



TUGAS AKHIR - TF 141581

ANALISIS KEANDALAN PADA TURBIN GAS DI PT.PETROKIMIA GRESIK-JAWA TIMUR

**AKBAR PRASTIKO
NRP. 2412 106 003**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT**

**JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TF 141581

***RELIABILITY ANALYSIS OF GAS TURBINE IN
PT.PETROKIMIA GRESIK-EAST JAVA***

**AKBAR PRASTIKO
NRP. 2412 106 003**

Supervisor :
Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT

***DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Technology Industry
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya 2015***

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS KEANDALAN PADA TURBIN GAS DI
PT.PETROKIMIA GRESIK-JAWA TIMUR**

TUGAS AKHIR

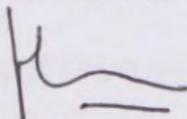
Oleh:

Akbar Prastiko
NRP: 2412 106 003

Surabaya, 22 Januari 2015

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I,



Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT
NIP. 19660116 198903 2 001

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS



Dr. Ir. Totok Sochartanto, DEA
NIP. 19650309 199002 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**RELIABILITY ANALYSIS OF GAS TURBINE IN
PT.PETROKIMIA GRESIK-EAST JAVA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

pada

**Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Akbar Prastiko
NRP: 2412 106 003**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT(Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Purwadi Agus D., MSc.....(Ketua Penguji)
3. Dr. Ir. Ali Musyafa, MSc (Penguji I)
4. Detak Yan Pratama, ST, MSc..... (Penguji II)
5. Arief Abdurrahman, ST, MT..... (Penguji III)

Surabaya, 22 Januari 2015

ANALISIS KEANDALAN PADA TURBIN GAS DI PT. PETROKIMIA GRESIK-JAWA TIMUR

Nama Mahasiswa : Akbar Prastiko
NRP : 2412 106 003
Jurusan : Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT

Abstrak

Turbin gas adalah suatu alat yang memanfaatkan gas sebagai fluida untuk memutar turbin dengan pembakaran internal sehingga mampu memutar generator untuk menghasilkan listrik. Turbin gas memiliki tingkat bahaya yang besar, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis seberapa besar potensi kegagalan komponen-komponen pada turbin gas tersebut. Analisis kegagalan dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif dilakukan dengan perhitungan keandalan seluruh komponen dan penentuan *preventive maintenance*. Analisis kualitatif dilakukan dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA). Penentuan keandalan yang dilakukan dengan bantuan *software reliasoft weibull 6++* menunjukkan saat 8760 jam operasional atau 1 tahun, komponen yang memiliki keandalan paling rendah adalah *vibration monitoring* dengan nilai sebesar 0,52. Keandalan sistem pada saat 4380 jam atau 6 bulan adalah 0,798, nilai ini digolongkan sebagai *moderate*. Hasil analisis FMEA dan *risk priority number* (RPN) seluruh komponen, menunjukkan RPN tertinggi yaitu TTXD. Hasil *fault tree analysis* (FTA), menunjukkan *top event* dari turbin gas adalah GTG trip dan *basic event* adalah kesulitan penataan alur tubing hingga kesalahan dari pihak operator yang mengakibatkan proses identifikasi pada komponen TTXD mengalami gangguan.

Kata kunci: Turbin gas, Keandalan, FMEA, FTA

RELIABILITY ANALYSIS OF GAS TURBINE IN PT. PETROKIMIA GRESIK-EAST JAVA

Name : Akbar Prastiko
NRP : 2412 106 003
Program Study : Engineering Physics
Advisor : Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT

Abstract

Gas turbine is a device that utilizes gas as a fluid to rotate the turbine with an internal combustion so as to turn a generator to produce electricity. Gas turbine has a great degree of danger, so it is necessary to study to analyze how big the potential failure of components in the gas turbine. Failure analysis performed quantitatively and qualitatively. Quantitative analysis was performed by calculating the reliability of all components and the determination of preventive maintenance. Qualitative analysis was conducted using Failure Mode and Effect Analisis (FMEA) and Fault Tree Analisis (FTA). Determination of reliability that is done with the help of software reliasoft weibull 6 ++ indicates the current 8760 operating hours or 1 year, the component that has the lowest reliability, namely vibration monitoring with a value of 0.52. The reliability of the system at the time of 4380 hours or 6 month is 0.798, this value is classified as moderate. FMEA analysis results and risk priority number (RPN) all components, showed the highest RPN TTXD. Results fault tree analysis (FTA), shows a top event of gas turbine is GTG trip and basic event is flow tubing arrangement trouble until the fault of the operator resulting in impaired identification process of TTXD components.

Keywords : Gas turbine, Reliability, FMEA, FTA

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

ANALISIS KEANDALAN PADA GAS TURBIN DI PT.PETROKIMIA GRESIK-JAWA TIMUR

Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas kemudahan dan kelancaran yang diberikan.
2. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS dan dosen wali penulis.
3. Ibu Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT selaku pembimbing, terima kasih atas bimbingan dan motivasi tanpa henti dalam pengerjaan tugas akhir ini .
4. Bapak/Ibu dosen Penguji Dr. Ir. Purwadi Agus D, MSc, dan Ir. Ronny Dwi Noryati, MKes.
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah.
6. Bapak Ali Ikhwan, sebagai kepala bagian instrumen HAR 1 di PT. Petrokimia Gresik., terima kasih atas izin yang telah diberikan untuk melakukan penelitian.
7. Bapak Ifang Nafsan ST, bapak Angga Saputra ST, sebagai pembimbing di PT. Petrokimia Gresik, terima kasih atas waktu, ilmu dan bimbingannya.
8. Bapak dan Ibu tercinta atas dukungan moral dan spiritual yang diberikan selama ini.
9. Rekan-rekan TA Dion Hendra W, Pudjatmiko Ardi, Ilimin SH, Abinowo, Gembong HPR, Shinta K, Yohanes TP, Arief Y, Ahmad Azwar Annas yang telah membantu, memotivasi dan menemani dalam pengerjaan Tugas akhir.

10. Teman-teman seperjuangan angkatan 2011 dan 2012 LJ Teknik Fisika dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan yang diberikan sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa terdapat kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik.

Surabaya, 22 Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.6 Sistematika Laporan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gas Turbin	5
2.2 Keandalan.....	9
2.3 <i>Preventive Maintenance</i>	11
2.4 Laju Kegagalan	12
2.5 Distribusi Laju Kegagalan.....	14
2.5.1 Distribusi Normal.....	14
2.5.2 Distribusi Lognormal	16
2.5.3 Distribusi Weibull.....	17
2.5.4 Distribusi Exponensial	20
2.6 <i>Failure Modes and Effect Analysis</i> (FMEA)	20
2.7 <i>Risk Priority Number</i> (RPN).....	23
2.8 <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	24
2.9 <i>Reliability Block Diagram</i> (RBD)	29

BAB III METODOLOGI	29
3.1 Diagram Alir Penelitian	29
3.2 Studi Literatur	30
3.3 Studi Proses	31
3.4 Tahap Pengumpulan Data	32
3.5 Tahap Pengolahan Data	32
3.5.1 Analisis Kuantitatif	32
3.5.2 Penentuan Rekomendasi Waktu Perawatan	36
3.5.3 Identifikasi Menggunakan Metode <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA).....	36
3.5.4 Identifikasi Menggunakan Metode <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	36
3.5.5 Menentukan Severity, Occurrence, Detection dan RPN.....	37
3.6 Tahap Analisis dan Kesimpulan.....	42
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 43
4.1 Analisis Kuantitatif Komponen Turbin Gas.....	43
4.1.1 Analisis Kuantitatif Turbin Gas	43
4.1.2 Evaluasi Keandalan Sistem	56
4.2 Analisis Kualitatif	60
4.2.1 Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).....	60
4.2.2 Analisis Risk Priority Number (RPN).....	63
4.2.3 <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	66
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	 71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran.....	72

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Blok Diagram Sistem Gas Turbin.....	5
Gambar 2.2	Gas Turbin Generator PT.Petrokima Gresik.	6
Gambar 2.3	Bagian Gas Turbin Generator.....	6
Gambar 2.4	Kompresor GTG.....	7
Gambar 2.5	Ruang Bakar GTG.....	8
Gambar 2.6	Generator GTG.....	8
Gambar 2.7	Grafik Keandalan Sistem Dengan <i>Preventive Maintenance</i> Secara Periodik.....	12
Gambar 2.8	Kurva <i>Bathtub</i>	13
Gambar 2.9	Pengaruh σ Dalam Fungsi Kerapatan Normal.....	15
Gambar 2.10	Pengaruh Parameter s Fungsi Kerapatan Lognormal.....	16
Gambar 2.11	Pengaruh β Fungsi Kerapatan Weibull...	18
Gambar 2.12	Pengaruh θ Fungsi Kerapatan Weibull.....	19
Gambar 2.13	Fungsi Keandalan Exponensial.....	20
Gambar 2.14	Simbol <i>AND Gate</i>	24
Gambar 2.15	Simbol <i>OR Gate</i>	25
Gambar 2.16	<i>Inhibit Gate</i>	25
Gambar 2.17	Simbol Identifikasi.....	25
Gambar 2.18	Simbol Kejadian (Kegagalan).....	25
Gambar 2.19	Simbol Kejadian.....	26
Gambar 2.20	Rangkaian sistem seri.....	27
Gambar 2.21	Rangkaian sistem paralel.....	28
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.2	P&ID Gas Turbin dan Waste Heat Boiler PT.Petrokimia Gresik.....	30
Gambar 3.3	<i>Screen Shoot</i> Turbin Gas	31
Gambar 3.4	Penggunaan <i>software</i> untuk menentukan distribusi.....	33
Gambar 3.5	Pengujian distribusi <i>Time To Failure</i>	34

