST HP BFP B & PIPING SYSTEM*	0,34	0,999

No	Peralatan	Nilai *Reliability*	MTBF
23	*SI - ST HP BFP C & PIPING SYSTEM*	0,21	0,636
24	*SI - ST HP BFP D & PIPING SYSTEM*	0,79	4,347
25	*SI - ST HP AUX STEAM SYSTEM*	0,74	2,941
26	*SI - ST LINE CONDENSATE SYSTEM*	0,77	3,999
27	*SI - CONDENSATE EXTRACTION PUMP A*	0,79	4
28	*SI - CONDENSATE EXTRACTION PUMP B*	0,72	2,702
29	*SI - CONDENSATE SPRAY SYSTEM*	0,79	4,347
30	*SI - HP TURBINE*	0,72	2,702
31	*SI - LP TURBINE*	0,79	4,347
32	*SI - LP TURBINE BEARING*	0,67	7,692
33	*SI - HP TURBINE BEARING*	0,77	3,999
34	*SI - LP TURBINE MAIN VALVE*	0,77	3,999
35	*SI - HP TURBINE MAIN VALVE*	0,8	4,545
36	*SI - CONDENSOR ST*	0,74	2,941
37	*SI - ST GENERATOR BEARING*	0,84	5,882
38	*SI - ST SEAL OIL UNIT SYSTEM*	0,86	7,142
39	*SI - ST SEA WATER BOSTER PUMP A*	0,4	1,123
40	*SI - SEA WATER BOSTER PUMP B*	0,77	3,999
41	*SI - C. W. HEAT EXCHANGER (A)*	0,2	0,704
42	*SI - C. W. HEAT EXCHANGER (B)*	0,3	0,847
43	*SI - CLOSE COOLING WATER PUMP A*	0,77	3,999
44	*SI - CLOSE COOLING WATER PUMP B*	0,72	2,701

Dari *table* diatas ditunjukkan baris yang berwarna hijau adalah baris dengan nilai *reliability*/keandalan dibawah 0,6 dan nilai MTBFnya dibawah 2 tahun. Peralatan tersebut perlu menjadi perhatian karena nilai *reliability*/keandalan yang diharapkan adalah diatas R = 0,6 dan siklus OH *minor/simple inspection* adalah 8000 jam atau kurang lebih 1 tahun. Peralatan dengan nilai *reliability* dibawah 0,6 dan nilai MTBF dibawah 2 tahun perlu untuk dianalisa lebih lanjut, apabila siklus OH *minor/simple inspection* ingin dihapuskan.

4.5 Mitigasi Risiko Peralatan ST 1.0 dengan Nilai Reliability dibawah R< 0,6 dan MTBF dibawah 2 tahun.

Dari table 4.6 sebelumnya diperlihatkan adanya peralatan yang memiliki nilai *reliability* dibawah 0,6 dan MTBF dibawah 2 tahun. Apabila justifikasi OH

minor/simple inspection dilaksanakan maka langkah selanjutnya adalah melihat konfigurasi sistem peralatan tersebut dilapangan.

Sistem peralatan yang ada di PT Pembangkit Listrik XYZ memiliki 2 tipe konfigurasi yaitu seri dan parallel. Konfigurasi seri ialah konfigurasi peralatan yang saling terkait satu sama lain. 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. Sedangkan suatu sistem dimodelkan dengan susunan parallel 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 *redundency* yaitu menggunakan lebih dari satu komponen untuk meningkatkan keandalan. Tabel 4.7 memperlihatkan konfigurasi susunan peralatan ST 1.0 di PT Pembangkit Listrik XYZ.

Tabel 4.6 Konfigurasi Susuna Peralatan di ST 1.0

No	Peralatan	SERI	PARALEL
1	*SI - ST UNIT AUX TRANSFORMATOR*	√	
2	*SI - ST BATTERY*		√
3	*SI - BLOCK COORD. CONT. (BCC)*		√
4	*SI - BLOCK CONTROL PANEL (BLCP)*		√
5	*SI - LP BFP A & PIPING SYSTEM*		√
6	*SI - LP BFP B & PIPING SYSTEM*		√
7	*SI - ST HP BFP A & PIPING SYSTEM*		√
8	*SI - ST HP BFP B & PIPING SYSTEM*		√
9	*SI - ST HP BFP C & PIPING SYSTEM*		√
10	*SI - ST SEA WATER BOSTER PUMP A*		√
11	*SI - C. W. HEAT EXCHANGER (A)*		√
12	*SI - C. W. HEAT EXCHANGER (B)*		√

Dari data tersebut ternyata banyak peralatan yang memiliki nilai *reliability* dibawah R < 0,6 serta MTBF <2 tahun tetapi memiliki konfigurasi sistem parallel. Hal tersebut menunjukkan bahwasanya sistem tersebut memiliki *redundancy*

sebagai pengganti apabila ada peralatan yang mengalami kerusakan. Selain itu, pekerjaan perbaikan peralatan tersebut dapat dilakukan dengan cara *corrective act*ion tanpa menunggu *overhaul* (OH) yang telah diagendakan. Sehingga *availability* dari sistem pembangkit ST 1.0 dapat terus berjalan.

Untuk peralatan yang merupakan konfigurasi dari rangkaian seri, pendekatan yang dipakai untuk menghilangkan OH minor adalah dengan cara melakukan mitigasi resiko dari peralatan tersebut. Dan juga mengidentifikasi *failure mode* yang mungkin terjadi dengan adanya eliminasi *OH* minor. Mitigasi bisa dilakukan di luar lingkup OH *minor*, baik itu di *preventive maintenance* maupun di OH medium (*mean inspection*). Gambar 4.17 memperlihatkan *screenshot* dari mitigasi yang telah dilakukan untuk peralatan di ST 1.0 PT Pembangkitan Listrik XYZ.

STANDARD JOB SIMPLE INSPECTION
MITIGASI RESIKO STEAM TURBINE ST 1.0

STD JOB DISCRIPTION & EQUIPMENT NUMBER	STD JOB CODE	NO. TASK	WORK GROUP	REVISI JOB INSTRUCTION HASIL EVALUASI 2010 SID 2011	Temuan OH	PREVENTED FAILURE MODE	FAILURE CHARACTERISTICS	Redundancy	PROBABILITY RATING	CONSEQUENCES RA		
										SAFETY	ENVIRONMENT	PRODUCTION
SI - ST MAIN TRANSFORMER	BATSIA	001		PEKERJAAN MAIN TRANSFORMER	MCB motor fan main trafo (life time)			1x100%				
GC10BATTIGTT001				1. PEMBERSIHAN BODY TRANSFORMER, RADIATOR	=) rekomendasi penggantian	- Overheat transformer	Not age related		1	2	1	2
GC20BATTIGTT001				2. PANEL CONTROL	==) temuan SE ST 2.0 2013							
GC30BATTIGTT001				* PEMBERSIHAN SISI LUAR DAN DALAM PANEL		- Panel Korosif	Age Related		3	1	1	1
				* PENGECEKAN SISTEM HEATER, SISTEM GROUNDING, SEAL PINTU PANEL, LAMPU PANEL		- Arus Bocor	Age Related		1	2	1	1
				* PENGECEKAN SEMUA KOMPONEN DI DALAM PANEL		- Kerusakan breaker, relay	Age Related		3	1	1	1
				* PEMERIKSAAN LAMPU INDIKATOR								
				* LAKUKAN TEST FUNGSI SEMUA COOLING FAN		- Fan menderik	Age Related		3	1	1	1
			GELEC	3. PANEL SF-6								
				* PEMBERSIHAN SISI LUAR DAN DALAM PANEL								
				* PENGECEKAN SISTEM HEATER, SISTEM GROUNDING, SEAL PINTU PANEL, LAMPU PANEL								
				* PENGECEKAN SEMUA KOMPONEN DI DALAM PANEL		bushing)	Age Related		1	1	1	2
				* PENGECEKAN PRESSURE SF-6 (PENAMBAHAN JIKA DIPERLUKAN)					3	1	1	1
		002		PEKERJAAN MAIN TRANSFORMER				1x100%				
				1. I/O TEST								
				Peralatan meliputi :								
			GINST	- Winding Temperature (TI & TE)	Tidak ditemukan	Penunjukan TE tidak sesuai aktual	Age related		1	1	1	1
				- Oil temperature (TI & TE)	Tidak ditemukan	Penunjukan TI tidak sesuai aktual	Age related		1	1	1	1
SI - ST 6 KV MV SWITCH GEAR	BBASIA	001		PEKERJAAN 6 kV SWICTH GEAR & PANEL	saat OH ditemukan kondisi power supply rusak			1x100%				
GC10BBA10SW001				1. PERIKSA DAN BERSIHKAN SISI LUAR & DALAM PANEL	=) rekomendasi ganti baru	- Panel korosif	Age related		3	1	1	1
GC20BBA10SW001				2. PERIKSA KONDISI SEAL KABEL DAN SISTEM GROUNDING	==) Temuan SI ST 1.0 2014	- Arus bocor	Age related		1	2	1	1
GC30BBA10SW001				3. PERIKSA KONDISI LAMPU INDIKATOR & METER		- Penunjukan tidak sesuai	Age related		1	1	1	1
					Relay STPI 6KV	- power supply untuk relay mati	Age related		1	1	1	2
			GELEC		BIMARC Relay							
					Relay proteksi		Age related		3	1	1	2
					=) tidak ada spare							
					==) temuan ME ST 2.0 2014							
					==) Pemasangan OH SE							

Gambar 4.17 *Screenshot* Mitigasi Resiko Pada Peralatan di ST 1.0.

4.5.1 Penilaian level risiko terjadinya *failure mode* akibat eliminasi *OH* minor

Dari tiap-tiap *task* yang dilakukan pada *OH* minor dilakukan penilaian level risiko apabila *task-task* tersebut tidak dilakukan akibat strategi eliminasi *OH* minor. Penilaian level risiko ini dilakukan dengan mengalikan skala kemungkinan tingkat terjadi (*likelihood*) dan potensi dampak (*impact*) risiko. Skala *likelihood* ditetapkan sebagai berikut:

Tabel 4.7 Skala *Likelihood.*

Skala	Tingkat Kemungkinan
1	Kerusakan ditemukan hanya pada 1 lingkup *OH* dalam 1 siklus *OH*
3	Kerusakan ditemukan hanya pada 2 lingkup *OH* dalam 1 siklus *OH*
5	Kerusakan ditemukan pada tiap lingkup *OH* dalam 1 siklus *OH*

Skala *impact* didasarkan pada perspektif K3 (risiko kecelakaan kerja), lingkungan (risiko kerusakan ekosistem dan lamanya *recovery*), dan produktifitas (risiko suplai produksi listrik karena *downtime*). Skala *impact* ditetapkan sebagai berikut:

Tabel 4.8 Skala *Impac*t.

Level	1	2	3	4	5
Domain	**Minor**	**Sedang**	**Mayor**	**Kritis**	**Malapetaka**
K3	1 orang cidera tanpa perlu perawatan di Rumah Sakit.	1 orang sampai dengan 5 orang cidera dan perlu perawatan Rumah Sakit.	Lebih dari 5 orang cidera dan perlu perawatan di Rumah Sakit; dan atau 1 orang cidera dan mengakibatkan cacat permanen.	1 orang tewas dan atau lebih dari 1 sampai dengan 10 orang mengalami cidera serius dan cacat permanen.	Lebih dari 1 orang tewas dan atau lebih dari 10 orang mengalami cidera serius dan cacat permanen.
Lingkungan	Kerusakan kecil yang dapat diperbaiki pada spesies, habitat, atau ekosistem. Pemulihan kembali dengan lama s.d 1 minggu.	Kerusakan sedang dalam jangka pendek dapat diperbaiki terhadap spesies, habitat, atau ekosistem. Pemulihan kembali antara 1 sd 2 minggu.	Kerusakan serius dalam jangka panjang terhadap spesies, habitat atau ekosistem. Pemu lihan kembali jangka pendek (< 1 tahun).	Kerusakan serius dalam jangka panjang terhadap spesies, habitat, atau ekosistem yang bernilai tinggi. Pemulihan kembali jangka menengah (1-5 tahun).	Kerusakan sangat serius dan tidak dapat diperbaiki terhadap spesies, habitat, atau ekosistem yang bernilai tinggi. Pemulihan kembali jangka panjang (> 5 tahun).
Produktifitas	Beberapa outage jangka pendek dan derating (Down time sampai dengan3 jam).	Beberapa outage jangka pendek dan derating jangka panjang (Down time > 3 jam sd 12 jam).	Beberapa outage jangka pendek dan derating jangka panjang (Down time > 12 jam sd 1 hari).	Outage kronis jangka panjang dan derating jangka panjang (Down time > 1 hari sd 1 minggu).	Kronis atau jangka panjang dan derating jangka panjang (Down time > 1 minggu).

Dari penilaian level risiko dapat diidentifikasi *task* mana saja yang berada di atas / di bawah *risk appetite*. *Risk appetite* adalah level risiko yang dapat diterima

/ diambil oleh perusahaan dalam mencapai sasarannya. *Risk appetite* perusahaan secara umum ditetapkan berupa risiko pada tingkat moderat hingga rendah. Apabila level risiko *task* pada *standard job OH* minor di atas *risk appetite*, maka strategi eliminasi OH *minor* tidak dapat diimplementasikan karena risiko yang tinggi dan berdampak pada kerugian yang besar. Namun apabila level risiko *task* pada *standard job OH* minor di bawah *risk appetite*, maka strategi eliminasi *OH* minor dapat diterapkan.

