



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR -TE 141599

ANALISIS KEANDALAN PADA *HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR* DI PT. PJB UP GRESIK MENGGUNAKAN *FUZZY FAULT TREE ANALYSIS*

Dian Anteri
NRP 2210100083

Dosen Pembimbing
Ir. Katjuk Astrowulan, MSEE.
Nurlita Gamayanti, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT -TE 141599

***RELIABILITY ANALYSIS ON HEAT RECOVERY STEAM
GENERATOR AT PT. PJB UP GRESIK BY USING FUZZY
FAULT TREE ANALYSIS***

Dian Anteri
NRP 2210100083

Supervisor
Ir. Katjuk Astrowulan, MSEE.
Nurlita Gamayanti, S.T., M.T.

*ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015*

**ANALISIS KEANDALAN PADA *HEAT RECOVERY STEAM*
GENERATOR DI PT. PJB UP GRESIK MENGGUNAKAN
METODE *FUZZY FAULT TREE ANALYSIS***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Ir. Katjuk Astrowulan, MSEE,
NIP. 195104151978031001

Nurlita Gamavanti, ST., MT.
NIP. 197812012002122002



**SURABAYA
JANUARI 2015**

**ANALISIS KEANDALAN PADA *HEAT RECOVERY STEAM*
GENERATOR DI PT.PJB UP GRESIK MENGGUNAKAN *FUZZY*
*FAULT TREE ANALYSIS***

Nama : Dian Anteri
Pembimbing I : Ir. Katjuk Astrowulan, MSEE.
Pembimbing II : Nurlita Gamayanti, S.T., M.T.

ABSTRAK

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) adalah salah satu komponen dari pembangkit listrik dengan prinsip kerja *combined cycle* yang digunakan pada Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU). HRSG menggunakan dua turbin yaitu turbin gas dan turbin uap. Permasalahan yang sering terjadi adalah adanya kegagalan pada tube-tube HRSG. Hal ini dapat menyebabkan pada penurunan efisiensi dari HRSG. Untuk mengetahui kegagalan yang terjadi, maka dilakukan analisis dengan mendeskripsikan model kegagalan pada HRSG menggunakan metode *Fuzzy Fault Tree Analysis* (FFTA). FFTA merupakan salah satu metode analisis keandalan yang digunakan untuk memodelkan kegagalan dari suatu peralatan. Hasil dari analisis FFTA ini berupa nilai keandalan dan interval keandalan dari masing-masing peralatan yang mampu menangani ketidakpastian yang sebelumnya sulit diselesaikan dengan teori probabilitas konvensional. Berdasarkan analisis FFTA yang telah dilakukan terdapat 3 peralatan yang mempunyai nilai keandalan sangat rendah yaitu, LP *Economizer* 1.2 mempunyai nilai keandalan 0,45974 dengan interval keandalan 0,405718 dan 0,51377. HP *Economizer* 1.2 mempunyai nilai keandalan 0,45974 dengan interval keandalan 0,405718 dan 0,51377. Dan LP *Boiler Feed Pump* 3A mempunyai nilai keandalan 0,517013 dengan interval keandalan 0,468714 dan 0,521843.

Kata Kunci : FTA,FFTA, HRSG, Keandalan, Pemrograman PHP dan MySQL

-----Halaman ini sengaja dikosoongkan-----

**RELIABILITY ANALYSIS ON HEAT RECOVERY STEAM
GENERATOR AT PT.PJB UP GRESIK BY USING FUZZY FAULT
TREE ANALYSIS**

Name : Dian Anteri
1st Supervisor : Ir. Katjuk Astrowulan, MSEE.
2nd Supervisor : Nurlita Gamayanti, S.T., M.T.

ABSTRACT

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) is one component of the power plant with the principle on the combined cycle used in steam and gas power plants. HRSG use two turbines they are gas turbines and steam turbine. The problem that often occurs is that there is a failure in the HRSG tubes. This can lead to a decrease in the efficiency of the HRSG. To know that failure occurs, then analyzed the failure of a model describing the HRSG using Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA). FFTA is one of the methods of analysis used to model the reliability of an equipment failure. The results of the analysis is value FFTA interval reliability of each piece of equipment that is capable of dealing with imprecision and uncertainty which is difficult to be characterized by the traditional probabilistic theory. Based on FFTA analysis has been done, there are 3 equipments that has a very low value reliability. The reliability LP economizer 1.2 is 0.45974 it has interval between 0.405718 and 0.51377, The reliability HP economizer 1.2 is 0.45974 it has interval between 0.405718 and 0.51377, And The reliability Boiler Feed Pump 3A LP is of 0.517013 it has interval between 0.468714 and 0.521843.

Keywords : FTA,FFTA, HRSG, PHP Programming and MySQL,
Reliability

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4
BAB 2 DASAR TEORI	5
2.1. Sistem	5
2.2. Teknik Sistem Keandalan	5
2.2.1. Pemodelan Fenomena Kerusakan	5
2.2.2. Fungsi Keandalan	7
2.2.3. <i>Mean Time to Failure (MTTF)</i>	10
2.2.4. Laju Kerusakan	12
2.2.5. Klasifikasi Distribusi Komponen	12
2.2.6. Model Probabilitas Keandalan	15
2.3 Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)	18
2.3.1 Proses Produksi PLTGU pada PT.PJB UP Gresik	18
2.3.2 Komponen Utama pada PLTGU	19
2.4. <i>Heat Recovery Steam Generator (HRSG)</i>	22
2.5. <i>Bagian-Bagian Heat Recovery Steam Generator</i>	24
2.5.1. <i>Bagian HRSG Low Pressure (LP)</i>	24
2.5.2. <i>Bagian HRSG High Pressure (HP)</i>	25
2.5.3. <i>Komponen-Komponen Penujungan HRSG</i>	27
2.6. <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	27

2.6.1. Algoritma untuk Minimal <i>Cut Sets</i>	29
2.7. <i>Fuzzy Fault Tree Analysis</i> (FFTA)	31
2.7.1. <i>Tringular Fuzzy Number</i>	31
2.7.2. Fungsi Struktural	32
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM	35
3.1. Diagram Alir Perancangan Sistem	35
3.2. Identifikasi Sistem HRSG	37
3.2.1. Definisi Sistem	37
3.3. Pembuatan <i>Diagram Fault Tree</i> Sistem HRSG.....	41
3.4. Analisis Keandalan Kuantitatif pada <i>Basic Event</i>	41
3.4.1. Penentuan <i>Time to Failure</i> (TTF)	41
3.4.2. Penentuan Distribusi Waktu Kegagalan	41
3.5. Diagram Alir Analisis Kuantitatif pada <i>Basic Event</i>	45
3.5.1. <i>Time to Failure</i> (TTF)	46
3.5.2. <i>Failure Effect Probability</i> (β)	46
3.5.3. <i>Eta</i> (η)	47
3.5.4. Skala Parameter (λ)	47
3.5.5. MTTF	47
3.5.6. Waktu Operasi (t)	47
3.5.7. Nilai Keandalan R(t)	47
3.5.8. Nilai Ketidakandalan F(t)	47
3.6. Mencari Keandalan Menggunakan FFTA	48
3.7. Perangkat Lunak FFTA	49
3.7.1. Bagian Sistem Informasi Penerapan FFTA	49
3.7.2. Bagian Analisis FFTA	50
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM	53
4.1 Tujuan Pengujian.....	53
4.2 Pengeujian Analisis Kualitatif	53
4.3 Pengujian Analisis Keandalan Secara Kuantitatif	55
4.3.1. Analisis Kuantitatif Komponen pada HRSG 1.1	55
4.3.2. Analisis Kuantitatif Komponen pada HRSG 1.2	58
4.3.3. Analisis Kuantitatif Komponen pada HRSG 1.3	61
4.4 Pengujian Analisis Keandalan Menggunakan FFTA.....	64
4.4.1 <i>Condesate Extraction Pump A</i>	64
4.4.2 <i>Dearator 1.0</i>	65
4.4.3. <i>Exhaust Damper 1.1</i>	65
4.4.4. <i>LP Evaporator 1.2</i>	66
4.4.5. <i>HP Evaporator 1.2</i>	66
4.4.6. <i>Preheater 1.2</i>	66

4.4.7. LP Boiler Feed Pump 3A	67
4.4.8. LP Boiler Feed Pump 3B	67
4.4.9. HP Boiler Circulating Pump 1.3 A	68
4.5 Pengujian Keluaran Perangkat Lunak	72
BAB 5 PENUTUP.....	77
5.1. Kesimpulan	77
5.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN A	81
LAMPIRAN B	87
RIWAYAT HIDUP.....	113

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 2.1	Istilah dalam Metode FFTA	28
Tabel 2.2	Simbol dalam Metode FTA	29
Tabel 2.3	Hukum-Hukum Aljabar Boolean.....	30
Tabel 3.1	Peralatan pada Sistem HRSG 1.1	38
Tabel 3.2	Peralatan pada Sistem HRSG 1.2	39
Tabel 3.3	Peralatan pada Sistem HRSG 1.3	40
Tabel 3.4	<i>Fuzzy Failure Probability</i>	48
Tabel 4.1	Waktu Kegagalan CEP A	55
Tabel 4.2	Nilai Keandalan CEP A.....	55
Tabel 4.3	Waktu Kegagalan <i>Dearator</i> 1.0.....	56
Tabel 4.4	Nilai Keandalan <i>Dearator</i> 1.0	56
Tabel 4.5	Waktu Kegagalan <i>Exhaust Damper</i> 1.1.....	57
Tabel 4.6	Nilai Keandalan <i>Exhaust Damper</i> 1.1	57
Tabel 4.7	Waktu Kegagalan LP <i>Evaporator</i> 1.2	58
Tabel 4.8	Nilai Keandalan LP <i>Evaporator</i> 1.2	58
Tabel 4.9	Waktu Kegagalan HP <i>Evaporator</i> 1.2	59
Tabel 4.10	Nilai Keandalan HP <i>Evaporator</i> 1.2.....	59
Tabel 4.11	Waktu Kegagalan <i>Preheater</i> 1.2.....	60
Tabel 4.12	Nilai Keandalan <i>Preheater</i> 1.2	60
Tabel 4.13	Waktu Kegagalan LP BFP 3A.....	61
Tabel 4.14	Nilai Keandalan LP BFP 3A	61
Tabel 4.15	Waktu Kegagalan LP BFP 3B	62
Tabel 4.16	Nilai Keandalan LP BFP 3B.....	62
Tabel 4.17	Waktu Kegagalan HP BCP 3B	63
Tabel 4.18	Nilai Keandalan HP BCP 3B.....	63
Tabel 4.19	Nilai Deviasi <i>Lower</i> dan <i>Upper Bonds</i> pada HRSG 1.1...	64
Tabel 4.20	Nilai Deviasi <i>Lower</i> dan <i>Upper Bonds</i> pada HRSG 1.2....	65
Tabel 4.21	Nilai Deviasi <i>Lower</i> dan <i>Upper Bonds</i> pada HRSG 1.3...	67
Tabel 4.22	Nilai Keandalan dan Interval HRS.	72

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

Gambar 2.1	Masa Pakai Sebuah Komponen	6
Gambar 2.2	Kurva Keandalan Suatu Komponen	9
Gambar 2.3	Fungsi Distribusi dan Keandalan.....	11
Gambar 2.4	Banyaknya Komponen yang Beroperasi	12
Gambar 2.5	<i>Bathub curve</i>	13
Gambar 2.6	Laju Kerusakan Komponen Mekanik	14
Gambar 2.7	Laju Kerusakan Komponen Elektris	15
Gambar 2.8	Skema Pusat Listrik Tenaga Gas Uap UP Gresik	21
Gambar 2.9	<i>Flow HRSG</i>	22
Gambar 2.10	<i>Vertical Gas Flow Up Word Circulation Dual Pressure</i>	24
Gambar 2.11	Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy Number</i>	31
Gambar 3.1	Diagram Alir Perancangan Sistem	36
Gambar 3.2	Diagram Blok PLTGU PJB UP Gresik.....	37
Gambar 3.3	Diagram <i>Fault Tree</i> Sistem HRSG 1.1	42
Gambar 3.4	Diagram <i>Fault Tree</i> Sistem HRSG 1.2.....	43
Gambar 3.5	Diagram <i>Fault Tree</i> Sistem HRSG 1.3	44
Gambar 3.6	Diagram Alir Analisis Kuantitatif pada <i>Basic Event</i>	45
Gambar 3.7	Data <i>Time to Failure CEP A</i>	46
Gambar 3.8	Model Distribusi dengan <i>Reliasoft Weibull++8</i>	46
Gambar 3.9	Tampilan <i>Home</i>	49
Gambar 3.10	Tampilan Sub Menu pada Profil.....	50
Gambar 3.11	Tampilan Sub Menu pada HRSG	50
Gambar 3.12	Tampilan Diagram <i>Fault Tree</i>	51
Gambar 3.13	Tampilan Laporan Per Komponen	51
Gambar 3.14	Tampilan Laporan Komponen Keseluruhan.....	52
Gambar 4.1	Penentuan HRSG.....	73
Gambar 4.2	Menentukan Peralatan HRSG.....	73
Gambar 4.3	Analisis Perangkat Lunak FFTA Per Komponen	74
Gambar 4.4	Analisis Perangkat Lunak FFTA Semua Peralatan	75

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam sebuah pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU), kinerja *steam turbine* sangat bergantung pada keandalan *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). Hal ini disebabkan uap *steam turbine* yang berasal dari HRSG. Oleh karena itu, di dalam menyediakan pasokan *steam* untuk *steam turbin*, sistem PLTGU dituntut untuk memiliki nilai keandalan yang tinggi.

Keandalan sistem bertujuan untuk menganalisis kemampuan suatu peralatan atau sistem selama menjalankan misinya dalam kurun waktu tertentu. Penerapan teori analisis keandalan dapat digunakan sebagai acuan pada sebuah sistem atau peralatan produksi apakah dapat bekerja dengan baik atau tidak. Dengan kata lain, hal ini dapat diartikan probabilitas suatu sistem untuk menjalankan fungsinya pada interval waktu tertentu selama kondisi yang ideal. Sementara itu, pada PT Pembangkit Jawa Bali Unit Pembangkit Gresik, HRSG merupakan salah satu perangkat utama dalam pembangkitan listrik pada PLTGU. Keandalan pada sistem ini perlu untuk dianalisis, karena sering terjadi kebocoran pada *tube-tube* HRSG. Peristiwa ini pernah terjadi di seluruh bagian, baik pada *tube* bagian utama maupun bagian-bagian penunjang HRSG.

Oleh karena itu, sangat diperlukan suatu analisis keandalan sistem pada HRSG. Tujuannya untuk menentukan kelayakan pembangkit tersebut dapat beroperasi atau tidak. Peralatan HRSG yang dipakai secara terus-menerus pasti akan mengalami penurunan nilai keandalan. Hal ini dikarenakan waktu pemakaian dan berbagai faktor kegagalan pada peralatan. Sedangkan, untuk dapat menghasilkan daya listrik yang baik peralatan HRSG harus memiliki nilai keandalan yang baik.

1.2 Permasalahan

Pada penelitian sebelumnya [1] telah dilakukan analisis keandalan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Metode FTA tersebut murni didasarkan pada teori probabilitas yang memerlukan banyak waktu dan kadang-kadang sangat sulit untuk mendapatkan informasi *time to failure* suatu produk yang tepat. Karena kurangnya data yang memadai, tidak mungkin mengevaluasi ketepatan dari keandalan suatu

sistem. Untuk mengetahui kegagalan yang terjadi akan dianalisis dengan cara melakukan identifikasi hubungan antara permasalahan utama dan faktor penyebab kegagalan pada sistem HRSG menggunakan metode *Fuzzy Fault Tree Analysis* (FFTA). Hasil dari analisis FFTA ini berupa nilai kenadalan dan interval keandalan dari masing-masing peralatan yang mampu menangani ketidaktepatan dan ketidakpastian yang disebabkan oleh kurangnya data yang dimiliki.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah peralatan turbin gas pada blok I yaitu HRSG 1.1, HRSG 1.2, HRSG 1.3 dan bagian - bagian pendukungnya. Dari sistem yang ada, Interval data waktu kegagalan komponen yang diambil mulai dari tahun 2004 sampai tahun 2014. Asumsi batas toleransi (deviasi) pada penelitian ini adalah 10% dari nilai ketidakandalan. Serta sistem perangkat lunak yang digunakan sebagai masukan data kerusakan dan kegagalan adalah bahasa pemrograman PHP dan MySQL yang telah dihasilkan menggunakan analisis metode FFTA.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini bertujuan untuk menganalisis keandalan sistem HRSG dengan menggunakan metode FFTA. Hasil dari analisis FFTA ini akan memperoleh keandalan dan interval keandalan dari masing-masing peralatan yang mampu menangani ketidaktepatan dan ketidakpastian keandalan sistem yang disebabkan oleh terbatasnya data kegagalan yang dimiliki. Selain itu, analisis FFTA ini juga dapat menentukan peralatan-peralatan kritis yang akan menjadi prioritas utama dalam perawatan. serta memberikan informasi kepada pengguna tentang adanya kegagalan sehingga dapat mencegah kegagalan berikutnya.

1.5 Metodologi Penelitian

Pada Tugas Akhir ini dilakukan beberapa proses secara bertahap. Sehingga studi literatur, pengumpulan data, pengolahan dan simulasi data, analisis data, pembuatan perangkat lunak yang mempunyai tujuan dari peralatan itu dapat tercapai. Dan yang terakhir adalah penyusunan laporan berupa buku Tugas Akhir.

Tahap pertama, literatur yang dipelajari adalah literatur yang mengandung pembahasan yang menyangkut topik Tugas Akhir. Materi-

materi yang diperlukan meliputi konsep dasar teknik keandalan sistem, *plant* HRSG dan bagian-bagiannya, metode FFTA, serta bahasa pemrograman PHP dan MySQL. Literatur tersebut dapat diperoleh dari *textbook*, *e-book* dan *paper* yang diambil dari berbagai jurnal konferensi internasional.

Langkah selanjutnya adalah mempelajari sistem pembangkitan PLTGU pada PT PJB UP Gresik, lalu menentukan *plant* HRSG yang dijadikan sebagai objek penelitian ini. Pada tahap identifikasi dilakukan deskripsi sistem pada bagian-bagian peralatan HRSG, sistem kerja HRSG, dan permasalahan utama yang sering terjadi pada HRSG.

Selanjutnya dilakukan analisis keandalan pada tiap-tiap peralatan pada HRSG dengan cara mencari *minimum cut sets* dari sebuah sistem dan analisis kuantitatif menggunakan Teori *Aljabar Boolean* yang akan di gabungkan ke dalam bentuk *Fuzzy Set Theory*.

Tahap selanjutnya adalah pembuatan perangkat lunak. Pada Tugas Akhir ini akan digunakan bahasa pemrograman PHP dan MySQL yang berfungsi sebagai media informasi atau laporan analisis yang telah dilakukan.

Tahap terakhir dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah penulisan buku. Penulisan buku ini berupa laporan yang mencakup semua proses pengerjaan Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Laporan

Laporan pembahasan penelitian pada tugas akhir ini akan dibagi lima Bab dengan sistematika sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Di dalam bab ini membahas tentang penyusunan Laporan Tugas akhir yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika penyusunan laporan tugas akhir, dan relevansi.

Bab II Teori Dasar

Bab ini berisi teori - teori yang berkaitan dengan topik penelitian yang dilakukan. Dasar teori pada bab ini meliputi penjelasan sistem, deskripsi peralatan, dasar teori teknik keandalan sistem, fungsi keandalan dan kegagalan sistem, model probabilitas untuk keandalan, metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Fuzzy Set Theory*

Bab III Perancangan Sistem

Bab ini membahas tentang plant HRSG, memaparkan masing - masing bagian dari sistem, pembuatan diagram *Fault Tree* dan diagram alir penelitian serta konsep metode *Fuzzy Fault Tree Analysis* (FFTA)

Bab IV Pengujian dan Analisis Sistem

Dalam bab ini dijelaskan mengenai hasil pengujian dari sistem. Dari pengujian ini dapat ditunjukkan tentang kemampuan, relevansi, kelebihan serta kelemahan dari analisis keandalan menggunakan FFTA.

Bab V Penutup

Dalam bab ini dijelaskan mengenai kesimpulan hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

1.7 Relevansi

Hasil dari Penelitian Tugas Akhir ini diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan penelitian tentang Teknik Keandalan Sistem serta diharapkan dapat meningkatkan teknologi *maintenance* dalam negeri.

BAB 2

TEORI DASAR

Dalam sebuah penelitian diperlukan suatu teori yang mampu menunjang kelancaran pelaksanaan dari penelitian tersebut. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori dan konsep penunjang yang mendasari dilakukannya penelitian Tugas Akhir ini.

2.1 Sistem

Sistem didefinisikan sebagai kumpulan dari beberapa elemen, misalnya operator dan peralatan yang bekerja serta saling mempengaruhi dalam tujuan menyelesaikan beberapa logika. Keadaan sistem adalah kumpulan dari beberapa variabel yang diperlukan untuk menggambarkan sistem pada suatu waktu tertentu dan berhubungan dengan sasaran dari studi. Dalam kenyataannya arti dari sistem tergantung pada sasaran atau tujuan dari suatu studi kasus. Kumpulan dari elemen yang membentuk sistem untuk suatu studi bisa jadi hanya merupakan suatu bagian dari keseluruhan sistem yang lain. [2]

Sistem dapat juga didefinisikan sebagai kumpulan dari elemen-elemen yang berfungsi secara bersama untuk mencapai suatu tujuan tertentu. Sistem dapat diklasifikasikan menurut dasar perilakunya, yaitu statis dan dinamis, deterministik dan stokastik, waktu yang bervariasi dan yang tidak bervariasi. Sistem dapat juga diklasifikasikan menurut fungsi yang dilakukan, yaitu antara lain *circulatory*, *structural*, dan *transformational*.

Sistem dikategorikan dalam dua tipe, yaitu diskrit dan kontinyu. Sistem diskret adalah sistem dengan variabel keadaan berubah langsung pada titik yang terpisah dalam waktu. Sistem kontinyu adalah sistem dimana variabel keadaan berubah terus menerus seiring dengan perubahan waktu.[3]

2.2 Teknik Keandalan Sistem[4]

2.2.1 Pemodelan Fenomena Kerusakan

Sebuah peralatan dioperasikan untuk jangka waktu tertentu. Kondisi peralatan tersebut diamati secara terus-menerus. Pada suatu saat kondisi peralatan tersebut memiliki 2 kemungkinan, yaitu baik atau rusak.

Baik → dapat beroperasi seperti yang diinginkan.

Rusak → tidak dapat beroperasi seperti yang diinginkan.

Dalam analisis keandalan, kondisi sistem/peralatan yang beroperasi dalam melaksanakan misinya, dibedakan menjadi 2 yaitu, baik atau rusak.

Notasikan kondisi peralatan pada saat t dengan $x(t)$. X adalah variabel acak yang menyatakan kondisi peralatan tersebut.

$X = 1$: jika peralatan tersebut dalam kondisi baik

$X = 0$: jika peralatan tersebut dalam kondisi rusak

X : merupakan fungsi dari waktu

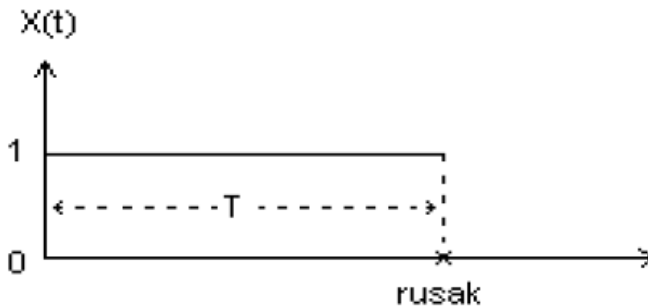
: $x(t)$

: merupakan proses stokastik.

$x(t) = 1$: bila pada saat t peralatan dalam kondisi baik.