Gambar 3.6	Penunjukan Ranking Hasil Distribusi.....	36
Gambar 3.7	Hasil Parameter Distribusi.....	36
Gambar 4.1	Grafik Keandalan <i>Filter</i> KV2281.....	44
Gambar 4.2	Grafik <i>Preventive Maintenance Filter</i>	45
Gambar 4.3	Grafik Keandalan <i>Filter</i> KV2281.....	46
Gambar 4.4	Grafik <i>Preventive Maintenance Filter</i>	47
Gambar 4.5	Grafik Keandalan LVDT.....	48
Gambar 4.6	Grafik <i>Preventive Maintenance</i> LVDT.....	49
Gambar 4.7	Grafik Keandalan Aktuator.....	49
Gambar 4.8	Grafik <i>Preventive Maintenance</i> Aktuator...	50
Gambar 4.9	Grafik Keandalan <i>Vibration Monitoring</i>	51
Gambar 4.10	Grafik <i>Preventive Maintenance Vibration</i> <i>Monitoring</i>	52
Gambar 4.11	Grafik Keandalan <i>Fuel Solenoid Valve</i>	53
Gambar 4.12	Grafik <i>Preventive Maintenance Fuel</i> <i>Solenoid Valve</i>	54
Gambar 4.13	Grafik Keandalan <i>Flame Detector</i>	55
Gambar 4.14	Grafik <i>Preventive Maintenance Flame</i> <i>Detector</i>	56
Gambar 4.15	Grafik Keandalan <i>Pressure Control</i>	57
Gambar 4.16	Grafik <i>Preventive Maintenance Pressure</i> <i>Control</i>	58
Gambar 4.17	<i>Reliability Block Diagram</i> Pada Gas Turbin	59
Gambar 4.18	Skema FTA pada gas turbin.....	68
Gambar 4.19	Letak <i>Thermocouple</i> TTXD1 dan TTXD2 Pada <i>Exhaust</i> Turbin Gas.....	69
Gambar 4.20	Letak TTXD Pada GTG.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ukuran Nilai Keandalan dan Interpretasi Di PT.Petrokimia Gresik	10
Tabel 3.2 Skala Penilaian Untuk <i>Severity</i>	38
Tabel 3.3 Skala Penilaian Untuk <i>Occurrence</i>	39
Tabel 3.4 Skala Penilaian Untuk <i>Detection</i>	40
Tabel 4.1 Keandalan Sistem Turbin Gas.....	60
Tabel 4.2 Nilai Perhitungan RPN TTXD.....	65
Tabel 4.3 Nilai <i>Risk Priority Number</i> (RPN).....	66

DAFTAR NOTASI

Notasi Keterangan

$R(t)$	keandalan
$R_s(t)$	keandalan seri
$R_p(t)$	keandalan paralel
t	waktu operasi
T	waktu interval pemeriksaan
β	parameter <i>shape</i> , fungsi distribusi <i>probability</i>
η	parameter <i>scale</i> , fungsi distribusi <i>probability</i>
γ	parameter lokasi, fungsi distribusi <i>probability</i>
μ	rata-rata fungsi distribusi <i>probability</i>
σ	<i>std. deviation(scale parameter)</i>
$t.med$	<i>location parameter</i>
λ	laju kegagalan
$f(t)$	fungsi kerapatan <i>probability</i>
$F(t)$	fungsi kumulatif <i>probability</i>

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

PT. Petrokimia Gresik memiliki unit GTG sebagai pemangkit listrik. Generator turbin gas (GTG) di PT. Petrokimia Gresik merupakan salah satu unit pembangkit listrik yang dimanfaatkan untuk menunjang proses produksi pupuk. Unit GTG yang digunakan di Pabrik I PT. Petrokimia Gresik adalah generator turbin gas *General Electric* (GE) dengan kapasitas daya 18,350 MW dan tegangan 13,6 – 13,8 KV / 50 Hz. (Nafsan, 2014)

Turbin gas adalah bagian dari unit GTG yang memanfaatkan gas sebagai fluida untuk memutar turbin dengan pembakaran internal sehingga dapat memutar generator kemudian mampu menghasilkan listrik. Turbin gas tersusun atas komponen-komponen utama seperti *air inlet section*, *compressor section*, *combustion section*, *turbine section*, dan *exhaust section*. Tingkat keandalan komponen-komponen pada turbin gas harus dijamin karena turbin gas merupakan sumber utama energi listrik di pabrik 1.

Peneliti sebelumnya yang pernah meneliti pada turbin gas adalah **Asis Sarkar** dan **Dhiren Kumar Behera** dengan judul jurnal "*Gas Turbine Power Plant: A Case Study of Rukhia Gas Thermal Power Plant*". Penelitian tersebut menunjukkan nilai keandalan instrument terendah pada *Rukhia gas turbine power plant* yaitu generator, dengan nilai keandalan 0,6 dalam 300 jam operasional (Sarkar & Behera, 2012). Peneliti lainnya adalah **Ian Hunter**, **Joseph Daleo** dan **James Wilson** dengan judul jurnal "*Analysis of hot section failures on gas turbine in process plant service*". Penelitian tersebut menerapkan metode kualitatif *fault tree analysis* (FTA) untuk menganalisis sumber kegagalan pada *plant* tersebut. Hasil penelitian tersebut adalah ditemukannya penyebab kerusakan berupa keropos pada baling-baling turbin gas akibat timbulnya korosi.

Terdorong dari latar belakang yang telah disampaikan di atas, pentingnya menganalisis keandalan agar proses pada *plant* dapat berjalan dengan yang dikehendaki, pada penelitian ini penulis ingin melakukan analisis keandalan agar proses pada *plant* turbin gas berjalan stabil dan aman.

1.2 Perumusan Masalah.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, permasalahan yang bisa diangkat dalam tugas akhir ini adalah bagaimana menentukan nilai keandalan dan menentukan *top event* sampai *basic event* penyebab kegagalan pada *plant* turbin gas di PT. Petrokimia Gresik.

1.3 Tujuan.

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini yaitu dapat menentukan seberapa tingkat keandalan sistem serta mengetahui *top event* dan *basic event* sehingga diketahui sumber kegagalan pada *plant* turbin gas di PT. Petrokimia Gresik.

1.4 Batasan Masalah.

Agar penelitian ini tidak menimbulkan permasalahan yang meluas dan diluar topik yang diangkat, maka disusun beberapa batasan masalah, yaitu:

- a. *Plant* yang menjadi objek studi pada tugas akhir ini adalah pada turbin gas di PT. Petrokimia Gresik.
- b. *Software* yang digunakan untuk mensimulasikan metode kuantitatif adalah *software reliasoft weibull 6++*.
- c. *Supply* daya saat *starting* dan sistem *switching* pada *plant* diabaikan.

1.5 Sistematika laporan.

Adapun sistematika laporan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan.

BAB II DASAR TEORI

Pada bab ini membahas secara singkat teori-teori yang terkait dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

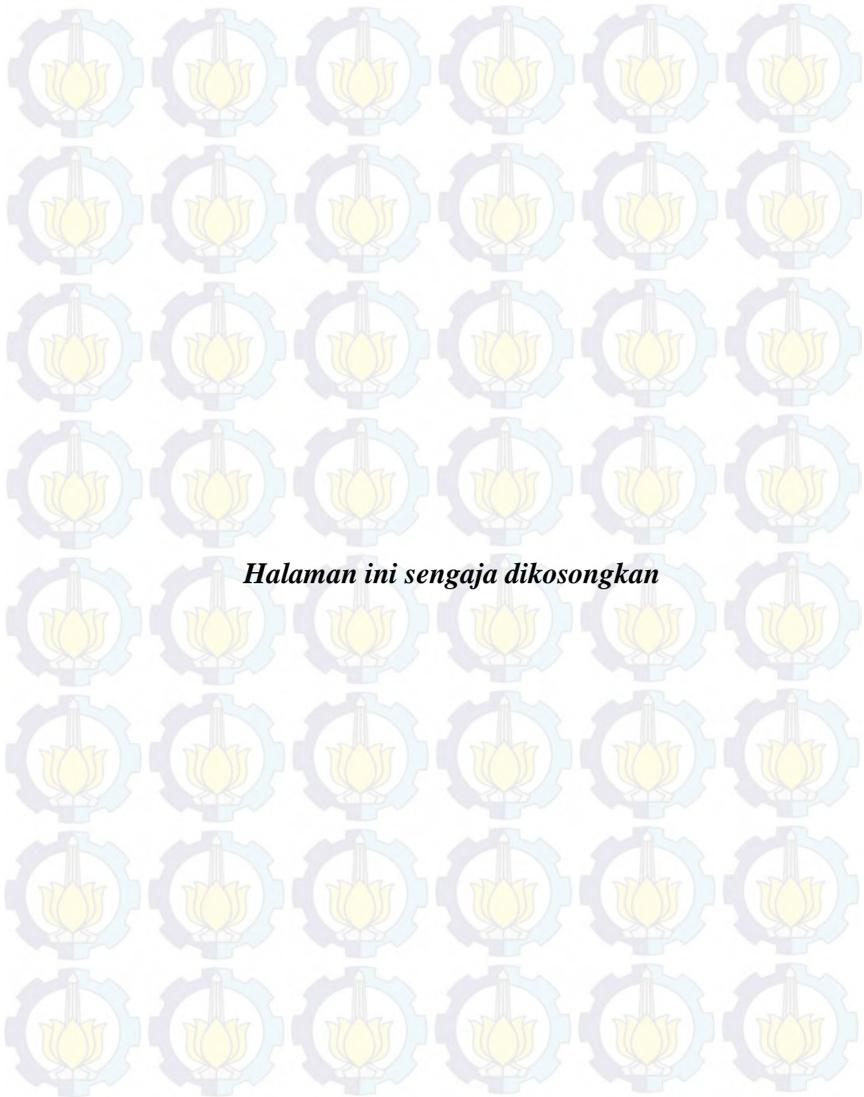
Pada bab ini berisi tentang metode yang digunakan dalam analisis dan cara pengolahan data.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang evaluasi keandalan hasil perhitungan serta pengaplikasian metode.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang hasil penelitian dan kesimpulan terhadap evaluasi yang dilakukan dan saran sebagai penunjang maupun pengembangan penelitian berikutnya.

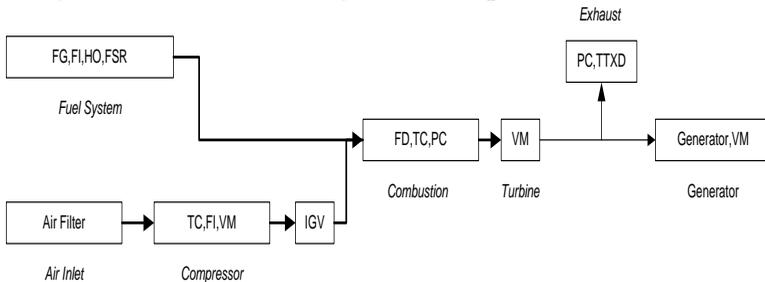


Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Gas.