Peralatan yang memiliki nilai *reliability* dibawah 0,6 dan nilai MTBF dibawah waktu 2 tahun adalah peralatan *Unit Aux Transformator*. Untuk itu perlu dilakukan mitigasi khusus untuk melihat kemungkinan resiko yang terjadi apabila siklus OH minor/*simple inspection* jadi dilaksanakan. Tabel 4.10 dibawah memperlihatkan mitigasi resiko pada peralatan *Unit Aux Transformator*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

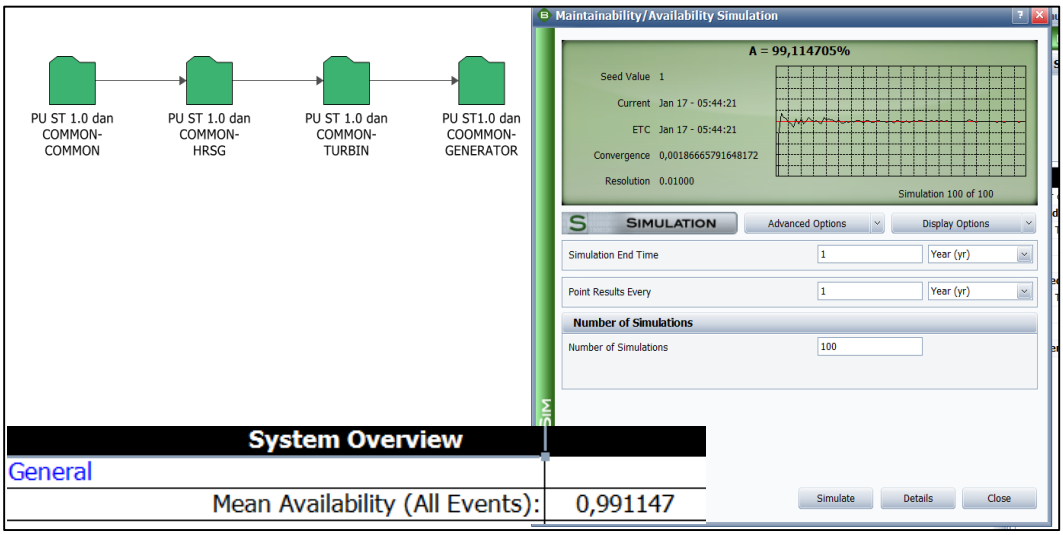
Tabel 4.9 Mitigasi Resiko Peralatan *Unit Aux Transformator*.

NO.	STD JOB DISCRIPTION & EQUIPMENT NUMBER	WORK GROUP	REVISI JOB INSTRUCTION HASIL EVALUASI 2010 S/D 2011	Temuan OH	PREVENTED FAILURE MODE	FAILURE CHARACTERISTICS	Redundancy	PROBA-BILITY RATING OF FM	CONSEQUENCES RATING				RISK		DECISION	Mitigasi
									SAFETY	ENVIRON-MENT	PRODUC-TION	FINAL CONSE-QUENCE				
3	SI - ST UNIT AUX TRANSFORMATOR	GELEC	PEKERJAAN AUXILIARY TRANSFORMER				1x100%									
			1. PEMBERSIHAN BODY TRANSFORMER, RADIATOR.		transformer	Not age related		1	2	1	2	2	1,2	Rendah	Diterima	- dilakukan PM pembersihan oleh har listrik
			2. PANEL CONTROL :													
			* PEMBERSIHAN SISI LUAR DAN DALAM PANEL		- Panel	Age Related		1	1	1	1	1	1,1	Rendah	Diterima	- dilakukan PM pembersihan oleh har listrik
			* PENGECEKAN SISTEM HEATER		- Kondisi	Non age related		1	1	1	1	1	1,1	Rendah	Diterima	- dilakukan pengecekan saat PM
			* PENGECEKAN SEMUA KOMPONEN DI DALAM PANEL		breaker,	Age Related		3	1	1	1	1	3,1	Rendah	Diterima	- dilakukan corrective action saat unit RSH
			3. PENGECEKAN SISTEM GROUNDING													
				penggantian microswitch partial		Age Related		3	1	1	1	1	3,1	Rendah	Diterima	- dilakukan corrective action saat unit operasi
				=> lifetime operasional												
				==> temuan SI ST 1.0 2014												

Halaman ini sengaja dikosongkan

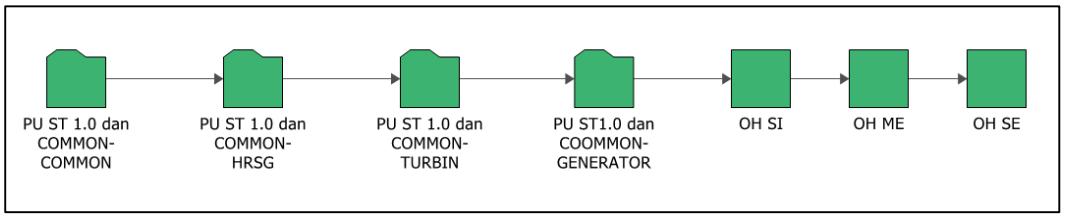
4.6 *Availability, Reliability,* dan *Probability Density Function* dari Sistem ST 1.0

Availability, didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem agar dapat melakukan fungsi yang diperlukan pada suatu periode waktu tertentu. Ketersediaan atau *availability* ini dipengaruhi beberapa faktor diantaranya yaitu dapat diperbaiki pada periode waktu tertentu (kondisi operasional) atau tidak dapat diperbaiki pada periode waktu operasional, sehingga mengurangi nilai ketersediaan dari suatu sistem. *Availability* pada sistem pembangkit merupakan nilai dari EAF atau *equivalent availability* faktor, yaitu faktor kesiapan unit atau ketersediaan unit pembangkit dalam menghasilkan listrik. Gambar 4.18 memperlihatkan *availability* dari pembangkit ST 1.0 yang disimulasikan oleh *software RBD/blocksim*.



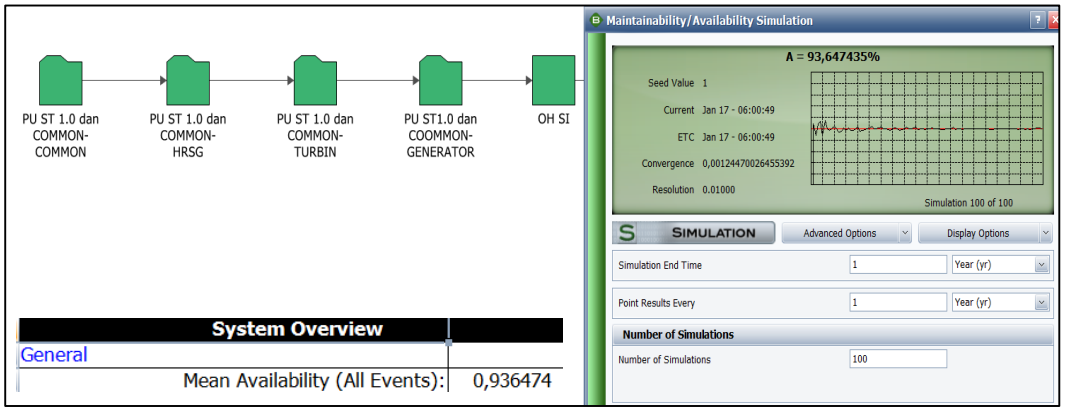
Gambar 4.18 Nilai *Availability* dari Sistem Pembangkit ST 1.0.

Dari gambar tersebut memperlihatkan bahwa selama 1 tahun kedepan, ketersediaan unit pembangkit (*availability*) mencapai 99,1 %. Nilai tersebut merupakan nilai dari inputan distribusi kegagalan yang telah dimasukkan kedalam setiap peralatan di ST 1.0 dan juga nilai dai MTTR masing-masing peralatan tersebut. Tetapi nilai tersebut belum dikurangi oleh aktivitas *overhaul* yang dilakukan setiap tahun mengikuti jadwal yang sudah ditentukan oleh PT Pembangkit Listrik XYZ. Gambar 4.19 memperlihakan sistem pembangkit ST 1.0 yang telah disimulasikan dengan menambahkan waktu dan jenis *overhaul* (OH) setiap tahunnya.



Gambar 4.19 Sistem Pembangkit dengan Siklus Waktu *Overhaul*nya.

Dengan memasukkan waktu yang dibutuhkan untuk pekerjaan *overhaul* yaitu untuk OH SI (*simple inspection*) selama 20 hari, OH ME (*medium inspection*) selama 35 hari, dan OH SE (*serius inspection*) selama 45 hari dan jarak siklus antar *overhaul* yaitu 8000 hours (SI), 16.000 hours (ME), 24.000 hours (SI), 32.000 hours (SE) yang dilakukan di PT Pembangkit listrik XYZ, makan akan diketahui nilai *availability*/ ketersediaan dalam rentan waktu tersebut. Gambar 4.20 memperlihatkan *screenshot* simulasi sistem pembangkit listrik XYZ dengan siklus OH SI (*simple inspection*).

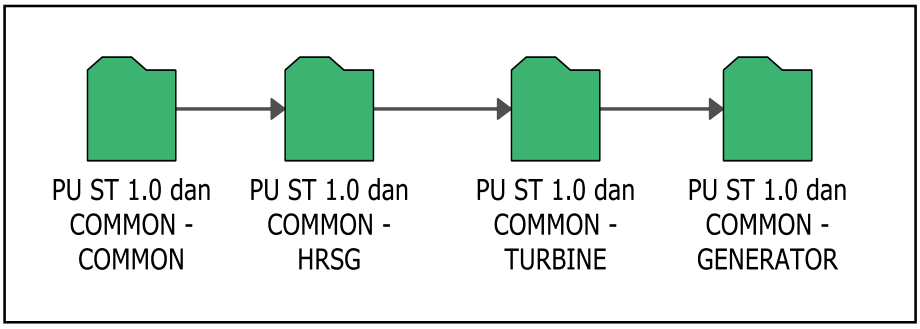


Gambar 4.20 Sistem Pembangkit ST 1.0 dengan Siklus Waktu OH SI.

Dari gambar tersebut terlihat bahwasanya apabila melakukan OH SI pada tahun yang sudah dijadwalkan maka ketersediaannya berkurang dari 99 % menjadi hanya 93%. Tentu hal tesebut sangat merugikan PT Pembangkit listrik XYZ disebabkan oleh kegiatan overhaul minor/*simple inspection*.

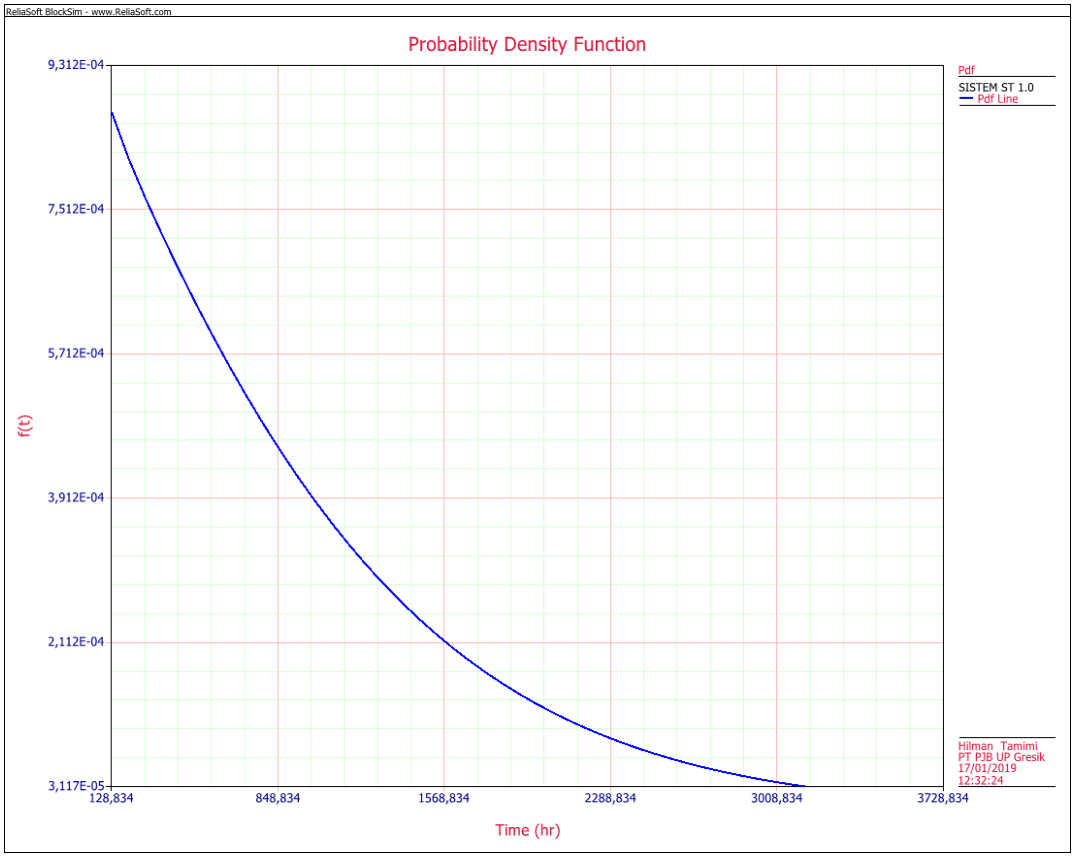
Probability density function (PDF) adalah kemungkinan munculnya suatu nilai dalam *range* tertentu. Tiap peralatan yang memiliki distribusi kegagalan memiliki PDF masing-masing. Hasil pengolahan data menggunakan *software* RBD/*Blocksim* menghasilkan PDF yang akan dilampirkan untuk setiap peralatan *steam turbine* ST 1.0. Plot PDF pada suatu sistem pembangkit ST 1.0 dapat

dimodelkan dengan *software blocksim.* Gambar 4.21 memperlihatkan konfigurasi sIstem pada pembangkit ST 1.0



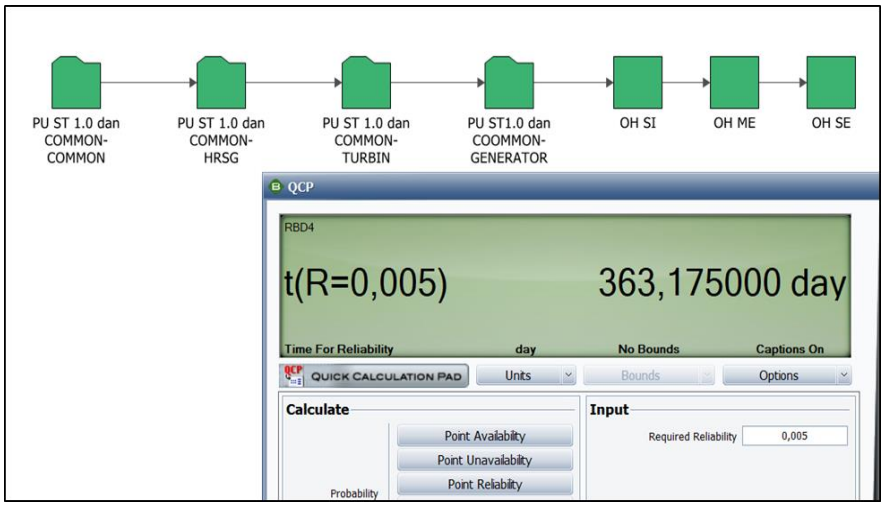
Gambar 4.21 Konfigurasi Subsitem Peralatan di Pembangkit ST 1.0.

Sedangkan Gambar 4.22 memeperlihatkan plot *probability density fu*nction (PDF) dari suatu system pembangkit ST.10 yang terdiri dari konfigurasi peralatan utama beserta peralatan pendukung/ common.



Gambar 4.22 PDF dari Sistem Pembangkit ST 1.0.