$x(t) = 0$: bila pada saat t peralatan dalam kondisi rusak.

Pada mulanya ($t = 0$) diasumsikan peralatan dalam kondisi baik ($x(0) = 1$), keadaan iniberlangsung terus sampai peralatan tersebut rusak.



Gambar 2.1. Masa Pakai Sebuah Komponen

T : lamanya peralatan beroperasi sampai mengalami kerusakan.

: masa pakai (*life time*)

: variabel acak

Kondisi dari sistem sebagai proses stokastik yang merupakan fungsi dari waktu yang kontinu dan memiliki state diskrit disebut sebagai *Discrete State Continuous Parameter Stochastic Processes*. Kerusakan dapat dinyatakan dengan variabel acak T atau dapat juga

dinyatakan dengan proses stokastik $x(t)$. Hubungan antara keduanya adalah:

$$T > t \leftrightarrow x(t) = 1$$

$$T \leq t \leftrightarrow x(t) = 0$$

sehingga diperoleh :

$$P(x(t) = 1) = P(T > t)$$

$$P(x(t) = 0) = P(T \leq t)$$

$P(x(t) = 1)$: probabilitas bahwa peralatan tersebut masih beroperasi pada saat t .

: merupakan fungsi waktu.

2.2.2 Fungsi Keandalan

Keandalan dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu komponen atau sistem untuk melakukan fungsi kerja yang diperlukan pada kondisi operasioanal tertentu dan di dalam lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan. Keandalan menjadi suatu suatu yang penting karena akan mempengaruhi biaya pemeliharaan komponen atau sistem yang pada akhirnya akan mempengaruhi profitabilitas perusahaan tersebut.

Keandalan dari suatu sistem atau peralatan didefinisikan sebagai berikut ini :

$$R = P(x = 1)$$

di mana : R = Keandalan (Reability)

P = Probabilitas

karena x adalah fungsi waktu, maka R juga fungsi waktu, sehingga didapatkan :

$$R(t) = P(x(t) = 1)$$

di mana $R(t)$ adalah keandalan peralatan pada saat t yang seringkali disebut dengan fungsi keandalan. Pada **Gambar 2.1**, di mana $x(t)$ di atas T adalah lama pemakaian sampai peralatan tersebut rusak atau sering kali disebut masa pakai.

T = Lama pemakaian sampai rusak atau *Time to failure* (TTF)

= Masa Pakai atau *Life Time*

range nilai : $0 \leq R \leq 1$

$R = 1$: sistem pasti dapat melaksanakan tugas dengan baik.

$R = 0$: sistem tidak dapat melaksanakan tugas dengan baik.

$R = 0.8$: probabilitas sistem dapat berfungsi dengan baik = 0.8 (*reliability*)

: probabilitas sistem tidak dapat berfungsi dengan baik
= 0.2 (*unreliability*/ ketidakandalan)

Keandalan suatu sistem merupakan ukuran probabilitas yang merupakan fungsi dari waktu, sehingga untuk mengetahui keandalan sistem tersebut diperlukan suatu fungsi yang disebut fungsi keandalan. Fungsi ini menyatakan hubungan antara keandalan dengan waktu (yaitu, lamanya sistem melaksanakan tugas).

Pada umumnya, dan selalu diasumsikan seperti ini, T adalah variabel acak.

Kejadian : $x(t) = 1$ maka $T > t$
 $x(t) = 0$ maka $T \leq t$

Secara umum dapat di tulis sebagai berikut:

$x(t) = 1$ maka $T > t$
 $x(t) = 0$ maka $T \leq t$

yang artinya :

$P(x(t) = 1) = P(T > t)$ atau $R(t) = P(T > t)$

dengan demikian keandalan suatu peralatan tidak dapat ditentukan nilainya apabila lama pengoperasiannya tidak diketahui atau ditentukan.

Dinotasikan :

$R(t)$ = berupa keandalan sistem jika dipakai selama t satuan waktu.

$R(t)$ = probabilitas sistem dapat berfungsi dengan baik (tanpa mengalami kerusakan) selama pemakaian $[0, t]$.

Sehingga :

$$\begin{aligned} R(t) &= P(\text{peralatan beroperasi}) \\ &= P(x(t) = 1) \\ &= P(T > t) \\ &= 1 - P[T \leq t] \\ &= 1 - F_T(t) \end{aligned} \tag{2.1}$$

$F_T(t)$ merupakan fungsi distribusi kumulatif *life time* (umur) sistem atau fungsi distribusi kerusakan. Jadi fungsi keandalan merupakan komplemen dari fungsi distribusi kumulatif *life time* sistem tersebut.

F_T memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

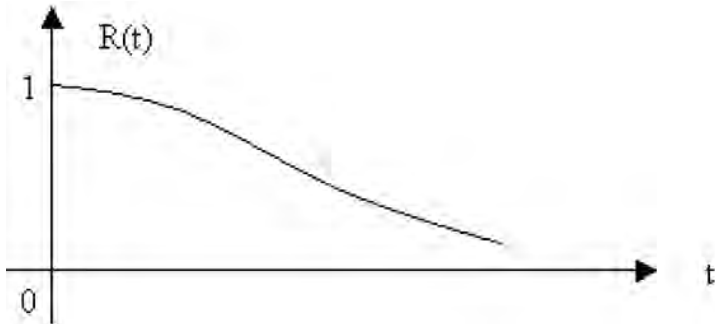
1. $0 \leq F_T \leq 1$

2. monoton tidak turun

3. $F_T(\infty) = 1$, $F_T(-\infty) = 0$, tapi karena t tidak pernah negatif maka $F_T(0) = 0$

$R(t)$ memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

1. $0 \leq R(t) \leq 1$
2. monoton tidak naik
3. $R(\infty) = 0$; $R(0) = 1$



Gambar 2.2. Kurva Keandalan Suatu Komponen

T sebagai variabel acak adalah termasuk variabel acak kontinyu karena menyatakan masa pakai yang bernilai kontinyu. Karena itu keacakan dari T seringkali dinyatakan dengan fungsi densitas Probabilitas:

$f_T(t)$ = fungsi densitas probabilitas dari T
dengan sifat – sifat sebagai berikut :

1. $f_t(t) \geq 0$
2. $\int_{-\infty}^{\infty} f_t(t) = 1 \rightarrow \int_{\infty}^{-\infty} f_t(t) = 1$ (karena $t > 0$)
3. $P(a < T < b) = \int_a^b f_t(t) dt$

Dengan diketahuinya $f_t(t)$, maka fungsi keandalan $R(t)$ dapat dicari sebagai berikut :

$$R(t) = P(T > t) = P(t < T \leq \infty)$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} f_t(u) du$$

$$R(t) = \int_0^{\infty} f_T(u) du - \int_0^t f_T(u) du$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f_T(u) du \quad (2.2)$$

Sebaliknya fungsi densitas probabilitas akan dapat diturunkan dari fungsi keandalan berikut ini :

$$\frac{dR(t)}{dt} = -f_T(t) \quad (2.3)$$

2.2.3 Mean Time To Failure (MTTF)

Keandalan dari suatu sistem seringkali diberikan dalam bentuk angka yang menyatakan ekspektasi masa pakai sistem tersebut, yang dinotasikan E [T] dan sering disebut dengan rata-rata waktu kerusakan atau *Mean Time To Failure* (MTTF). MTTF hanya dipergunakan pada komponen/ peralatan yang sekali mengalami kerusakan harus diganti dengan komponen/ peralatan yang masih baru dan baik.

Sejenis komponen sebanyak n dicata lama pemakaiannya sampai rusak didapat data sebagai berikut :

T1 = Lama pemakaian sampai rusak untuk komponen ke – 1 (Time To Failure)

T2 = Lama pemakaian sampai rusak untuk komponen ke – 2 (Time To Failure)

Dan seterusnya.....

Rata – rata lama pemakaian sampai rusak (*Avarage Time To Failure* (ATTF)), dari komponen tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$T = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_N}{N}$$

$$T = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \quad (2.4)$$

Untuk N yang mencakup besar, nilai rata – rata sampel diatas akan mendekati nilai rata – rata hitung (*mean*) dari populasi komponen tersebut. Dengan demikian *mean time to failure* (MTTF) untuk komponen tersebut adalah :

$$MTTF = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \quad (2.5)$$

Secara matematis, MTTF adalah sama dengan nilai ekspektasi besar acak T :

MTTF = E [T] → informasi yang diberikan pada orang awam.

MTTF dapat dicari fungsi keandalanya dengan menggunakan rumus Ekspektasi sebagai berikut :

Rata-rata waktu kerusakan dirumuskan sebagai berikut :

$$E[T] = \int_{-\infty}^{\infty} t f_T(t) dt \quad (2.6)$$

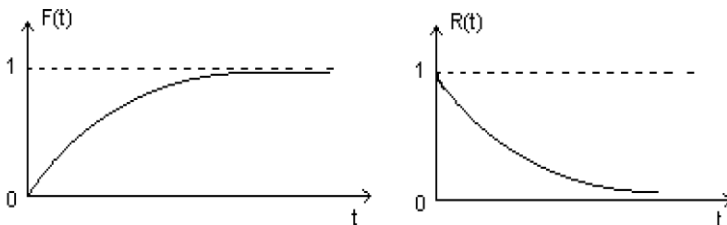
variabel acak T selalu positif, sehingga :

$$\begin{aligned} E[T] &= \int_{-\infty}^{\infty} t f_T(t) dt \\ &= \int_0^{\infty} t dF_T(t) \\ &= \int_0^{\infty} t d - R(t) \\ &= - \int_0^{\infty} t dR(t) \\ &= -t R(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \\ &= -\lim_{t \rightarrow \infty} tR(t) + 0 \times R(0) + \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.7) \end{aligned}$$

sehingga perkalian t dengan R(t) untuk t mendekati tak terhingga adalah mendekati nol (lihat **Gambar 2.3**), sehingga diperoleh:

$$E[T] = MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.8)$$

grafik fungsi distribusi *life time* dan keandalannya adalah :



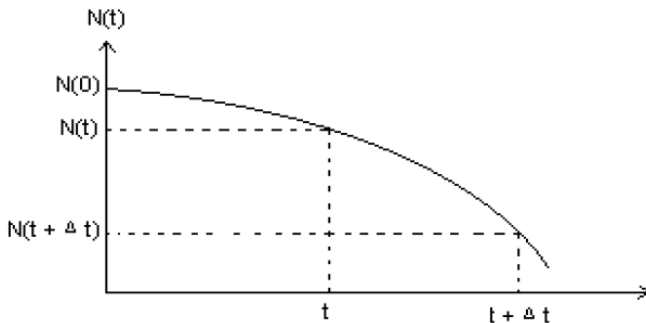
Gambar 2.3. Fungsi Distribusi dan Keandalan

Untuk peralatan/ komponen bila mengalami kerusakan dapat diperbaiki, sehingga menjadi baik seperti pada kondisi baru, maka rata-rata waktu kerusakan dinyatakan dengan *Mean Time Between Failure* (MTBF).

2.2.4 Laju Kerusakan

Gejala kerusakan dapat juga dinyatakan dengan fungsi kerusakan (*hazard function*) atau fungsi laju kerusakan (*failure rate function*)

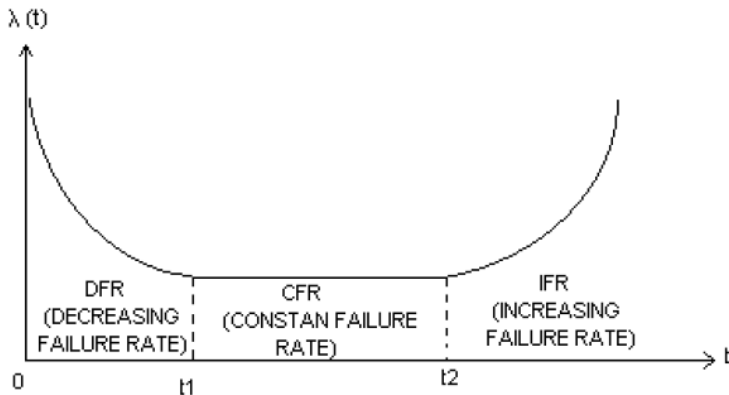
Laju kerusakan (*failure rate*) menyatakan banyaknya kerusakan yang terjadi tiap satuan waktu atau laju proporsi kerusakan sesaat untuk komponen yang bertahan sampai dengan saat itu. Secara grafik dapat digambarkan seperti **Gambar 2.4**



Gambar 2.4 Banyaknya Komponen yang Beroperasi

2.2.5 Klasifikasi Distribusi Komponen

Menurut *Failure Rate* (Hazard function)-nya komponen dapat dibedakan menjadi 3 macam, yaitu :



Gambar 2.5 *Bathub curve*

1. Komponen DFR (*Decreasing Failure Rate*)

DFR adalah komponen yang fungsi kerusakannya menurun dengan makin lamanya komponen tersebut dipakai. Pemakaian komponen akan menyebabkan komponen menjadi makin baik karena makin teruji dan terlatih. Pada periode 0 sampai dengan t_1 (permulaan bekerjanya peralatan), kurva menunjukkan bahwa laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu. Kerusakan yang terjadi pada periode ini pada umumnya disebabkan oleh kesalahan dalam *manufacturing*/ desain yang kurang sempurna. Jadi jika suatu peralatan yang dioperasikan telah melewati periode ini, berarti desain dan pembuatan peralatan tersebut pada pabriknya sudah benar. Pada periode ini juga dikenal dengan periode pemanasan (*burn-in periode*).

2. Komponen CFR (*Constant Failure Rate*)

CFR adalah komponen yang fungsi kerusakannya konstan tidak dipengaruhi oleh umur sebuah komponen. Pada periode t_1 sampai t_2 laju kerusakannya konstan/ tetap. Pada periode ini biasa dikenal dengan *useful life period*. Kerusakan yang terjadi bersifat random yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan bekerjanya peralatan, sehingga periode ini merupakan periode pemakaian peralatan yang normal dan dikarakteristikan secara pendekatan dengan jumlah kerusakan yang konstan tiap satuan waktu.

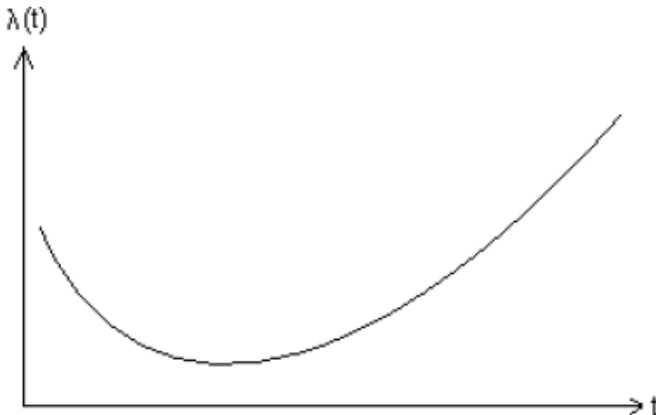
3. Komponen IFR (*Increasing Failure Rate*)

IFR adalah komponen yang fungsi kerusakannya meningkat dengan makin tuanya umur komponen tersebut. Pada periode ini setelah t_1 menunjukkan kenaikan laju kerusakan dengan bertambahnya waktu. Hal ini terjadi karena komponen tersebut mengalami keausan dan kelelahan materi sehingga menyebabkan komponen tersebut makin cepat rusak dengan meningkatnya umurnya. Kerusakan dapat terjadi karena faktor internal.

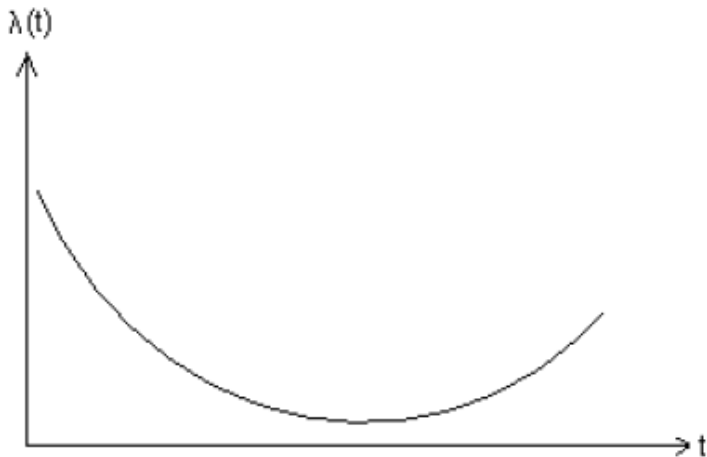
Berdasarkan klasifikasi distribusi di atas, maka contoh model probabilitas yang sesuai adalah :

1. Distribusi DFR adalah distribusi *weibull* dengan $\lambda(t) = a t^b$ untuk $b < 0$, dengan sifat nya negatif memory.
2. Distribusi CFR adalah distribusi Eksponensial dengan $\lambda(t) = \lambda$, sifat no memory.
3. Distribusi IFR adalah distribusi *weibull* dengan $\lambda(t) = a t^b$ untuk $b > 0$ dengan sifat positif memory.

Laju kerusakan komponen mekanik dan elektrik bisa dilihat pada **Gambar 2.6** dan **Gambar 2.7**. Dari gambar tersebut terlihat bahwa masa operasi dari komponen elektrik lebih lama bila dibandingkan dengan komponen mekanis. Hal tersebut dikarenakan komponen mekanis sering mengalami keausan, sebaliknya komponen elektrik tidak mengalami keausan.



Gambar 2.6 Laju Kerusakan Komponen Mekanik



Gambar 2.7 Laju Kerusakan Komponen Listrik

2.2.6 Model Probabilitas Keandalan

Untuk menghitung keandalan suatu peralatan / komponen, langkah pertama adalah harus mengetahui model probabilitas peralatan/komponen yang biasanya dinyatakan dengan distribusi statistik. Dalam analisa keandalan, ada beberapa distribusi statistik yang umum dipergunakan, yaitu distribusi *Weibull*, distribusi Eksponensial, distribusi Gamma dan distribusi Log-Normal. Pada penelitian Tugas Akhir ini distribusi yang diuji adalah distribusi Eksponensial dan *Weibull*.

1. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial merupakan distribusi yang paling banyak dipakai di dalam mengevaluasi keandalan sistem. Ciri utama dari distribusi ini adalah laju kegagalannya yang konstan. Fungsi kepadatan (densitas) distribusi Eksponensial dinyatakan dengan persamaan :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.9)$$

dan fungsi kumulatifnya :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.10)$$

di mana t = waktu

λ = parameter

Fungsi keandalan distribusi Eksponensial ini adalah :

$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - F(t) \\ R(t) &= e^{-\lambda t} \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$\text{Laju kerusakan (failure rate): } \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \quad (2.12)$$

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.13)$$

2. Distribusi Weibull

Selain distribusi Eksponensial yang sering dipakai di dalam mengevaluasi keandalan sistem, distribusi *Weibull* juga banyak dipakai karena distribusi ini memiliki shape parameter sehingga distribusi mampu untuk memodelkan berbagai data. Distribusi *Weibull* dibagi menjadi dua jenis parameter, yaitu distribusi *Weibull* dua parameter dan distribusi *weibull* tiga parameter. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini:

a. Distribusi Weibull dua parameter

Distribusi ini dikembangkan oleh Weibull. Fungsi kepadatannya diberikan sebagai :

$$f(t) = \beta \lambda (\lambda t)^{\beta-1} \exp(-\lambda t^\beta) \quad (2.14)$$

di mana : β = disebut dengan *slope*/kemiringan dari fungsi *Weibull*. $\beta > 0$

λ = disebut skala parameter (menentukan karakteristik dari life time). $\lambda > 0$

dengan fungsi kumulatif :

$$\begin{aligned} F(t) &= \int_0^t f(t) dt \\ &= - \int_0^t \exp(-\lambda t^\beta) d(-\lambda t^\beta) \\ &= -\exp(-\lambda t^\beta) \Big|_0^t \\ &= 1 - \exp(-\lambda t^\beta) \end{aligned} \quad (2.15)$$

sedangkan fungsi keandalannya:

$$R(t) = \exp(-\lambda t^\beta) \quad (2.16)$$

dengan fungsi laju kerusakan :

$$\lambda(t) = h(t) = \beta \lambda t^{\beta-1} \quad (2.17)$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda t^\beta) dt$$

$$MTTF = \lambda^{-\frac{1}{\beta}} \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (2.18)$$

b. Distribusi Weibull Tiga Parameter

Fungsi kepadatannya :

$$f(t) = \beta \lambda [\lambda(t - t_0)]^{\beta-1} \exp(-[\lambda(t - t_0)]^\beta) \quad (2.19)$$

di mana: t_0 = umur minimum suatu komponen. $t \geq t_0 \geq 0$
dengan fungsi kumulatif :

$$\begin{aligned} F(t) &= \int_0^t f(t) dt & (2.20) \\ &= \int_0^t \beta \lambda [\lambda(t - t_0)]^{\beta-1} \exp[-[\lambda(t - t_0)]^\beta] dt \\ &= \int_0^t \beta \lambda [\lambda(t - t_0)]^{\beta-1} \exp[-[\lambda(t - t_0)]^\beta] \frac{d[-[\lambda(t - t_0)]^\beta]}{-\beta [\lambda(t - t_0)]^{\beta-1} \lambda} \\ &= -\exp[-[\lambda(t - t_0)]^\beta] \Big|_0^t \quad \text{karena } t \geq t_0 \geq 0 \\ &= -\exp[-[\lambda(t - t_0)]^\beta] + \exp(0) \\ &= -\exp[-[\lambda(t - t_0)]^\beta] \end{aligned}$$

Jadi, Keandalan dari komponen tersebut adalah :

$$R(t) = -\exp[-[\lambda(t - t_0)]^\beta] \quad (2.21)$$

laju kerusakan : $h(t) = \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

$$= \lambda \beta [\lambda(t - t_0)]^{\beta-1} \quad (2.22)$$

$$MTTF = \lambda^{-\frac{1}{\beta}} \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) + t_0 \quad (2.23)$$

2.3 Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

PLTGU merupakan suatu pembangkit listrik dengan instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi panas dari hasil pembakaran bahan bakar dan udara menjadi energi listrik. Pada dasarnya, PLTGU merupakan penggabungan antara PLTG dan PLTU. PLTU memanfaatkan energi panas dan uap dari gas buang hasil pembakaran di PLTG untuk memanaskan air di HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*). Uap yang dihasilkan dari proses HRSG akan digunakan untuk memutar steam turbin. Gas yang dihasilkan dalam ruang bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) akan menggerakkan gas turbin dan kemudian generator, yang akan mengubahnya menjadi energi listrik.

2.3.1 Proses produksi PLTGU pada PT.PJB UP Gresik [5]

Penggabungan antara gas turbin dari PLTGU dan steam turbin dari PLTU biasa disebut *combined cycle*. Tujuan utama dari pembangkit kombinasi tersebut adalah untuk meningkatkan efisiensi termal yang mencapai 50%. Sedangkan penggunaan energi turbin gas sebagai pembangkit energi listrik (PLTG) yang mempunyai efisiensi termal rendah yaitu 30% dan pembangkit tenaga uap (PLTU) memiliki efisiensi termal 35% sehingga membutuhkan suatu pembangkit listrik dengan siklus kombinasi yang menghasilkan energi yang lebih besar.

Berikut ini bagan proses secara umum yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8**, dimana tiap blok pada unit PT PJB UP Gresik memiliki 3 buah gas turbin, 3 buah HRSG, 1 buah *steam turbin*.