Turbin gas pada pabrik 1 PT. Petrokimia Gresik merupakan salah satu pembangkit listrik yang bersumber dari energi mekanik, memanfaatkan gas sebagai fluida untuk memutar turbin dengan pembakaran internal sehingga dapat memutar generator kemudian mampu menghasilkan listrik. Berawal dari masuknya udara melalui *air filter* kemudian menuju kompresor dan terjadi proses kompresi udara sampai menghasilkan udara bertekanan tinggi yang keluarannya diatur oleh *inlet guide valve (IGV)*. Keluaran udara dari IGV kemudian masuk ke *combustion* yang didalamnya terdapat proses pembakaran dengan *supply* bahan bakar dari *fuel system*. Hasil pembakaran kemudian menuju kedalam turbin yang didalamnya terdapat proses konversi energi, dimana energi kinetik dikonversikan menjadi energi mekanik melalui udara bertekanan yang memutar roda turbin sehingga menghasilkan daya listrik. Alur proses pada turbin gas ditunjukkan melalui blok diagram sistem pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Blok Diagram Sistem Turbin Gas

Keterangan:

FG = *Fuel Gas*

FI = *Flow Indicator*

HO = *Hydraulic Oil*

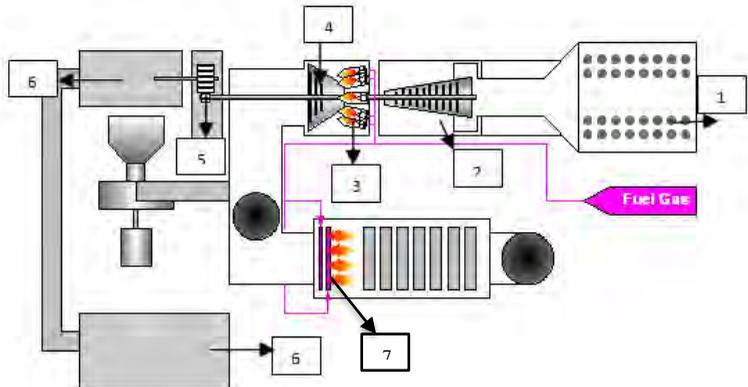
FSR = *Fuel Stroke Reference*

FD = *Flame Detector*
 VM = *Vibration Monitoring*
 TTXD = Termokopel



Gambar 2.2 Turbin Gas PT.Petrokima Gresik (Nafsan, 2014)

Prinsip kerja turbin gas ini menggunakan prinsip kerja induksi elektromagnetik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan memanfaatkan magnet disekitar kumparan.



Gambar 2.3 Bagian Turbin Gas (Nafsan, 2014)

Keterangan:

1. Penyaring udara (*air filter*) sebanyak 400 buah
2. Kompresor dengan 5100 rpm
3. Burner 10 buah
4. Turbin 3 buah
5. *Gear box*

6. Generator (daya maksimal= 28,3 MW)
7. *Exhaust* GTG

Pada turbin gas terdapat bagian-bagian utama dan berikut ini merupakan bagian utama dari turbin gas:

1. Filter Udara

Filter udara berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang dapat merusak kompresor maupun turbin. Filter udara dilengkapi dengan sistem pembersih, sehingga filter yang telah kotor oleh debu/kotoran pembersihannya dilakukan dengan memanfaatkan udara dari kompresor.

2. Kompresor

Kompresor berfungsi untuk melakukan proses kompresi udara, sehingga menghasilkan udara betekanan tinggi. Kompresor pada turbin gas terdiri dari 17 tingkatan dan dilengkapi dengan *inlet guide valve* (IGV) yang berguna untuk mengatur tekanan udara hasil kompresi. Tingkatan kompresor pada turbin gas dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4.

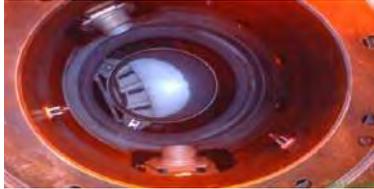


Gambar 2.4 Kompresor Turbin Gas (Nafsan, 2014)

3. Ruang Bakar

Ruang bakar pada turbin gas berjumlah 10 ruang yang dipasang secara radial diantara *discharge compressor inlet nozzle*. Hanya ada 2 ruang bakar yang dipasangkan dengan busi, sedangkan ruang bakar lainnya terbakar karena terjadi *cross fire tube* yang menghubungkan masing-masing ruang bakar. Pada masing-masing ruang bakar dilengkapi dengan *combustion* linier yang berguna sebagai pengatur aliran udara bakar dengan udara

pendingin. Bentuk dari ruang bakar dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Ruang Bakar Turbin Gas (Nafsan, 2014)

4. Exhaust Turbin Gas

Exhaust turbin gas adalah bagian yang berfungsi sebagai saluran pembuangan gas panas sisa yang keluar dari turbin gas. Pada bagian *exhaust* turbin gas terdapat termokopel TTXD yang memiliki peran penting untuk menjaga turbin gas tetap berfungsi, karena bila pada sistem termokopel mengalami gangguan maka konsekuensi terbesarnya yaitu dapat mengakibatkan GTG *trip*.

5. Turbin

Turbin merupakan bagian dari sistem turbin gas berfungsi untuk mengubah energi *thermal* menjadi energi mekanik. Hasil campuran antara aliran udara bertekanan tinggi dengan gas hasil pembakaran mengakibatkan suhu, kecepatan dan volume meningkat selanjutnya menghasilkan aliran udara bertekanan tinggi. Udara tersebut kemudian diarahkan menuju baling-baling turbin melalui *nozzle* sehingga memutar turbin dan menghidupkan generator.



Gambar 2.6 Generator Pada Turbin Gas (Nafsan, 2014)

2.2 Keandalan.

Keandalan didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu komponen atau sistem untuk melaksanakan fungsi kerja yang diperlukan pada kondisi operasional dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan. Keandalan akan selalu berubah seiring dengan meningkatnya usia produk, sesuai dengan lingkungannya (Gasperz, 1992). Keandalan menjadi sesuatu yang penting karena akan mempengaruhi biaya pemeliharaan komponen atau sistem yang pada akhirnya akan mempengaruhi keuntungan perusahaan tersebut. Secara umum terdapat dua metode yang dipakai untuk melakukan evaluasi keandalan suatu sistem, yaitu:

a. Metode Kualitatif

Metode kualitatif merupakan metode analisis secara *quality* dari suatu *mode* dan dampak kegagalan, seperti *failure mode and effects analysis* (FMEA) dan *fault tree analysis* (FTA).

➤ *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA)

FMEA merupakan salah satu bentuk analisis kualitatif yang bertujuan untuk menganalisis komponen pada sebuah *plant*. Komponen yang dianalisis adalah komponen yang masih memerlukan perbaikan agar persyaratan keandalan dapat dipenuhi. Berdasar hasil FMEA *work sheet* dapat diketahui mode kegagalan, penyebab efek dan penanggulangannya. Dalam penyusunan FMEA dibutuhkan perhitungan *risk priority number* (RPN) yang digunakan untuk mengetahui mode kegagalan dan jenis komponen yang harus diprioritaskan dalam melakukan perawatan. *Risk priority number* didapatkan dari hasil perkalian ranking *severity, occurrence dan detection*. (Dhillon, 2005)

➤ *Fault Tree Analysis* (FTA)

FTA adalah salah satu bentuk analisis kualitatif yang digunakan untuk menganalisis dengan tampilan visual (gambar) dan mengevaluasi jalur dari suatu kegagalan pada sistem (Ericson II, 1999). Konsep mendasar dari *fault tree analysis* adalah menganalisis suatu kegagalan atau kesalahan dari suatu sistem

kedalam bentuk diagram visual dan model logika (Ericson II, 1999).

b. Metode Kuantitatif

Metode kuantitatif merupakan metode analisis yang dilakukan secara perhitungan matematis. Metode ini dapat dilakukan melalui perolehan data perawatan terhadap waktu kegagalan dan waktu perbaikan dari suatu komponen atau sistem (Kumar, Crocker, Chitra, & Sigma"., 2006). Fungsi keandalan (*reliability*) adalah fungsi matematik yang menyatakan hubungan keandalan dengan waktu. Nilai keandalan merupakan nilai probabilitas, maka nilai fungsi keandalan (R) bernilai $0 \leq R \leq 1$. (Ebeling, 1997)

Untuk mengetahui kondisi *plant* yang telah dianalisis dengan metode kualitatif maka dibutuhkan acuan untuk menentukannya. Berdasar interview dengan narasumber yang berpengalaman dalam bidang reliabilitas di PT. Petrokimia Gresik maka diperoleh acuan standar keandalan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut: (Saputra, 2014)

Tabel 2.1 Ukuran Nilai Keandalan dan Interpretasi Di PT.Petrokimia Gresik Berdasarkan Hasil Wawancara

Ukuran Keandalan	Interpretasi
$\pm(0.9-1.0)$	Sangat Kuat
$\pm(0.8-0.89)$	Kuat
$\pm(0.5-0.79)$	<i>Moderate</i>
$\pm(0.2-0.49)$	Lemah
$\pm(0.0-0.19)$	Sangat lemah (<i>Wearout</i>)

Perhitungan nilai keandalan dapat digunakan Persamaan 2.1: (Ebeling, 1997)

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt \quad (2.1)$$

dimana:

$F(t)$ adalah fungsi kumulatif *probability*

$R(t)$ adalah fungsi keandalan

$f(t)$ adalah fungsi kerapatan *probability*

2.3 Preventive Maintenance

Preventive maintenance merupakan kegiatan perawatan secara berkala untuk mendeteksi adanya tanda-tanda gangguan pada komponen-komponen dalam sebuah sistem yang dapat mengakibatkan kinerja sistem tersebut akan terhenti. (Dhillon, 2005)

Kegiatan *preventive maintenance* pada dasarnya terdiri dari tiga kelompok yaitu: (Rosa, 1995)

- a. Inspeksi periodik
- b. Perbaikan terencana
- c. Pemeliharaan rutin

Tujuan *preventive maintenance* secara definitif adalah: (Rosa, 1995)

- a. Menjamin tersedianya peralatan produksi/jasa dalam kondisi mampu memberikan keuntungan.
- b. Menjamin kesiapan peralatan cadangan untuk menanggulangi situasi darurat.
- c. Menjamin keselamatan kerja manusia yang menggunakan peralatan.
- d. Memperpanjang masa pakai/usia peralatan.

Kenaikan nilai keandalan dapat diperoleh dengan kegiatan *preventive maintenance*. Kegiatan ini dapat mengurangi efek dari pemakaian yang melampaui batas pakai dan berpengaruh besar terhadap kelangsungan hidup sistem tersebut. Persamaan keandalan dengan $R(t)$ keandalan tanpa perawatan ($R(t)$) dan keandalan dari sistem dengan adanya perawatan ($R_m(t)$) dapat dituliskan dengan Persamaan 2.2 dan 2.3: (Ebeling, 1997)

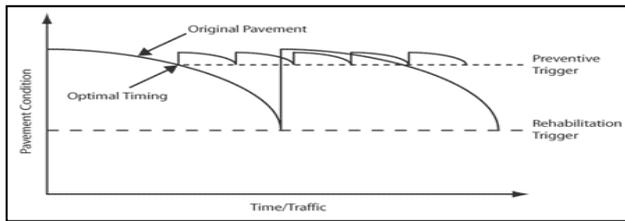
$$R_m(t) = R(t) \text{ untuk } 0 \leq t \leq T \quad (2.2)$$

$$R_m(t) = R(T)R(t - nT) \text{ untuk } T \leq t \leq 2T \quad (2.3)$$

dimana $R(T)$ adalah keandalan sampai pada saat perawatan pertama dan $R(t-nT)$ adalah probabilitas keandalan selama jangka waktu $t-nT$ yang telah ditentukan sebelumnya dari kondisi awal. Selanjutnya dalam bentuk lain didapatkan Persamaan 2.4:

$$R_m(t) = R(T)^n R(t - nT) \text{ untuk } nT \leq t \leq (n + 1)T \quad (2.4)$$

Sebagai pembandingan untuk studi lebih lanjut tentang *preventive maintenance* dapat digunakan grafik keandalan sistem yang mengalami *preventive maintenance* seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.7 (Ebeling, 1997)