Trend dari sistem pembangkit ST 1.0 menunjukkan *trend* menurun hal ini dikarenakan waktu antar kerusakan setiap peralatan cenderung rapat antar satu kegagalan dengan kegagalan yang lainnya. Hal tersebut dapat diakibatkan salah satunya karena umur pembangkit yang sudah relative tua yang menyebabkan kemungkinan kegagalan meningkat. Tetapi trend tersebut tidak menjadi acuan bahwa sistem tersebut akan mengalami kerusakan secara menyeluruh pada selang waktu tertentu, dikarenakan system pembangkit yang bersifat repairable yaitu hanya memperbaiki komponen yang mengalami kerusakan tidak langsung diganti dengan yang baru. Nilai keandalan/reliability dari sistem pembangkit ST 1.0 dapat disimulasikan dengan software RBD/blocksim seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.23 sebagai berikut.



Gambar 4.23 *Screenshot* Simulasi Nilai *Reliability* Pembangkit ST 1.0.

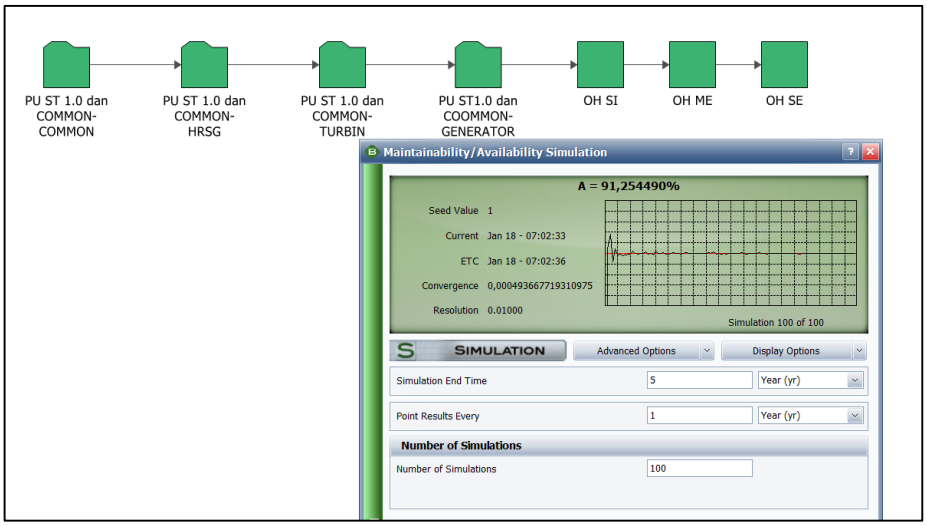
Gambar 4.23 memperlihatkan *screenshot* tampilan simulasi sistem pembangkit ST 1.0 dengan menggunakan *software* RBD (*reliability block diagram*)/*blocksim* dengan nilai selama 1 tahun mendatang yaitu sebesar R = 0,005. Hasil tersebut merupakan perhitungan dari nilai *reliabilit*y peralatan yang ada didalam sistem tersebut. Apabila melihat dari keandalan sistem pembangkit ST 1.0 di PT Pembangkit Listrik XYZ memang terlihat nilai *reliability*nya cukup kecil. Tetapi nilai ketersediaan pembangkit atau *availability* dari sistem tersebut untuk dapat beroperasi masih terbilang cukup tinggi.

4.7 Perhitungan Produktivitas Pembangkit ST 1.0 PT Pembangkit Listrik XYZ.

PT Pembangkit Listrik XYZ menghasilkan produksi listrik yang akan disalurkan berupa Daya listrik. Setiap unit pembangkit memiliki DMN (daya mampu *netto*) yang berbeda-beda susuai dengan kapasitas pembangkit tersebut. Untuk Pembangkit ST 1.0 memiliki DMN sebesar 180 MW/*hour*, sehingga diharapkan dalam satu (1) tahun operasi Pembangkit Listrik ST 1.0 menghasilkan kapasitas produksi listrik sebesar:

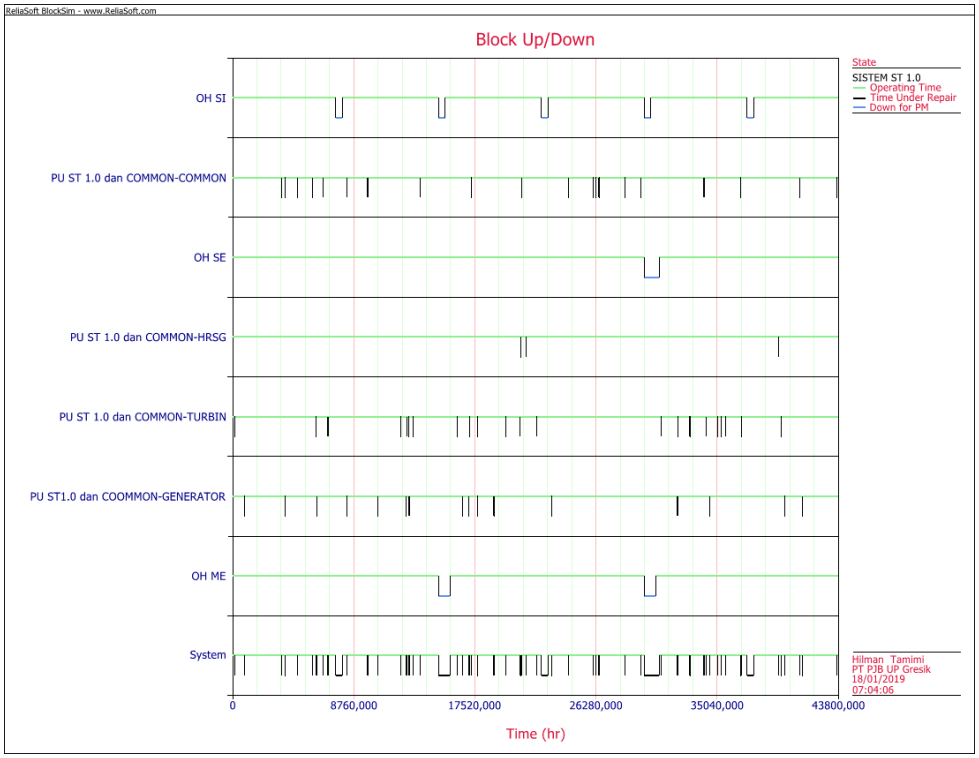
180 MW/hours x 24 jam (1hari) x 365 hari (1 tahun) = 1576800 MW

Tetapi hal tersebut sulit sekali terjadi melihat data kegagalan dari histori sebelumnya yang menghasilkan distribusi probabilitas munculnya kegagalan. Selain itu juga, masih diberlakukannya pemeliharan yang bersifat rutin seperti kegiatan *overhaul* yang menyebabkan unit pembangkit harus tidak beroperasi (shutdown) selama waktu yang telah ditentukan. Oleh karena itu penulis mencoba mensimulasikan data-data yang didapat untuk melihat kemungkinan ketersediaan/ *availability* pembangkit ST 1.0 dengan memasukan distribusi kegagalannya. Gambar 4.24 memperlihatkan *availability*/ketersediaan Pembangkit ST 1.0 dengan data distribusi kegagalan yang telah dimasukkan serta siklus *overhaul* yang sudah dijadwalkan.



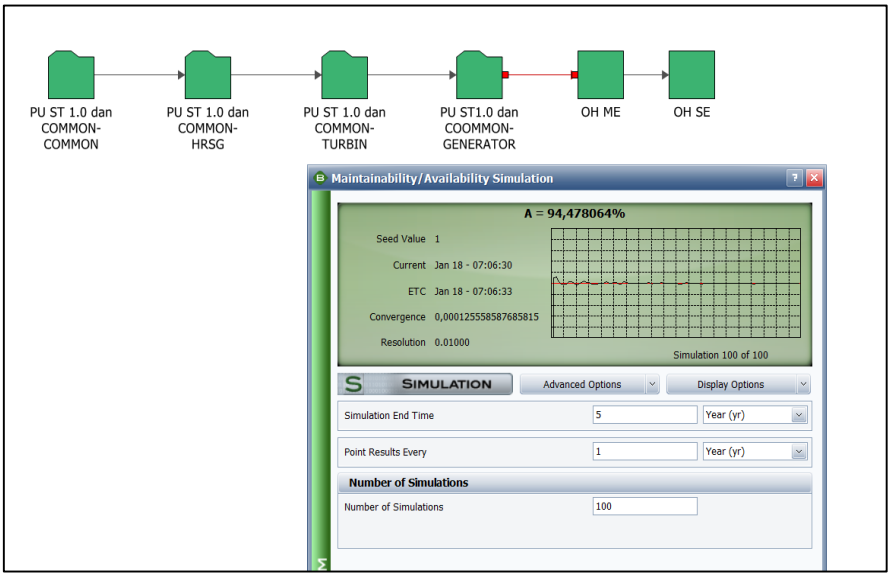
Gambar 4.24 Tampilan *Screenshot* Simulasi Mencari Nilai *Availability* pada Sistem Pembangkit ST 1.0 beserta siklus *Overhaul*nya.

Dari gambar diatas memperlihatkan nilai availability pembangkit ST 1.0 selama 5 tahun kedepan sesuai dengan target EAF RJPU Korporat apabila dilakukan overhaul minor/simple inspection, maka menghasilkan nilai availability atau ketesediaan sebesar A= 91,25%.



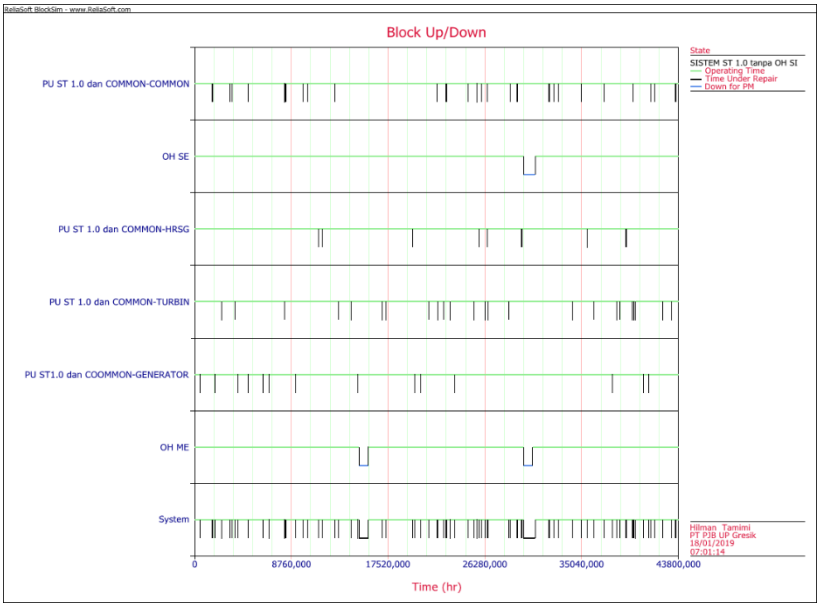
Gambar 4.25 Plot Sistem *Block Up/Do*wn Selama 5 tahun.

Dari gambar 4.25 diatas memperlihatkan availability pembangkit ST selama 5 tahun kedepan yaitu sebesar 91, 25 % dengan plot sistem *block up/down*. Sedangkan untuk availability/ketersediaan pembangkit jika melakukan strategi eliminasi OH minor/ simple inspection adalah seperti ditunjukkan pada gambar 4.26 berikut.



Gambar 4.26 Tampilan *Screenshot* Simulasi Mencari Nilai *Availability* pada Sistem Pembangkit ST 1.0 dengan Eliminasi OH minor.

Dari gambar tersebut memperlihatkan nilai availability jika melakukan eliminasi OH minor/simple inspection dapat meningkat menjadi 94, 47 % dalam rentan waktu 5 tahun kedepan. Selain itu gambar 4.27 memperlihatkan plot block up/down pada sistem di pembangkit ST 1.0 sesuai dengan distribusi kegagalannya selama kurun waktu 5 tahun kedepan.



Gambar 4.27 Plot Sistem *Block Up/Down* Selama 5 tahun.

Jadi, melakukan strategi untuk mengeliminasi siklus OH *minor/simple inspection* dengan memperhatikan nilai *reliability* tiap peralatan yang termasuk kedalam siklus OH minor, mempertimbangkan probabilitas waktu antar kerusakan peralatan, dan juga melakukan mitigasi resiko jika OH minor dihilangkan dan dimasukkan kedalam pemeliharaan *preventive* secara *onlin*e dan masuk kedalam siklus didepannya yaitu *medium inspection* (OH ME), maka strategi "mengeliminasi OH Minor/simple inspection" perlu dipertimbangkan kedepan guna mendukung visi dan misi perusahaan dalam meningkatkan EAF PT Pembangkit Listrik XYZ pada *steam turb*ine ST 1.0

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berkut:

1. Waktu antar kerusakan pada masing-masing peralatan di ST 1.0 menunjukkan trend naik, artinya kecenderungan kerusakan diakibatkan oleh *life time* peralatan tersebut.
2. Interval perawatan *overhaul* yang terbaik dengan mempertimbangkan nilai dari *reliability*, MTBF, *availability* serta mitigasi resiko dari tiap-tiap peralatan yang termasuk dalam siklus OH *minor/simple insp*ection adalah dilakukan overhaul setiap 16.000 hour.
3. Strategi yang digunakan untuk meningkatkan a*vailability* pembangkit adalah dengan cara melakukan eliminasi OH *minor/simple inspection* pada ST 1.0 PT Pembnagkit Listrik XYZ.

5.2 Saran

Berikut saran dari hasil penelitian di PT Pembangkit Listrik XYZ:

1. Untuk penentuan interval pemeliharaan *Overhaul* selanjutnya agar dipertimbangkan untuk melakukan eliminasi pada OH *minor*.
2. Untuk Penelitian selanjutnya, untuk data downtime yang dimasukkan ke RGA merupakan data cumulative karena software RGA untuk distribusi nilai cumulative sehingga perlu adanya informasi lebih jauh terkait RGA dan kaitannya dengan teori reliability.
3. Untuk penelitian selanjutnya dilakukan penyaringan data *downtim*e peralatan lebih detail dan juga pencatatan waktu *repair*/ perbaikan peralaan tersebut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Assauri, S., (1999); *Manajemen Produksi dan Operasi*, Edisi Revisi, LPFEUI, Jakarta.

David, J. S., (2011), *Reliability, Maintainability, and Risk: Practical Methods for Engineers*, Butterworth-Heinemann, Boston.

Dhillon, B. S., (2006), *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*, CRC, Ottawa, Ontario.