Proses produksinya dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Kompresor menghisap udara bebas yang masuk melalui *filter* kemudian menekannya ke dalam ruang bakar
2. Udara bertekanan dan gas alam (HSD) dibakar didalam ruang bakar dan menghasilkan gas panas bertekanan tinggi yang diarahkan ke sudu-sudu turbin oleh *nozzle*
3. Turbin berputar akibat pancaran gas panas terarah pada sudu-sudunya. Daya putaran turbin menggerakkan generator.
4. Generator yang digerakkan oleh turbin gas menghasilkan energi listrik

5. Gas panas yang keluar dari turbin gas (*exhaust gas*) masuk ke HRSG guna memanaskan air.
6. Dalam kondensator air make up dan air hasil perubahan fase uap dari turbin di pompa oleh CEP (*condensate extraction pump*) ke *preheater* dan kemudian ke *dearator*
7. LP BFP (*Low Pressure Boiler Feed Pump*) memompa air dari *dearator* ke LP *economizer* dan kemudian menuju LP *drum*. Dari LP *drum* air dipompa oleh LP BCP ke LP *evaporator* dialirkan kembali ke LP *drum*.
8. HP BFP memompa air dari *dearator* ke HP *economizer* kemudian dialirkan ke HP *drum*. Dari HP *drum* dipompa oleh HP BCP ke HP *evaporator* selanjutnya uap yang dihasilkan HP *evaporator* dialirkan kembali ke HP *drum*
9. Uap dari LP *drum* dialirkan ke IP *steam turbin* guna menggerakkan sudu-sudu turbin LP
10. Uap dari HP *drum* dialirkan ke *superheater* untuk mendapatkan uap kering kemudian uap tersebut dialirkan ke HP *steam turbin* guna menggerakkan sudu-sudu turbin HP. Selanjutnya uap dari turbin HP bersama-sama uap dari LP *drum* dialirkan ke turbin LP guna menggerakkan sudu-sudu turbin LP
11. Generator yang digerakkan oleh turbin uap (LP dan HP) menghasilkan listrik

Penggabungan gas turbin (PLTG) dan steam turbin (PLTU) memanfaatkan gas buang sisa pembakaran yang masih bersuhu cukup tinggi (1000°F atau 550°C) yang keluar dari *exhaust* turbin gas guna memanaskan air di HRSG, proses *combined cycle* ini akan dapat mencapai efisiensi thermal yang keseluruhan relatif tinggi dari suatu instalasi *power plant*.

2.3.2 Komponen Utama pada PLTGU [5]

a. Gas Turbin Generator

Gas Turbin adalah suatu alat yang memanfaatkan gas hasil pembakaran bahan bakar (BBG atau BBM) untuk memutar turbin dengan pembakaran internal. Didalam gas turbin energi kinetik dikonversikan menjadi energi mekanik melalui udara bertekanan yang memutar sudut turbin yang terkopel dengan rotor generator sehingga menghasilkan daya listrik.

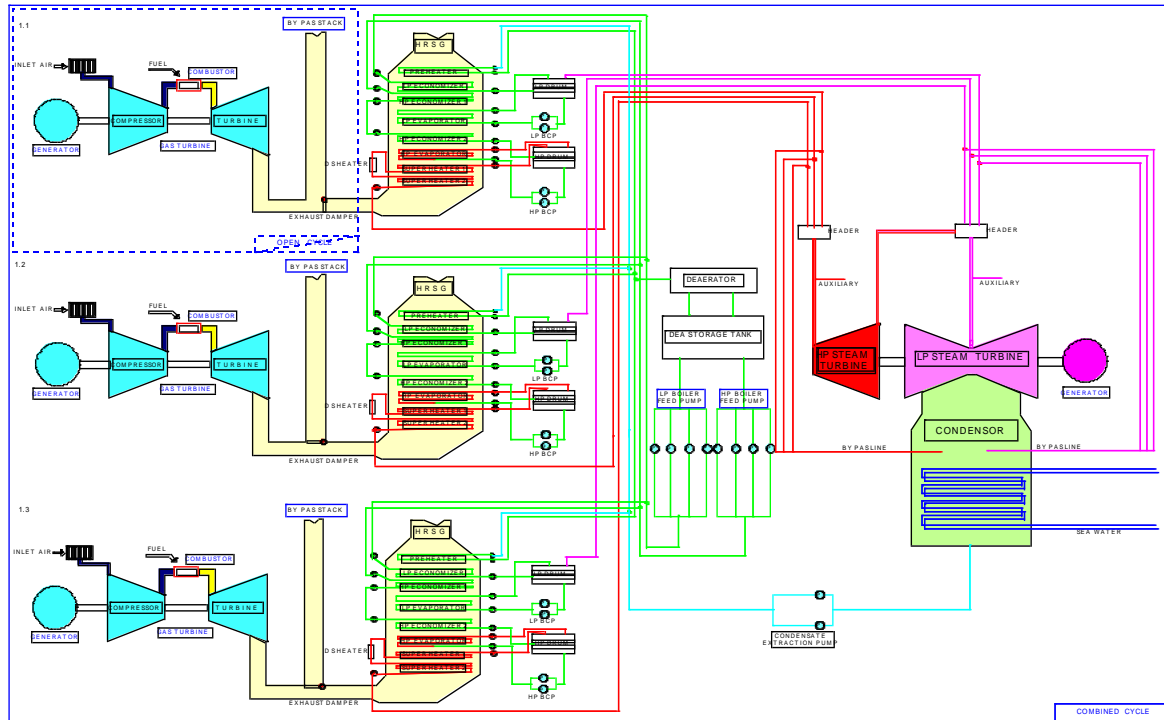
b. Heat Recovery Steam Generator (HRSG)

HRSG merupakan *heat exchanger* dari gas ke air dengan memanfaatkan energi sisa gas turbin untuk menghasilkan uap dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Dalam setiap aplikasi *combined cycle*, uap dihasilkan dengan beberapa macam tekanan dan temperatur sehingga tidak banyak gas sisa yang terbuang. Selain itu ada yang dipanaskan kembali sehingga nantinya menjadi *main steam* yang akan dikirim ke Steam Turbin. Hasil dari pemanasan ini akan menghasilkan uap bertekanan tinggi yang akan ditampung di drum *High Pressure (HP)* dan *Low Pressure (LP)*.

c. Steam Turbin Generator

Steam Turbin Generator merupakan pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga uap. Turbin yang bergerak akan menghasilkan listrik melalui generator. Pada prinsipnya Steam turbin berfungsi sebagai penggerak generator listrik, pompa, kompresor dan sebagainya atau disebut *prime mover*. Fungsi utamanya sama dengan motor yaitu menggerakkan sesuatu. Yang membedakan antara *Steam turbine* dan motor adalah sumber energi yang digunakan. Motor menggunakan listrik sedangkan *steam turbine* menggunakan energi yang tersimpan pada steam yang berupa tekanan dan panas, untuk menghasilkan energi gerak.

Pada dasarnya berdasarkan kondisi keluaran steam, steam turbin dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu *Turbin Condensing*, turbin akan mengambil energi dari steam hingga steam tersebut siap mengembun pada tekanan atmosferik. Karena pada turbin tidak diperbolehkan adanya cairan maka keuaran turbin di desain untuk sedikit vakum atau dibawah atmosferik. *Turbin Back Pressure*, Turbin ini akan menghasilkan tekanan *exhaust* lebih besar dari atmosferik.

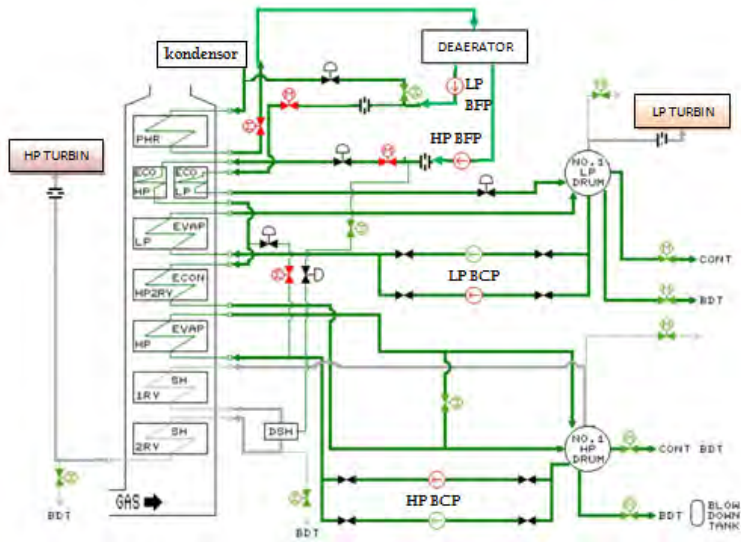


Gambar 2.8 Skema Pusat Listrik Tenaga Gas Uap UP Gresik

2.4 Heat Recovery Steam Generator (HRSG) [5]

Dalam sebuah pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU), Kinerja steam turbin sangat bergantung pada keandalan HRSG, karena uap yang digunakan untuk *steam turbine* (PLTU) berasal dari HRSG, untuk itu HRSG pada PLTGU harus dituntut keandalannya dalam menyediakan pasokan steam untuk steam turbin (PLTU).

Tipe HRSG di UP Gresik adalah *Vertical Gas Flow Up Word Circulation Dual Pressure*, artinya aliran gas buang dari gas turbin masuk dari bawah melewati *tube-tube* menuju *stack* HRSG dan HRSG di UP Gresik menghasilkan dua jenis *steam*, yaitu *High Pressure* (HP) dan *Low Pressure* (LP).



Gambar 2.9 Flow HRSG

Proses yang terjadi pada HRSG :

- Dimulai dari gas buang dari gas turbin dialirkan menuju HRSG melalui *exhaust damper* saat proses *combine cycle*.
- HRSG memiliki bagian utama, yaitu : *Preheater, high pressure (HP) economizer primary, low pressure (LP) economizer, LP evaporator, high pressure (HP) economizer secondary, HP evaporator, primary superheater* dan *secondary superheater*.

Dan bagian atas HRSG stack dilindungi penutup yang disebut *weather damper*.

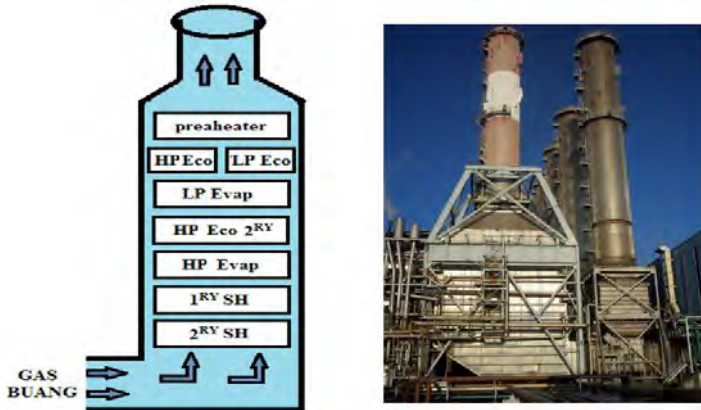
- Gas buang gas turbin yang memiliki temperatur $\pm 500^{\circ}$ C dialirkan menuju HRSG dan masuk pertama kali ke bagian *secondary superheater*.
- Air yang akan dipanaskan menjadi uap untuk operasi steam turbin berawal dari kondensor kemudian dipompa oleh *Condenser Extraction Pump (CEP)* menuju *preheater (HRSG)* untuk kemudian dialirkan menuju *deaerator*. *Deaerator* berfungsi untuk mengikat kandungan gas - gas pada air yang dapat menyebabkan korosi.
- Setelah dari *deaerator*, air dibagi menjadi dua bagian berdasarkan tekanan yaitu *high pressure (HP) feed water low pressure* dan *(LP) feed water* yang nantinya akan dialirkan menuju HRSG masing masing menggunakan *high pressure boiler feed pump (HP BFP)* dan *low pressure boiler feed pump (LP BFP)*.
- *HP feedwater* dipompa oleh *HP BFP* menuju *HP economizer primary* dan *HP economizer secondary (HRSG)*, hasil pemanasan ini kemudian ditampung ke *HP drum*. Di dalam *HP drum* terjadi pemisahan uap dengan air. Air dipompa kembali menuju *HP evaporator (HRSG)* untuk diuapkan dengan *high pressure boiler circulating pump (HP BCP)*, selanjutnya hasil pemanasan itu ditampung kembali di dalam *HP drum* untuk memisahkan uap dengan air.
- Uap dari *HP drum* dipanaskan kembali di dalam *primary* dan *secondary superheater* untuk kemudian dialirkan ke dalam *high pressure steam turbine (HP ST)* untuk proses operasi. Namun sebelumnya uap dari *primary superheater* yang akan menuju *secondary superheater* terlebih dahulu melewati *desuperheater* untuk pengendalian temperatur uap.
- Untuk *LP Feedwater* dari *deaerator* dipompa oleh *LP BFP* menuju *LP economizer (HRSG)* untuk pemanasan dan kemudian ditampung di dalam *LP drum*.
- Di dalam *LP drum* terjadi pemisahan uap dengan air. Air dipompa kembali menuju *LP evaporator (HRSG)* untuk diuapkan dengan *low pressure boiler circulating pump (LP BCP)*, selanjutnya hasil pemanasan itu ditampung kembali di dalam *LP*

drum, untuk uap langsung dialirkan menuju *low pressure steam turbine* (LP ST) untuk proses operasi.

- Pada HP dan LP drum terdapat *continuous blowdown* dan *blowdown* yang bertujuan untuk menendalikan level saat start up.

2.5 Bagian-Bagian *Heat Recovery Steam Generator* [5]

Secara garis besar bagian HRSG terdiri dari dua bagian, sesuai dengan tekanan uap yang dihasilkan, yaitu *High Pressure* (HP) dan *Low Pressure* (LP). Kedua bagian tersebut dipisahkan, sesuai dengan gas buang yang dilaluinya. Di bagian bawah dalam HRSG adalah peralatan HP, karena bagian yang pertama dilalui gas buang, sementara peralatan LP terletak di bagian atas dalam HRSG.



Gambar 2.10 *Vertical Gas Flow Up Word Circulation Dual Pressure*

2.5.1 Bagian HRSG *Low Pressure* (LP)

Bagian HRSG yang dilalui *Fluida Low Pressure* (LP) adalah :

1. *LP Economizer*

LP Economizer berfungsi untuk menaikkan temperatur air pengisi hingga mencapai titik didihnya/jenuhnya yang akan menuju ke *LP Drum*.

2. LP Steam Drum

LP *Steam Drum* berfungsi untuk memisahkan air and uap berdasarkan berat jenis yang telah dipanaskan oleh *evaporator*. Untuk uap yang telah dipisahkan, digunakan untuk menggerakkan LP *steam turbin*, sedangkan untuk air disirkulasikan kembali ke *evaporator* untuk dipansasi hingga menjadi uap.

3. Low Pressure Boiler Circulation Pump (LP BCP)

Sebagai alat untuk memompa dan mensirkulasikan air dari LP *Drum* ke LP *Evaporator* (HRSG) dan selanjutnya kembali lagi ke LP *Drum*.

4. LP Evaporator

LP *evaporator* berfungsi untuk menguapkan air bertekanan rendah yang disirkulasikan LP BCP dari LP *Drum* , sehingga dari fase air berubah menjadi fase uap kering tekanan rendah. Yang selanjutnya uap tersebut masuk ke LP *Drum* untuk dipisah antara air dan uap.

2.5.2 Bagian HRSG High Pressure (HP)

Bagian - bagian HRSG yang dilalui *fluida High Pressure* diantaranya adalah :

1. Preheater

Preheater berfungsi menaikkan temperatur air kondensat. Air kondensat yang masuk ke *preheater* dengan temperatur ± 460 C yang berasal dari kondensor (*hotwell*) yang dipompa oleh *Condenser Extraction Pump* (CEP). Air kondensat yang keluar dari *preheater* suhunya akan naik sampai sekitar $\pm 125^{\circ}\text{C}$ dan langsung menuju *dearator*.

2. HP Economizer

HP *Economizer* mempunyai fungsi sebagai pemanas air pengisi bertekanan tinggi pertama dari *dearator* yang akan menuju ke HP *Drum*. Pada HP *Economizer* terdiri dari HP *Economizer Primary* dan HP *Economizer Secondary*. Dimana HP *Economizer Secondary* memiliki temperatur yang lebih tinggi dari pada HP *Economizer Primary*.

3. HP Steam Drum

Pada prinsipnya, HP *steam drums* sama dengan LP *steam drum*. Yang membedakan hanya tekanan pada HP *steam drum* lebih tinggi.

4. High Pressure Boiler Circulating Pump (HP BCP)

HP BCP berfungsi untuk memompa dan mensirkulasikan air pengisi tekanan tinggi dari HP *Drum* ke HP *Evaporator* (HRSG) dan selanjutnya kembali lagi ke HP *Drum*

5. HP Evaporator

HP *Evaporator* berfungsi untuk mengubah air bertekanan tinggi yang disirkulasikan oleh HP BCP dari HP *drum*, hingga menjadi uap jenuh (*saturated steam*) tekanan tinggi, yang selanjutnya uap jenuh tekanan tinggi akan kembali ke HP *drum*.

6. Primary Superheater

Primary Superheater berfungsi untuk menaikkan temperatur uap jenuh tekanan tinggi yang berasal dari HP *drum*, untuk dipanaskan hingga menjadi uap kering tekanan tinggi.

7. Desuperheater

Desuperheater terletak diantara *primary* dan *secondary superheater*, *desuperheater* berfungsi untuk mengendalikan *temperature* uap dari *outlet primarysuperheater* dengan cara menyemprotkan air dari *discharge* HP BFP ke *steam* sebelum menuju *secondary superheater*.

8. Secondary Superheater

Secondary Superheater berfungsi untuk mengubah uap kering tekanan tinggi dari *primary superheater* menjadi uap *superheat* tekanan tinggi yang nantinya digunakan untuk memutar HP *steam turbine*.

2.5.3 Komponen - Komponen Penunjang HRSG

Komponen - komponen penunjang HRSG adalah sebagai berikut :

1. *Exhaust Damper*

Exhaust Damper berfungsi sebagai pengatur laluan gas buang dari turbin gas yang akan menuju ke *bypass stack* untuk proses *open cycle gas turbine* atau ke HRSG untuk proses *combined cycle* PLTGU.

2. *Weather Damper*

Weather Damper berfungsi untuk menutup *outlet* cerobong HRSG apabila sedang tidak beroperasi agar tidak kemasukan air hujan (supaya *tube-tube* tidak korosif dan juga untuk mempertahankan *temperature* ruangan HRSG.

3. *Valve*

Valve sangat berperan penting dalam proses produksi HRSG, HRSG memiliki beberapa jenis *valve* yaitu : *Control Valve*, *Motor Valve*, *Relief Valve*, *Drain Valve*, dan *Safety Valve* (*Safety valve Electric* dan mekanik untuk *HP Steam* dan *Safety valve* mekanik untuk *HP/LP Drum*), serta *Vent Valve* (*HP/LP Drum*).

4. *Blowdown Tank*

Blow down tank berfungsi untuk penampung sementara/pemisah uap dan air, yang berasal dari *Continuous Blow Down (steam drum)*, *Blow down (steam drum)*, dan *Drain HRSG* (*HP primary* dan *secondary superheater*, dan *HP/LP steam*). Dimana untuk airnya di tampung ke *sump pit* HRSG dan untuk uapnya di buang ke atmosfer.

2.6 *Fault Tree Analysis (FTA)*

FTA adalah metode analisis secara *top down* yang banyak digunakan untuk studi yang berkaitan dengan resiko dan keandalan dari suatu *system engineering*. Selain itu, FTA juga merupakan sebuah model grafis yang terdiri dari beberapa kombinasi kegagalan secara paralel maupun seri yang mungkin menyebabkan awal *failure event* yang sudah ditetapkan. Sebuah *Top event* merupakan kegagalan puncak dari sebuah sistem yang harus ditentukan terlebih dahulu sebelum merancang *diagram Fault Tree*. Setelah melakukan identifikasi *Top event*,

kemudian dicari kejadian gagal yang menjadi penyebabnya sehingga didapat kegagalan- kegagalan lain yang sifatnya mendasar atau disebut juga basic event yang dapat menyebabkan *top event* terjadi. Setelah *fault tree* dibangun, kegagalan sistem akan dianalisis menggunakan aljabar Boolean yang bersesuaian dengan bentuk *fault tree*-nya sehingga akan didapat *minimum cut sets* dari sistem tersebut.

Analisis *Fault Tree* terdiri dari 4 tahap :

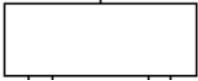




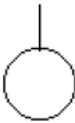
1. Definisi sistem
2. Pembuatan *diagram fault tree*
3. Analisa kualitatif
4. Analisa kuantitatif

Istilah dan simbol yang digunakan pada analisis *Fault Tree* dapat dilihat pada **Tabel 2.1** dan **Gambar 2.11** :

Tabel 2.1 Istilah dalam Metode FTA

Istilah	Keterangan
<i>Event</i>	Penyimpangan yang tidak diharapkan dari suatu keadaan normal pada suatu komponen dari sistem
<i>Top event</i>	Kejadian yang dikehendaki pada “puncak” yang akan diteliti lebih lanjut ke arah kejadian dasar lainnya dengan menggunakan gerbang logika untuk menentukan penyebab kegagalan.
<i>Logic Event</i>	Hubungan secara logika antara input dinyatakan dalam AND dan OR
<i>Transferred Event</i>	Segitiga yang digunakan simbol transfer. Simbol ini menunjukkan bahwa uraian lanjutan kejadian berada di halaman ini
<i>Undevelopmed event</i>	Kejadian dasar (<i>Basic event</i>) yang tidak akan dikembangkan lebih lanjut karena tidak tersedianya informasi
<i>Basic event</i>	Kejadian yang tidak diharapkan yang dianggap sebagai penyebab dasar sehingga tidak perlu dilakukan analisis lanjut

Tabel 2.2. Simbol dalam Metode FTA

Simbol	Keterangan
	<i>Top Event</i>
	<i>Logic Event OR</i>
	<i>Logic Event AND</i>
	<i>Transferred Event</i>
	<i>Undeveloped Event</i>
	<i>Basic Event</i>

2.6.1 Algoritma untuk Minimal Cut Sets

Kombinasi dari berbagai dari berbagai *fault event* disebut dengan *cut set*. Pada terminologi *Fault Tree*, sebuah *cut sets* didefinisikan sebagai *basic event* yang bila terjadi secara simultan akan mengakibatkan terjadi *Top event*. Sebuah *cut sets* dikatakan sebagai minimal *cut sets* jika *cut sets* tersebut tidak dapat direduksi tanpa menghilangkan statusnya sebagai *cut set*. Jumlah *basic event* yang berbeda didalam sebuah minimal *cut set* disebut dengan orde *cut sets*.

Tabel 2.2 menunjukkan hukum-hukum Aljabar Boolean yang digunakan untuk melakukan analisa *Fault tree* secara kuantitatif. Pendekatan aljabar

Boolean berawal dari *Top event* dan mendeskripsikannya secara logis dalam *basic event*, *incomplete event*, *intermediate event*. Semua *intermediate event* akan digantikan oleh *event-event* pada hirarki yang lebih rendah. Hal ini terus dilakukan sampai logika yang menyatakan *top event* semua berubah ke dalam bentuk *basic event* dan *incomplete event*.

Tabel 2.3 Hukum-Hukum Aljabar Boolean [6]

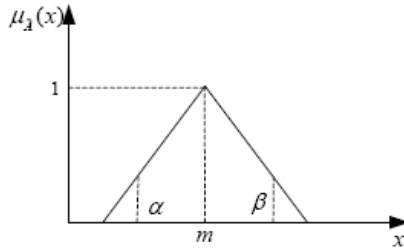
No	Nama	Rumus
1	Komutatif	$a + b = b + a$
		$a \times b = b \times a$
2	Distributif	$a + (b \times c) = (a + b) \times (a + c)$
		$a \times (b + c) = (a \times b) + (a \times c)$
3	Identitas	$a + 0 = a$
		$a \times 1 = a$
4	Komplemen	$a + a' = 1$
		$a \times a' = 0$
5	Idempoten	$a + a = a$
		$a \times a = a$
6	Boundednes	$a \times 0 = 0$
		$a + 1 = 1$
7	Absorbsi	$a + (a \times b) = a$
		$a \times (a + b) = a$
8	Involusi	$(a')' = a$
		$0' = 1$
9	Asosiatif	$1' = 0$
		$(a + b) + c = a + (b + c)$
10	De Morgan	$(a \times b) \times c = a \times (b \times c)$
		$(a + b)' = a' \times b'$
		$(a \times b)' = a' + b'$

2.7 Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA)

2.7.1 Triangular Fuzzy Number [7]

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x - m + \alpha}{\alpha}; & m - \alpha \leq x \leq m \\ 0 & \text{others} \\ \frac{\beta + m - x}{\beta}; & m < x \leq m + \beta \end{cases}$$

Parameter α dan β merupakan nilai *lower* dan *upper bounds of the fuzzy quantity* sedangkan m adalah nilai tengah atau nilai kegagalan setiap komponen.