Gambar 2.7. Grafik Keandalan Sistem Dengan *Preventive Maintenance* Secara Periodik (Ebeling, 1997)

Sebuah komponen apabila memiliki laju kegagalan konstan maka waktu kegagalan komponen memiliki distribusi *exponensial* dan pada komponen ini *preventive maintenance* menjadi tidak sesuai. Jika instrumen tersebut memiliki laju kegagalan yang menurun maka perawatan yang bertujuan untuk mengembalikan instrumen menuju kondisi yang seperti baru akan tidak menguntungkan. Perawatan terjadwal (*preventive maintenance*) akan sangat efektif bila diterapkan untuk instrumen yang memiliki laju kegagalan yang meningkat. (Rahmawati, 2013)

2.4 Laju Kegagalan.

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan

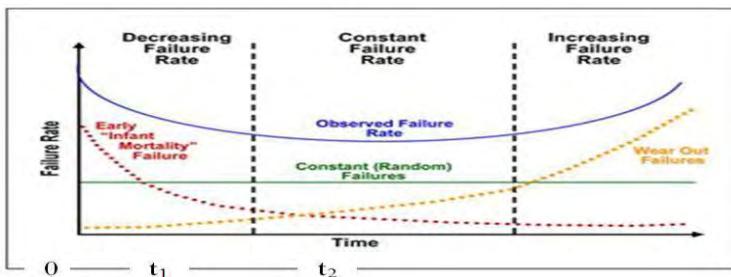
antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen atau sistem. Laju kegagalan terhadap waktu dinyatakan pada Persamaan 2.1. (Ebeling, 1997)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.1)$$

Laju kegagalan dalam beberapa kasus dapat ditunjukkan sebagai penambahan atau *increasing failure rate* (IFR), sebagai penurunan atau *decreasing failure rate* (DFR), dan sebagai nilai konstan atau *constant failure rate* (CFR), pada saat fungsi laju kegagalan $\lambda(t)$ adalah fungsi penambahan, penurunan atau konstan. Konsep laju kegagalan dilatarbelakangi oleh banyak komponen atau sistem rekayasa yang ternyata menunjukkan perilaku $\lambda(t)$ mengikuti kurva bak mandi (*bathtub curve*) yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Berdasarkan Gambar 2.8, sebuah sistem akan bekerja dengan masa operasi *plant* yang terbagi dalam tiga masa yaitu: (Dhillon, 2005)

➤ Masa Awal (*Burn-in*)

Pada periode 0 sampai dengan t_1 (permulaan bekerjanya peralatan), kurva menunjukkan bahwa laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu atau disebut sebagai *decreasing failure rate* (DFR). Laju kegagalan $\lambda(t)$ menunjukkan gejala menurun akibat kegagalan dini. Kegagalan tersebut diakibatkan kerusakan dalam manufaktur, retak saat pengelasan, patah, adanya kontaminasi, dan rendahnya kualitas pengendalian. (Ebeling, 1997)



Gambar 2.8 Kurva *Bathtub* (Dhillon, 2005)

➤ Masa Berguna (*Useful Life*)

Pada periode t_1 dan t_2 laju kerusakan cenderung tetap atau disebut *constant failure rate* (CFR). Periode ini biasanya dikenal sebagai *useful life period*. Komponen menunjukkan $\lambda(t)$ yang kurang lebih konstan. (Ebeling, 1997)

➤ Masa Aus (*Wearout*)

Pada periode setelah t_2 menunjukkan bahwa laju kerusakan meningkat dengan bertambahnya waktu atau disebut dengan *increasing failure rate* (IFR). Fungsi laju kegagalan $\lambda(t)$ menunjukkan peningkatan dimana peluang kegagalan komponen selama interval waktu yang sama menjadi bertambah besar. Kegagalan ini diakibatkan oleh penuaan, korosi, gesekan, sehingga di sebut fase pengausan (*wearout*). (Ebeling, 1997)

2.5 Distribusi Laju Kegagalan.

Laju kegagalan dari suatu komponen pada umumnya dinyatakan dalam distribusi statistic. Jenis distribusi statistik yang digunakan antara lain adalah distribusi normal, lognormal, weibull dan eksponensial.:

2.5.1 Distribusi Normal

Distribusi normal disebut juga dengan distribusi gaussian adalah salah satu jenis distribusi yang paling sering digunakan dalam menjelaskan sebaran data. Fungsi distribusi kerapatan pada distribusi normal adalah simetris terhadap nilai rata-rata (*mean*) dan dispersi terhadap nilai rata-ratanya. Dispersi fungsi kerapatan normal diukur dengan nilai standar deviasi. Dengan kata lain parameter distribusi normal adalah *mean* dan standar deviasi. Fungsi distribusi kerapatan dari distribusi normal dapat ditulis dengan Persamaan 2.6. (Ebeling, 1997)

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

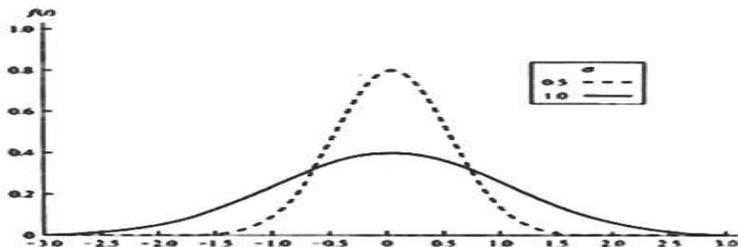
Dengan fungsi keandalan distribusi normal dapat ditulis dengan Persamaan 2.7:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.7)$$

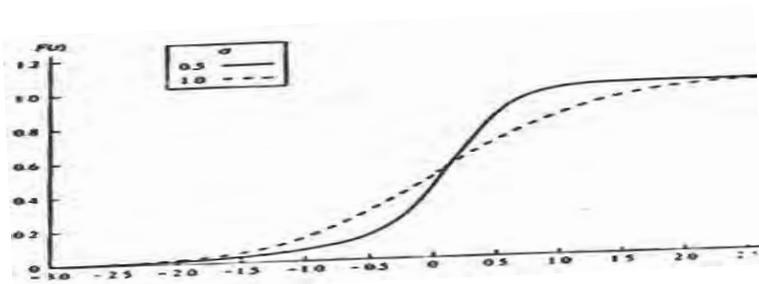
dan laju kegagalan dari distribusi normal ditunjukkan pada Persamaan 2.8:

$$\lambda(t) = \frac{\exp[-(t - \mu)^2 / 2\sigma^2]}{\int_t^{\infty} \exp[-(t - \mu)^2 / 2\sigma^2] dt} \quad (2.8)$$

Pengaruh standar deviasi terhadap dispersi fungsi kerapatan normal dapat dilihat pada Gambar 2.9:



(a)



(b)

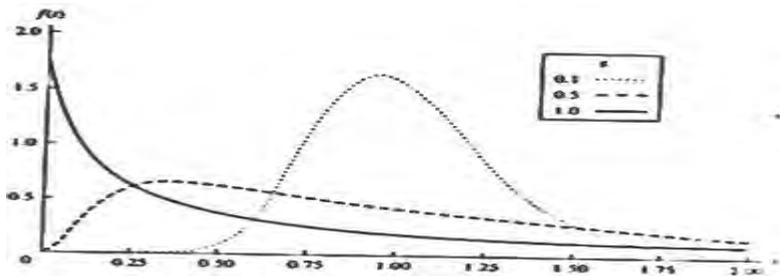
Gambar 2.9 Pengaruh Standar Deviasi σ (a) Dalam Fungsi Distribusi Kerapatan Normal; (b) Dalam Kumulatif Distribusi Normal (Ebeling, 1997)

2.5.2 Distribusi Lognormal

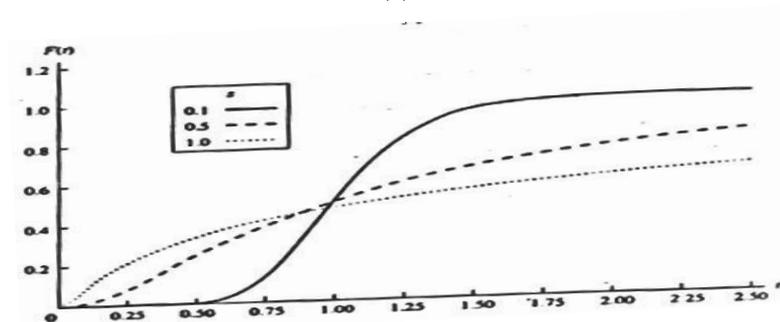
Fungsi kerapatan distribusi untuk distribusi lognormal dapat ditulis dengan Persamaan 2.9. (Ebeling, 1997)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.9)$$

Karakteristik distribusi lognormal mempunyai dua parameter. Parameter yang pertama adalah parameter lokasi (μ) dan yang kedua adalah parameter skala (σ) yang memiliki peran sama dengan standar deviasi. Pengaruh bentuk parameter dalam fungsi distribusi kerapatan lognormal ditunjukkan pada Gambar 2.10: (Ebeling, 1997)



(a)



(b)

Gambar 2.10 Pengaruh Bentuk Parameter s (a) Dalam Fungsi Distribusi Kerapatan Lognormal; (b) Dalam Fungsi Kumulatif Distribusi Lognormal; $t_{med}=1$ (Ebeling, 1997)

Fungsi keandalan distribusi lognormal dituliskan dengan Persamaan 2.10:

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (2.10)$$

Laju kegagalan distribusi lognormal ditunjukkan dengan Persamaan 2.11:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.11)$$

Waktu rata-rata kegagalan distribusi lognormal ditunjukkan pada Persamaan 2.12:

$$\text{MTTF} = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.12)$$

2.5.3 Distribusi Weibull

Distribusi weibull telah digunakan secara luas dalam teknik kehandalan. Keuntungan dari distribusi ini adalah bisa digunakan untuk merepresentasikan banyak fungsi distribusi kerapatan serta dapat digunakan untuk variasi data.