Hardiyanto, Ekwan., (2017), *Penentuan Interval Waktu Perawatan Pencegahan pada Peralatan Gas Compression System di PT Pertamina Hulu Energi*, Tesis yang tidak dipublikasikan, Program Studi Magister Manajemen Teknologi ITS, Surabaya.

Lewis, E. E., (1998), *Introduction to Reliability Engineering*, John Wiley & Sons, *First Edition*, New York.

Mettas, A., (2000), *Reliability Allocation and Optomization for Complex System*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Los Angeles.

Pratama, R.A., (2018), *Analisis Keandalan Sebagai Dasar Optimalisasi Internal Pemeliharaan Control Valve HP Main Level Steam Drum PLTGU PT PJB UP Gresik*, Tesis yang tidak dipublikasikan, Program Studi Magister Manajemen Teknologi ITS, Surabaya.

Suhandoko, Edi., (2011), *Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan dengan Meminimalkan Laju Biaya Berdasarkan Alokasi dan Optimasi Kehandalan pada Peralatan Seksi Penggilingan*, Tesis yang tidak dipublikasikan, Program Studi Magister Manajemen Teknologi ITS, Surabaya.

Suharjito., (2011), *Penentuan interval waktu perawatan Peralatan pada Sistem Plant-1 dengan Meminimalkan Laju Biaya Total Perawatan*, Tesis yang tidak dipublikasikan, Program Studi Magister Manajemen Teknologi ITS, Surabaya.

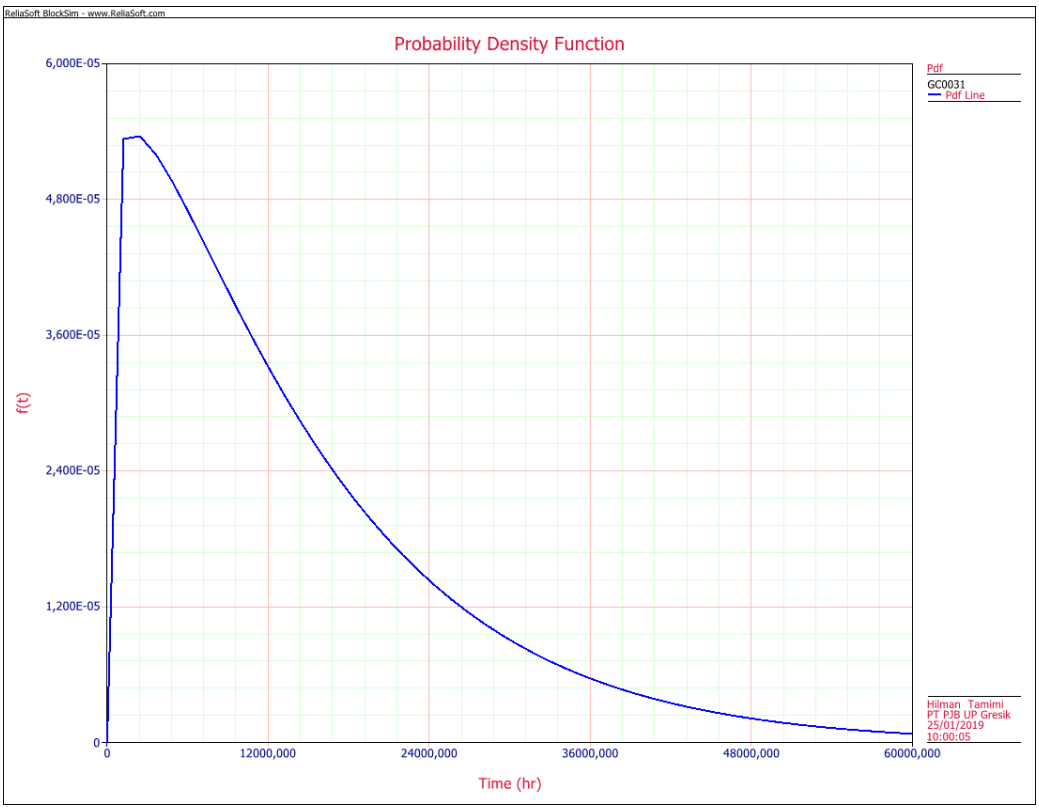
System and Equipment Reliability Prioritization report PT. PJB UP Gresik, Tahun 2017.

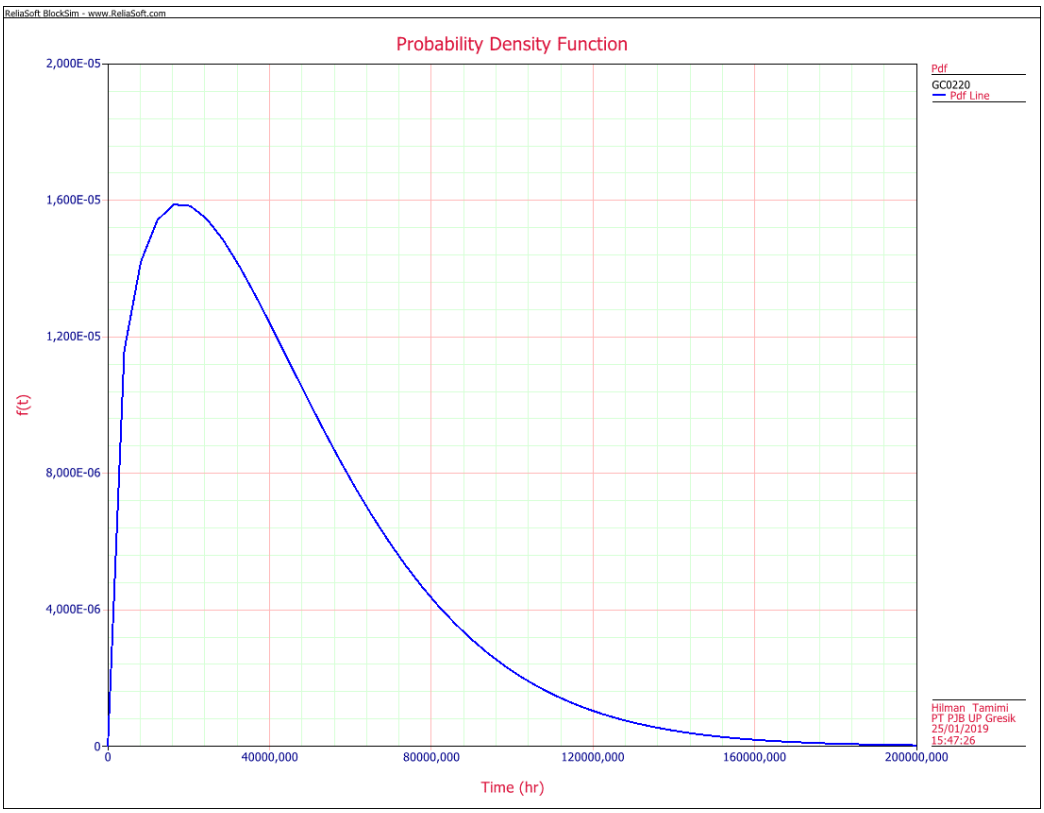
Wijaya, Bayu., (2018), *Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan Berdasarkan Metode Alokasi dan Optimasi Keandalan pada Peralatan Sub Unit Sistem Sirkulasi Air dan Uap di Blok 1 (Studi Kasus di PT. XYZ)*, Tesis yang tidak dipublikasikan, Program Studi Magister Manajemen Teknologi ITS, Surabaya.

Workflow System Equipment Reliability Prioritization PT. PJB , Tahun 2010.

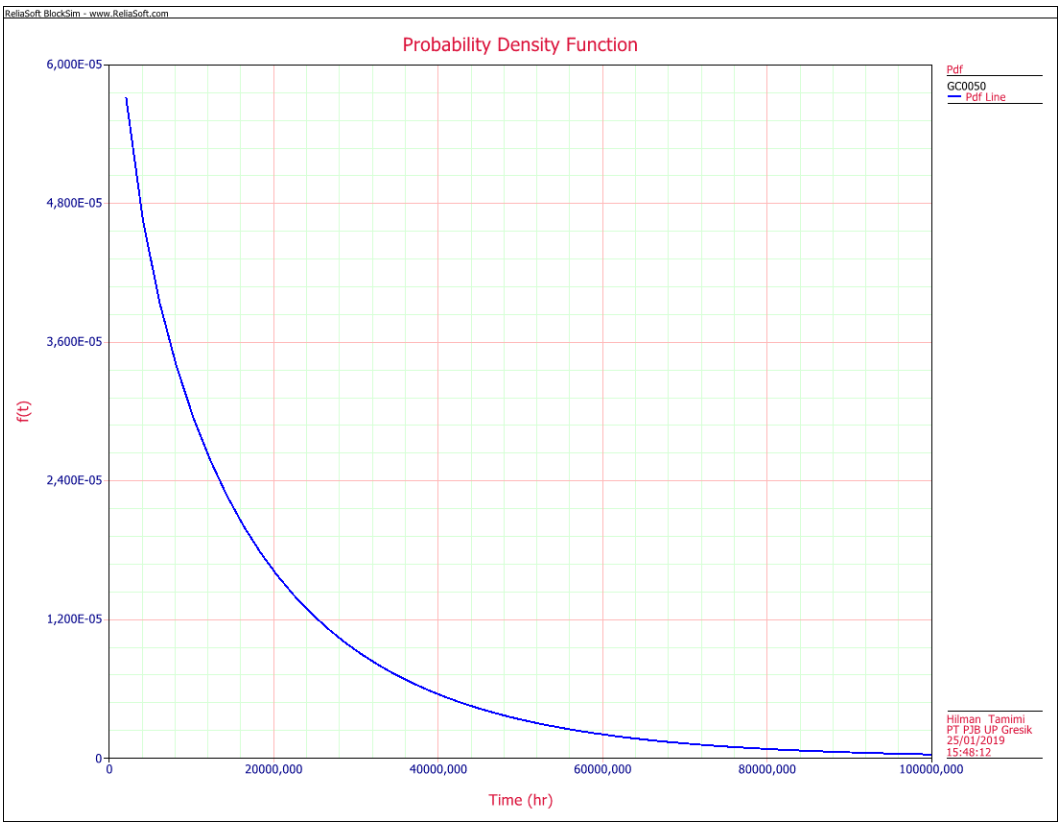
Work Order report PT. PJB UP Gresik, Tahun 2017.