Gambar 2.12 Fungsi Keanggotaan Fuzzy Number

Algorithm of fuzzy algebraic operation

(1) *Addition*

$$P_{1\lambda} + P_{2\lambda} = [L_{P_1}^\lambda, R_{P_1}^\lambda] + [L_{P_2}^\lambda, R_{P_2}^\lambda] = [L_{P_1}^\lambda + L_{P_2}^\lambda, R_{P_1}^\lambda + R_{P_2}^\lambda]$$

(2) *Multiplication*

$$P_{1\lambda} \times P_{2\lambda} = [L_{P_1}^\lambda, R_{P_1}^\lambda] \times [L_{P_2}^\lambda, R_{P_2}^\lambda] = [L_{P_1}^\lambda \times L_{P_2}^\lambda, R_{P_1}^\lambda \times R_{P_2}^\lambda]$$

di mana $L_{P_1}^\lambda$ dan $R_{P_1}^\lambda$ merupakan nilai *lower* dan *upper bounds*

Fuzzy operator untuk *basic event*

$$F_i^\lambda = [(m_1 - \alpha_1) + \alpha_1\lambda, (m_1 + \beta_1) - \beta_1\lambda]$$

di mana nilai $\lambda \in [0,1]$

2.7.2 Fungsi Struktural

Sistem adalah sejumlah komponen yang dirangkai. Keandalan sistem tergantung dari keandalan komponen dan struktur dari sistem. Keandalan sistem adalah merupakan fungsi dari keandalan komponen. Bentuk fungsinya ditentukan oleh struktur dari sistemnya. Sehingga dapat ditulis :

$$R_s = f(R_1, R_2, \dots, R_n)$$

di mana :

R_s = Keandalan Sistem

R_1 = Keandalan Komponen

f = fungsi struktural, yaitu fungsi yang menyatakan struktur sistem atau rangkaian sistem.

Bentuk fungsi f dapat diturunkan dari bentuk struktur sistem dengan memperhatikan hubungan logika antara kerusakan komponen dan kerusakan sistem.

Dalam fungsi ini hanya ada operasi logika, seperti:

- 1) Operasi *Fuzzy* Struktur Seri (*AND*)
- 2) Operasi *Fuzzy* Struktur Paralel (*OR*)

➤ Operasi *Fuzzy* Struktur Seri (*AND*)

Struktur seri adalah suatu struktur sistem dimana sistem dikatakan rusak bila salah satu komponennya rusak. Sistem dikatakan baik jika semua komponen dalam kondisi baik semua.

- Sistem rusak jika salah satu komponen rusak
- Sistem baik jika semua komponen baik

$$\begin{aligned} P[\text{sistem baik}] &= P(\text{semua komponen baik}) \\ &= P[\text{komponen 1 baik dan komponen 2 baik dan} \\ &\quad \text{komponen 3 baik dandan komponen n baik}]. \\ &= P[\text{komponen 1 baik}] P[\text{komponen 2 baik}] \dots \\ &\quad P[\text{komponen n baik}] \end{aligned}$$

Fungsi Operasi *fuzzy gate AND* dinyatakan pada rumus:

$$\begin{aligned} F_s^{and} &= \prod_{i=1}^n E_i = F_1 F_2 \dots F_n \\ &= [(m_1 - \alpha_1) + \alpha_1 \lambda, (m_1 + \beta_1) - \beta_1 \lambda] \\ &\quad [(m_2 - \alpha_2) + \alpha_2 \lambda, (m_2 + \beta_2) - \beta_2 \lambda] \dots \\ &\quad [(m_n - \alpha_n) + \alpha_n \lambda, (m_n + \beta_n) - \beta_n \lambda] \end{aligned}$$

$$= \left[\prod_{i=1}^n [(m_i - \alpha_i) + \alpha_i \lambda, (m_i + \beta_i) - \beta_i \lambda] \right]$$

Dari rumus keandalan tersebut dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Makin banyak komponen, makin rendah keandalan sistem
2. Karena $R_i \leq 1$, maka keandalan sistem lebih kecil dari keandalan komponenyang paling paling kecil : $R_s \leq \min \{R_i\}$.

➤ Operasi *Fuzzy* Struktur Paralel (*OR*)

Struktur paralel adalah struktur sistem di mana sistem tersebut masih berfungsi bila paling sedikitsatu komponennya berfungsi atau dapat dikatakan sistem rusak jika semua komponen rusak.

$$\begin{aligned} P [\text{sistem rusak}] &= P [\text{semua komponen rusak}] \\ &= P[\text{komponen 1 rusak dan komponen 2 rusak dan} \\ &\quad \dots \text{komponenn rusak}] \\ &= P[\text{komp 1 Rusak}] P[\text{komp 2 Rusak} \dots \\ &\quad P[\text{komp n Rusak}]] \end{aligned}$$

Fungsi Operasi *fuzzy gate OR* dinyatakan pada rumus:

$$\begin{aligned} F_s^{OR} &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i) \\ &= [1,1] - \prod_{i=1}^n \{[1,1] - [(m_i - \alpha_i) + \alpha_i \lambda, (m_i + \beta_i) - \beta_i \lambda]\} \\ &= [1 - \prod_{i=1}^n [1 - (m_i - \alpha_i) - \alpha_i \lambda], 1 - \prod_{i=1}^n [1 - (m_i + \beta_i) + \beta_i \lambda]] \end{aligned}$$

Dari rumus keandalan tersebut dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Makin banyak n, makin tinggi keandalan
2. Keandalan sistem akan lebih besar dari keandalan komponen yang Keandalannya paling besar.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

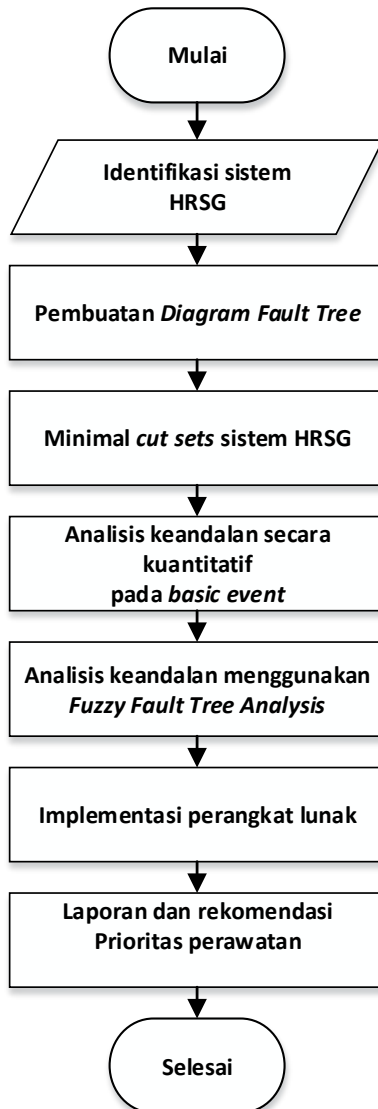
Bab ini akan menguraikan pembahasan tentang tahapan dalam menganalisis kendala HRSG dengan menggunakan metode FFTA. Permasalahan yang sering terjadi adalah adanya kebocoran pada *tube-tube* HRSG yang akan menyebabkan kegagalan pada sistem HRSG secara keseluruhan. Untuk mengetahui kegagalan yang terjadi, maka tahap awal yang harus dilakukan adalah mendeskripsikan model kegagalan pada HRSG. Dan pembahasan selanjutnya adalah membuat diagram *Fault Tree* dan mencari minimal *cut sets* dari sistem HRSG. Dari analisis minimal *cut sets* tersebut akan dilakukan perhitungan kuantitatif dengan cara menterjemahkan minimal *cut sets* tersebut ke dalam operasi *fuzzy* gerbang *AND* untuk struktur seri dan operasi *fuzzy* gerbang *OR* untuk struktur paralel.

3.1 Diagram Alir Perancangan Sistem

Sebuah sistem HRSG dan peralatan pendukungnya memiliki bentuk kegagalan yang berbeda-beda. Kegagalan yang terjadi membuat kinerja HRSG menurun seiring bertambahnya waktu.

Diagram alir perancangan sistem ditunjukkan pada **Gambar 3.1** dimana pada gambar tersebut diawali dengan pendefinisian sistem HRSG beserta fungsinya, selanjutnya analisis masuk pada tahap pertama yaitu pembuatan diagram *fault tree* di mana pada tahap ini, merupakan tahap analisis kualitatif. Tahap kuantitatif dilakukan dengan cara menggabungkan metode kuantitatif konvensional kedalam bentuk *Fuzzy Set Theory* di mana pada tahap ini memiliki keluaran keandalan dan interval keandalan pada tiap peralatan HRSG.

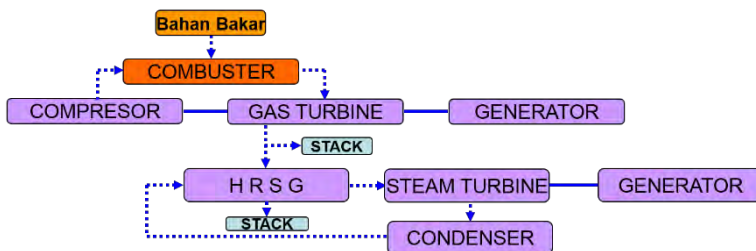
Setelah didapatkan keandalan dan interval keandalan setiap peralatan, maka akan dirancang sebuah sistem informasi penerapan FFTA dalam bentuk perangkat lunak menggunakan bahasa pemrograman PHP dan MySQL. Dibagian akhir pada bab ini akan ditampilkan proses pada masing-masing bagian perangkat lunak tersebut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Sistem

3.2 Identifikasi Sistem HRSG

PLTGU Gresik terdiri dari tiga blok, masing-masing blok terdiri dari tiga buah *Gas Turbine* (GT), tiga buah *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) dan satu buah *Steam Turbine* (ST). Operasi masing-masing turbin gas untuk blok I dan II dapat menggunakan bahan bakar minyak bumi (BBM) jenis *High Speed Diesel* (HSD) atau menggunakan bahan bakar gas alam (BBG), karena desain turbin gas blok I dan II adalah *dual fuel*. Sedangkan turbin gas blok III adalah *single fuel*, hanya dapat menggunakan BBG. Gas buang dari operasi GT dialirkan menuju HRSG untuk operasi secara *combine cycle* dan memanaskan air agar menghasilkan uap untuk memutar ST. Hubungan sistem pembangkit pada PLTGU PJB UP Gresik ditunjukkan pada diagram blok **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Diagram Blok PLTGU PJB UP Gresik

3.2.1 Definisi Sistem

Pada PLTGU Gresik terdapat 9 HRSG, tiap blok PLTGU terdapat 3 HRSG. Tipe HRSG di PT. PJB UP Gresik adalah *Vertical Gas Flow Up Word Circulation Dual Pressure*, artinya aliran gas buang dari gas turbine masuk dari bawah melewati *tube-tube* menuju *stack* HRSG dan HRSG pada PT. PJB UP Gresik dapat menghasilkan dua jenis steam, yaitu *High Pressure* (HP) dan *Low Pressure* (LP).

Pada penelitian ini HRSG yang dianalisis adalah HRSG pada blok I, di mana pada blok I terdapat 3 buah HRSG yaitu HRSG 1.1, 1.2 dan 1.3. Untuk pengambilan data kerusakan HRSG diambil pada tahun mulai beroperasi yaitu pada tahun 2004 hingga tahun 2014.

Fungsi HRSG sama dengan boiler / ketel uap, yaitu tempat terjadinya pemanasan air hingga menjadi uap *superheat* untuk keperluan operasi *Steam Turbine*.

Pada sistem HRSG 1.1 dibagi menjadi beberapa bagian yaitu :

Tabel 3.1 Peralatan pada Sistem HRSG 1.1

NO	Nama peralatan	Simbol pada <i>Basic event</i>
1	<i>Condensate Extraction Pump A</i>	P1.1
2	<i>Dearator 1.0</i>	P1.2
3	<i>Exhaustt Damper 1.1</i>	P1.3
4	<i>Blown down 1.1</i>	P1.4
5	<i>LP Economizer 1.1</i>	P1.5
6	<i>LP Evaporator 1.1</i>	P1.6
7	<i>HP Economizer 1.1</i>	P1.7
8	<i>HP Evaporator 1.1</i>	P1.8
9	<i>Preheater 1.1</i>	P1.9
10	<i>Superheater 1.1</i>	P1.10
11	<i>Desupreheater 1.1</i>	P1.11
12	<i>LP Boiler Feed Pump 1A</i>	P1.12
13	<i>LP Boiler Feed Pump 1B</i>	P1.13
14	<i>LP Boiler Feed Pump 1C</i>	P1.14
15	<i>LP Boiler Feed Pump 1D</i>	P1.15
16	<i>LP Boiler Circulating Pump 1.1A</i>	P1.16
17	<i>LP Boiler Circulating Pump 1.1B</i>	P1.17
18	<i>HP Boiler Feed Pump 1A</i>	P1.18
19	<i>HP Boiler Feed Pump 1B</i>	P1.19
20	<i>HP Boiler Feed Pump 1C</i>	P1.20
21	<i>HP Boiler Feed Pump 1D</i>	P1.21
22	<i>HP Boiler Circulating Pump 1.1A</i>	P1.22
23	<i>HP Boiler Circulating Pump 1.1B</i>	P1.23

Pada sistem HRSG 1.2 dibagi menjadi beberapa bagian yaitu :

Tabel 3.2 Peralatan pada Sistem HRSG 1.2

NO	Nama peralatan	Simbol pada <i>Basic event</i>
1	<i>Condensate Extraction Pump B</i>	P2.1
2	<i>Dearator 2.0</i>	P2.2
3	<i>Exhaustt Damper 1.2</i>	P2.3
4	<i>Blown down 1.2</i>	P2.4
5	<i>LP Economizer 1.2</i>	P2.5
6	<i>LP Evaporator 1.2</i>	P2.6
7	<i>HP Economizer 1.2</i>	P1.7
8	<i>HP Evaporator 1.2</i>	P2.8
9	<i>Preheater 1.2</i>	P2.9
10	<i>Superheater 1.2</i>	P2.10
11	<i>Desuppreheater 1.2</i>	P2.11
12	<i>LP Boiler Feed Pump 2A</i>	P2.12
13	<i>LP Boiler Feed Pump 2B</i>	P2.13
14	<i>LP Boiler Feed Pump 2C</i>	P2.14
15	<i>LP Boiler Feed Pump 2D</i>	P2.15
16	<i>LP Boiler Circulating Pump 1.2A</i>	P2.16
17	<i>LP Boiler Circulating Pump 1.2B</i>	P2.17
18	<i>HP Boiler Feed Pump 2A</i>	P2.18
19	<i>HP Boiler Feed Pump 2B</i>	P2.19
20	<i>HP Boiler Feed Pump 2C</i>	P2.20
21	<i>HP Boiler Feed Pump 2D</i>	P2.21
22	<i>HP Boiler Circulating Pump 1.2A</i>	P2.22
23	<i>HP Boiler Circulating Pump 1.2B</i>	P2.23

Pada sistem 1.3 dibagi menjadi beberapa bagian yaitu :

Tabel 3.3 Peralatan pada Sistem HRSG 1.3

NO	Nama peralatan	Simbol pada <i>Basic event</i>
1	<i>Condensate Extraction Pump C</i>	P3.1
2	<i>Dearator 3.0</i>	P3.2
3	<i>Exhaustt Damper 1.3</i>	P3.3
4	<i>Blown down 1.3</i>	P3.4
5	<i>LP Economizer 1.3</i>	P3.5
6	<i>LP Evaporator 1.3</i>	P3.6
7	<i>HP Economizer 1.3</i>	P3.7
8	<i>HP Evaporator 1.3</i>	P3.8
9	<i>Preheater 1.3</i>	P3.9
10	<i>Superheater 1.3</i>	P3.10
11	<i>Desupreheater 1.3</i>	P3.11
12	<i>LP Boiler Feed Pump 3A</i>	P3.12
13	<i>LP Boiler Feed Pump 3B</i>	P3.13
14	<i>LP Boiler Feed Pump 3C</i>	P3.14
15	<i>LP Boiler Feed Pump 3D</i>	P3.15
16	<i>LP Boiler Circulating Pump 1.3A</i>	P3.16
17	<i>LP Boiler Circulating Pump 1.3B</i>	P3.17
18	<i>HP Boiler Feed Pump 3A</i>	P3.18
19	<i>HP Boiler Feed Pump 3B</i>	P3.19
20	<i>HP Boiler Feed Pump 3C</i>	P3.20
21	<i>HP Boiler Feed Pump 3D</i>	P3.21
22	<i>HP Boiler Circulating Pump 1.3A</i>	P3.22
23	<i>HP Boiler Circulating Pump 1.3B</i>	P3.23

3.3 Pembuatan Diagram *Fault Tree* Sistem HRSG

Pada diagram *fault tree*, *top event* adalah kegagalan yang dialami sistem secara keseluruhan akibat dari adanya kegagalan-kegagalan pada setiap komponen penyusunnya. Pada penelitian Tugas Akhir ini *top event* yang dianalisis adalah sistem HRSG pada PLTGU blok 1. Tampilan diagram *fault tree* dari masing-masing HRSG dapat di lihat pada **Gambar 3.3**, **Gambar 3.4** dan **Gambar 3.5**.

Setelah membuat diagram *fault tree* langkah selanjutnya adalah melakukan identifikasi *cut sets* dari sistem HRSG. Pada terminologi *fault tree*, sebuah *cut sets* didefinisikan sebagai kombinasi dari berbagai *basic event* yang ada pada diagram *fault tree*. Sebuah *cut sets* dikatakan minimal *cut sets* jika *cut sets* tersebut tidak dapat direduksi tanpa menghilangkan status sebagai *cut sets*. Pada penelitian Tugas Akhir ini tidak ditemukan minimal *cut sets* karena sistem tersebut sudah paling sederhana sehingga diagram *fault tree* pada sistem HRSG 1.1, 1.2 dan 1.3 tidak dapat direduksi lagi.

3.4 Analisa Keandalan Kuantitatif pada *Basic Event*

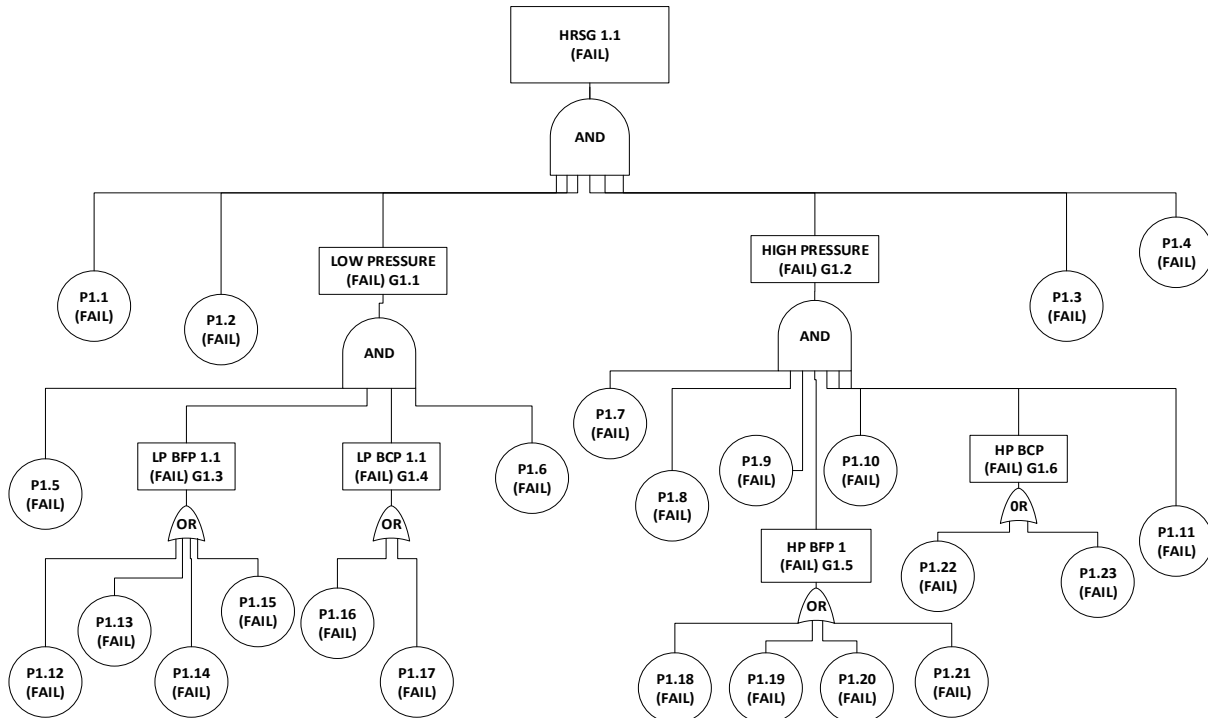
Pada tahapan ini dilakukan analisis keandalan dengan menggunakan tahap-tahap sebagai berikut :

3.4.1 Penentuan *Time to Failure* (TTF)

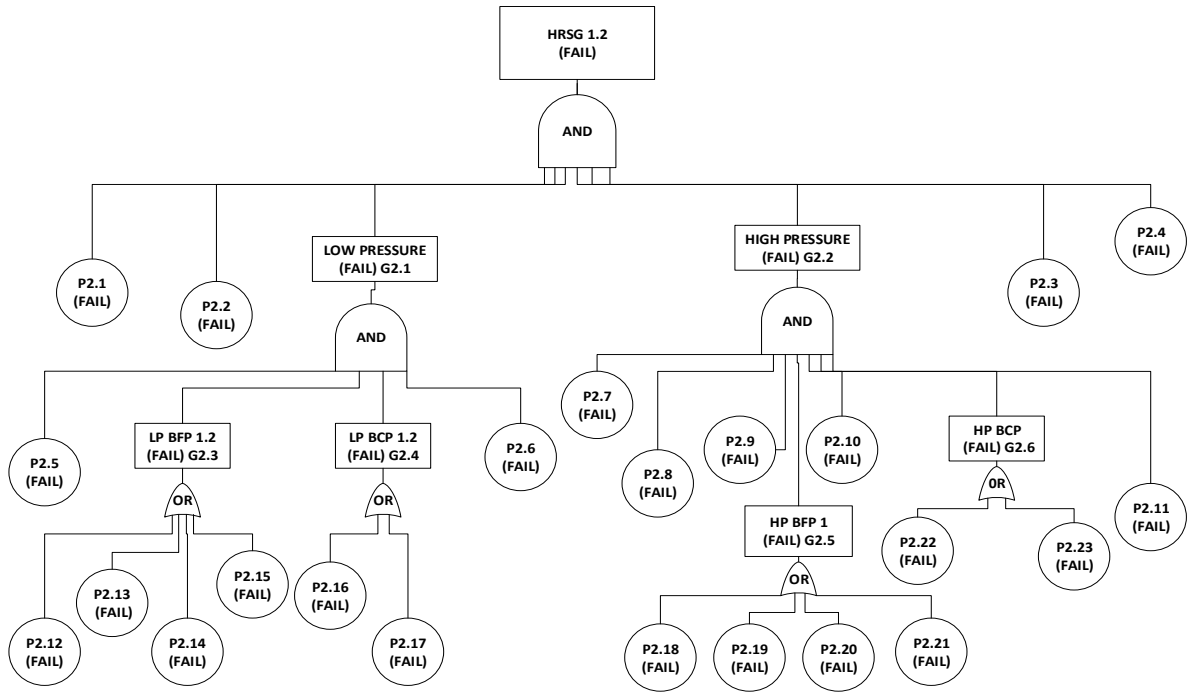
Proses pengolahan data dimulai dengan menentukan nilai TTF tiap komponen terlebih dahulu. TTF diperoleh dengan mencari waktu kerusakan dari data *history* sistem HRSG. Berdasarkan data TTF tersebut dapat dilakukan pengujian distribusi waktu kegagalan setiap komponen.