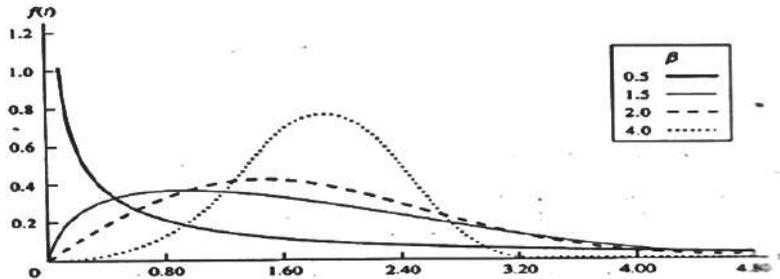
Karakteristik distribusi weibull diantaranya mempunyai 2 parameter (η , β) atau 3 parameter (η , β , γ), nilai η , β , γ dapat diketahui dari *weibull probability paper* atau dari *software*. Saat nilai $\beta = 1$ dan $\gamma = 0$ weibull akan ekivalen dengan distribusi eksponensial, saat nilai $\beta = 3,44$ weibull akan mendekati distribusi normal. Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi weibull, maka: (Ebeling,1997)

Fungsi distribusi kerapatan pada distribusi weibull ditunjukkan dengan Persamaan 2.13:

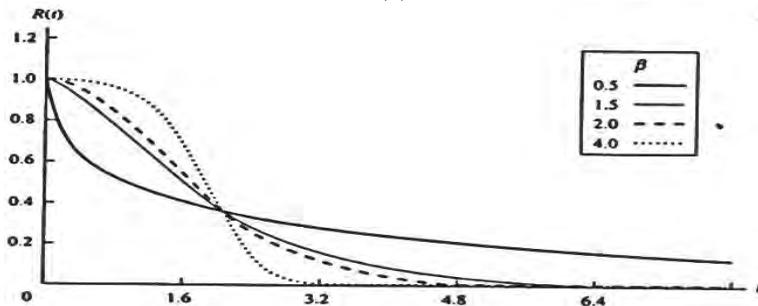
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t - \gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \exp\left\{ - \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right\} \quad (2.13)$$

Beta (β) pada distribusi weibull disebut sebagai bentuk parameter. Pengaruh bentuk parameter tersebut dapat dilihat pada

gambar. 4(a) dengan beberapa nilai berbeda. Fungsi distribusi kerapatan untuk $\beta < 1$, memiliki bentuk yang mirip dengan exponential, dan untuk nilai $\beta \geq 3$ memiliki bentuk seperti distribusi normal. Ketika $\beta = 1$, $\lambda(t)$ bernilai konstan dan distribusi ini sama dengan distribusi exponential dengan $\lambda = 1/\theta$. (Ebeling, 1997)



(a)



(b)

Gambar 2.11 Pengaruh dari β (a) Dalam Fungsi Distribusi Kerapatan Weibull; (b) Dalam Fungsi Keandalan Weibull. (Ebeling, 1997)

Fungsi keandalan distribusi weibull adalah:

$$R(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right\} \quad (2.14)$$

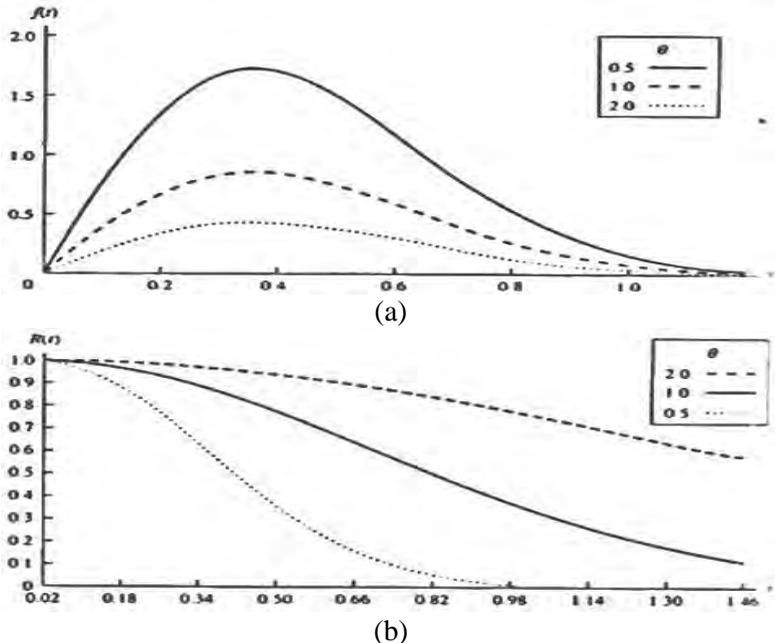
Laju kegagalan distribusi weibull ditunjukkan pada Persamaan 2.15:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (2.15)$$

Saat $\beta < 1$ akan didapatkan penurunan fungsi laju kegagalan, saat $\beta > 1$ akan didapatkan peningkatan fungsi laju kegagalan, $\beta = 1$ merupakan fungsi distribusi eksponensial.

Waktu rata-rata kegagalan distribusi Weibull ditunjukkan pada Persamaan 2.16:

$$\text{MTTF} = \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.16)$$



Gambar 2.12 Pengaruh dari θ (a) Dalam Fungsi Distribusi Kerapatan Weibull; (b) Dalam Fungsi Keandalan Weibull (Ebeling, 1997)

2.5.4 Distribusi Exponensial

Fungsi padat peluang fungsi distribusi kerapatan distribusi exponensial ditunjukkan dengan Persamaan 2.17: (Ebeling, 1997)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.17)$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi exponensial, maka: (Ebeling, 1997)

Fungsi Keandalan distribusi exponensial ditunjukkan dengan Persamaan 2.18:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.18)$$

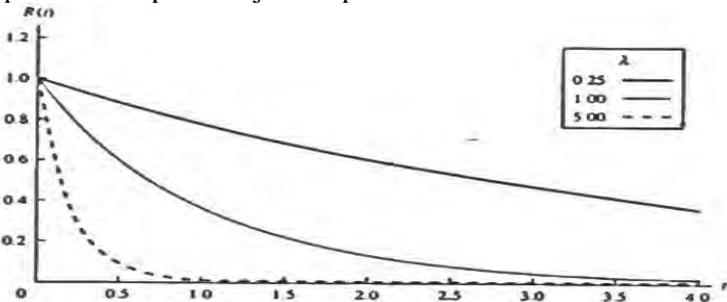
Laju kegagalan distribusi exponensial ditunjukkan dengan Persamaan 2.19:

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.19)$$

Waktu rata-rata kegagalan distribusi exponensial ditunjukkan dengan Persamaan 2.20:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.20)$$

Pengaruh parameter λ terhadap nilai keandalan pada distribusi exponensial dapat ditunjukkan pada Gambar 2.13:



Gambar 2.13 Fungsi Keandalan Exponensial (Ebeling, 1997)

2.6 Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)

Failure modes and effects analysis (FMEA) merupakan salah satu teknik yang sistematis untuk menganalisis suatu kegagalan.

Teknik analisis ini lebih menekankan pada *hardware-oriented approach* atau *bottom-up approach*. Dikatakan demikian karena analisis yang dilakukan dimulai dari peralatan dan meneruskannya ke sistem yang merupakan tingkat yang lebih tinggi. (Menes, 2004)

Peneliti sebelumnya yang pernah meneliti keandalan dengan pendekatan FMEA adalah **Kwai-Sang Chin** dan **Ying-Ming Wang** dengan judul jurnal “*Failure mode and effect analysis*”. Penelitian tersebut menunjukkan penerapan metode FMEA pada *fissing vessel* untuk mengetahui tingkat resiko pada setiap komponen *fissing vessel* tersebut. (Chin & Wang, 2009)

FMEA sering menjadi langkah awal dalam mempelajari keandalan sistem. Kegiatan FMEA melibatkan banyak hal, seperti *me-review* berbagai komponen, rakitan, dan subsistem untuk mengidentifikasi mode-mode kegagalannya, penyebab kegagalannya, serta dampak kegagalan yang ditimbulkan. Untuk masing-masing komponen, berbagai mode kegagalan berikut dampaknya pada sistem ditulis pada sebuah FMEA *worksheet*. Secara umum tujuan dari penyusunan FMEA adalah sebagai berikut: (Febrihantoro, 2014)

1. Membantu dalam pemilihan desain alternatif yang memiliki keandalan dan keselamatan potensial yang tinggi selama fase disain.
2. Untuk menjamin bahwa semua bentuk mode kegagalan yang dapat diperkirakan berikut dampak yang ditimbulkannya terhadap kesuksesan operasional sistem telah dipertimbangkan.
3. Membuat list kegagalan potensial, serta mengidentifikasi seberapa besar dampak yang ditimbulkannya.
4. Mengembangkan kriteria awal untuk rencana dan disain pengujian serta untuk membuat daftar pemeriksaan sistem.
5. Sebagai basis analisis kualitatif keandalan dan ketersediaan.
6. Sebagai dokumentasi untuk referensi pada masa yang akan datang untuk membantu menganalisis kegagalan

yang terjadi di lapangan serta membantu bila sewaktu – waktu terjadi perubahan disain.

7. Sebagai data input untuk studi banding.
8. Sebagai basis untuk menentukan prioritas perawatan korektif.

FMEA merupakan salah satu bentuk analisis kualitatif yang bertujuan untuk mengidentifikasi rangkaian komponen pada *plant* yang masih memerlukan perbaikan agar persyaratan keandalan dapat dipenuhi. Hal yang diperlukan dalam menganalisis adalah untuk mengetahui dan memahami fungsi dari sistem dan beberapa *constrain* dimana sistem itu harus dapat beroperasi. Hasil FMEA work sheet dapat diketahui mode kegagalan, penyebab efek dan penanggulangan, serta di tambahkan *risk priority number* (RPN) yang digunakan untuk mengetahui mode kegagalan dan komponen apa yang harus diprioritaskan. *Risk priority number* (RPN) didapatkan dari hasil perkalian ranking *severity*, *occurrence* dan *detection*. *Severty* merupakan keseriusan atau keparahan konsekuensi dari kegagalan yang harusnya terjadi, *occurency* atau kejadian yaitu kemungkinan frekuensi terjadinya kegagalan. *Detection* atau deteksi yaitu kemungkinan dari kegagalan terdeteksi sebelum brpengaruh dari akibat yang terjadi mode mode yang memiliki prioritas yang tetinggi harus mendapatkan perhatian pertama. (Company, 2002)

Terdapat beberapa panduan prosedur dalam melakukan kegiatan FMEA guna memudahkan dalam aplikasinya yaitu: (Company, 2002)

- a. Mengidentifikasi sistem yang dianalisis dan performa keandalan yang diharapkan.
- b. Membentuk fungsional blok diagram (jika perlu) untuk menggambarkan hubungan sistem, sistem dan komponen.
- c. Mentukan mode kegagalan dari sistem atau subsistem.
- d. Daftar komponen, identifikasi mode kegagalan, rate kegagalan (*alternative failure rate*).

- e. Melengkapi satu set analisis lembar kerja FMEA terhadap efek dari masing-masing *sub assembly* atau komponen mode kegagalan terhadap kinerja sistem.
- f. Memasukkan ranking *severity*, *occurance*, *detection* dengan tepat di lembar kerja dan analisis kekritisan.
- g. *Review* lembar kerja dan identifikasi reliabilitas kekritisan komponen.