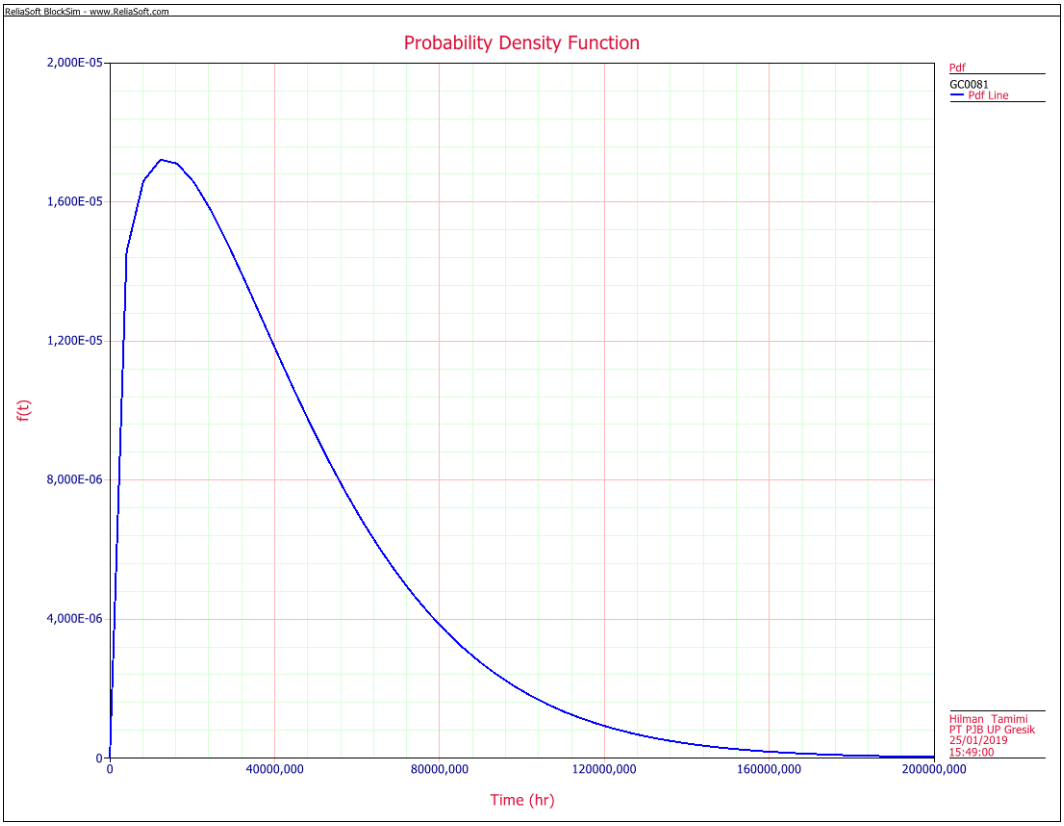
LAMPIRAN 2
KURVA PDF PERALATAN ST 1.0



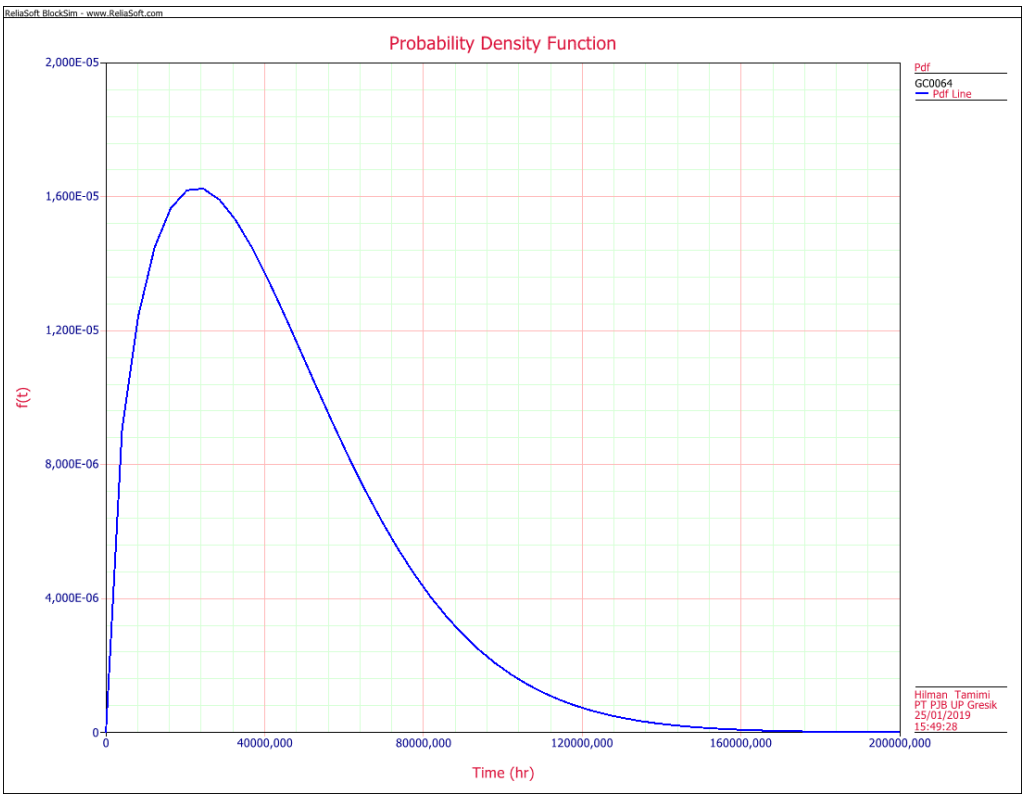


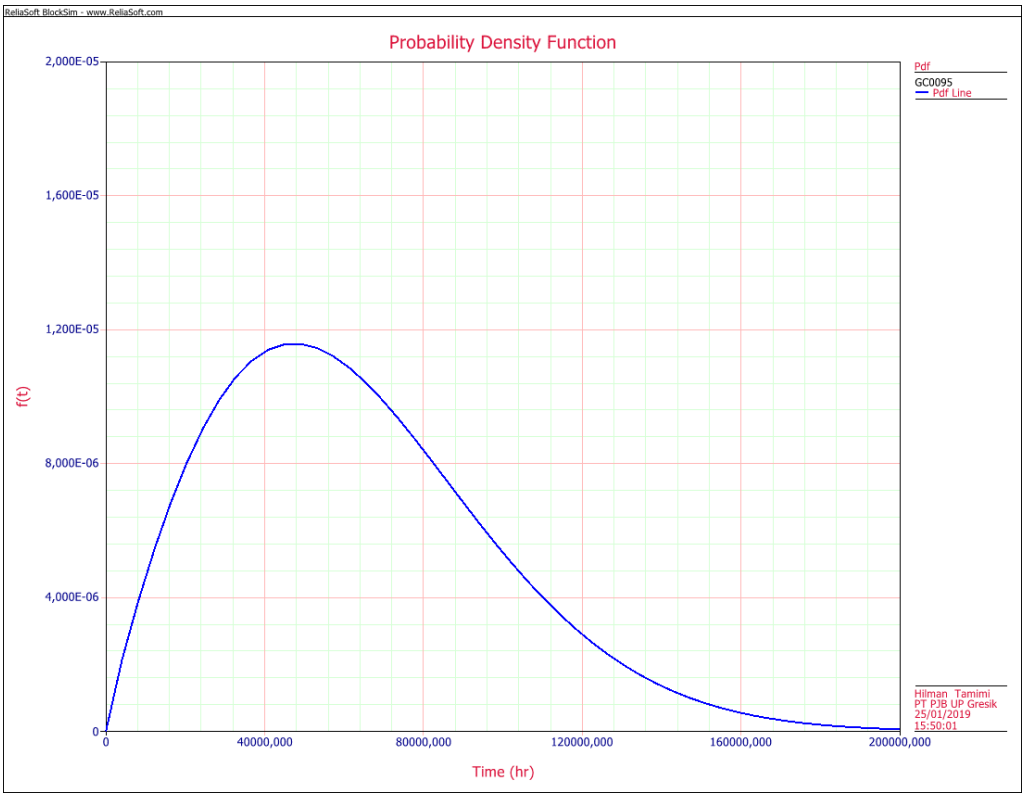
LAMPIRAN 2
KURVA PDF PERALATAN ST 1.0



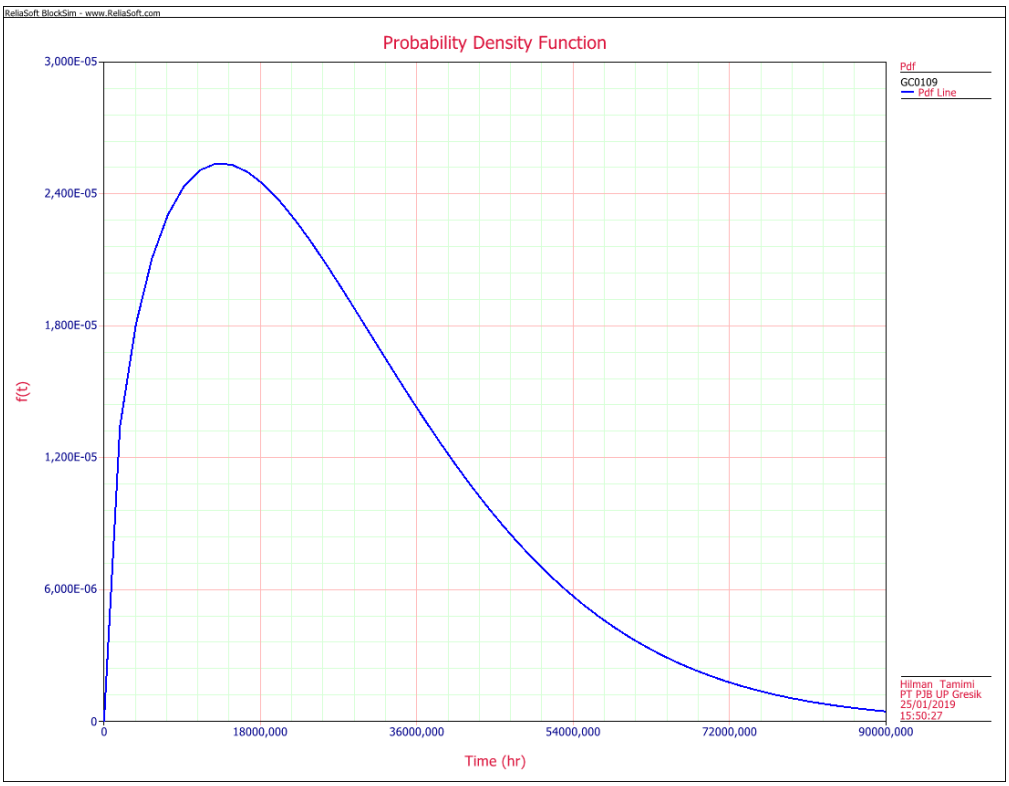


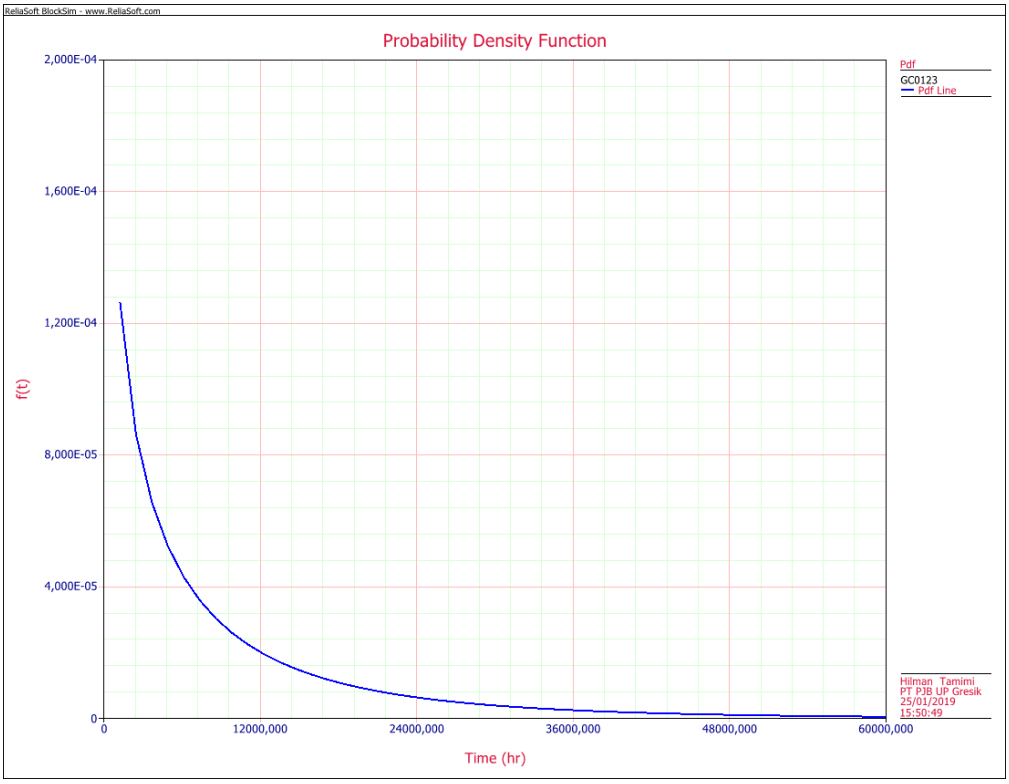
LAMPIRAN 2
KURVA PDF PERALATAN ST 1.0



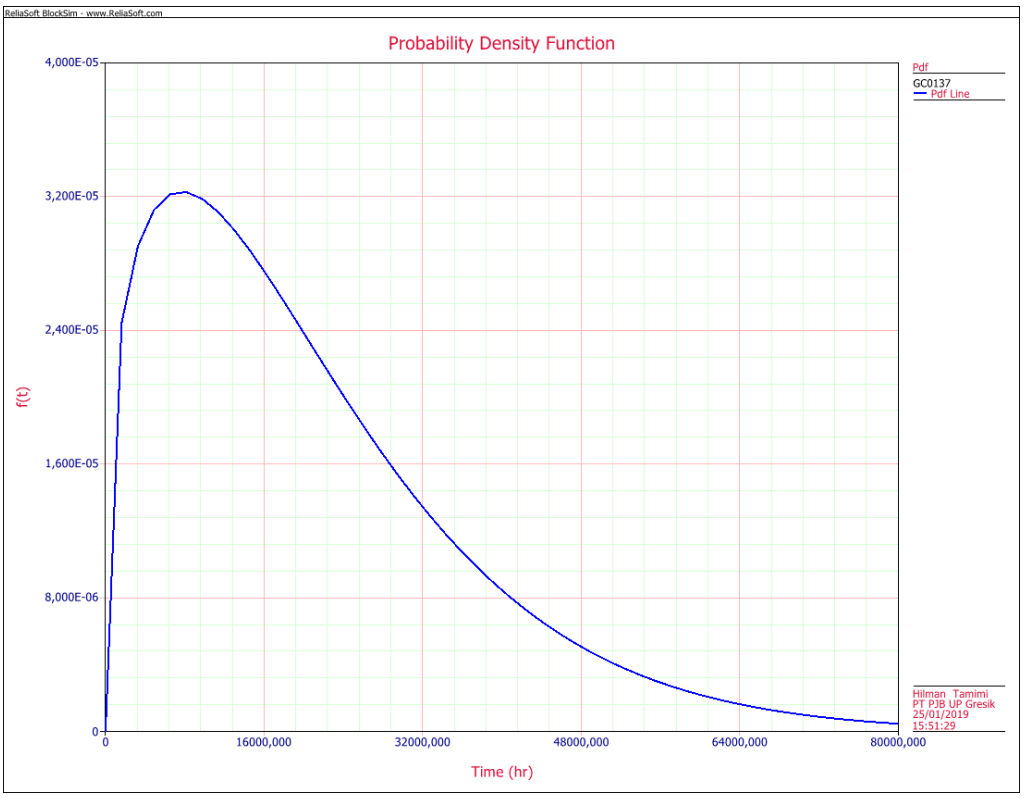