3.4.2 Penentuan Distribusi Waktu Kegagalan

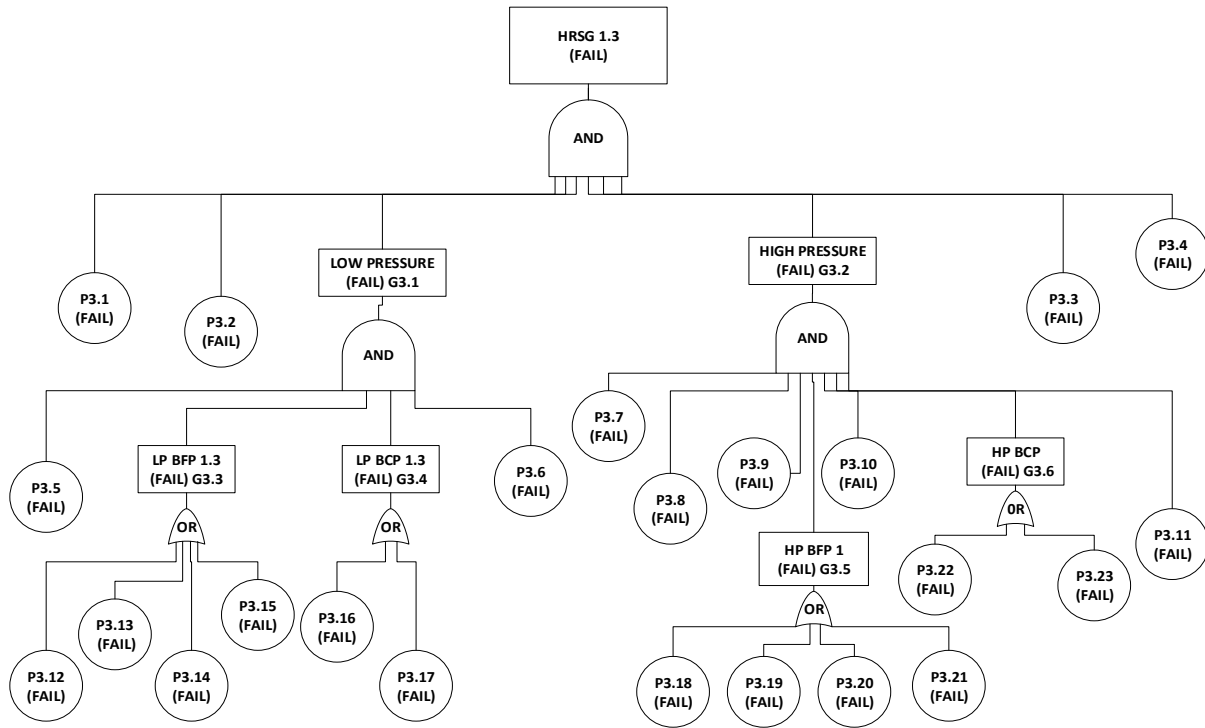
Penentuan distribusi waktu kegagalan berfungsi untuk memperoleh kemungkinan terjadinya kerusakan pada waktu tertentu. Penentuan distribusi waktu kegagalan didukung oleh *software weibull* version ++8 dari *ReliaSoft*.



Gambar 3.3 Diagram *Fault Tree* Sistem HRSG 1.1



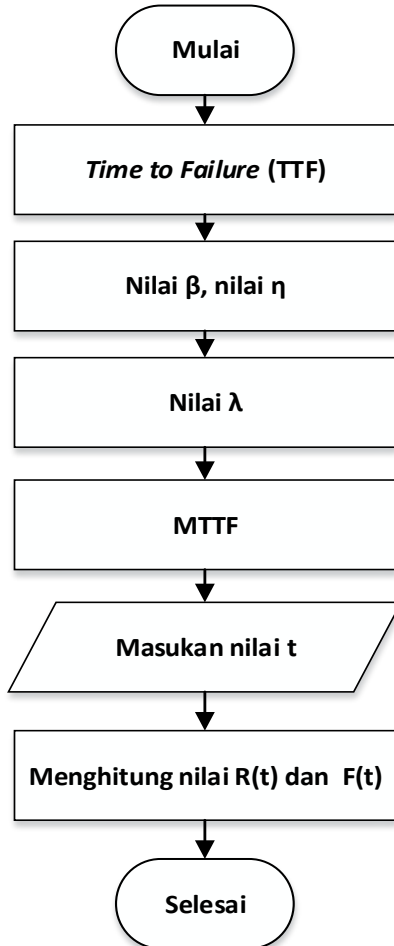
Gambar 3.4 Diagram *Fault Tree* Sistem HRSRG 1.2



Gambar 3.5 Diagram *Fault Tree* Sistem HRSG 1.3

3.5 Diagram Alir Analisis Kuantitatif pada *Basic Event*

Diagram alir analisis kuantitatif ditunjukkan pada **Gambar 3.6** dimana pada gambar tersebut diawali dengan menentukan nilai TTF dari masing-masing komponen HRSG dan dilanjutkan ke tahap berikutnya.



Gambar 3.6 Diagram Alir Analisis Kuantitatif pada *Basic Event*

Untuk mendapatkan nilai keandalan HRSG, terlebih dahulu harus diketahui parameter-parameternya. Berikut adalah parameter-parameter dan tahap-tahap untuk melakukan analisis kuantitatif pada *basic event* :

3.5.1 Time to Failure (TTF)

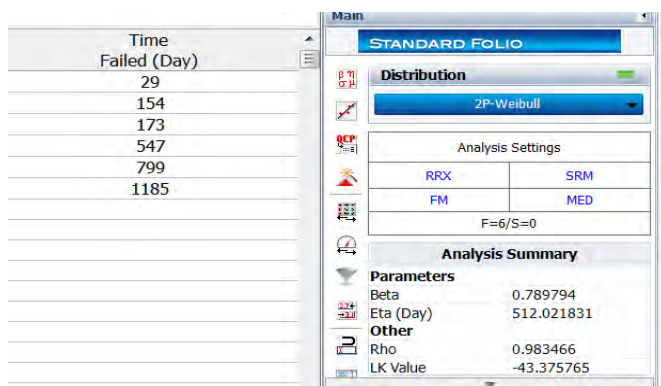
Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data *Corrective maintenance* sistem HRSG berupa data kegagalan dari tahun 2004 sampai 2014. **Gambar 3.7** di bawah ini menunjukkan contoh nilai TTF pada *Condesate Extraction Pump A*.

	WO Type			
	Description	Maint Type Description	Raise Dte	TTF (DAY)
	MAINTENANCE	CORRECTIVE MAINTENANCE		
ST 1.0 CONDENSATE EXTRACTION PUMP (A)	MAINTENANCE	CORRECTIVE MAINTENANCE	6/1/2004	
ST 1.0 CONDENSATE EXTRACTION PUMP (A)	MAINTENANCE	CORRECTIVE MAINTENANCE	6/9/2004	8
ST 1.0 CONDENSATE EXTRACTION PUMP (A)	MAINTENANCE	CORRECTIVE MAINTENANCE	2/13/2006	614
ST 1.0 CONDENSATE EXTRACTION PUMP (A)	MAINTENANCE	CORRECTIVE MAINTENANCE	1/25/2007	346
ST 1.0 CONDENSATE EXTRACTION PUMP (A)	MAINTENANCE	CORRECTIVE MAINTENANCE	4/1/2009	797

Gambar 3.7 Data Time to Failure CEP A

3.5.2 Failure Effect Probability (β)

Untuk parameter beta didapatkan dari running program pada *software reliasoft weibull++8*. **Gambar 3.8** menunjukkan running program untuk komponen *LP Economizer 1.1*. Dimana telah diketahui nilai beta pada komponen tersebut adalah 0.789794.



Gambar 3.8 Model Distribusi dengan *Reliasoft Weibull++8*

3.5.3 Eta (η)

Seperti halnya beta, nilai eta diperoleh dari *running* program *software reliasoft weibull++ 8* dimana nilai eta pada komponen LP *Economizer 1.1* adalah 512,021831.

3.5.4 Skala Parameter (λ)

Skala parameter adalah parameter keandalan yang diperlukan untuk mencari besaran nilai laju kerusakan dan nilai keandalan, dimana λ dapat dihitung dengan rumus,

$$\lambda_i = \frac{1}{\eta_i}$$
$$\lambda_{LP\ Eco\ 1.1} = \frac{1}{\eta_{LP\ Eco\ 1.1}} = \frac{1}{512,021831} = 0,00195304$$

3.5.5 MTTF

MTTF adalah *Mean Time to Failure* dimana waktu tiap kejadian kegagalan dibagi oleh banyaknya kejadian kegagalan. Nilai MTTF pada analisis ini didapatkan dari *running* program *Reliasoft Weibull++8* dimana untuk nilai MTTF dari LP *Economizer 1.1* adalah 481,1666667

3.5.6 Waktu Operasi (t)

waktu operasi pada pembahasan ini ditentukan adalah 365 hari

3.5.7 Nilai Keandalan R(t)

Nilai keandalan dari suatu modul dapat dicari dengan rumus

$$R(t) = e^{-\lambda t^\beta}$$
$$R(t)_{LP\ Eco\ 1.1} = e^{-\lambda t^\beta} = e^{-0,00195304 t^{0,789794}}$$
$$R(365)_{LP\ Eco\ 1.1} = 0,81362$$

3.5.8 Nilai Ketidakandalan F(t)

FT(t) merupakan fungsi distribusi komulatif sistem (*lifetime*) atau fungsi distribusi kerusakan, merupakan probabilitas terjadinya kegagalan pada waktu lebih kecil atau sama dengan t.

$$F(t) = 1-R(t)$$

$$\begin{aligned}
 F(t)_{LP\ Eco\ 1.1} &= 1 - R(t)_{LP\ Eco\ 1.1} \\
 &= 1 - 0,81362 \\
 &= 0,18638
 \end{aligned}$$

3.6 Mencari Keandalan Menggunakan FFTA

FFTA merupakan gabungan dari metode *Fault Tree Analysis* dan *Fuzzy Set Theory* yang bertujuan untuk menganalisis keandalan dan interval keandalan suatu peralatan. Berikut merupakan rumus untuk mencari keandalan dan interval keandalan setiap komponen pada HRSG.

:

$$F(t) = F_i^\lambda = [(m_i - \alpha_i) + \alpha_i \lambda, (m_i + \beta_i) - \beta_i \lambda]$$

di mana parameter α dan β merupakan nilai *lower* dan *upper bonds of the fuzzy quantity* yang didapat dari deviasi *failure probability* sedangkan m adalah nilai tengah atau nilai ketidakandalan $F(t)$ setiap komponen. Data *fuzzy failure probability* pada **Tabel 3.9** :

Tabel 3.4 *Fuzzy Failure Probability*

Simbol pada basic event	$m_{1.5}$	Lower bound ($\alpha_{1.5}$)	Upper Bound ($\beta_{1.5}$)
P1.5	0,18638	0,018638	0,018638

$$\begin{aligned}
 F(t) = F_{P1.5}^\lambda &= [(0,18638_{1.5} - 0,018638_{1.5}) + 0,018638_{1.5} \lambda, \\
 &\quad (0,18638_{1.5} + 0,018638_{1.5}) - 0,018638_{1.5} \lambda]
 \end{aligned}$$

Ketika nilai $\lambda = 1$

$$F(t) = F_{P1.5}^\lambda = [0,18638]$$

Ketika nilai $\lambda = 0$

$$F(t) = F_{P1.5}^\lambda = [0,167742 \quad 0,205018]$$

Jadi, interval keandalan komponen LP *Economizer* 1.1 adalah

$$\begin{aligned}
 R(t) &= 1 - F_{P1.5}^\lambda \\
 &= [0,794982 \quad 0,832258]
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan kendalan sistem HRSG secara keseluruhan akan dijelaskan pada bab 4.

3.7 Perangkat Lunak FFTA

Analisis keandalan HRSG PT.PJB UP Gresik dengan menggunakan metode FFTA ini akan diimplementasikan ke dalam bentuk perangkat lunak yang terdiri dari beberapa rubrik yaitu *home*, profil, HRSG, diagram *fault tree*, laporan FFTA dan *Help*. Masing-masing bagian memiliki peran dan fungsi serta keterkaitan satu dengan yang lainnya.

Tujuan adanya bagian-bagian tersebut adalah untuk mempermudah pengguna atau operator baru dalam memahami dan menggunakan perangkat lunak ini sesuai dengan kebutuhan serta kepentingan masing-masing.

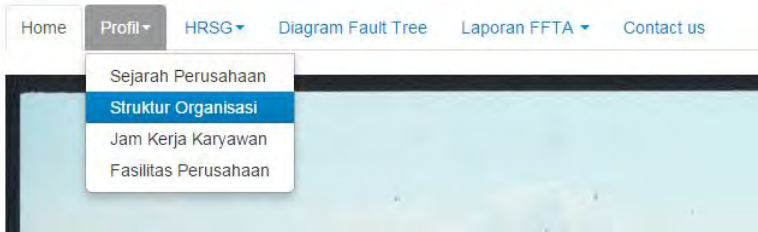
3.7.1 Bagian Sistem Informasi Penerapan FFTA

Pada bagian-bagian sistem informasi penerapan FFTA, terdapat *home* yang menjelaskan tentang keandalan sistem, plant HRSG dan penjelasan singkat tentang perangkat lunak sistem tersebut yang berbasis PHP MySQL. Tampilan *Home* ini dapat dilihat pada **Gambar 3.9**



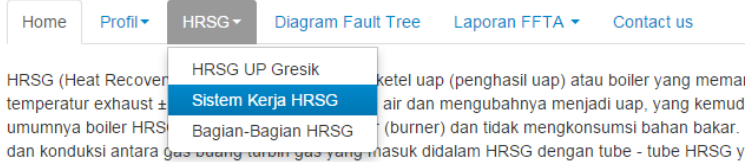
Gambar 3.9 Tampilan *Home*

Pada bagian profil, menjelaskan data - data umum tentang perusahaan PT. PJB UP Gresik seperti sejarah perusahaan, struktur organisasi, jam kerja karyawan, dan fasilitas perusahaan. Tampilan menu profil dapat dilihat pada **Gambar 3.10**



Gambar 3.10 Tampilan Sub Menu pada Profil

Penjelasan tentang HRSG juga terdapat pada salah satu bagian perangkat lunak ini, penjelasan yang ada didalamnya mengenai definisi HRSG, sistem kerja HRSG dan bagian-bagian HRSG yang digunakan untuk menganalisis keandalan sistem tersebut. Tampilan menu HRSG dapat dilihat pada gambar 3.11



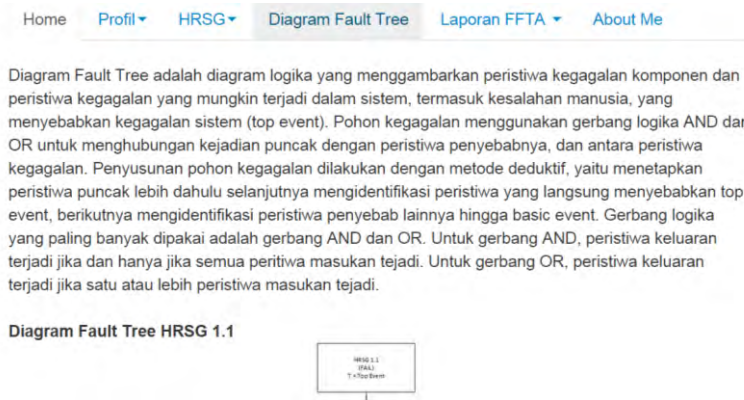
Gambar 3.11 Tampilan Sub Menu pada HRSG

3.7.2 Bagian Analisis FFTA

Bagian analisis FFTA pada perangkat lunak sistem informasi penerapan ini terbagi menjadi 3 yaitu diagram *Fault Tree*, laporan per komponen dan laporan HRSG keseluruhan

Diagram *fault tree* pada analisis ini diperlukan untuk memperoleh informasi kegagalan yang jelas dari suatu sistem dan perbaikan-perbaikan apa yang harus dilakukan. Pada menu ini juga terdapat proses identifikasi nilai minimal *cut sets* sistem HRSG yang bertujuan untuk

mempermudah pengguna dalam melakukan perhitungan kuantitatif. Tampilan diagram *fault tree* dapat dilihat pada **Gambar 3.12**.



Gambar 3.12 Tampilan Diagram *Fault Tree*

Laporan analisis kuantitatif FFTA pada sistem informasi ini berfungsi untuk membantu pengguna mengetahui keandalan dan interval keandalan dari masing-masing peralatan HRSG. Tampilan laporan per komponen dapat dilihat pada **Gambar 3.13**

Home Profil HRSG Diagram Fault Tree Laporan FFTA Contact us

HRSG -pilih-

Peralatan -pilih-

Masukan nilai(t) Hari Eta

MTF

Nilai Keandalan_R(t) Lower_Bound

F(t) Upper_Bound

Lamda (Deviasi 10% dari F(t))

Beta (Deviasi 10% dari F(t))

Laporan per komponen
Laporan Komponen Keseluruhan HRSG

Gambar 3.13 Tampilan Laporan Per Komponen

Pada menu ini juga terdapat laporan komponen keseluruhan HRSG yang disajikan dalam bentuk tabel yang bertujuan untuk mempermudah pengguna dalam menganalisis HRSG dan peralatan pendukung lainnya secara keseluruhan. Laporan ini mencakup informasi data-data yang dibutuhkan pengguna dalam menentukan peralatan yang diutamakan dalam perawatan. Perangkat ini menampilkan keseluruhan parameter tersebut berdasarkan nilai t yang dimasukkan oleh pengguna. Parameter yang ditampilkan pada laporan ini yaitu nomor, nama HRSG, Simbol pada *basic event* (*Code*), Beta (β), eta (η), MTTF, nilai keandalan ($R(t)$), nilai ketidakandalan ($F(t)$), dan interval keandalan dari masing-masing komponen.

Hasil perhitungan kuantitatif pada bagian ini kemudian bisa disimpan dan dicetak dalam format pdf. Tampilan laporan komponen keseluruhan dapat dilihat pada **Gambar 3.14**.

The screenshot shows a web application interface for HRSG reporting. At the top, there are navigation links: Home, Profil, HRSG, Diagram Fault Tree, Laporan FFTA, and Contact us. Below this, there's a section for HRSG with a dropdown menu showing 'HRSG 1.2' and a sub-menu with 'Laporan per komponen' and 'Laporan Komponen Keseluruhan HRSG'. A search field labeled 'Masukan nilai(t)' contains the value '365' and a 'Cari Nilai' button. A 'Cetak' button is circled in red. Below the search area is a table with the following data:

No.	Nama HRSG	code	Failure Effect Probability (β)	eta (η)	skala parameter (λ)	Operating time (t)	MTTF	R(t)	F(t)	Lower Bound (LB)
1	Condensate Extraction Pump B (CEP B)	P2.1	0.906463	559.21	0.0017882359771642	365	535	0.68665455216621	0.31334544783379	0.65537604097447
2	Deaerator 2.0	P2.2	0.845329	710.629	0.0014072040403642	365	602	0.81365144268853	0.18634855741147	0.79504280989168
3	Exhaust Damper 1.2	P2.3	0.755332	312.105	0.0032040495190977	365	291.846	0.74610448324436	0.25389551675564	0.72079628095979

Gambar 3.14 Tampilan Laporan Komponen Keseluruhan

BAB 4 PENGUJIAN SISTEM

Bab pengujian sistem dibagi menjadi 2 bagian. Pada bagian pertama dijelaskan mengenai tujuan dan jenis pengujian sistem yang akan dilakukan. Sedangkan bagian kedua berisi tentang pengujian analisis kualitatif dan kuantitatif serta keluaran perangkat lunak.

4.1 Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai keandalan dan parameter-parameter pada sistem HRSG yang menggunakan metode FFTA. Dari penelitian ini juga dapat dilihat kelebihan dan kekurangan dari perangkat lunak yang digunakan. Pada pengujian perangkat lunak akan diberi masukan berupa parameter-parameter sistem HRSG dan waktu operasi t (hari). Keluaran dari perangkat lunak yang berupa laporan keseluruhan HRSG akan dibandingkan dengan perhitungan nilai keandalan yang didapatkan secara perhitungan matematis. Keluaran dari perangkat lunak ini berupa informasi dari sistem HRSG secara keseluruhan dan *rangking* peralatan yang diprioritaskan untuk mendapatkan perawatan.

4.2 Pengujian Analisis Kualitatif

Dari diagram *fault tree* yang telah dirancang pada bab 3, dapat dilakukan pengujian analisis kualitatif dengan melakukan penurunan secara *top down*, yaitu gate “Tn” pada *set top event* diganti dengan *set gate* “Gn” pada *Intermediate event* dan seterusnya ke bawah. Hasil dari analisis *top down* ini disebut sebagai nilai minimal *cut sets*.

Untuk lebih jelas tahap pencarian minimal *cut sets* dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini:

di mana :

- T_n = *Top event* (HRSG ke-n)
- P = *Primary event* (*basic event*)
- G = *Intermediate event*
- “+” = *Gate OR*
- “*” = *Gate AND*

➤ Pada HRSG 1.1

$$\begin{aligned}T_{1,1} &= (P1.1) * (P1.2) * (G1.1) * (G1.2) * (P1.3) * (P1.4) \\G1.1 &= (P1.5) * (G1.3) * (G1.4) * (P1.6) \\G1.3 &= (P1.12) + (P1.13) + (P1.14) + (P1.15) \\G1.4 &= (P1.16) + (P1.17) \\G1.2 &= (P1.7) * (P1.8) * (P1.9) * (G1.5) * (P1.10)*(G1.6)*(P1.11) \\G1.5 &= (P1.18) + (P1.19) + (P1.20) + (P1.21) \\G1.6 &= (P1.22) + (P1.23)\end{aligned}$$

➤ Pada HRSG 1.2

Untuk lebih jelas tahap pencarian *cut sets* dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini:

$$\begin{aligned}T_{2,1} &= (P2.1) * (P2.2) * (G2.1) * (G2.2) * (P2.3) * (P2.4) \\G2.1 &= (P2.5) * (G2.3) * (G2.4) * (P2.6) \\G2.3 &= (P2.12) + (P2.13) + (P2.14) + (P2.15) \\G2.4 &= (P2.16) + (P2.17) \\G2.2 &= (P2.7) * (P2.8) * (P2.9) * (G2.5) * (P2.10)*(G2.6)*(P2.11) \\G2.5 &= (P2.18) + (P2.19) + (P2.20) + (P2.21) \\G2.6 &= (P2.22) + (P2.23)\end{aligned}$$

➤ Pada HRSG 1.3

Untuk lebih jelas tahap pencarian *cut sets* dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini:

$$\begin{aligned}T_{3,1} &= (P3.1) * (P3.2) * (G3.1) * (G3.2) * (P3.3) * (P3.4) \\G2.1 &= (P3.5) * (G3.3) * (G3.4) * (P3.6) \\G3.3 &= (P3.12) + (P3.13) + (P3.14) + (P3.15) \\G3.4 &= (P3.16) + (P3.17) \\G3.2 &= (P3.7) * (P3.8) * (P3.9) * (G3.5) * (P3.10)*(G3.6)*(P3.11) \\G3.5 &= (P3.18) + (P3.19) + (P3.20) + (P3.21) \\G3.6 &= (P3.22) + (P3.23)\end{aligned}$$

Dari analisis penurunan secara *top down* tersebut ini tidak ditemukan minimal *cut sets* karena sistem HRSG tersebut sudah paling sederhana. Jadi tidak ada reduksi diagram *fault tree* pada sistem HRSG 1.1, 1.2 dan 1.3

4.3 Pengujian Analisis Keandalan Secara Kuantitatif

Setelah didapatkan data *maintenance*, dilakukan pencarian nilai distribusi waktu kegagalan dan parameter distribusi yang sesuai untuk data *time to failure* (TTF).