2.7 Risk Priority Number (RPN)

RPN merupakan produk matematis dari keseriusan *effects* (*Severity*), kemungkinan terjadinya akan menimbulkan kegagalan yang berhubungan dengan *effects* (*Occurrence*), dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi pada pelanggan (*Detection*). (Company, 2002)

RPN dapat ditunjukkan melalui hasil perkalian antara *severty*, *occurrence*, dan *detection*. Nilai RPN yang tinggi akan membantu memberikan pertimbangan untuk tindakan korektif pada setiap moda kegagalan. Angka ini juga digunakan untuk mengidentifikasikan resiko, sebagai petunjuk ke arah tindakan perbaikan. (Company, 2002)

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.21)$$

2.8 Fault Tree Analysis (FTA)

FTA adalah suatu alat untuk menganalisis, dengan tampilan visual (gambar) dan mengevaluasi jalur dari suatu kegagalan pada sistem serta menyediakan suatu mekanisme untuk mengevaluasi tingkatan bahaya pada sistem (Ericson, 1999). Konsep mendasar dari *fault tree analysis* adalah menterjemahkan dan menganalisis suatu kegagalan atau kesalahan dari sistem kedalam bentuk diagram visual dan model logika (Ericson, 1999). Diagram visual memberikan suatu bentuk model visual yang dengan mudah menggambarkan hubungan-hubungan yang ada pada sistem dan akar permasalahan yang terjadi (Ericson, 1999). Sementara model logika memberikan mekanisme evaluasi secara kualitatif dan kuantitatif (Ericson, 1999). Suatu aturan dan symbol yang sederhana membantu menganalisis suatu sistem dan hubungan

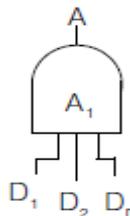
yang kompleks antara perangkat keras, perangkat lunak dan manusia (Ericson, 1999).

Peneliti sebelumnya yang pernah meneliti pada turbin gas adalah **Ian Hunter, Joseph Daleo** dan **James Wilson** dengan judul jurnal “*Analysis of hot section failures on gas turbine in process plant service*”. Penelitian tersebut menerapkan metode kualitatif *fault tree analysis* (FTA) untuk menganalisis sumber kegagalan pada *plant* tersebut. Hasil penelitian tersebut adalah ditemukannya penyebab kerusakan berupa keropos pada baling-baling turbin gas akibat timbulnya korosi. Korosi muncul akibat masuknya material asing pada turbin gas disertai lapisan pelindung yang kurang baik. (Hunter, 2000)

Cakupan dari *fault tree analysis* ini berbeda dengan blok diagram keandalan. Untuk *fault tree* ini mengarah top-down. penalaran deduktif di mana keadaan yang tidak diinginkan dari suatu sistem dianalisis menggunakan logika boolean untuk menggabungkan serangkaian acara-tingkat yang lebih rendah. Metode analisis ini terutama digunakan dalam bidang teknik keselamatan dan keandalan rekayasa untuk menentukan kemungkinan kecelakaan keselamatan atau tingkat sistem tertentu (fungsional) kegagalan.

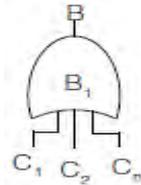
Fault tree analysis menggunakan simbol sebagai alat untuk mempermudah merepresentasikan penyebab dan akibat diantara kejadian-kejadian. Simbol yang digunakan pada *fault tree analysis* adalah sebagai berikut (Nemeth, 2004) dapat dilihat pada Gambar 2.14 sampai 2.19:

- *AND Gate*, suatu logika hubungan “DAN”. Hasil atau keluaran A ada jika dan hanya jika semua $D_1 \dots D_n$ ada secara bersamaan.



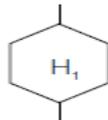
Gambar 2.14 Simbol *AND Gate* (Ebeling, 1997)

- *OR Gate*, suatu logika hubungan inklusif “ATAU”. Hasil atau keluaran B ada jika salah satu $C_1 \dots C_n$ atau salah satu kombinasi tersebut ada.



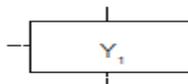
Gambar 2.15 Simbol *OR Gate* (Ebeling, 1997)

- *Inhibit Gate*, suatu keadaan yang menerapkan kondisi atau pembatasan dengan urutan yang harus dipenuhi sehingga keluaran dapat dihasilkan.



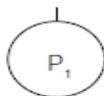
Gambar 2.16 *Inhibit Gate* (Ebeling, 1997)

- Identifikasi terhadap peristiwa tertentu. Biasanya menjelaskan hasil atau masukan dari AND Gate atau OR Gate.



Gambar 2.17 Simbol Identifikasi (Ebeling, 1997)

- Kejadian (biasanya merupakan kegagalan) yang dapat dijelaskan dengan komponen atau sirkuit tertentu.



Gambar 2.18 Simbol Kejadian Kegagalan (Ebeling, 1997)

- Kejadian yang biasanya diharapkan terjadi kecuali kegagalan terjadi maka kejadian tersebut tidak akan terjadi.



Gambar 2.19 Simbol Kejadian (Ebeling, 1997)

Prosedur dan pendekatan untuk menggunakan *fault tree analysis* (FTA) sebagai alat untuk menganalisis dan mengevaluasi jalur kesalahan adalah sebagai berikut: (Ericson II, 1999)

Langkah 1 – Identifikasikan kejadian-kejadian utama yang mungkin akan ditentukan untuk dianalisis dan dicari penyebabnya. Hasil dari pengawasan manajemen dan analisis pohon resiko juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi kejadian yang tidak diinginkan.

Langkah 2 – Tambahkan kondisi atau kejadian yang dapat berkontribusi atau mengakibatkan kejadian diatas.

Langkah 3 – Tetapkan *logic gate* (gerbang logika) sesuai dengan gabungan peristiwa yang menunjukkan apakah kedua peristiwa terjadi pada waktu dan tempat yang sama (*AND*) atau kejadian yang mungkin terjadi (*OR*). Pergerakan ke cabang pada *fault tree* menunjukkan efek.

Langkah 4 – Lanjutkan dengan mengidentifikasi peristiwa-peristiwa yang berkontribusi dan menetapkan simbol-simbol logika untuk menghubungkan peristiwa-peristiwa yang mungkin menjadi penyebab. Ketika beberapa kondisi terjadi pada serangkaian peristiwa, sejumlah peristiwa-peristiwa penting yang dapat menyebabkan kecelakaan dapat ditempatkan pada pohon.

Langkah 5 – Tentukan probabilitas kemungkinan bahwa setiap peristiwa yang terjadi dengan memikirkan kemungkinan berdasarkan probabilitas dari setiap pasangan peristiwa yang

berkontribusi. Persamaan dibawah dapat menentukan gerbang logika *AND* dan *OR*. Bahkan jika probabilitas kejadian tidak dapat ditetapkan, FTA masih dapat berfungsi sebagai metode evaluasi.

2.9 Reliability Block Diagram (RBD)

Teknik analisis keandalan yang paling banyak dipakai adalah menentukan keandalan sistem dalam bentuk keandalan komponennya. Metode diagram kehandalan merupakan metode yang menerapkan fungsi atau persamaan hukum-hukum logika kegagalan tiap-tiap komponen dan direpresentasikan dalam bentuk diagram blok. Diagram blok kehandalan bisa disusun secara seri, paralel ataupun standby. Pada sistem dengan beberapa komponen yang kompleks, diagram blok kehandalan merupakan diagram blok fungsional yang menggambarkan hubungan antar komponen dalam membentuk fungsi kerja dari sistem dan subsistem yang ada di *plant* secara keseluruhan. Diagram menyatakan suatu proses yang terjadi antara komponen-komponen utama terdiri dari masukan (*input*), proses rangkaian dan keluaran (*output*). Pembuatan diagram blok keandalan dari sistem, dapat diturunkan dari prinsip kerja komponen dan sistem yang ada di *plant process*, dengan asumsi sebagai penyederhanaan dari diagram blok fungsional. (Febrihantoro, 2014)

- Sistem Seri

Sistem seri merupakan penyederhanaan dari sistem keandalan. Setiap blok diagram mewakili unit/ komponen. Diagram pada gambar merupakan sistem dengan R jumlah unit bekerja secara seri. Jika ada salah satu unit gagal, sistem gagal. Dengan kata lain, semua unit harus beroperasi secara normal untuk keberhasilan sistem. Keandalan sistem seri ditunjukkan pada Gambar 2.20. (Dhillon, 2005).



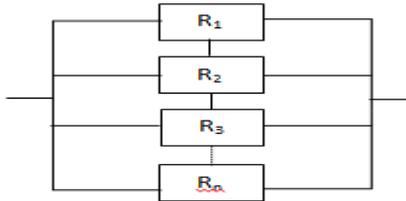
Gambar 2.20 Rangkaian Sistem Seri (Dhillon, 2005)

Sistem berfungsi \approx semua komponen harus berfungsi
 Keandalan sistem (R_s) \approx Probabilitas peralatan tersebut berfungsi.
 R_s = Probabilitas semua sistem berfungsi

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.22)$$

- Sistem Pararel

Sistem pararel merupakan sistem dengan unit R beroperasi secara bersamaan. Setidaknya satu unit harus beroperasi secara normal untuk keberhasilan sistem. Keandalan sistem ini ditunjukkan pada gambar 2.21. (Dhillon, 2005)



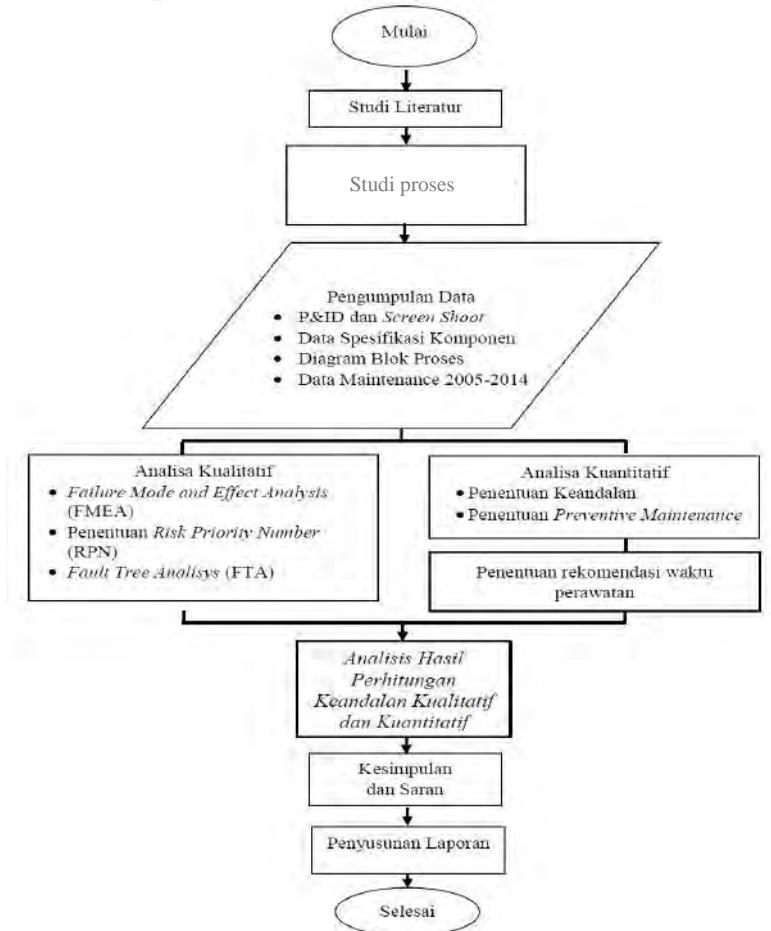
Gambar 2.21 Rangkaian Sistem Pararel (Dhillon, 2005)

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (2.23)$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.