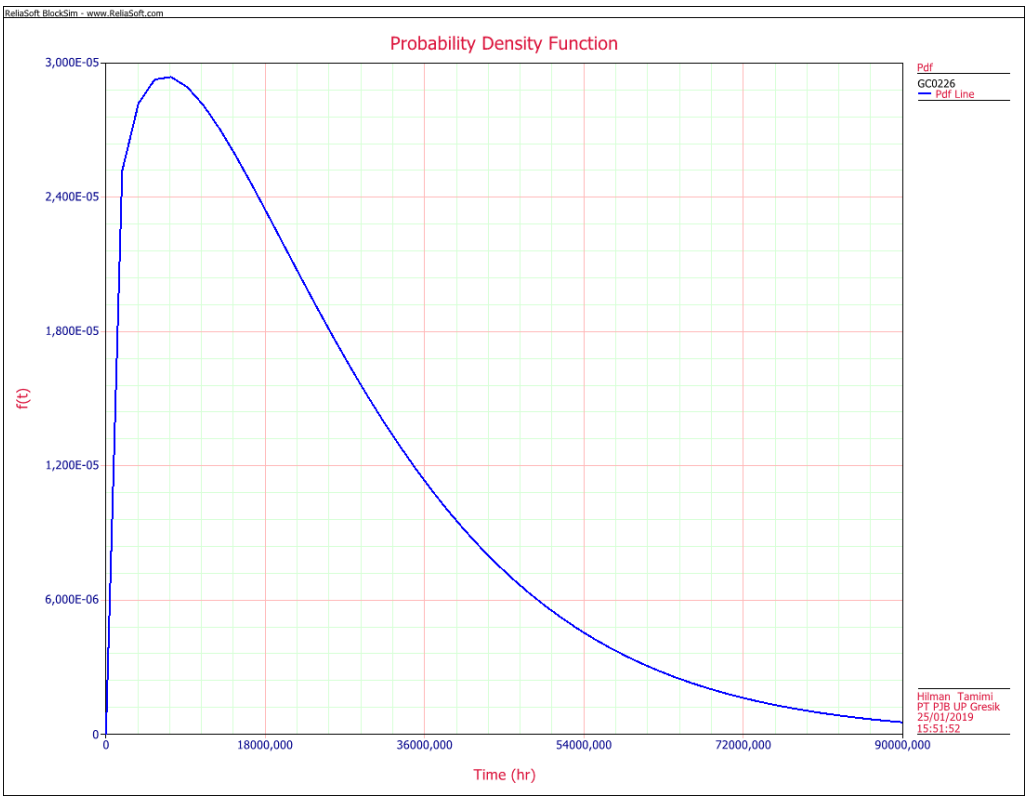
LAMPIRAN 2
KURVA PDF PERALATAN ST 1.0



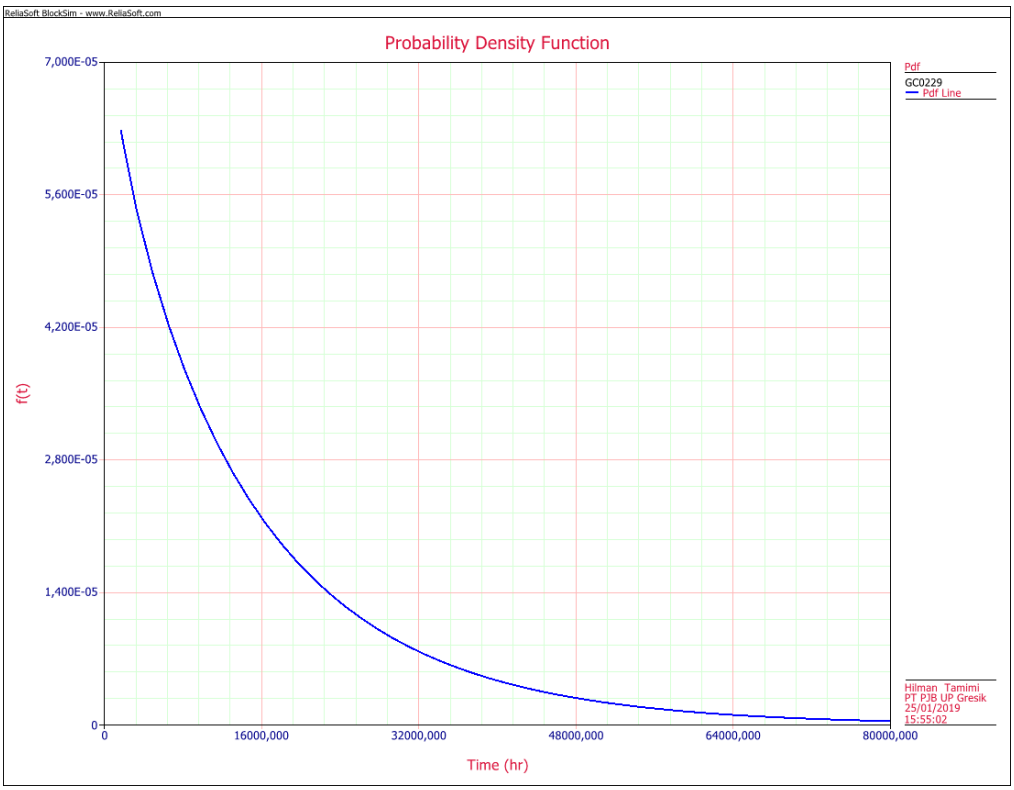


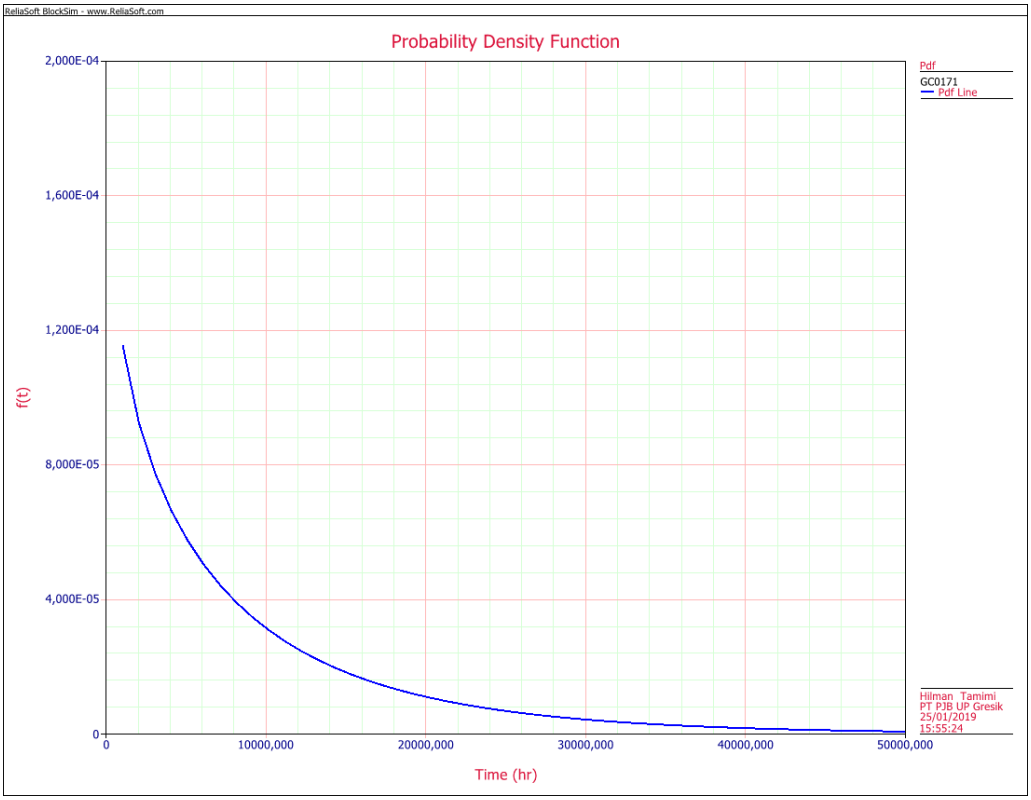
LAMPIRAN 2
KURVA PDF PERALATAN ST 1.0



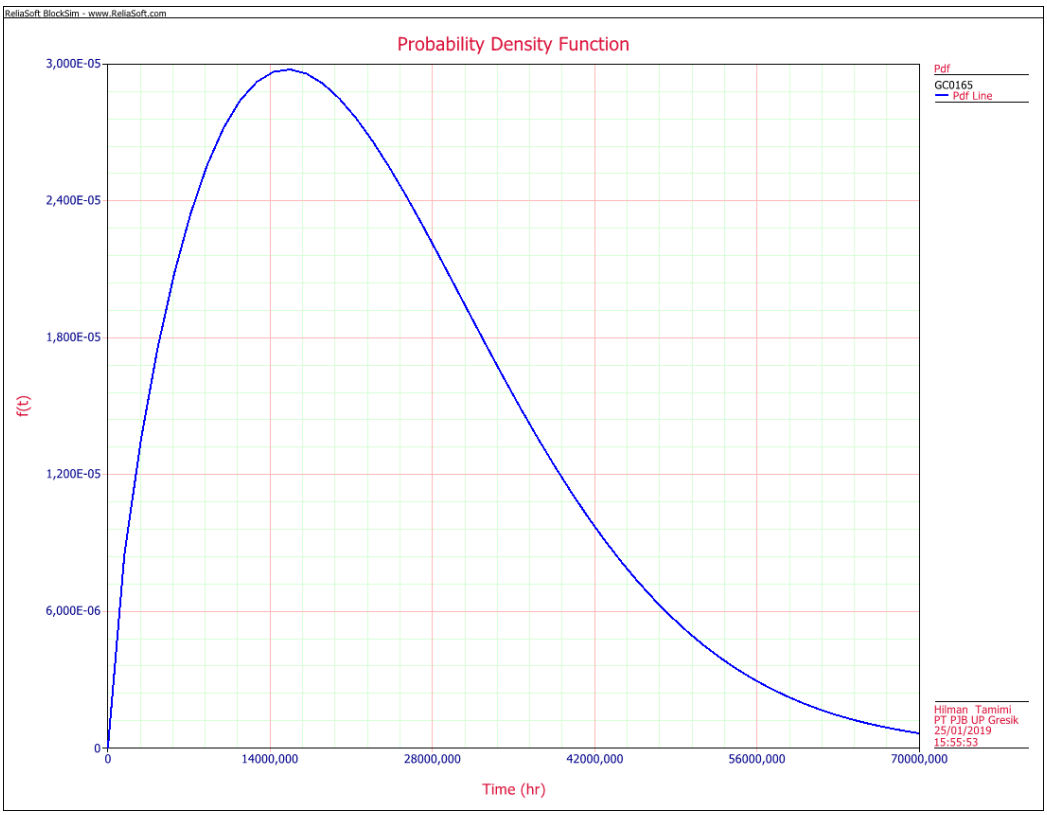


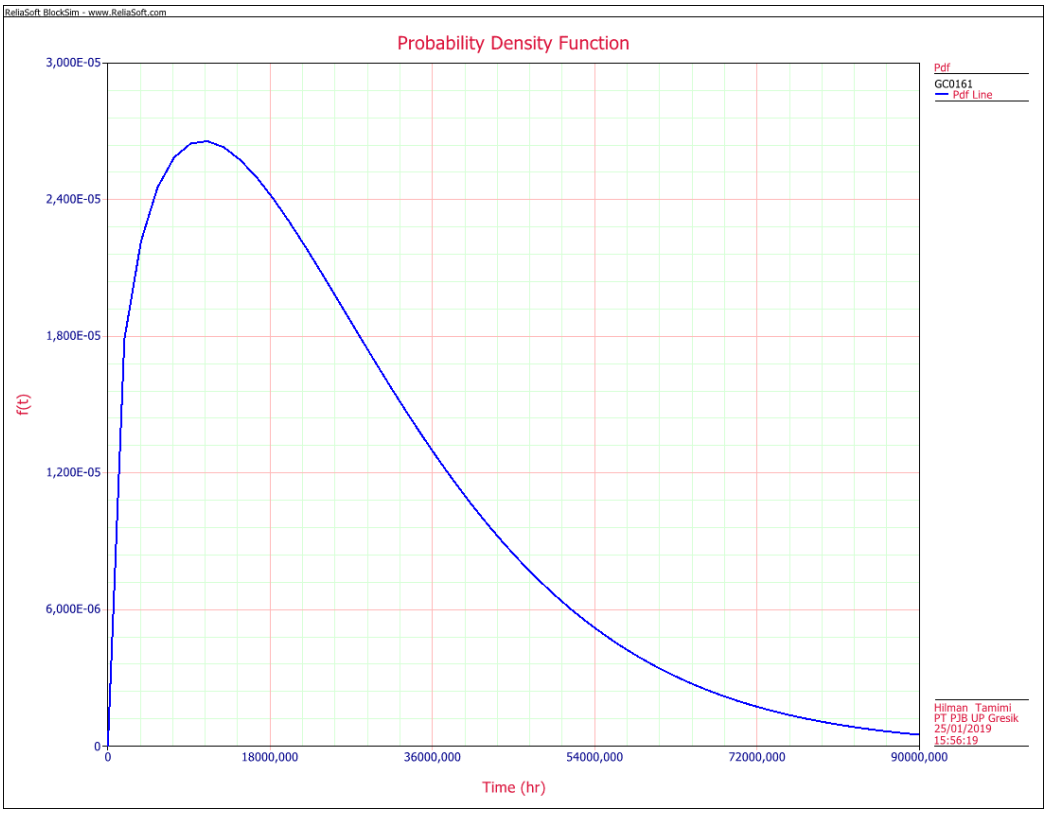
LAMPIRAN 2
KURVA PDF PERALATAN ST 1.0



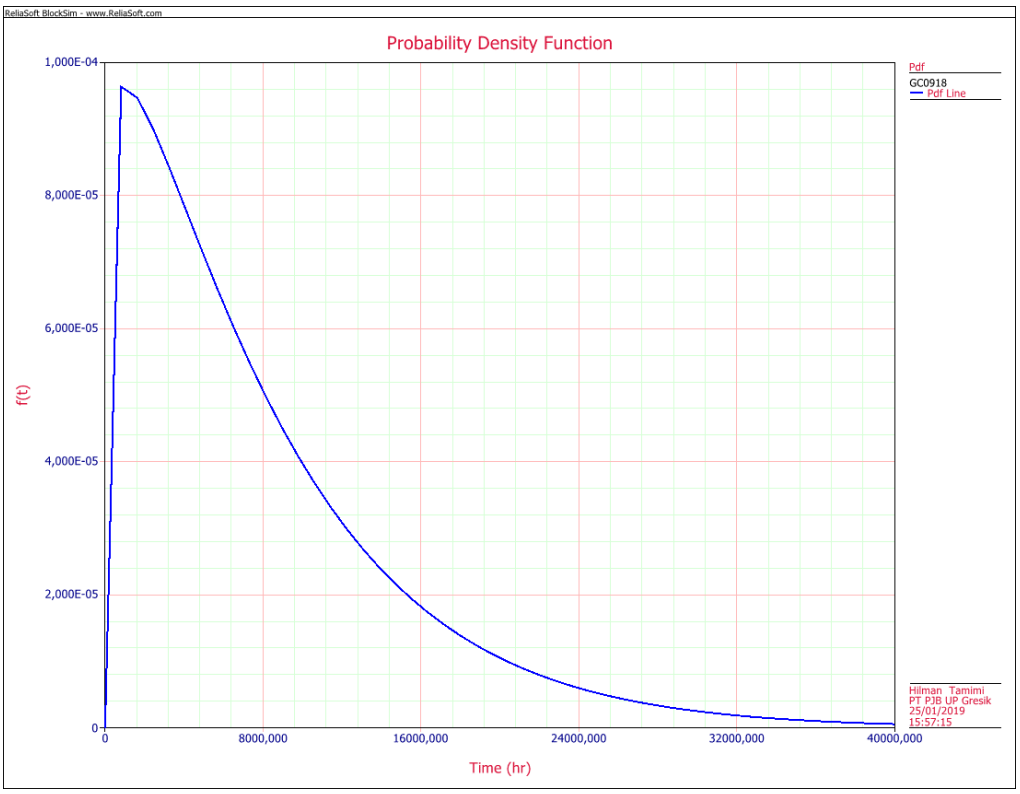