4.3.1 Analisis Kuantitatif Komponen pada HRSG 1.1

➤ *Condensate Extraction Pump A (CEP A)*

Tabel 4.1 Waktu Kegagalan CEP A

Peralatan	Waktu Kegagalan	TTF (Day)	MTTF
<i>Condensate Extraction Pump A (CEP A)</i>	09/06/2004	8	441,25
	13/02/2006	614	
	25/01/2007	346	
	01/04/2009	797	

Dari data TTF yang tertera di dalam **Tabel 4.1** waktu kegagalan terhitung mulai 1 Juni 2004 dan setelah itu akan dicari distribusi kegagalan dari masing-masing komponen menggunakan *software Weibull ++8*. Dari simulasi tersebut diperoleh bahwa *Condensate Extraction Pump A (CEP A)* terdistribusi *Weibull 2-Parameter*, dengan parameter :

$$Beta (\beta) = 0,511893$$

$$Eta (\eta) = 487,93245$$

Dari parameter-parameter tersebut akan didapat nilai keandalan dan ketidakandalan *Condensate Extraction Pump A*. Masing-masing komponen membutuhkan masukan waktu operasi (t) untuk mengetahui keandalan dan ketidakandalan dari komponen dapat dilihat pada **Tabel 4.2** dibawah ini :

Tabel 4.2 Nilai Keandalan CEP A

Waktu Operasi (t) hari	Nilai keandalan R(t)	Nilai ketidakandalan F(t)
365	0,95837	0,04163

➤ **Analisa kuantitatif Dearator 1.0**

Tabel 4.3 Waktu Kegagalan Dearator 1.0

Peralatan	Waktu Kegagalan	TTF (Day)	MTTF
Dearator 1.0	17/06/2004	16	543,55
	23/05/2007	1070	
	18/08/2008	545	

Dari data TTF yang tertera di dalam **Tabel 4.3** waktu kegagalan terhitung mulai 1 Juni 2004 dan setelah itu akan dicari distribusi kegagalan dari masing-masing komponen menggunakan *software Weibull ++8* . Dari simulasi tersebut diperoleh bahwa Dearator 1.0 terdistribusi *Weibull 2-Parameter*, dengan parameter

$$Beta (\beta) = 0,445865$$

$$Eta (\eta) = 588,58229$$

Dari parameter-parameter tersebut akan didapat nilai keandalan dan ketidakandalan Dearator 1.0. Masing-masing komponen membutuhkan masukan waktu operasi (t) untuk mengetahui keandalan dan ketidakandalan dari komponen ditampilkan pada **Tabel 4.4**. Adapun cara perhitungannya sudah dijelaskan pada bab 3.

Tabel 4.4 Nilai Keandalan Dearator 1.0

Waktu Operasi (t) hari	Nilai keandalan R(t)	Nilai ketidakandalan F(t)
365	0,97669	0,02331

➤ *Analisa kuantitatif Exhaust Damper 1.1*

Tabel 4.5 Waktu Kegagalan *Exhaust Damper 1.1*

Peralatan	Waktu Kegagalan	TTF (Day)	MTTF
<i>Exhaust Damper 1.1</i>	18/11/2008	170	620,83
	14/09/2006	665	
	19/09/2006	5	
	12/02/2007	146	
	19/09/2007	219	
	31/05/2010	985	
	25/04/2011	329	
	25/09/2013	884	

Dari data TTF yang tertera di dalam **Tabel 4.5** waktu kegagalan terhitung mulai 1 Juni 2004 dan setelah itu akan dicari distribusi kegagalan dari masing-masing komponen menggunakan *software Weibull ++8*. Dari simulasi tersebut diperoleh bahwa *Exhaust Damper 1.1* terdistribusi Weibull 2-Parameter, dengan parameter :

$$Betha (\beta) = 0,71385$$

$$Eta (\eta) = 717,62094$$

Dari parameter-parameter tersebut akan didapat nilai keandalan dan ketidakandalan *Exhaust Damper 1.1*. Masing-masing komponen membutuhkan masukan waktu operasi (t) untuk mengetahui nilai keandalan dan ketidakandalan dari komponen disajikan pada **Tabel 4.6**. Adapun cara perhitungannya sudah dijelaskan pada bab 3.

Tabel 4.6 Nilai Keandalan *Exhaust Damper 1.1*

Waktu Operasi (t) hari	Nilai keandalan R(t)	Nilai ketidakandalan F(t)
365	0,91027	0,08973

4.3.2 Analisis Kuantitatif Komponen pada HRSG 1.2

➤ LP Evaporator 1.2

Tabel 4.7 Waktu Kegagalan LP Evaporator 1.2

Peralatan	Waktu Kegagalan	TTF (Day)	MTTF
LP Evaporator 1.2	13/04/2005	316	385
	11/08/2006	485	
	06/09/2007	391	
	12/08/2008	341	
	07/09/2008	26	
	24/06/2010	655	
	07/10/2011	470	
	20/10/2011	13	
	27/11/2013	769	

Dari data TTF yang tertera di dalam **Tabel 4.7** waktu kegagalan terhitung mulai 1 Juni 2004 dan setelah itu akan dicari distribusi kegagalan dari masing-masing komponen menggunakan *software Weibull ++8*. Dari simulasi tersebut diperoleh bahwa *Exhaust Damper* 1.1 terdistribusi *Weibull 2-Parameter*, dengan parameter :

$$Beta (\beta) = 0,827457$$

$$Eta (\eta) = 426,515938$$

Dari parameter-parameter tersebut akan didapat nilai keandalan dan ketidakandalan LP Evaporator 1.2 (LP BFP 1.1). Masing - masing komponen membutuhkan masukan waktu operasi (t) untuk mengetahui nilai keandalan dan ketidakandalan dari komponen disajikan pada pada **Tabel 4.8**. Adapun cara perhitungannya sudah dijelaskan pada bab 3.

Tabel 4.8 Nilai Keandalan LP Evaporator 1.2

Waktu operasi (t) hari	Nilai keandalan R(t)	Nilai ketidakandalan F(t)
365	0,87547	0,12453

➤ **HP Evaporator 1.2**

Tabel 4.9 Waktu Kegagalan HP *Evaporator 1.2*

Peralatan	Waktu Kegagalan	TTF (Day)	MTTF
<i>HP Evaporator 1.2</i>	27/06/2006	756	591
	14/08/2006	48	
	15/09/2010	1493	
	19/11/2010	65	

Dari data TTF yang tertera di dalam **Tabel 4.9** waktu kegagalan terhitung mulai 1 Juni 2004 dan setelah itu akan dicari distribusi kegagalan dari masing-masing komponen menggunakan *software Weibull ++8*. Dari simulasi tersebut diperoleh bahwa *Exhaust Damper 1.1* terdistribusi Weibull 2-Parameter, dengan parameter :

$$Beta (\beta) = 0,629162$$

$$Eta (\eta) = 520,632126$$

Dari parameter-parameter tersebut akan didapat nilai keandalan dan ketidakandalan HP *Evaporator 1.2* (LP BFP 1.1). Masing - masing komponen membutuhkan masukan waktu operasi (t) untuk mengetahui nilai keandalan dan ketidakandalan dari komponen disajikan pada **Tabel 4.10**. Adapun cara perhitungannya sudah dijelaskan pada bab 3.

Tabel 4.10 Nilai keandalan HP *Evaporator 1.2*

Waktu Operasi (t) hari	Nilai keandalan R(t)	Nilai ketidakandalan F(t)
365	0,85572	0,14428

➤ **Preheater 1.2**

Tabel 4.11 Waktu Kegagalan *Preheater 1.2*

Peralatan	Waktu Kegagalan	TTF (Day)	MTTF
<i>Preheater 1.2</i>	13/04/2005	316	512
	03/04/2006	355	
	06/04/2006	3	
	11/08/2006	127	
	24/06/2010	1413	
	29/10/2012	858	

Dari data TTF yang tertera di dalam **Tabel 4.11** waktu kegagalan terhitung mulai 1 Juni 2004 dan setelah itu akan dicari distribusi kegagalan dari masing-masing komponen menggunakan *software Weibull ++8* . Dari simulasi tersebut diperoleh bahwa *Preheater 1.1* terdistribusi Weibull 2-Parameter, dengan parameter :

$$Beta (\beta) = 0,508191$$

$$Eta (\eta) = 517,655197$$

Dari parameter-parameter tersebut akan didapat nilai keandalan dan ketidakandalan *Preheater 1.2*. Masing-masing komponen membutuhkan masukan waktu operasi (t) untuk mengetahui nilai keandalan dan ketidakandalan dari komponen disajikan pada **Tabel 4.12**. Adapun cara perhitungannya sudah dijelaskan pada bab 3.

Tabel 4.12 Nilai Keandalan *Preheater 1.2*

Waktu Operasi (t) hari	Nilai keandalan R(t)	Nilai ketidakandalan F(t)
365	0,85572	0,14428

4.3.3 Analisa Kuantitatif Komponen pada HRSG 1.3

➤ LP Boiler Feed Pump 3A (LP BFP 3A)

Tabel 4.13 Waktu Kegagalan LP BFP 3A

Peralatan	Waktu Kegagalan	TTF (Day)	MTTF
LP Boiler Feed Pump 3A (LP BFP 3A)	04/11/2004	156	407
	14/09/2005	314	
	02/01/2007	475	
	06/02/2007	35	
	24/07/2008	534	
	05/11/2009	469	
	04/10/2012	1064	
	02/05/2014	575	
	12/06/2014	41	

Dari data TTF yang tertera di dalam **Tabel 4.13** waktu kegagalan terhitung mulai 1 Juni 2004 dan setelah itu akan dicari distribusi kegagalan dari masing-masing komponen menggunakan *software Weibull ++8*. Dari simulasi tersebut diperoleh bahwa *Exhaust Damper 1.1* terdistribusi Weibull 2-Parameter, dengan parameter :

$$Beta (\beta) = 0,962437$$

$$Eta (\eta) = 443,309899$$

Dari parameter-parameter tersebut akan didapat nilai keandalan dan ketidakandalan LP *Boiler Feed Pump 3A*. Masing-masing komponen membutuhkan masukan waktu operasi (t) untuk mengetahui nilai keandalan dan ketidakandalan dari komponen disajikan pada **Tabel 4.14**. Adapun cara perhitungannya sudah dijelaskan pada bab 3.

Tabel 4.14 Nilai Keandalan LP BFP 3A

Waktu Operasi (t) hari	Nilai keandalan R(t)	Nilai ketidakandalan F(t)
365	0,93739	0,06261

➤ **LP Boiler Feed Pump 3B (LP BFP 3B)**

Tabel 4.15 Waktu Kegagalan LP BFP 3B

Peralatan	Waktu Kegagalan	TTF (Day)	MTTF
<i>LP Boiler Feed Pump 3B (LP BFP 3B)</i>	25/04/2005	328	289,2
	25/09/2006	518	
	09/10/2006	14	
	06/02/2007	120	
	15/05/2007	98	
	01/04/2008	322	
	23/10/2009	570	
	12/11/2009	20	
	20/11/2009	8	

Dari data TTF yang tertera di dalam **Tabel 4.15** waktu kegagalan terhitung mulai 1 Juni 2004 dan setelah itu akan dicari distribusi kegagalan dari masing-masing komponen menggunakan *software Weibull ++8*. Dari simulasi tersebut diperoleh bahwa *Exhaust Damper 1.1* terdistribusi *Weibull 2-Parameter*, dengan parameter :

$$Beta (\beta) = 0,680652$$

$$Eta (\eta) = 263,624973$$

Dari parameter-parameter tersebut akan didapat nilai keandalan dan ketidakandalan *LP Boiler Feed Pump 3B*. Masing-masing komponen membutuhkan masukan waktu operasi (t) untuk mengetahui nilai keandalan dan ketidakandalan dari komponen ditampilkan pada **Tabel 4.16**. Adapun cara perhitungannya sudah dijelaskan pada bab 3.

Tabel 4.16 Nilai Keandalan LP BFP 3B

Waktu Operasi (t) hari	Nilai keandalan R(t)	Nilai ketidakandalan F(t)
365	0,810261	0,189739

➤ **HP Boiler Circulating Pump A (HP BCP 3B)**

Tabel 4.17 Waktu Kegagalan HP BCP 3B

Peralatan	Waktu Kegagalan	TTF (Day)	MTTF
<i>HP Boiler Circulating Pump A (HP BCP 3B)</i>	20/07/2004	49	410,28
	12/08/2004	23	
	20/03/2007	950	
	28/03/2007	8	
	07/08/2008	498	
	19/08/2008	12	
	12/04/2012	1332	

Dari data TTF yang tertera di dalam **Tabel 4.17** waktu kegagalan terhitung mulai 1 Juni 2004 dan setelah itu akan dicari distribusi kegagalan dari masing-masing komponen menggunakan *software Weibull ++8* . Dari simulasi tersebut diperoleh bahwa HP BCP 3B terdistribusi Weibull 2-Parameter, dengan parameter :

$$Betha (\beta) = 0,680652$$

$$Eta (\eta) = 263,624973$$

Dari parameter-parameter tersebut akan didapat nilai keandalan dan ketidakandalan LP BCP 3B. Masing-masing komponen membutuhkan masukan waktu operasi (t) untuk mengetahui nilai keandalan dan ketidakandalan dari komponen disajikan pada **Tabel 4.18**. Adapun cara perhitungannya sudah dijelaskan pada bab 3.

Tabel 4.18 Nilai Keandalan HP BCP 3B

Waktu Operasi (t) hari	Nilai keandalan R(t)	Nilai ketidakandalan F(t)
365	0,907265	0,092735

4.4 Pengujian Analisis Keandalan Menggunakan FFTA

Setelah mendapatkan nilai keandalan dan ketidakandalan dari masing-masing peralatan, tahap berikutnya adalah menggabungkan nilai kuantitatif tersebut ke dalam *Fuzzy Set Theory* yang bertujuan untuk menganalisis interval keandalan suatu peralatan.

Berikut merupakan rumus untuk mencari nilai interval keandalan pada komponen setiap HRSG :

$$F(t) = F_i^\lambda = [(m_i - \alpha_i) + \alpha_i\lambda, (m_i + \beta_i) - \beta_i\lambda]$$

Dimana : $m_i = F(t)$
 $\alpha_i = 10 \% * F(t) \Leftrightarrow$ (deviasi 10 % dari nilai F(t))
 $\beta_i = 10 \% * F(t) \Leftrightarrow$ (deviasi 10 % dari nilai F(t))

Tabel 4.19 Nilai *Lower* dan *Upper Bonds* pada HRSG 1.1

No	Nama peralatan	Code	m_i	α_i	β_i
1	<i>Condesate Extraction Pump A</i>	P1.1	0,04163	0,004163	0,004163
2	<i>Dearator 1.0</i>	P1.2	0,02331	0,002331	0,002331
3	<i>Exhaustt Damper 1.1</i>	P1.3	0,08973	0,008973	0,008973

4.4.1 *Condesate Extraction Pump A (CEP A)*

$$F(t) = F_{P1.1}^\lambda = [(0,04163_{1.1} - 0,004163) + 0,004163_{1.1}\lambda, (0,04163 + 0,004163_{1.1}) - 0,004163_{1.1}\lambda]$$

Ketika nilai $\lambda = 1$

$$F(t) = F_{P1.1}^\lambda = [0,04163]$$

Ketika nilai $\lambda = 0$

$$F(t) = F_{P1.1}^\lambda = [0,037467 \ 0,045793]$$

Jadi, interval keandalan komponen CEP A adalah

$$R(t) = 1 - (F_{P1.1}^\lambda) = [0,954207 \ 0,962533]$$

4.4.2 Dearator 1.0

$$F(t) = F_{P1.2}^\lambda = [(0,02331_{1.2} - 0,002331) + 0,002331_{1.2}\lambda, \\ (0,02331 + 0,002331_{1.2}) - 0,002331_{1.2}\lambda]$$

Ketika nilai $\lambda = 1$

$$F(t) = F_{P1.2}^\lambda = [0,02331]$$

Ketika nilai $\lambda = 0$

$$F(t) = F_{P1.2}^\lambda = [0,020979 \quad 0,025641]$$

Jadi, interval keandalan komponen *Dearator 1.0* adalah

$$R(t) = 1 - (F_{P1.2}^\lambda) \\ = [0,974359 \quad 0,979021]$$

4.4.3 Exhaust Damper 1.1

$$F(t) = F_{P1.3}^\lambda = [(0,08973_{1.3} - 0,008973) + 0,008973_{1.3}\lambda, \\ (0,08973 + 0,008973_{1.3}) - 0,008973_{1.3}\lambda]$$

Ketika nilai $\lambda = 1$

$$F(t) = F_{P1.3}^\lambda = [0,08973]$$

Ketika nilai $\lambda = 0$

$$F(t) = F_{P1.3}^\lambda = [0,080757 \quad 0,098703]$$

Jadi, interval keandalan komponen *Exhaust Damper 1.1* adalah

$$R(t) = 1 - (F_{P1.3}^\lambda) \\ = [0,901297 \quad 0,919243]$$

Tabel 4.20 Nilai Deviasi *Lower dan Upper Bonds* pada HRSG 1.2

No	Nama peralatan	Code	m_i	α_i	β_i
1	<i>LP Evaporator 1.2</i>	P2.6	0,265973	0,0265973	0,0265973
2	<i>HP Evaporator 1.2</i>	P2.8	0,075614	0,0075614	0,0075614
3	<i>Preheater 1.2</i>	P2.9	0,037994	0,0037994	0,0037994

4.4.4 LP Evaporator 1.2

$$F(t) = F_{P2.6}^\lambda = [(0,265973_{2.6} - 0,0265973) + 0,0265973_{2.6}\lambda, \\ (0,265973 + 0,0265973_{2.6}) - 0,02659733_{2.6}\lambda]$$

Ketika nilai $\lambda = 1$

$$F(t) = F_{P2.6}^\lambda = [0,265973]$$

Ketika nilai $\lambda = 0$

$$F(t) = F_{P2.6}^\lambda = [0,239376 \quad 0,29257]$$

Jadi, interval keandalan komponen *LP Evaporator 1.2* adalah

$$R(t) = 1 - (F_{P2.6}^\lambda) \\ = [0,70743 \quad 0,760624]$$

4.4.5 HP Evaporator 1.2

$$F(t) = F_{P2.8}^\lambda = [(0,075614_{2.8} - 0,0075614) + 0,0075614_{2.8}\lambda, \\ (0,075614 + 0,0075614_{2.8}) - 0,0075614_{2.8}\lambda]$$

Ketika nilai $\lambda = 1$

$$F(t) = F_{P2.8}^\lambda = [0,075614]$$

Ketika nilai $\lambda = 0$

$$F(t) = F_{P2.8}^\lambda = [0,068053 \quad 0,083175]$$

Jadi, interval keandalan komponen *HP Evaporator 1.2* adalah

$$R(t) = 1 - (F_{P2.8}^\lambda) \\ = [0,916825 \quad 0,931947]$$

4.4.6 Preheater 1.2

$$F(t) = F_{P2.9}^\lambda = [(0,037994_{2.9} - 0,0037994) + 0,0037994_{2.9}\lambda, \\ (0,037994 + 0,0037994_{2.9}) - 0,0037994_{2.9}\lambda]$$

Ketika nilai $\lambda = 1$

$$F(t) = F_{P2.9}^\lambda = [0,037994]$$

Ketika nilai $\lambda = 0$

$$F(t) = F_{P2.9}^\lambda = [0,034195 \quad 0,041793]$$

Jadi, interval keandalan komponen *Preheater 1.2* adalah

$$R(t) = 1 - (F_{P2.9}^\lambda) \\ = [0,958207 \quad 0,965805]$$

Tabel 4.21 Nilai Deviasi *Lower* dan *Upper Bonds* pada HRSG 1.3

No	Nama peralatan	Code	m_i	α_i	β_i
1	<i>LP Boiler Feed Pump 3A</i>	P3.12	0,482987	0,0482987	0,0482987
2	<i>LP Boiler Feed Pump 3B</i>	P3.13	0,189739	0,0189739	0,0189739
3	<i>HP Boiler Circulating Pump 1.3A</i>	P3.22	0,092735	0,0092735	0,0092735

4.4.7 *LP Boiler Feed Pump 3A*

$$F(t) = F_{P3.12}^\lambda = [(0,482987_{3.12} - 0,0482987) + 0,0482987_{3.12}\lambda, (0,482987 + 0,0482987_{3.12}) - 0,0482987_{3.12}\lambda]$$

Ketika nilai $\lambda = 1$

$$F(t) = F_{P3.12}^\lambda = [0,0482987]$$

Ketika nilai $\lambda = 0$

$$F(t) = F_{P3.12}^\lambda = [0,434688, 0,531286]$$

Jadi, interval keandalan komponen *LP Boiler Feed Pump 3A* adalah

$$R(t) = 1 - (F_{P3.12}^\lambda) = [0,468714 \ 0,565312]$$

4.4.8 *LP Boiler Feed Pump 3B*

$$F(t) = F_{P3.13}^\lambda = [(0,189739_{3.13} - 0,0189739) + 0,0189739_{3.13}\lambda, (0,189739 + 0,0189739_{3.13}) - 0,0189739_{3.13}\lambda]$$

Ketika nilai $\lambda = 1$

$$F(t) = F_{P3.13}^\lambda = [0,189739]$$

Ketika nilai $\lambda = 0$

$$F(t) = F_{P3.13}^\lambda = [0,170765 \ 0,208713]$$

Jadi, interval keandalan komponen *LP Boiler Feed Pump 3B* adalah

$$R(t) = 1 - (F_{P3.13}^\lambda) = [0,791287 \ 0,829235]$$

4.4.9 HP Boiler Circulating Pump 1.3A

$$F(t) = F_{P3.22}^\lambda = [(0,092735_{3.22} - 0,0092735) + 0,0092735_{3.22}\lambda, (0,092735 + 0,0092735_{3.22}) - 0,0092735_{3.22}\lambda]$$

Ketika nilai $\lambda = 1$

$$F(t) = F_{P3.22}^\lambda = [0,092735]$$

Ketika nilai $\lambda = 0$

$$F(t) = F_{P3.22}^\lambda = [0,083462, 0,102009]$$

Jadi, interval keandalan komponen *LP Boiler Feed Pump 3B* adalah

$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - (F_{P3.22}^\lambda) \\ &= [0,897992 \ 0,916539] \end{aligned}$$

Dari analisis yang telah dilakukan pada total 69 peralatan HRSG, terdapat 3 peralatan yang mempunyai nilai keandalan dan interval keandalan sangat rendah, yaitu *LP Economizer 1.2*, *HP Economizer 1.2* dan *LP Boiler Feed Pump 3A*. Untuk Analisis semua komponen (*basic event*) pada setiap HRSG dapat dilihat pada lampiran A.