Penelitian tentang analisis keandalan pada turbin gas di PT. Petrokimia Gresik dilakukan sesuai diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Tahap Pengumpulan Data.

Proses pengumpulan data dan informasi data yang diperlukan adalah berupa *data sheet* komponen yang terdapat pada lampiran yang diperoleh dari vendor dan data *maintenance* pabrik di PT. Petrokimia Gresik yang terdapat pada lampiran.

3.5 Tahap Pengolahan Data.

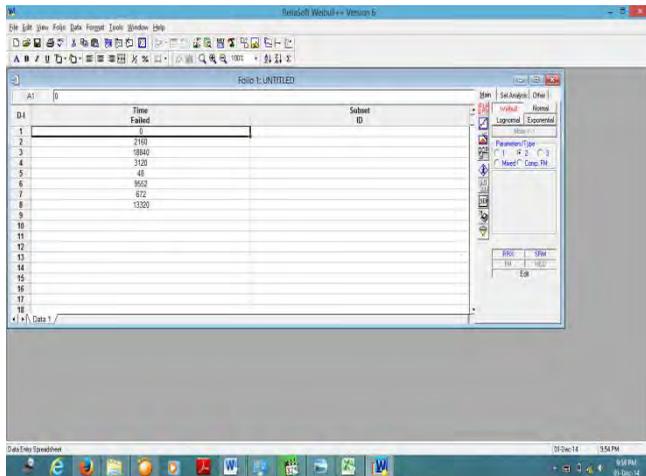
Pada tahap ini data yang diperoleh setelah dilakukan pengumpulan data akan dilakukan pengolahan data secara kualitatif dan kuantitatif yang sesuai dengan metode. Untuk penentuan keandalan, didapatkan dari hasil perhitungan *time to failure* (TTF) dan selanjutnya dilakukan penentuan parameter distribusi menggunakan *software reliasoft weibull 6++*. Setelah diketahui jenis distribusi pada setiap komponen maka tahap selanjutnya adalah mencari bentuk parameter sesuai jenis distribusi setiap jenis komponen. Parameter yang sudah diketahui akan dimasukkan pada persamaan yang ada pada bab sebelumnya untuk menghitung nilai keandalannya. Hasil dari keandalan setiap jenis komponen dapat dilihat pada tabel analisis data di bab selanjutnya. Adapun tahap pengolahan data secara kuantitatif adalah sebagai berikut:

3.5.1 Analisis Kuantitatif

Data yang digunakan untuk menghitung nilai keandalan turbin gas adalah data *maintenance* GTG Pabrik I, yaitu berupa data *maintenance* dan deskripsi kerusakan komponen, dengan data *maintenance* yang di gunakan adalah data dengan rentang waktu tahun 2005 sampai saat ini. Setelah nilai keandalan komponen sudah diperoleh maka tahap selanjutnya yaitu dengan menerapkan *preventive maintenance* sehingga diperoleh waktu perawatan pada setiap komponen. Sebelum tahap *preventive maintenance* dibutuhkan perhitungan keandalan dengan penentuan distribusi waktu antara kegagalan yang bertujuan untuk mendapatkan nilai kemungkinan terjadinya kerusakan pada waktu tertentu. Penentuan distribusi *time to failure* dan penentuan distribusi waktu antar perbaikan bertujuan untuk mendapatkan

nilai kemungkinan lamanya waktu perbaikan pada sistem. Berikut ini merupakan cara penentuan distribusi:

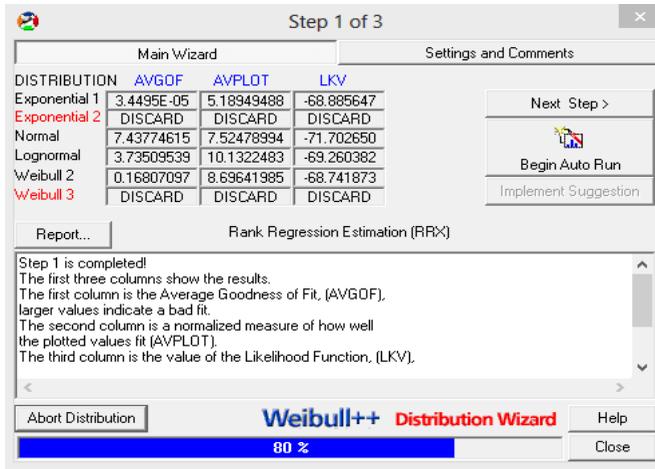
- Setelah dihitung dari data kegagalan dengan menentukan TTF (*time to failure*) maka untuk menentukan distribusi kegagalan dengan cara memasukan kedalam *software* dapat dilihat pada Gambar 3.4:



Gambar 3.4 Penggunaan *Software* Untuk Menentukan Distribusi

- Setelah dilakukan pemasukan data *time to failure* maka selanjutnya dilakukan uji distribusi dengan menggunakan *toolbox* yang ada pada *software* yaitu *option distribution wizard* untuk mendapatkan parameter uji *average goodness of fit (AVGOF)* yang menunjukkan bahwa semakin besar nilai pada kolom ini menunjukkan hasil distribusi mengenai ketidak sesuaian hasil distribusi. Pengujian distribusi *time to failure* dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Parameter lain yaitu *average of plot fit* (AVPLOT) yang ditunjukkan adalah untuk men plot nilai hasil uji distribusi, dan untuk kolom ketiga yaitu parameter *likelihood function* yang menunjukkan bahwa nilai terkecil adalah nilai yang terbaik untuk hasil distribusi.



Gambar 3.5 Pengujian Distribusi *Time To Failure*

- Setelah dilakukan pengujian distribusi, tahap terakhir adalah menentukan hasil distribusi dari data yang digunakan. Hasil dari distribusi antara lain adalah normal, lognormal, eksponensial 1, eksponensial 2, normal, log normal, Weibull 2 dan weibull 3. Setelah tertampil akan di ranking yang menunjukkan hasil distribusi yang terbaik untuk data yang di uji.

Penentuan jenis distribusi pada *software reliasoft webull 6++* dapat diketahui dengan memilih rangking terbaik dari hasil distribusi. Tampilan keluaran *software* dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Tampilan Keluaran *Software* Yang Menunjukkan Rangking Hasil Distribusi

Setelah diketahui rangking yang terbaik maka langkah selanjutnya adalah memilih parameter yang sesuai dengan hasil rangking. Setelah menentukan jenis distribusi maka langkah selanjutnya adalah menentukan parameter yang digunakan untuk menghitung keandalan komponen. Hasil penentuan parameter distribusi dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Hasil Parameter Distribusi

3.5.2 Penentuan Rekomendasi Waktu Perawatan

Penentuan rekomendasi waktu perawatan berdasarkan pada perbandingan nilai keandalan komponen sebelum dilakukan *preventive maintenance* dengan nilai keandalan setelah dilakukan *preventive maintenance* dengan acuan nilai keandalan sebesar 0,5 karena berdasar tabel (2.1) nilai tersebut berada pada kategori *moderate* dan dibawah nilai tersebut sudah mendekati kategori lemah. Hasil dari perbandingan nilai tersebut dapat di plot dalam sebuah grafik hubungan antara nilai keandalan dengan waktu operasional.

3.5.3 Identifikasi menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

Identifikasi dengan menggunakan metode *failure mode and effect analysis* digunakan untuk mengenal dan memprediksi potensi kegagalan dari produk atau proses yang terjadi pada *loop* turbin gas. Selain itu, dapat juga digunakan untuk memprediksi dan mengevaluasi pengaruh dari kegagalan pada fungsi dalam sistem yang ada. Untuk pemaparan *failure mode and effect analysis* ini, digunakan bagan yang menunjukkan fungsi, sebab kegagalan, pada komponen beserta efek yang disebabkan karena kegagalan tersebut. Untuk bagan atau FMEA *sheet* dapat di lihat pada bab berikutnya.

3.5.4 Identifikasi Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA).

Mengidentifikasi kegagalan komponen yang dapat menyebabkan kegagalan proses pada turbin gas dan dapat mengalami trip dengan menggunakan metode *fault tree analysis*. *Fault tree analysis* (FTA) dilakukan dengan langkah pertama adalah menganalisis data *pipng and instrumentation diagram* (P&ID) dan Diagram *control* dari turbin gas. Dari kedua data tersebut dapat di tentukan *top event* hingga *basic event*. Hal ini berguna untuk melihat alur kerja komponen saat *trip* terjadi. Setelah di tentukan komponen apa saja yang berpengaruh terhadap sistem *safety* atau proteksi, serta komponen apa saja yang dapat mengalami kegagalan yang mempengaruhi keandalan

pada plant. Analisis tersebut dapat di tentukan dengan *fault tree analysis* (FTA) dengan menunjukkan gabungan kejadian di dalam sistem proteksi yang dapat menyebabkan sistem itu gagal. Sehingga dapat diketahui bahwa sistem itu gagal di karenakan oleh suatu kejadian. FTA ini disusun berdasarkan mode-mode kegagalan yang terjadi pada analisis FMEA. (Febrihantoro, 2014)

3.5.5 Menentukan *Severity, Occurrence, Detection* dan RPN.

Penentuan prioritas dari suatu bentuk kegagalan maka tim FMEA harus mendefinisikan terlebih dahulu tentang *severity, occurrence, detection*, serta hasil akhirnya yang berupa *risk priority number* (RPN). (Company, 2002)

- ***Severity***

Severity adalah langkah pertama untuk menganalisis resiko yaitu menghitung seberapa besar dampak/intensitas kejadian yang mempengaruhi keluaran dari proses (Dhillon, 2005). Dampak tersebut dirangking mulai dari skala 1 sampai 10, dimana 10 merupakan dampak terburuk. Proses sistem peringkat yang dijelaskan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Skala Penilaian Untuk *Severity* (AIAG FMEA)

Rank	Effect	Kriteria Verbal
1	Tidak ada akibat	Tidak dapat mengakibatkan apa-apa, tidak memerlukan penyesuaian.
2	Akibat sangat ringan	Mesin tetap beroperasi dengan aman, hanya terjadi sedikit gangguan peralatan yang tidak berarti. Akibat hanya dapat diketahui oleh operator yang berpengalaman.
3	Akibat ringan	Mesin tetap beroperasi dengan aman, hanya ada sedikit gangguan. Akibat diketahui oleh rata-rata operator.
4	Akibat <i>minor</i>	Mesin tetap beroperasi dengan aman, namun terdapat gangguan kecil. Akibat diketahui oleh semua operator.
5	Akibat moderat	Mesin tetap beroperasi normal, namun telah menimbulkan beberapa kegagalan produk. Operator merasa tidak puas karena tingkat kinerja berkurang.
6	Akibat signifikan	Mesin tetap beroperasi dengan aman, tetap menimbulkan kegagalan produk. Operator merasa sangat tidak puas dengan kinerja mesin.
7	Akibat <i>major</i>	Mesin tetap beroperasi dengan aman, tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh. Operator merasa sangat tidak puas.
8	Akibat ekstrem	Mesin tidak dapat beroperasi dan telah kehilangan fungsi utamanya.
9	Akibat serius	Mesin gagal beroperasi, serta tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja.
10	Akibat berbahaya	Mesin tidak layak dioperasikan, karena dapat menimbulkan kecelakaan secara tiba-tiba, dan hal ini bertentangan dengan peraturan keselamatan kerja..