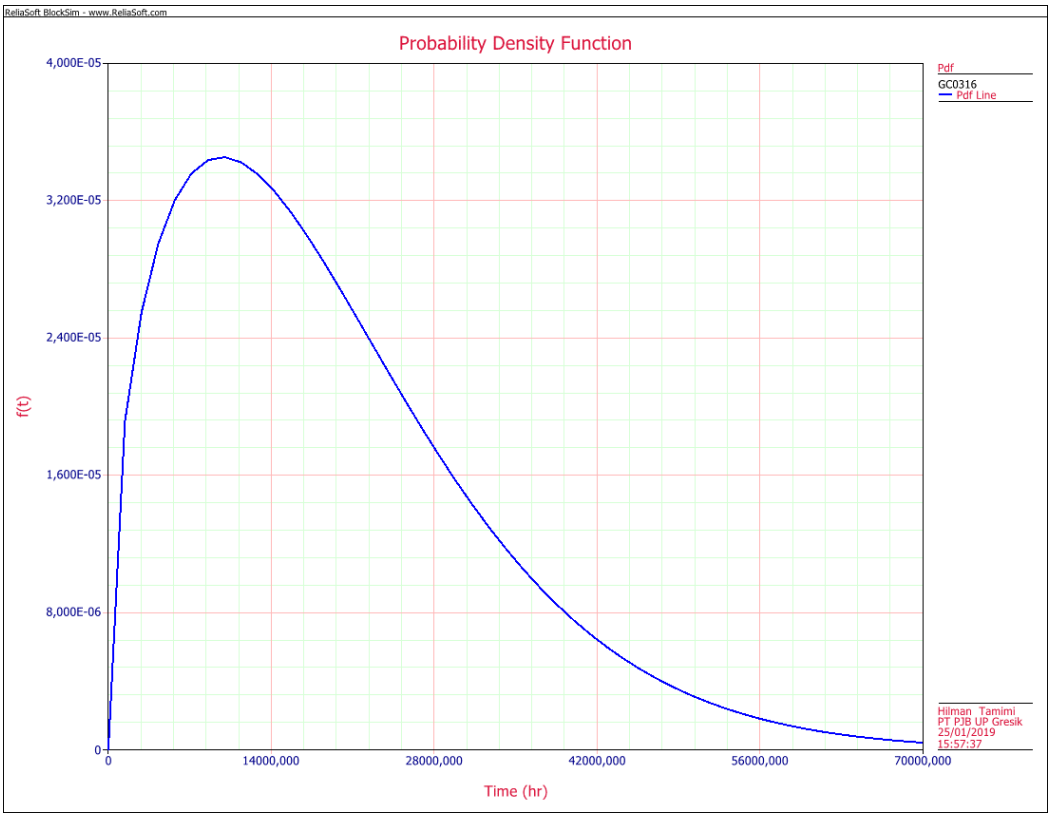
LAMPIRAN 2
KURVA PDF PERALATAN ST 1.0



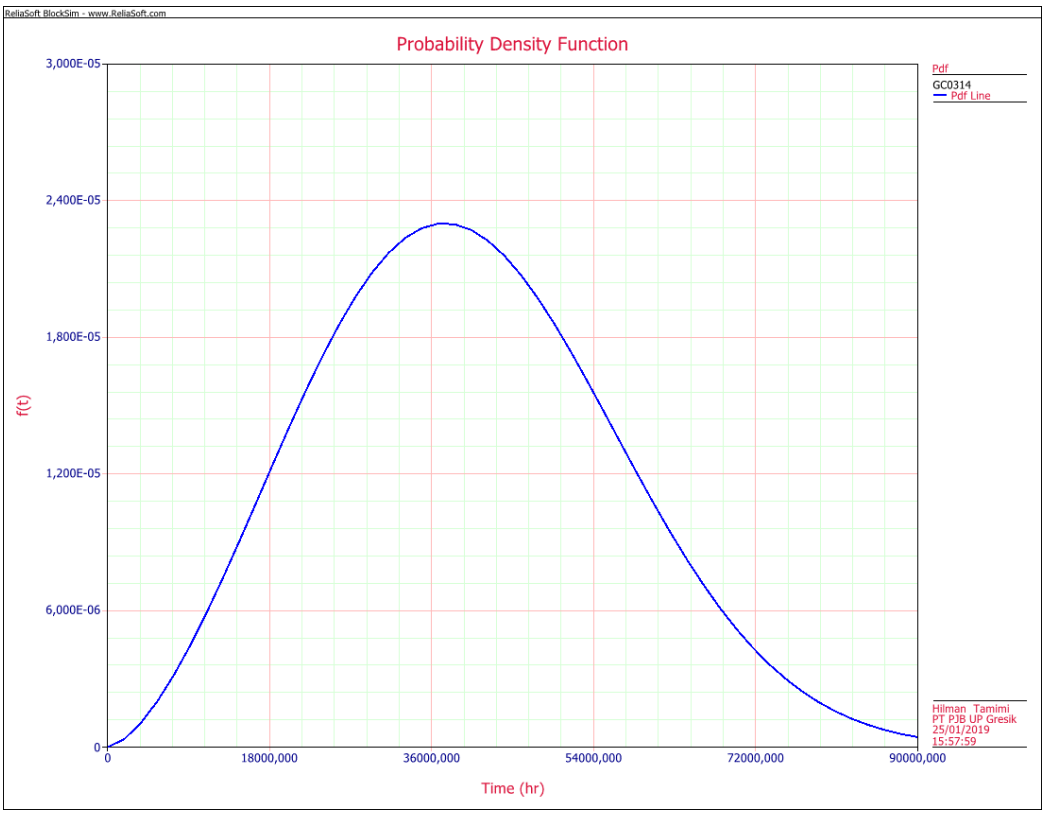


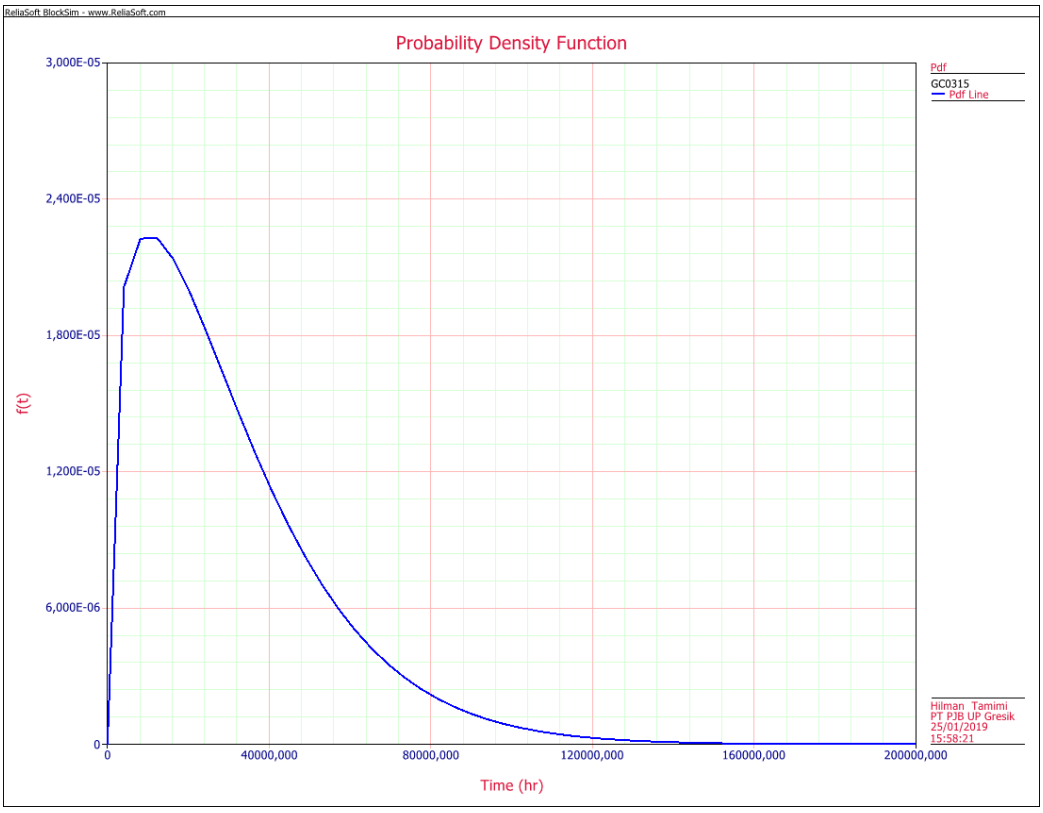
LAMPIRAN 2
KURVA PDF PERALATAN ST 1.0



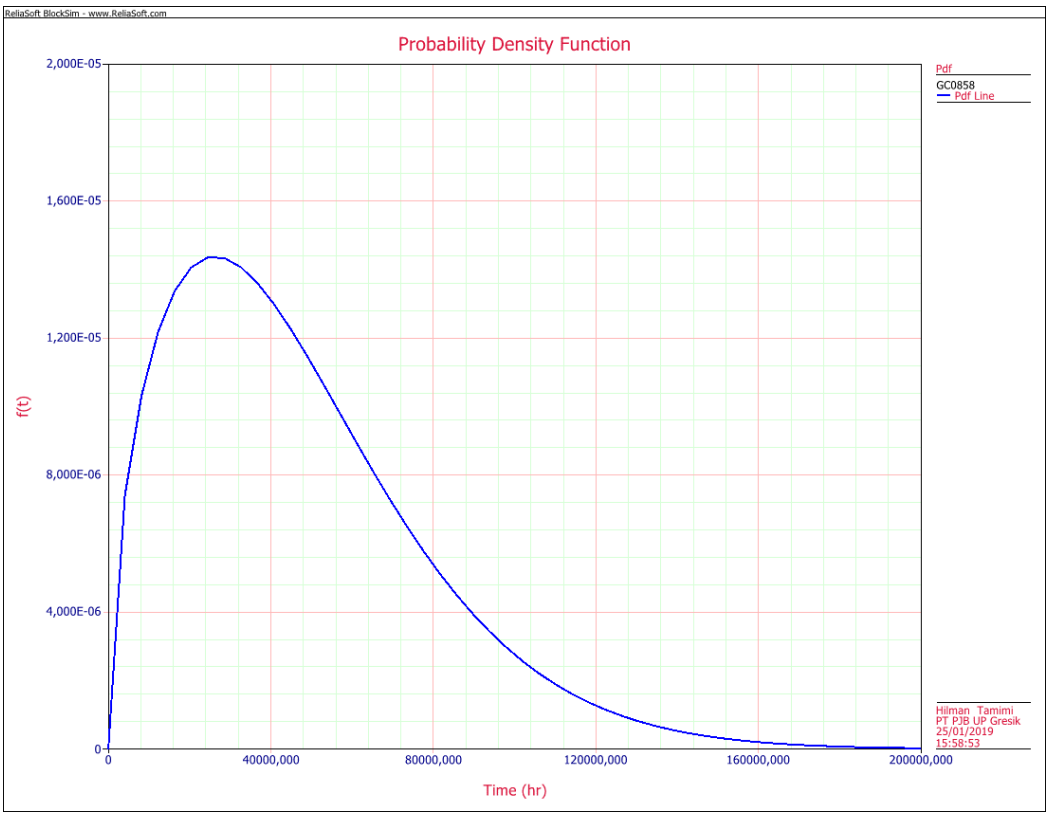


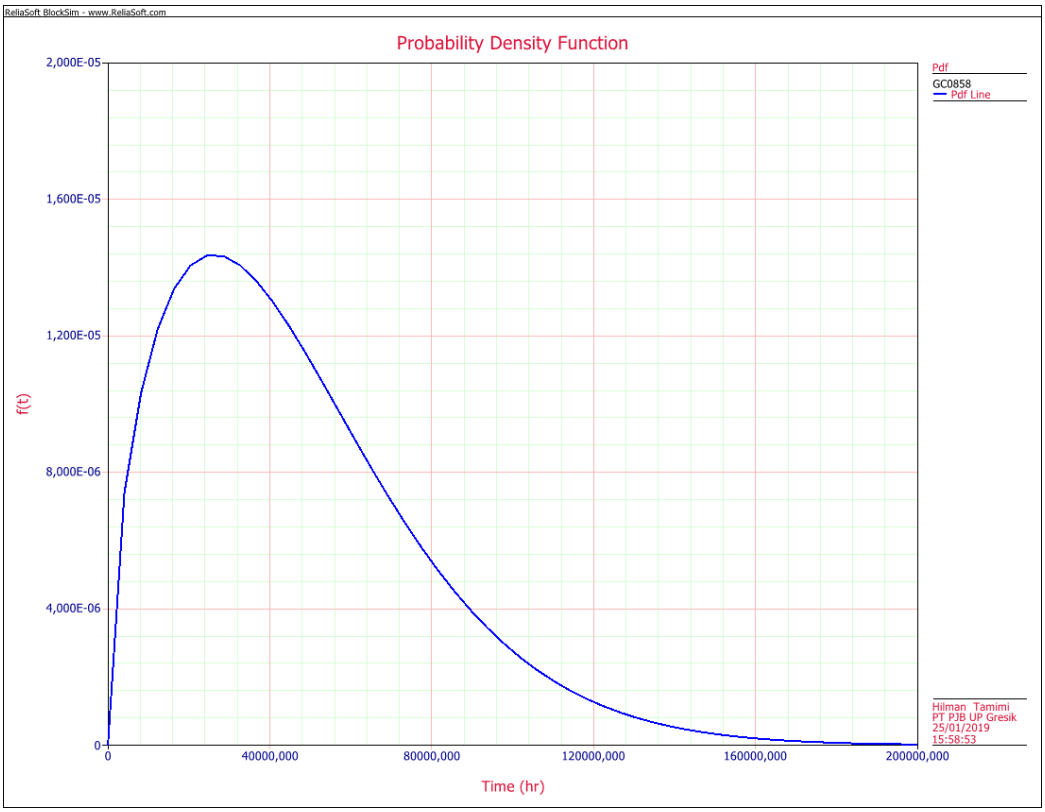
LAMPIRAN 2
KURVA PDF PERALATAN ST 1.0



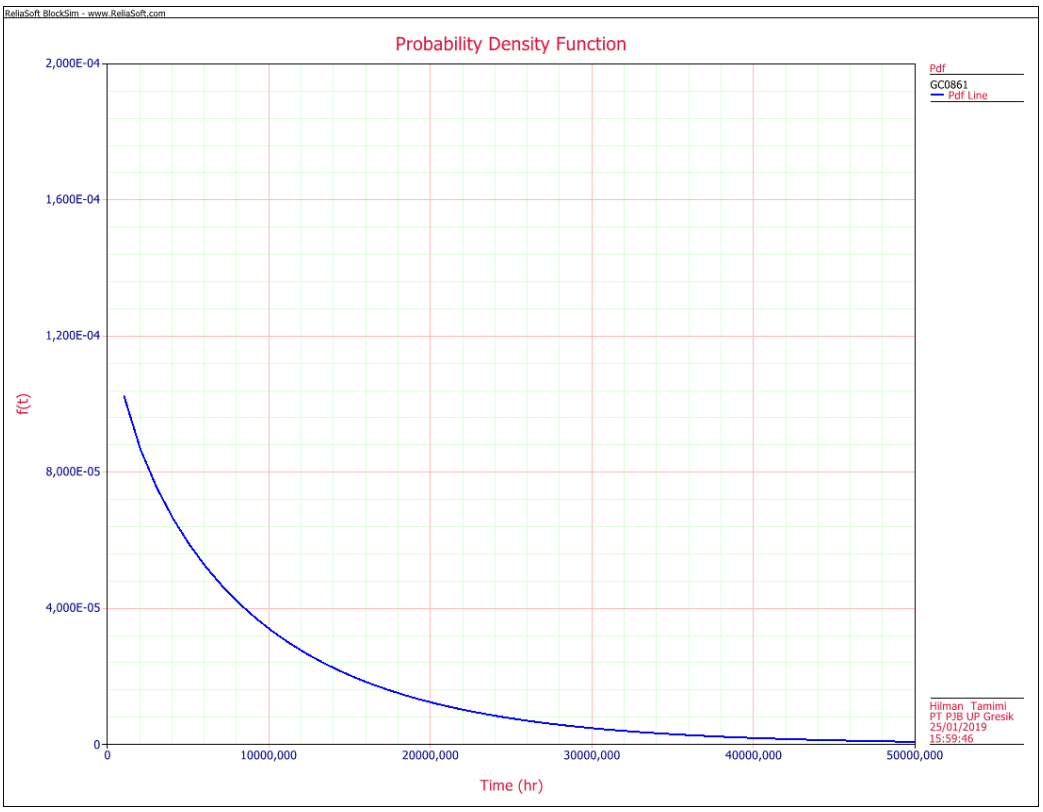