Dari hasil analisis keandalan dan interval keandalan masing-masing peralatan HRSG, akan didapatkan nilai keandalan sistem HRSG secara keseluruhan. Tahap pertama adalah menghitung nilai probabilitas dari *minimal cut sets* yang telah dianalisis pada pembahasan sebelumnya. Dan berikutnya adalah menterjemahkan *basic event* tersebut ke dalam operasi *fuzzy* gerbang *AND* (struktur seri) dan operasi *fuzzy* gerbang *OR* (struktur paralel). Berikut merupakan contoh pengujian keandalan secara keseluruhan pada sistem HRSG 1.1

➤ operasi *fuzzy* gerbang *OR*

$$F_s^{OR} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i)$$

$$\begin{aligned} G1.3_{R(t)} &= 1 - ((1 - 0,00850) * (1 - 0,14551) * (1 - 0,12229) \\ &\quad * (1 - 0,13359)) \\ &= 0,385671 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G1.4_{R(t)} &= 1 - ((1 - 0,05971) * (1 - 0,05971)) \\ &= 0,174156 \end{aligned}$$

$$G1.5_{R(t)} = 1 - ((1 - 0,05074) * (1 - 0,02432) * (1 - 0,02203) * (1 - 0,12556)) \\ = 0,227184$$

$$G1.6_{R(t)} = 1 - ((1 - 0,13429) * (1 - 0,13887)) \\ = 0,277918$$

➤ operasi *fuzzy* gerbang *AND*

$$F_s^{and} = \prod_{i=1}^n E_i = F_1 F_2 \dots F_n$$

$$G1.2_{R(t)} = (0,14504) * (0,14428) * (0,18637) * (0,227184) \\ *(0,14052) * (0,277918) * (0,06261) \\ = 0,00000349$$

$$G1.1_{R(t)} = (0,06301) * (0,385671) * (0,174156) * (0,12453) \\ = 0,000527$$

$$T_{1.1_{R(t)}} = (0,04163) * (0,02331) * (G1.1) * (G1.2) * (0,08973) \\ *(0,11974) \\ = 0,00000000000000192$$

Jadi, nilai keandalan sistem HRSG 1.1

$$R(t) = 1 - 0,00000000000000192 \\ = 0,99999999999999810$$

Setelah nilai keandalan sistem HRSG didapatkan, tahap selanjutnya adalah mencari interval keandalan sistem secara keseluruhan. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada pembahasan dibawah ini:

➤ **Mencari nilai F(t) Lower Bound**

$$G1.3_{Lower_Bound} = 1 - ((1 - 0,990651) * (1 - 0,839935) * (1 - 0,865482) \\ *(1 - 0,853055)) \\ = 0,6752034$$

$$G1.4_{Lower_Bound} = 1 - ((1 - 0,934318) * (1 - 0,8839)) \\ = 0,1436257$$

$$\begin{aligned} G1.5 \text{ Lower_Bound} &= 1 - ((1-0,944187) * (1-0,97325) * (1-0,975768) \\ &\quad * (1-0,861881)) \\ &= 0,188453 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G1.6 \text{ Lower_Bound} &= 1 - ((1-0,852277) * (1-0,847238)) \\ &= 0,2307449 \end{aligned}$$

➤ operasi fuzzy gerbang *AND*

$$F_s^{and} = \prod_{i=1}^n E_i = F_1 F_2 \dots F_n$$

$$\begin{aligned} G1.2 \text{ Lower_Bound} &= (0,0840454) * (0,841289) * (0,794992) * (g5) \\ &\quad * (0,845428) * (g6) * (0,931134) \\ &= 0,000000881 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G1.1 \text{ Lower_Bound} &= (0,930685) * (0,6752034) * (0,1436257) \\ &\quad * (0,863016) \\ &= 0,0006164 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(t)_{1.1} \text{ Lower_Bound} &= (0,954206) * (0,974362) * (0,0006164) \\ &\quad * (0,000000881) * (0,901302) * (0,868291) \\ &= 0,00000000000000371 \end{aligned}$$

➤ **Mencari nilai F(t) Upper Bound**

$$\begin{aligned} G1.3 \text{ Upper_Bound} &= 1 - ((1-0,992351) * (1-0,869038) * (1-0,88994) \\ &\quad * (1-0,879772)) \\ &= 0,3856707 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G1.4 \text{ Upper_Bound} &= 1 - ((1-0,94626) * (1-0,905009)) \\ &= 0,1741561 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G1.5 \text{ Upper_Bound} &= 1 - ((1-0,954335) * (1-0,978113) * (1-0,980174) \\ &\quad * (1-0,886994)) \\ &= 0,2271835 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G1.6 \text{ Upper_Bound} &= 1 - ((1-0,879136) * (1-0,875013)) \\ &= 0,2779185 \end{aligned}$$

➤ operasi *fuzzy* gerbang *AND*

$$F_s^{and} = \prod_{i=1}^n E_i = F_1 F_2 \dots F_n$$

$$\begin{aligned} G1.2 \text{ Upper_Bound} &= (0,869462) * (0,870146) * (0,832266) * (0,2271835) \\ &\quad * (0,873532) * (0,2779185) * (0,943655) \\ &= 0,000003489 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G1.1 \text{ Upper_Bound} &= (0,943287) * (0,3856707) * (0,1741561) * (0,887923) \\ &= 0,0006378 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(t)_{1.1 \text{ Upper_Bound}} &= (0,962532) * (0,979023) * (0,0006378) \\ &\quad * (0,000003489) * (0,919247) * (0,892238) \\ &= 0,00000000000003396 \end{aligned}$$

Jadi, nilai Keandalan *Lower Bound* dan *Upper Bound* sistem HRSG 1.1

$$\begin{aligned} R_{(t) \text{ Lower_Bound}} &= 1 - F(t)_{\text{Upper_Bound}} \\ &= 1 - 0,00000000000003396 \\ &= 0,999999999999966 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{(t) \text{ Upper_Bound}} &= 1 - F(T)_{\text{Lower_Bound}} \\ &= 1 - 0,00000000000003714 \\ &= 0,999999999999966 \end{aligned}$$

Analisis keandalan dan interval keandalan dari sebuah sistem HRSG secara keseluruhan telah tertera pada **Tabel 4.22**. Selanjutnya, perhitungan untuk sistem HRSG 1.2 dan HRSG 1.3 dapat dilakukan dengan cara yang sama seperti pembahasan sistem HRSG 1.1

Tabel. 4.22 Nilai Keandalan dan Interval Sistem HRSG

Nama Sistem	$R(t)_{Lower Bound}$	$R(t)$	$R(t)_{Upper Bound}$
HRSG 1.1	0,999999999999966	0,999999999999981	0,999999999999996
HRSG 1.2	0,999999997571782	0,999999998957070	0,999999999526955
HRSG 1.3	0,999999999999950	0,999999999999990	0,999999999999999

4.5 Pengujian Keluaran Perangkat Lunak

Pada Pengujian keluaran perangkat lunak, HRSG yang telah dianalisis melalui beberapa tahap menghasilkan suatu keluaran dimana hasil tersebut ditampilkan dalam sebuah laporan dengan bentuk perangkat lunak berbasis pemrograman PHP dan MySQL.

FFTA analisis yang menjadi bagian penting pada perangkat ini akan diuji dengan masukan serta *database* yang sudah didefinisikan sebelumnya. Masukan untuk menguji sistem ini yaitu menentukan HRSG dan jenis peralatan yang diinginkan pengguna untuk dianalisis. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis peralatan secara kuantitatif. Keluaran dari pengujian ini berupa nilai beta, eta, MTTF, keandalan dan ketidakandalan serta intervalnya. Dalam menentukan peralatan maka pengguna memilih salah satu dari 3 HRSG yang akan dianalisis. Dicontohkan pada **Gambar 4.1** penentuan HRSG yang diinginkan untuk dianalisis yaitu pada HRSG 1.1.

Masing-masing dari HRSG memiliki 23 peralatan yang dijadikan pilihan dalam menganalisis secara lebih spesifik terhadap peralatan yang diinginkan. Seperti terlihat pada **Gambar 4.2** pada pengujian ini diperlihatkan untuk peralatan *Condensate Extraction Pump A* yang merupakan bagian penting dari produksi uap yang dihasilkan oleh HRSG.

Home Profil HRSG Diagram Fault Tree Laporan FFTA About Me

HRSG Beta

Peralatan

- pilih-
- HRSG 1.1-
- HRSG 1.2-
- HRSG 1.3-

Masukan nilai(t) Hari MTTF

Gambar 4.1 Penentuan HRSG

Setelah menentukan HRSG dan jenis peralatan yang ingin dianalisis, dilanjutkan pengujian untuk mengetahui keandalan peralatan secara kuantitatif. Informasi awal yang diberikan yaitu nilai beta, eta dan MTTF dari masing-masing peralatan. Selanjutnya perangkat lunak ini diberikan masukan t dalam hari. Setelah itu, akan didapatkan nilai keandalan dan interval keandalan peralatan HRSG sebagai keluarannya. Tampilan analisis kuantitatif per komponen dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



Sistem Informasi Penerapan Metode Fuzzy Fault Tree

HRSG UP

ik 61112
2-31-3981568

Home Profil HRSG About Me

HRSG

Peralatan Eta

Masukan nilai(t) Hari MTTF

- pilih-
- Condensate Extraction Pump A (CEP A)
- Deaerator 1.0
- Exhaust Damper 1.1
- Blown down 1.1
- LP Economizer 1.1 (LP BFP 1A)
- HP Evaporator 1.1
- HP Economizer 1.1
- HP Evaporator 1.1
- Preheater 1.1
- Superheater 1.1
- Desuppreheater 1.1
- LP Boiler Feed Pump 1A (LP BFP 1A)
- LP Boiler Feed Pump 1B (LP BFP 1B)
- LP Boiler Feed Pump 1C (LP BFP 1C)
- LP Boiler Feed Pump 1D (LP BFP 1D)
- LP Boiler Circulating Pump 1.1A (LP BCP 1.1A)
- LP Boiler Circulating Pump 1.1B (LP BCP 1.1B)
- HP Boiler Feed Pump 1A (HP BFP 1A)
- HP Boiler Feed Pump 1B (HP BFP 1B)

Gambar 4.2 Menentukan Peralatan HRSG

Pada pengujian **Gambar 4.3** diberikan t selama 365 hari atau setara dengan 1 tahun. Pada laporan ini terlihat bahwa untuk peralatan *Condensate Extraction Pump A* memiliki nilai keandalan pada saat $t = 365$ hari adalah sebesar 0,95886 dan memiliki interval keandalan sebesar 0,95475 dan 0,96298.

Pengujian keluaran perangkat lunak ini sesuai dengan hasil penentuan model distribusi menggunakan *software weibull ++* versi 8.

The screenshot shows a web-based interface for FFTA analysis. The top navigation bar includes 'Home', 'Profil', 'HRSG', 'Diagram Fault Tree', 'Laporan FFTA', and 'About Me'. The main content area is titled 'HRSG' and contains several input fields and a 'Cari Nilai' button. The input fields are: 'HRSG' (set to '-HRSG 1.1-'), 'Peralatan' (set to 'Condensate Extraction Pump A'), 'Masukan nilai(t)' (set to '365'), 'Beta' (set to '0.511893'), 'Eta' (set to '487.932'), and 'MTTF' (set to '441.25'). Below the 'Cari Nilai' button, the output fields are: 'Nilai Keandalan_R(t)' (0.95886874294458), 'Lower_Bound' (0.95475561723904), 'Upper_Bound' (0.96298186865012), 'F(t)' (0.041131257055417), 'Lamda (Deviasi 10% dari F(t))' (0.0041131257055417), and 'Beta (Deviasi 10% dari F(t))' (0.0041131257055417).

Gambar 4.3 Analisis Perangkat Lunak FFTA Per Komponen

Setelah didapatkan keandalan dan interval keandalan dari masing-masing HRSG, tahap selanjutnya adalah pengujian laporan sistem HRSG secara keseluruhan yang ditampilkan dalam bentuk tabel. Laporan ini bertujuan agar pengguna dapat mengetahui prioritas peralatan ketika waktu t . Peralatan yang memiliki keandalan paling kecil akan berada di prioritas utama untuk mendapatkan perawatan. Sebaliknya, peralatan yang memiliki keandalan yang tinggi akan berada di urutan prioritas yang rendah untuk mendapatkan perawatan dikarenakan masih mampu melakukan kerja dengan baik. Berikut merupakan contoh pengujian perangkat lunak analisa FFTA secara keseluruhan pada sistem HRSG 1.1. Tampilan analisa FFTA semua peralatan dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.

Hasil analisis kuantitatif pada bagian ini kemudian dapat di simpan dan dicetak dalam format pdf. Tujuannya untuk mempermudah pengguna dalam kegiatan pemeliharaan dan pengarsipan data keandalan secara periodik.

No.	Nama HRSG	code	Failure Effect Probability (β)	eta (η)	skala parameter (λ)	Operating time (t)	MTTF	R(t)	F(t)	Lower Bound (LB)	Upper Bound (UB)
1	Condensate Extraction Pump A (CEP A)	P1.1	0.511893	487.932	0.0020494659091841	365	441.25	0.95886874294458	0.041131257055417	0.95476404694995	0.96297343893921
2	Dearator 1.0	P1.2	0.445865	588.582	0.0016989986102191	365	543.667	0.97669127855171	0.023308721448294	0.97436436655541	0.979018190548
3	Exhaustt Damper 1.1	P1.3	0.71385	717.621	0.0013934932227457	365	620.833	0.91026901513736	0.089730984862644	0.90130842060302	0.91922960967169
4	Blown down 1.1	P1.4	0.690328	460.471	0.0021716894223523	365	425.375	0.88026497442421	0.11973502557579	0.86831747459548	0.89221247425293
5	LP Economizer 1.1 (LP BFP 1A)	P1.5	0.561859	422.817	0.0023650893885534	365	468.25	0.93698585616508	0.063014143834918	0.93069934518988	0.94327236714028
6	LP Evaporator 1.1	P1.6	0.656873	362.463	0.0027589022879577	365	458.625	0.87546893156154	0.12453106843846	0.86305018162266	0.88788768150042
7	HP Economizer 1.1	P1.7	0.719895	446.173	0.0022412830897432	365	451.375	0.85495756566574	0.14504243433426	0.84048583034785	0.86942930098363
8	HP Evaporator 1.1	P1.8	0.722462	455.563	0.0021950860803006	365	445.857	0.85571701705066	0.14428298294934	0.84132039011247	0.87011364398884

Gambar 4.4 Analisis Perangkat Lunak untuk FFTA Semua Peralatan

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

LAMPIRAN A

HRSG 1.1

No	Nama peralatan HRSG 1.1	β	η	MTTF	t (hari)	R(t)	R(t)_L	R(t)_U
1	CEP A	0,511893	487,9325	441,250	365	0,95837	0,954206	0,962532
2	Dearator 1.0	0,445865	588,5823	543,666	365	0,97669	0,974362	0,979023
3	Exhaustt Damper 1.1	0,713850	717,6209	620,833	365	0,91027	0,901302	0,919247
4	Blown down 1.1	0,690328	460,4708	425,375	365	0,88026	0,868291	0,892238
5	LP BFP 1.1	0,561859	422,8169	468,250	365	0,93699	0,930685	0,943287
6	LP Evaporator 1.1	0,656873	362,4635	458,625	365	0,87547	0,863016	0,887923
7	HP Economizer 1.1	0,719895	446,1728	451,375	365	0,85496	0,840454	0,869462
8	HP Evaporator 1.1	0,722462	455,5627	445,857	365	0,85572	0,841289	0,870146
9	Preheater 1.1	0,789794	512,0218	481,166	365	0,81363	0,794992	0,832266
10	Superheater 1.1	0,646633	299,6741	360,857	365	0,85948	0,845428	0,873532

No	Nama peralatan HRSG 1.1	β	η	MTTF	t (hari)	R(t)	R(t)_L	R(t)_U
11	Desupreheater 1.1	0,638347	668,4385	608,800	365	0,93739	0,931134	0,943655
12	LP BFP 1A	0,381301	1111,178	986,500	365	0,99150	0,990651	0,992351
13	LP BFP 1B	0,743045	509,6573	438,250	365	0,85449	0,839935	0,869038
14	LP BFP 1C	0,625055	306,3152	324,875	365	0,87771	0,865482	0,889940
15	LP BFP 1D	0,730858	520,1679	508,857	365	0,86641	0,853055	0,879772
16	LP BCP 1.1A	0,579101	494,8495	543,142	365	0,94029	0,934318	0,946260
17	LP BCP 1.1B	0,672719	474,5334	462,000	365	0,89445	0,883900	0,905009
18	HP BFP 1A	0,541223	467,9172	444,000	365	0,94926	0,944187	0,954335
19	HP BFP 1B	0,426854	504,0282	506,000	365	0,97568	0,973250	0,978113
20	HP BFP 1C	0,338578	330,9117	514,000	365	0,97797	0,975768	0,980174
21	HP BFP 1D	0,719891	521,0759	607,000	365	0,87444	0,861881	0,886994
22	HP BCP 1.1A	0,713253	466,1943	580,800	365	0,86571	0,852277	0,879136
23	HP BC _p 1.1B	0,723934	478,9014	574,400	365	0,86113	0,847238	0,875013

HRSG 1.2

No	Komponen HRSG 1.2	beta	eta	MTTF	t (hari)	R(t)	R(t)_L	R(t)_U
1	CEP B	0,906483	559,2097	535,000	365	0,68665	0,655320	0,717989
2	Dearator 2.0	0,845329	710,6293	602,000	365	0,81365	0,795017	0,832286
3	Exhaustt Damper 1.2	0,765332	312,1049	291,846	365	0,74610	0,720715	0,771494
4	Blown down 1.2	0,808313	459,1000	443,000	365	0,77369	0,751060	0,796322
5	LP Economizer 1.2	0,997098	461,7302	427,000	365	0,45974	0,405718	0,513770
6	LP Evaporator 1.2	0,827457	426,5159	385,000	365	0,73403	0,707430	0,760625
7	HP Economizer 1.2	0,997098	461,7302	427,000	365	0,45974	0,405718	0,513770
8	HP Evaporator 1.2	0,629162	520,6321	591,000	365	0,92439	0,916824	0,931947
9	Preheater 1.2	0,508191	517,6552	512,000	365	0,96201	0,958207	0,965806
10	Superheater 1.2	0,816885	416,2396	389,857	365	0,74254	0,716790	0,768282
11	Desupreheater 1.2	0,799906	401,9332	385,111	365	0,75662	0,732282	0,780958

No	Komponen HRSG 1.2	beta	eta	MTTF	t (hari)	R(t)	R(t)_L	R(t)_U
12	LP BFP 2A	0,746448	355,4247	393,875	365	0,79447	0,773921	0,815026
13	LP BFP 2B	0,753816	433,5282	453,500	365	0,82119	0,803304	0,839067
14	LP BFP 2C	0,650535	364,5849	420,222	365	0,88041	0,868450	0,892368
15	LP BFP 2D	0,701790	511,9105	497,285	365	0,88449	0,872940	0,896042
16	LP BCP 1.2A	0,711493	372,6885	421,000	365	0,83650	0,820150	0,852850
17	LP BCP 1.2B	0,755661	555,2895	508,666	365	0,85599	0,841594	0,870395
18	HP BFP 2A	0,672870	406,8862	447,125	365	0,87792	0,865710	0,890126
19	HP BFP 2B	0,668240	310,8726	389,222	365	0,84720	0,831916	0,862477
20	HP BFP 2C	0,627528	281,0678	406,875	365	0,86568	0,852244	0,879108
21	HP BFP 2D	0,669415	229,5283	283,000	365	0,79760	0,777356	0,817837
22	HP BCP 1.2A	0,689055	385,1011	462,500	365	0,85955	0,845500	0,873591
23	HP BCp 1.2B	0,771173	385,9967	390,857	365	0,78261	0,760867	0,804346

HRSG 1.3

No	Nama peralatan HRSG 1.3	beta	eta	MTTF	t (hari)	R(t)	R(t)_L	R(t)_U
1	CEP C	0,525453	1038,828	919,666	365	0,978856	0,976742	0,979067
2	Dearator 3.0	0,533184	1005,072	936,333	365	0,977146	0,974860	0,977374
3	Exhaustt Damper 1.3	0,637211	298,9687	379,555	365	0,866251	0,852876	0,867589
4	Blown down 1.3	0,802290	404,0628	455,125	365	0,754761	0,730237	0,757213
5	LP BFP 1.3	0,763966	318,1125	368,000	365	0,751975	0,727173	0,754456
6	LP Evaporator 1.3	0,478333	1997,827	1643,50	365	0,991620	0,990782	0,991704
7	HP Economizer 1.3	0,763966	318,1125	367,000	365	0,751975	0,727173	0,754456
8	HP Evaporator 1.3	0,714416	964,0851	864,000	365	0,932194	0,925413	0,932872
9	Preheater 1.3	0,533623	281,5735	475,800	365	0,920592	0,912651	0,921386
10	Superheater 1.3	0,549545	366,6307	450,000	365	0,932579	0,925837	0,933253
11	Desupreheater 1.3	0,323617	535,0022	594,750	365	0,987465	0,986212	0,987591

No	Nama peralatan HRSG 1.3	beta	eta	MTTF	t (hari)	R(t)	R(t)_L	R(t)_U
12	LP BFP 3A	0,962437	443,3099	407,000	365	0,517013	0,468714	0,521843
13	LP BFP 3B	0,680652	263,625	289,200	365	0,810261	0,791287	0,812158
14	LP BFP 3C	0,663827	288,3688	358,300	365	0,840155	0,824170	0,841753
15	LP BFP 3D	0,667410	284,2373	375,800	365	0,834873	0,818360	0,836524
16	LP BCP 1.3A	0,763976	342,3055	326,100	365	0,767267	0,743993	0,769594
17	LP BCP 1.3B	0,737285	692,6811	619,800	365	0,894185	0,883604	0,895243
18	HP BFP 3A	0,614413	347,1712	389,888	365	0,897552	0,887307	0,898576
19	HP BFP 3B	0,581802	273,0298	310,333	365	0,892811	0,882092	0,893883
20	HP BFP 3C	0,713994	256,8445	367,000	365	0,768818	0,745700	0,771130
21	HP BFP 3D	0,651201	249,9977	299,250	365	0,829875	0,812863	0,831577
22	HP BCP 1.3A	0,536997	244,1946	410,285	365	0,907265	0,897991	0,908192
23	HP BCp 1.3B	0,822604	411,1680	369,900	365	0,732203	0,705423	0,734881

LAMPIRAN B

B1. Listing Program Halaman Judul

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
  "http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<title>Untitled Document</title>
</head>
<?php
echo "<center><h2> <font color='green'>Sistem Informasi Penerapan Metode
  <em> Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA)</em> Pada HRSG UP Gresik </font></h2></center>
<center><h3> Alamat : Jl. Harun Tohir Gresik 61112 </h3></center>
<center><h4> Telepon : 62-31-3981569, 3984540, Fax : 62-31-3981568 </h4></center>";
?>
</body>
</body>
</html>
```

B.2 Listing Program Tampilan Menu Utama (Rubrik)

```
<div class="row-fluid">
<div class="span15">
  <ul class="nav nav-tabs" id="myTab">
    <li class="active"><a href="index.php">Home</a></li>
    <li class="dropdown">
      <a class="dropdown-toggle" id="dLabel" role="button" data-toggle="dropdown">Profil<b
      class="caret"></b></a>
      <ul class="dropdown-menu">
        <li ><a href="SejarahPerusahaan.php" >Sejarah Perusahaan</a></li>
        <li ><a href="StrukturOrganisasi.php">Struktur Organisasi</a></li>
        <li ><a href="JamKerjaKaryawan.php">Jam Kerja Karyawan</a></li>
        <li ><a href="FasilitasPerusahaan.php">Fasilitas Perusahaan</a></li>
      </ul>
    </li>
    <li class="dropdown">
      <a class="dropdown-toggle" id="dLabel" role="button" data-toggle="dropdown">HRSG<b
      class="caret"></b></a>
      <ul class="dropdown-menu">
        <li ><a href="HRSGUpGresik.php" >HRSG UP Gresik</a></li>
        <li ><a href="SistemKerjaHRSG.php">Sistem Kerja HRSG</a></li>
        <li ><a href="BagianBagianHRSG.php">Bagian-Bagian HRSG</a></li>
      </ul>
    </li>
    <li><a href="DiagramFaultTree.php">Diagram Fault Tree</a></li>
    <li class="dropdown">
```

```

<a class="dropdown-toggle" id="dLabel" role="button" data-toggle="dropdown">
Laporan FFTA <b class="caret"></b></a>
<ul class="dropdown-menu">
  <li ><a href="LaporanPerKomponen.php" >Laporan per komponen</a></li>
  <li ><a href="LaporanKomponenKeseluruhanHRSG.php">
Laporan Komponen Keseluruhan HRSG</a></li>
</ul>
</li>
<li><a href="aboutme.php">About Me</a></li>
</ul>
</div>
</div>

```

B.3. Listing Program Menu Home

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/bootstrap.css" media="screen" />
  <link rel="stylesheet" type="text/javascript" href="js/bootstrap.js" media="screen" />
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="layout.css" media="screen" />
<title>Halaman Utama</title>
</head>
<body>
  <script src="jquery.js"></script>
  <script src="js/bootstrap.min.js"></script>
  <div class="row-fluid">
  <div class="span10 offset1">
  <br>
  <div class="row-fluid">
  <div class="body1">
<div class="span2">
  
</div>
  <div class="span7">
  <?php include 'judul.php' ?>
  </div>
  <div class="span2">
```

```

        <div class="span2">
            
        </div>
    </div>
</div>
<hr>

<div class="row-fluid">
    <div class="span15">
        <!--Start menu-->
        <?php include('menu.php');?>
        <!--end menu-->

        <div class="tab-content">
            <div class="tab-pane active" id="home">
<center><br/></center>
            <br>
            <tr>
                <td>
                    Analisis keandalan telah dikenal sejak tahun 1960 dengan obyek analisis
                    pada bidang penerbangan oleh Nowlan dan Heap, kemudian dikembangkan pada
                    bidang lain seperti perkapalan, militer dan industri.
                </td>
            </tr>
        </tr>
    </div>

```

Keandalan sistem bertujuan untuk menganalisis kemampuan suatu peralatan atau sistem dapat menjalankan misinya dalam kurun waktu tertentu. Penerapan teori analisis keandalan dapat digunakan sebagai acuan sebuah sistem atau peralatan produksi untuk dapat bekerja dengan baik, atau dapat didefinisikan sebagai probabilitas sistem dapat menjalankan fungsinya pada waktu tertentu dalam kondisi yang ideal. Analisis keandalan akan menginformasikan hal - hal penting yang diperlukan dalam pemeliharaan sistem.