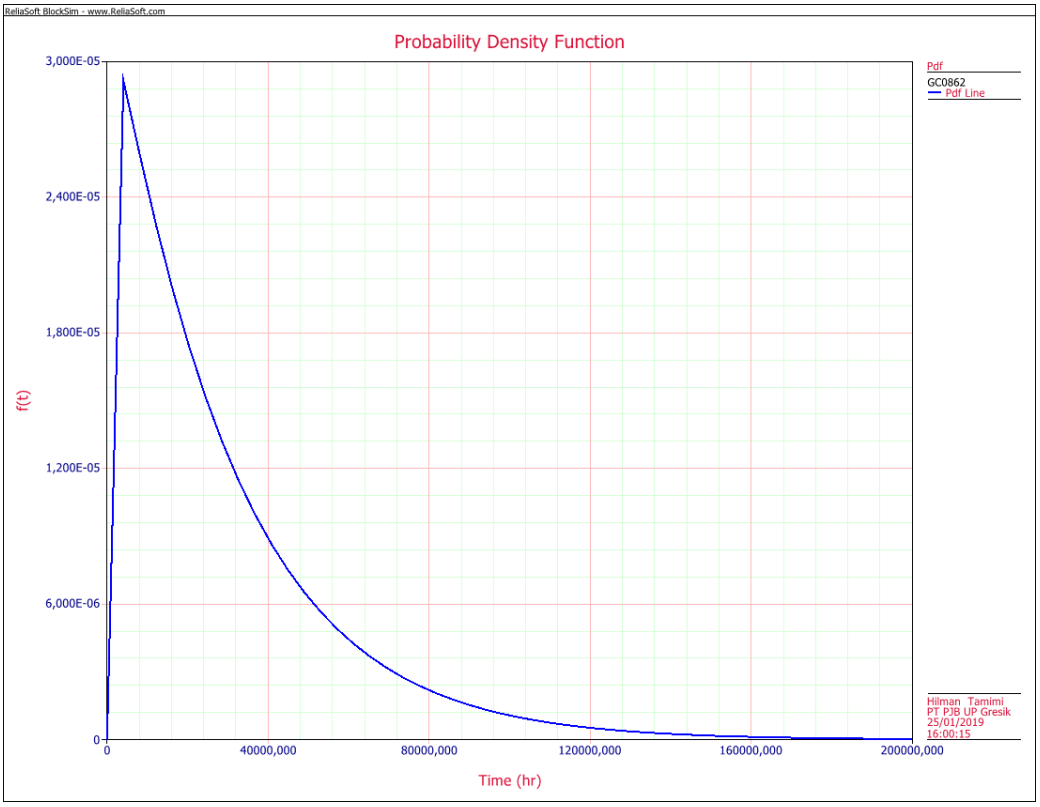
LAMPIRAN 2
KURVA PDF PERALATAN ST 1.0



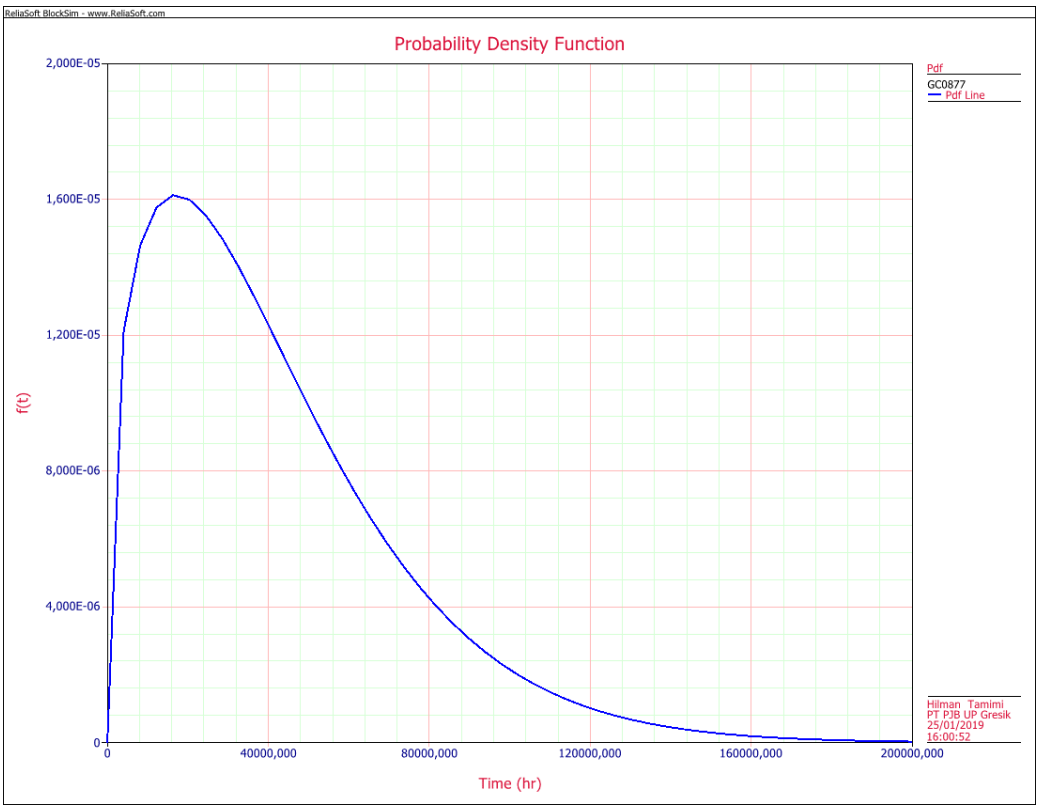


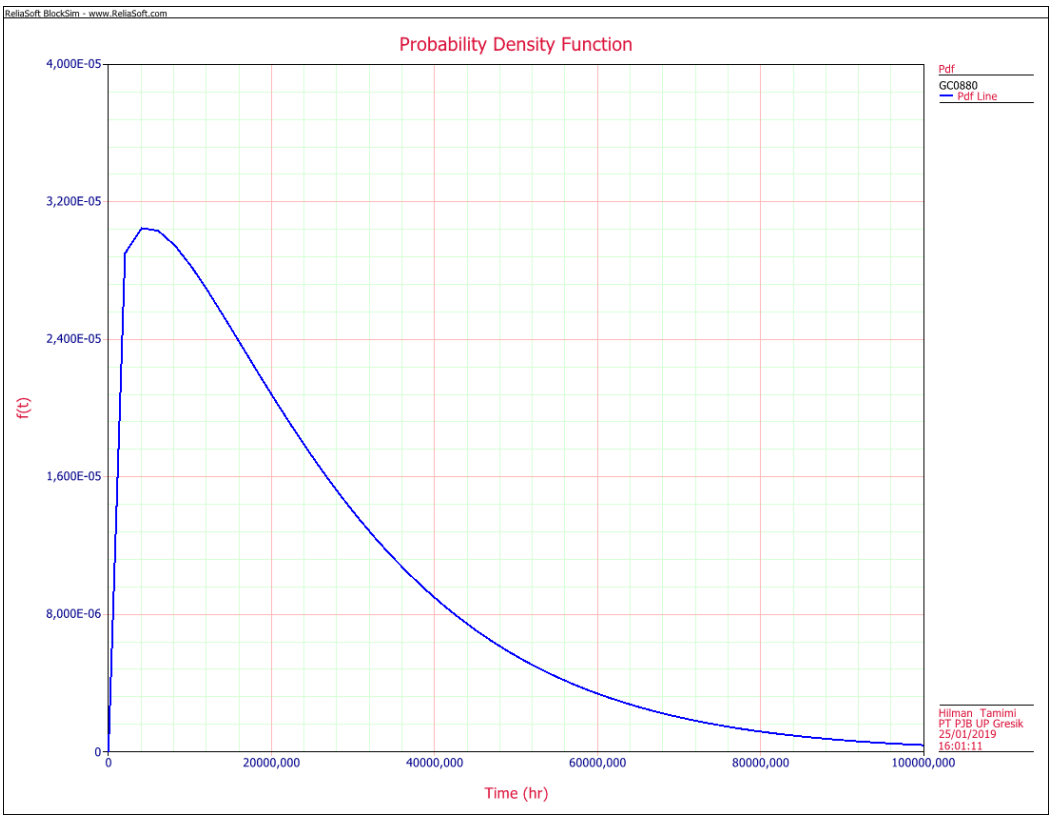
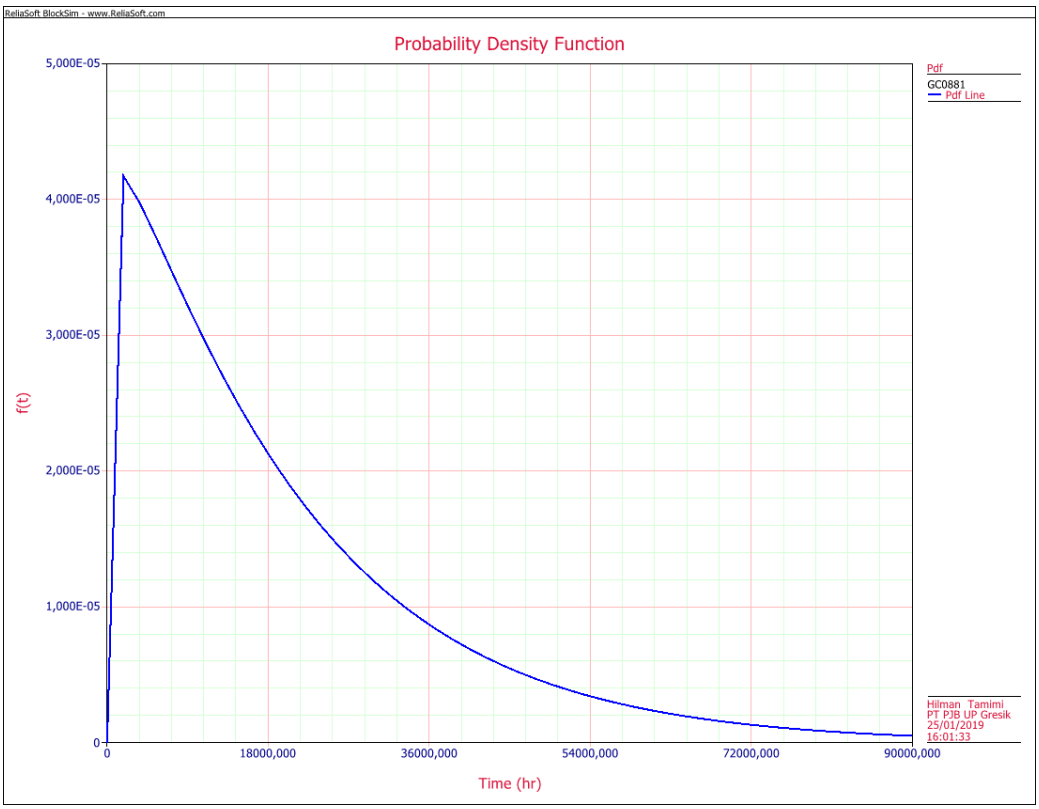
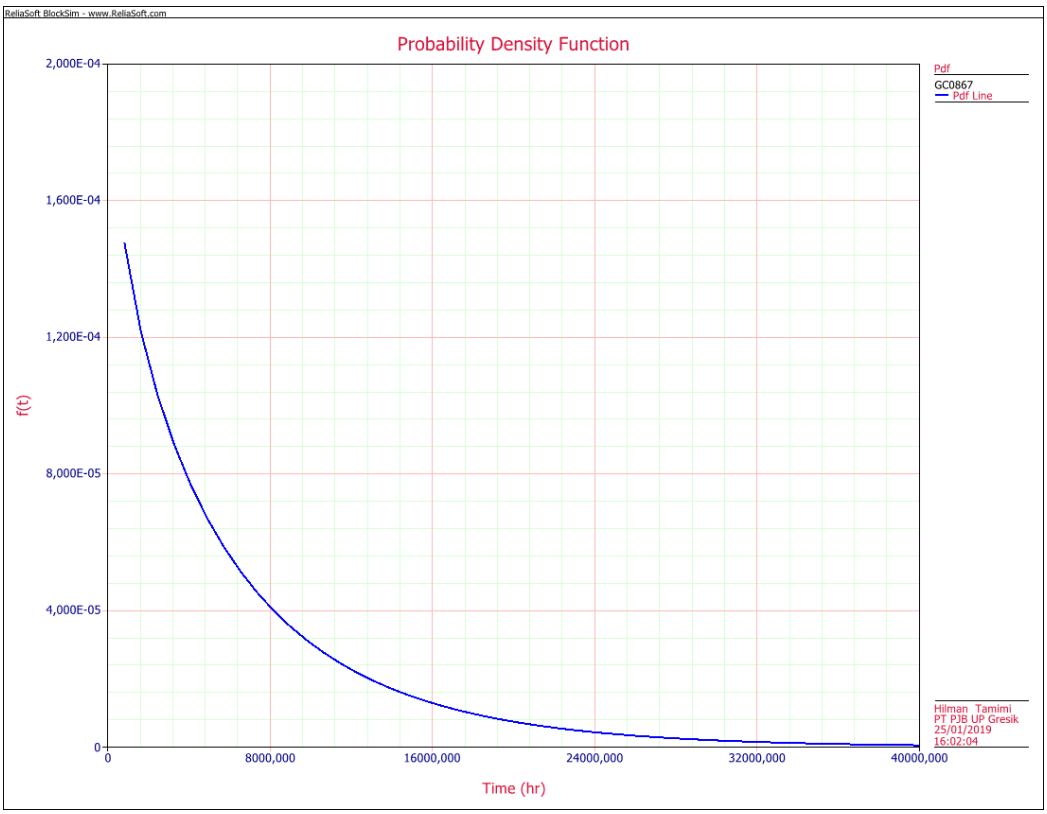
LAMPIRAN 2
KURVA PDF PERALATAN ST 1.0





LAMPIRAN 2
KURVA PDF PERALATAN ST 1.0





LAMPIRAN 2
KURVA PDF PERALATAN ST 1.0