</p>

</tr>

<tr>

Di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap merupakan pembangkit yang memanfaatkan gas buang untuk memanaskan tube HRSG agar menghasilkan steam yang berguna untuk memutar steam turbin, supaya unit tetap andal maka diperlukan perlakuan sesuai SOP serta pemeliharaan secara berkala. Namun semua itu tidak menjamin unit akan andal, karena banyak sekali yang menyebabkan unit tidak andal. Dalam hal ini HRSG contohnya permasalahan yang sering dialami oleh HRSG adalah kebocoran tube - tube HRSG.

</p>

</tr>

<tr>

Dalam menentukan nilai keandalan peralatan HRSG akan digunakan metode Fuzzy Fault Tree Analysis. FFTA di gunakan untuk menginformasikan suatu bentuk kegagalan dan perfoma dari komponen pada HRSG, serta informasi ini dapat dijadikan acuan sebagai penentuan langkah yang tepat dalam melakukan pemeliharaan peralatan HRSG.

</p>

</tr>

```
<tr>
  Sistem informasi Penerapan ini disajikan untuk menyediakan informasi terhadap peralatan,
  hal ini dapat menunjang kegiatan operator dalam melakukan pemeliharaan.
</tr>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</body>
</html>
```


B.4. Listing Program Menu Diagram Fault Tree

```
<?php include('menu.php');?>
<!--start of article-->
```

Diagram Fault Tree adalah diagram logika yang menggambarkan peristiwa kegagalan komponen dan peristiwa kegagalan yang mungkin terjadi dalam sistem, termasuk kesalahan manusia, yang menyebabkan kegagalan sistem (top event). Pohon kegagalan menggunakan gerbang logik AND dan OR untuk menghubungkan kejadian puncak dengan peristiwa penyebabnya, dan antara peristiwa kegagalan. Penyusunan pohon kegagalan dilakukan dengan metode deduktif, yaitu menetapkan peristiwa puncak lebih dahulu selanjutnya mengidentifikasi peristiwa yang langsung menyebabkan top event, berikutnya mengidentifikasi peristiwa penyebab lainnya hingga basic event. Gerbang logika yang paling banyak dipakai adalah gerbang AND dan OR. Untuk gerbang AND, peristiwa keluaran terjadi jika dan hanya jika semua peristiwa masukan terjadi. Untuk gerbang OR, peristiwa keluaran terjadi jika satu atau lebih peristiwa masukan terjadi.

```
<br>
```

```
<br>
```

```
<b>Diagram Fault Tree HRSK 1.1</b>
```

```
<br>
```

```
<center><br/></center>
```

```
<br>
```

```
<b>Minimal Cut Sets</b>
```

```
<br>
```

```
<br>
```

```
Persamaan Logika Top Down ( "+" = "OR", "*" = "AND" ) adalah sebagai berikut :
```

```
<br>
```

```
<br>
```



```
<table>
<tr>
  <td width="200"> T (Top Event) </td>
  <td> = (P1.1) * (P1.2) * (G1.1) * (G1.2) * (P1.3) * (P1.4) </td>
</tr>
<tr>
  <td> G1.1 </td>
  <td> = (P1.5) * (G1.3) * (G1.4) * (P1.6) </td>
</tr>
<tr>
  <td> G1.2 </td>
  <td> = (P1.7) * (P1.8) * (P1.9) * (G1.5) * (P1.10) * (G1.6) * (P1.11) </td>
</tr>
<tr>
  <td> G1.3 </td>
  <td> = (P1.12) + (P1.13) + (P1.14) + (P1.15) </td>
</tr>
<tr>
  <td> G1.4 </td>
  <td> = (P1.16) + (P1.17) </td>
</tr>
<tr>
  <td> G1.5 </td>
  <td> = (P1.18) + (P1.19) + (P1.20) + (P1.21) </td>
</tr>
```

```

</tr>
<tr>
  <td> G1.6 </td>
  <td> =(P1.22)+(P1.23) </td>
</tr>
<tr>
  <b><td colspan=2> Subtitusi </td>
</tr>
<tr>
  <td> G1.2 </td>
  <td> =(P1.7) * (P1.8) * (P1.9) * ((P1.18)+(P1.19)+(P1.20) +
    (P1.21) ) * (P1.10) * ((P1.22)+(P1.23)) * (P1.11) </td>
</tr>
<tr>
  <td> G1.1</td>
  <td> =(P1.5) * ((P1.12) + (P1.13) + (P1.14) + (P1.15)
    * ((P1.16)+(P1.17)) * (P1.6)</td>
</tr>
<tr>
  <td> T (Top Event) </td>
  <td> =(P1.1) * (P1.2) * ((P1.5) * ((P1.12)+(P1.13)+(P1.14)+
    (P1.15)) * ((P1.16)+(P1.17)) * (P1.6) * (P1.7) * (P1.8)
    * (P1.9) * ((P1.18)+(P1.19)+(P1.20)+(P1.21)) * (P1.10)
    * ((P1.22)+(P1.23)) * (P1.11) * (P1.3) * (P1.4) </td>
</table>
<b><td colspan=2> =====</td>

```

```

<br>
<br>
<b>Diagram Fault Tree HRS&G 1.2</b>
<br>
<center><br></center>
<br>
<b>Minimal Cut Sets</b>
<br>
<br>
<table>
<tr>
<td width="200">T (Top Event)</td>
<td>
= (P2.1) * (P2.2) * ((P2.5) * ((P2.12) + (P2.13) + (P2.14) + (P2.15))
* ((P2.16) + (P2.17)) * (P2.6) * (P2.7) * (P2.8) * (P2.9) * ((P2.18)
+ (P2.19) + (P2.20) + (P2.21)) * (P2.10) * ((P2.22) + (P2.23))
* (P2.11) * (P2.3) * (P2.4) </td>
</tr>
</table>
<b><td colspan=2> =====</td>
<br>
<br>
<b>Diagram Fault Tree HRS&G 1.3</b>
<br>
<center><br></center>
<br>
<b>Minimal Cut Sets</b>

```

```

<br>
<br>
<table>
  <tr>
    <td width="200">T(Top Event)</td>
    <td>=(P2.1) * (P2.2) * ((P2.5) * ((P2.12)+(P2.13)+(P2.14)+(P2.15))
      * ((P2.16)+(P2.17)) * (P2.6) * (P2.7) * (P2.8) * (P2.9) * ((P2.18)
      +(P2.19)+(P2.20)+(P2.21)) * (P2.10) * ((P2.22)+(P2.23))
      * (P2.11) * (P2.3) * (P2.4)</td>
  </tr>
</table>
<b><td colspan=2> =====</td>
<br>
<br>
<b>Diagram Fault Tree HRSG 1.3</b>
<br>
<center><br/></center>
<br>
<b>Minimal Cut Sets</b>

```

B.5. Listing Program Menu Laporan FFTA

B.5.1 Listing Program Laporan Per Komponen

```
<?php include('menu.php');?>
<div class="row-fluid">
<div class="span14">
<table>
<tr>
<td style='width:200px'>HRSG</td>
<td style='width:300px'>
<form method="GET" action="LaporanPerKomponen.php">
<select name='id_HRSG_tbitem' onChange='this.form.submit()'>
<option >-pilih-</option>
<option <?php if(isset($_GET['id_HRSG_tbitem']) AND $_GET['id_HRSG_tbitem']==1)
echo 'selected';?> value=1>-HRSG 1.1-</option>
<option <?php if(isset($_GET['id_HRSG_tbitem']) AND $_GET['id_HRSG_tbitem']==2)
echo 'selected';?> value=2>-HRSG 1.2-</option>
<option <?php if(isset($_GET['id_HRSG_tbitem']) AND $_GET['id_HRSG_tbitem']==3)
echo 'selected';?> value=3>-HRSG 1.3-</option>
</select>
</form>
</td>
<td style='width:50px'>Beta</td>
```

```

<td><input type="text" value="<?php if(isset($_GET['t'])) echo $_GET['beta'];?>"/></td>
</tr>
<form method="GET" action="LaporanPerKomponen.php">
<tr>
<td>Peralatan</td>
<td>
<?php
if(isset($_GET['component'])) {
echo '<input name="component" type="hidden" value=' . $_GET['component'] . '>';
}
if(isset($_GET['id_HRSG_tbitem'])) {
echo '<input name="id_HRSG_tbitem" type="hidden" value=' . $_GET['id_HRSG_tbitem'] . '>';
}
if(isset($_GET['id_HRSG_tbitem'])) {
$query_sql = mysqli_query($con, "SELECT * FROM tabel_Item WHERE id_HRSG_tbitem=" . $_GET['id_HRSG_tbitem']);
}
?>
<select name="component" onChange='this.form.submit() '>
<option >Pilih</option>
<?php

```

```

if(ISSET($_GET['id_HRSG_tbitem'])):??
<?php while($array_sql = mysqli_fetch_array($query_sql)):??
<?php $data_tablex = $array_sql['Nama_Item'];
$data_nilaix = $array_sql['id_item'];??
<option <?php if(isset($_GET['component']) AND $data_nilaix==$_GET['component'])
echo 'selected';?? value="<?php echo $data_nilaix;??"><?php echo $data_tablex;??</option>
<?php endwhile;??
<?php endif;??
</select>
</td>
<td>Eta</td>
<td><input type="text" value="<?php if(isset($_GET['t'])) echo $_GET['eta'];??"/></td>
</tr>
</form>
<form method="GET" action="LaporanPerKomponen.php">
<?php
if(isset($_GET['id_HRSG_tbitem']) AND !isset($_GET['component'])) {
$query_sqlx = mysqli_query($con,"SELECT * FROM tabel_Item a, tabel_modul b
WHERE a.id_item=b.id_item AND a.id_HRSG_tbitem=".$_GET['id_HRSG_tbitem']);
}??
<?php

```



```

if(isset($_GET['component'])) {
$query_sqlx = mysqli_query($con, "SELECT * FROM tabel_Item a, tabel_modul b
WHERE a.id_item=b.id_item AND a.id_item=".$_GET['component']);
}??
<?php    if(isset($_GET['component'])) ) {
while($array_sqlxx = mysqli_fetch_array($query_sqlx)){
$id_item = $array_sqlxx['id_item'];
$beta = $array_sqlxx['beta'];
$eta = $array_sqlxx['eta'];
$mttf = $array_sqlxx['mttf'];
echo '<input name="beta" type=hidden value='.$beta.'>';
echo '<input name="eta" type=hidden value='.$eta.'>';
echo '<input name="mttf" type=hidden value='.$mttf.'>';
echo '<input name="id_HRSG_tbitem" type=hidden value='.$_GET['id_HRSG_tbitem'].'>';
echo '<input name="component" type=hidden value='.$_GET['component'].'>';
}
}
??
<?php

```

```
$beta="";
$eta="";
$mttf="";
if(isset($_GET['beta']) AND isset($_GET['eta']) AND isset($_GET['t'])) {
$beta=$_GET['beta'];
$eta=$_GET['eta'];
$mttf=$_GET['mttf'];
$t=$_GET['t'];
$m="";
$rt="";
$ft="";
$alfa_d="";
$beta_d="";
$lamda="";
$f1="";
$lb="";
$f1="";
$ub="";
$rt=exp(-(1/$eta)*(pow($t,$beta)));
$ft=1-$rt;
```

```

$alfa_d=(10/100)*$ft;
$beta_d=(10/100)*$ft;
$m=$ft;
$lamda=0;
$fu=($m+$beta_d)-($beta_d*$lamda);
$lb=1-$fu;
$f1=($m-$alfa_d)+($alfa_d*$lamda);
$sub=1-$f1;
}
?>
<tr>
<td >Masukan nilai(t)</td>
<td><input name="t" type="text" value="<?php if(isset($_GET['t'])) echo $_GET['t'] ;?>" /> Hari</td>
<td >MTTF</td>
<td><input type="text" value="<?php if(isset($_GET['t'])) echo $mttf;?>" /></td>
</tr>
<tr>
<td ></td>
<td><button align="right" type="submit" class="button"> Cari Nilai</button></td>
<td></td>

```

```

<td></td>
<td></td>
</tr>
</form>
</table>
<p/>
<table >
<tr>
<td style='width:200px'>Nilai Keandalan  $R(t)$ </td>
<td style='width:300px'><input type="text" value="<?php if(isset($_GET['t'])) echo $rt;?>" /></td>
<td style='width:50px'>Lower_Bound</td>
<td ><input type="text" value="<?php if(isset($_GET['t'])) echo $lb;?>" /></td>
</tr>
<tr>
<td > $F(t)$ </td>
<td><input type="text" value="<?php if(isset($_GET['t'])) echo $ft;?>" /></td>
<td>Upper_Bound</td>
<td><input type="text" value="<?php if(isset($_GET['t'])) echo $ub;?>" /></td>
</tr>
<tr>
<td>Lamda (Deviasi 10% dari  $F(t)$ )</td>
<td><input type="text" value="<?php if(isset($_GET['t'])) echo $alfa_d; ?>" /></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>

```

```
<td>Beta (Deviasi 10% dari F(t))</td>
<td><input type="text" value="<?php if(isset($_GET['t'])) echo $beta_d;?>" /></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</table>
</div>
</div>
</div>
</body>
</html>
```

B.5.2 Listing HRSG Secara Keseluruhan

```
<table border='0' >
<form method="GET" action="LaporanKomponenKeseluruhanHRSG.php">
<tr>
<td style='width:200px'>HRSG</td>
<td style='width:300px'><br>
<select name='id_HRSG_tbitem'>
<option >-pilih-</option>
<option <?php if(isset($_GET['id_HRSG_tbitem']) AND $_GET['id_HRSG_tbitem']==1)
echo 'selected';?> value=1>-HRSG 1.1-</option>
<option <?php if(isset($_GET['id_HRSG_tbitem']) AND $_GET['id_HRSG_tbitem']==2)
echo 'selected';?> value=2>-HRSG 1.2-</option>
<option <?php if(isset($_GET['id_HRSG_tbitem']) AND $_GET['id_HRSG_tbitem']==3)
echo 'selected';?> value=3>-HRSG 1.3-</option>
</select>
</td>
</tr>
<tr>
<td >Masukan nilai(t)</td>
<td><input name="t" type="text" value="<?php if(isset($_GET['t'])) echo $_GET['t'];?>" /> Hari</td>
</tr>
```

```

        <tr>
        <td ></td>
        <td><button align="right" type="submit" class="button"> Cari Nilai</button></td>
        </tr>
    </form>
</table>
<br/><br/>
<a class='button' align="right" target="_blank" href="LaporanKomponenKeseluruhanHRSG_print.php"><?php
if(isset($_GET['id_HRSG_tbitem']))echo '?id_HRSG_tbitem='.$_GET['id_HRSG_tbitem']?><?php if(isset($_GET['t']))
echo '&t='.$_GET['t'];?>>Cetak</a>
    <table border="2" cellspacing="1" cellpadding="1">
    <tr>
        <th>No.</th>
        <th>Nama HRSG</th>
        <th>code</th>
        <th>Failure Effect Probability ( $\beta$ )</th>
        <th> $\eta$  ( $\lambda$ )</th>
        <th>skala parameter ( $\lambda$ )</th>
        <th>Operating time (t)</th>
        <th>MTTF</th>
        <th>R(t)</th>
        <th>F(t)</th>
        <th>Lower Bound (LB)</th>
        <th>Upper Bound (UB)</th>
        <th>Rangking</th>
    </tr>

```

```

<?php if(isset($_GET['id_HRSG_tbitem'])):?>
<?php
$no=0;
$m="" ;
$beta="";
        $eta="";
        $mttf="";
        $rt="";
        $ft="";
        $alfa_d="";
        $beta_d="";
        $lamda="";
        $fl="";
        $lb="";
        $fl="";
        $ub="";
        $item_name="";
        $rangking="";
        $p[]="";
$result = mysqli_query($con,'SELECT * FROM tabel_modul a, tabel_item b
WHERE a.id_item=b.id_item AND b.id_HRSG_tbitem="'.$_GET['id_HRSG_tbitem'].'"');
while($row = mysqli_fetch_array($result)) {
$no++;
$code=$row['kode'];
$item_name = $row['Nama_Item'];
$beta=$row['beta'];

```



```

$eta=$row['eta'];
$mttf=$row['mttf'];
$t=$_GET['t'];
$rt=exp(-(1/$eta)*(pow($t,$beta)));
$p[$no]=$rt;
$lamda=1/$eta;
$ft=1-$rt;
$alfa_d=(10/100)*$ft;
    $beta_d=(10/100)*$ft;
    $m=$ft;
    $fu=($m+$beta_d)-($beta_d*$lamda);
    $lb=1-$fu;
    $fl=($m-$alfa_d)+($alfa_d*$lamda);
    $ub=1-$fl;
    $ranking=$row['sort'];
echo "<tr>";
    echo "<td style='text-align:center'>" . $no . "</td>";
echo "<td style='text-align:center'>" . $item_name . "</td>";
echo "<td style='text-align:center'>".$code." </td>";
echo "<td style='text-align:center'>" . $beta . "</td>";
echo "<td style='text-align:center'>" . $eta . "</td>";
echo "<td style='text-align:center'>" . $lamda . "</td>";
echo "<td style='text-align:center'>" . $t . "</td>";
echo "<td style='text-align:center'>" . $row['mttf'] . "</td>";
echo "<td style='text-align:center'>" . $rt . "</td>";
echo "<td style='text-align:center'>" . $ft . "</td>";

```

```
        echo "<td style='text-align:center'>" . $lb . "</td>";
        echo "<td style='text-align:center'>" . $sub . "</td>";
        echo "<td style='text-align:center'>" . $rangking . "</td>";
        echo "</tr>";
    }
    ?>
</table>
    <?php endif;?>
    <?
mysqli_close($con);
    ?>
</div>
</div>
</div>
</div>
</body>
</html>
```

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan nilai keandalan HRSG PT. PJB UP Gresik, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari analisis yang telah dilakukan pada total 69 peralatan HRSG, terdapat 3 peralatan yang mempunyai nilai keandalan dan interval keandalan sangat rendah sehingga butuh perhatian khusus dalam perawatan. yaitu,
 - LP *Economizer* 1.2 yang mempunyai nilai keandalan 0,45974 dengan interval keandalan 0,405718 dan 0,51377.
 - HP *Economizer* 1.2 yang mempunyai nilai keandalan 0,45974 dengan interval keandalan 0,405718 dan 0,51377.
 - LP *Boiler Feed Pump* 3A yang mempunyai nilai keandalan 0,517013 dengan interval keandalan 0,468714 dan 0,521843.

2. Dengan adanya nilai interval keandalan dari masing-masing peralatan dan sistem HRSG secara keseluruhan, analisis menggunakan metode FFTA ini sudah dapat melakukan kuantifikasi ketidakpastian nilai keandalan sistem yang disebabkan oleh terbatasnya data waktu kegagalan yang dimiliki.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah mengembangkan perangkat lunak yang dapat menentukan jadwal perawatan dengan mempertimbangkan *Benefit Cost Analysis*. Dengan demikian hal ini akan menjadi pertimbangan yang cukup kuat bagi perusahaan untuk menjalankan semua jenis perawatan yang telah ditentukan atau direkomendasikan dari hasil analisis FFTA.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Buwono, Wahyu, “ Analisa Keandalan Sistem Transmisi Gardu Induk Sukolilo dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA)”, *Tugas Akhir*, Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2006.
- [2] Zafrullah Ismail, “Analisis Keandalan pada Heat Recovery Steam Generator (HRSG) di PT. PJB UP Gresik menggunakan Metode Failure Mode Effect And Criticality Analysis (FMECA)” *Tugas Akhir*, Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2014
- [3] Averil, M. Law dan David Kelton, “*Simulation Modeling and Analysis*”, The McGRAW-HILL, Singapore, 1991.
- [4] Alkaff, Abdullah, “*Teknik Keandalan dan Keselamatan Sistem*”, Diktat Kuliah, Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 1992.
- [5] Gunawan, Indra, “*Heat Recovery Steam Generator*”, Diktat, PT.PJB UP Gresik, 2012
- [6] Ebeling, Charles E.. “*An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*”. The McGRAW-HILL, New York, 1997
- [7] P. Zhao, X. Mu, Z. Yin, and Z. Yi, “An approach of fault diagnosis for system based on fuzzy fault tree,” *In Proceedings of International Conference on Multi Media and Information Technology*, China, 2008
- [8] Priyanta, Dwi, : “*Keandalan dan Perawatan*”, Diktat Kuliah, Teknik Perkapalan FTK-ITS”, Surabaya, 2000.
- [9] Rafli P, Farid, “Rancang Bangun Perangkat Lunak Reliability Centered Maintenance (RCM) Untuk Gardu Induk”, *Tugas Akhir*, Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2012.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tulung Selapan (Palembang) pada tanggal 2 Februari 1991 dan merupakan anak pertama dari lima bersaudara. Penulis memulai pendidikan dasar di SDN 6 Tulung Selapan. Pada tahun 2004 hingga 2007, penulis terdaftar sebagai siswa di SMP Negeri 1 Tulung Selapan dan melanjutkan ke SMA Negeri 3 Unggulan Kayuagung pada tahun 2007 hingga 2010. Pada tahun 2010, penulis menjadi

mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri ITS Surabaya. Di masa kampus, penulis mengikuti aktivitas kemahasiswaan diantaranya menjadi staff Departemen Pengabdian Masyarakat di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATEKTRO) FTI ITS periode 2011-2012, Ketua Divisi Isu Jurnalistik Departemen Media JMMI ITS periode 2012-2013, Sekretaris Jendral JMMI ITS periode 2013-2014, Dewan Pertimbangan Pengurus JMMI ITS pada periode 2014-2015 dan pada tahun 2014, penulis aktif sebagai asisten laboratorium Analisa Sistem (B.405). Penulis terbuka untuk diskusi melalui email : anteri.its@gmail.com

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----