- **Occurrence**

Occurrence adalah kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan produk (Dhillon, 2005). Dengan memperkirakan kemungkinan *occurrence* pada skala 1 sampai 10. Tabel 3.3 menunjukkan skala *occurrence*.

Tabel 3.3 Skala Penilaian Untuk *Occurrence* (AIAG FMEA)

Rank	Kejadian	Kriteria Verbal
1	Hampir tidak pernah	Kerusakan hampir tidak pernah terjadi.
2	Remote	Kerusakan jarang terjadi.
3	Sangat sedikit	Kerusakan yang terjadi sangat sedikit.
4	Sedikit	Kerusakan yang terjadi sedikit
5	Rendah	Kerusakan yang terjadi pada tingkat rendah.
6	Medium	Kerusakan yang terjadi pada tingkat medium.
7	Agak tinggi	Kerusakan yang terjadi agak tinggi.
8	Tinggi	Kerusakan yang terjadi tinggi.
9	Sangat tinggi	Kerusakan yang terjadi sangat tinggi.
10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi.

- **Detection**

Detection adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan/mengontrol kegagalan yang dapat terjadi (Dhillon, 2005). Tabel 3.4 menunjukkan skala *detection*.

Tabel 3.4 Skala Penilaian Untuk *Detection* (AIAG FMEA)

Rank	Akibat	Kriteria verbal
1	Hampir pasti	Perawatan preventif akan selalu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
2	Sangat tinggi	Perawatan preventif memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
3	Tinggi	Perawatan preventif memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
4	<i>Moderately high</i>	Perawatan preventif memiliki kemungkinan “moderately High” untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
5	<i>Moderate</i>	Perawatan preventif memiliki kemungkinan “moderate” untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
6	Rendah	Perawatan preventif memiliki kemungkinan rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
7	Sangat rendah	Perawatan preventif memiliki kemungkinana sangat rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial kegagalan dan mode kegagalan.

8	<i>Remote</i>	Perawatan preventif memiliki kemungkinan “ <i>remote</i> ” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
9	<i>Very remote</i>	Perawatan preventif memiliki kemungkinan “ <i>very remote</i> ” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
10	Tidak pasti	Perawatan preventif akan selalu tidak mampu untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.

3.6 Tahap Analisis dan Kesimpulan.

Pada tahap ini dilakukan analisis dari hasil pengolahan data secara kuantitatif maupun kualitatif. Pengolahan data secara kuantitatif bertujuan untuk mengetahui tingkat keandalan turbin gas dan mengetahui waktu perawatan pada setiap komponen turbin gas. Pengolahan data secara kualitatif bertujuan untuk mengetahui tingkat resiko pada setiap komponen dan mengetahui jalur kegagalan pada turbin gas. Kemudian dari hasil pengolahan data tersebut akan menjawab tujuan dari penelitian ini. Kesimpulan yang telah dihasilkan berdasarkan pengolahan data akan disertai dengan saran-saran yang diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kuantitatif Komponen Turbin Gas.

Analisis kuantitatif di lakukan dengan menggunakan *software reliasoft weibull 6 ++*. Data yang digunakan dalam analisis kuantitatif berdasarkan pada data *history* kegagalan komponen-komponen turbin gas dan komponen penunjangnya yang berkaitan dengan sistem *safety instrument* untuk mengetahui nilai keandalan pada setiap komponen turbin gas dan penentuan waktu perawatan pada setiap komponen turbin gas untuk menjaga keandalan turbin gas untuk menjaga keandalan pada *plant*.

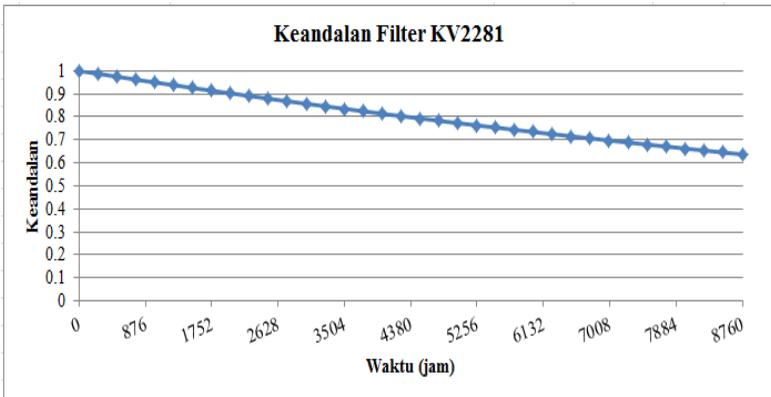
4.1.1 Analisis Kuantitatif Turbin Gas.

Turbin gas memiliki bagian-bagian utama dan berikut ini merupakan bagian utama dari turbin gas yang akan dianalisis nilai keandalan pada setiap komponen untuk mengetahui waktu perawatan dengan analisis *preventive maintenance*:

a. Komponen *Filter KV2281*

- Analisis Keandalan

Berdasarkan data *failure rate* yang diketahui, maka keandalan pada komponen *filter KV2281* dapat ditentukan. Sehingga dari parameter tersebut dapat dilakukan evaluasi keandalan untuk nilai t (jam). Untuk evaluasi keandalan menggunakan persamaan distribusi *exponensial* (2.18) pada BAB II, dengan bantuan *software reliasoft weibull 6 ++* dapat diketahui $\lambda = 5,15 \times 10^{-5}$. Penurunan nilai keandalan komponen dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini dengan plot keandalan berdasarkan waktu.



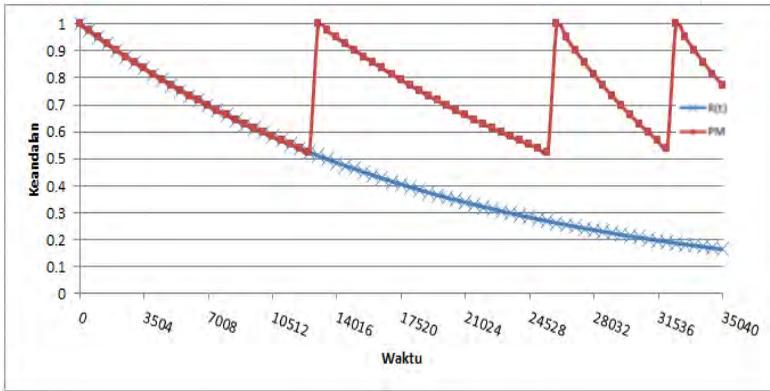
Gambar 4.1 Grafik Keandalan *Filter* KV2281

Nilai keandalan komponen *filter* KV2281 yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dapat terlihat laju keandalannya. Dalam interval waktu 8760 jam (1 tahun) mengalami penurunan keandalan hingga bernilai 0,63. Dari nilai tersebut menunjukkan komponen ini memiliki keandalan *moderate* dan menunjukkan bahwa peluang kegagalan dalam interval waktu 1 tahun operasi pada komponen *filter* KV2281 kecil terjadi.

- **Analisis Preventive Maintenance**

Komponen *filter* KV2281 dilakukan *preventive maintenance* setiap interval 13000 jam sekali, interval tersebut untuk menjaga komponen tetap berada pada keandalan *moderate*. Dengan semakin singkatnya waktu yang dibutuhkan untuk perawatan maka diharapkan frekuensi kerusakan komponen tersebut akan berkurang dan bekerja semaksimal mungkin.

Hasil *preventive maintenance* di plot dalam grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional pada Gambar 4.2.

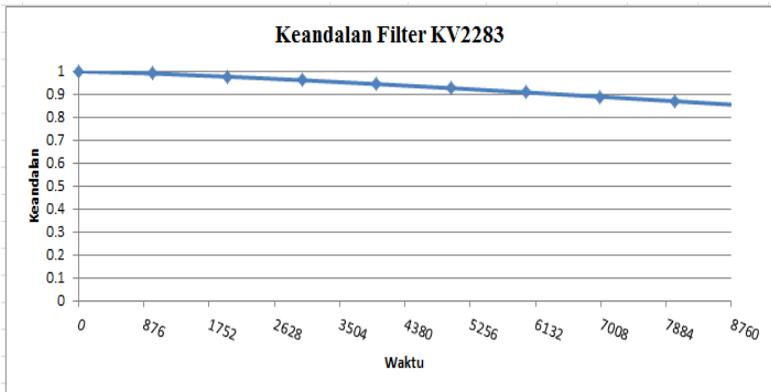


Gambar 4.2 Grafik Preventive Maintenance Filter KV2281

b. Komponen Filter KV2283

• Analisis Keandalan

Berdasarkan data *failure rate* yang diketahui, maka keandalan pada komponen *filter* KV2283 dapat ditentukan. Sehingga dari parameter tersebut dapat dilakukan evaluasi keandalan untuk nilai t (jam). Untuk evaluasi keandalan menggunakan persamaan distribusi *weibull* (2.14) pada BAB II, dengan bantuan *software reliasoft weibull 6 ++* dapat diketahui β (β) = 1,2875, dan η (η) = 36893. Penurunan nilai keandalan komponen dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini dengan plot keandalan berdasarkan waktu.



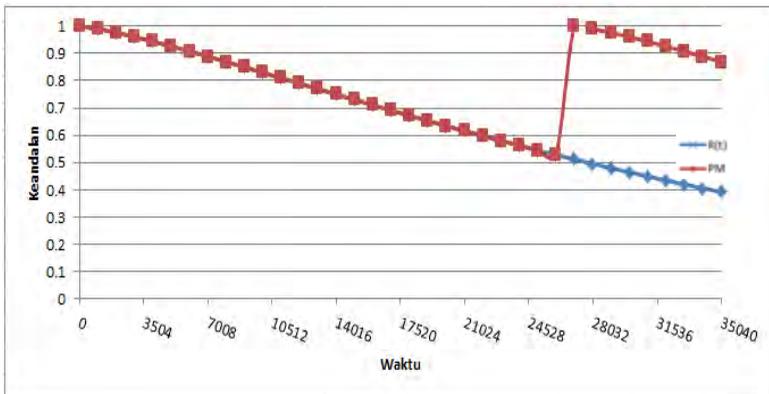
Gambar 4.3 Grafik Keandalan *Filter* KV2283

Nilai keandalan pada komponen *filter* KV2283 yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 dapat terlihat laju keandalannya. Dalam interval waktu 8760 jam (1 tahun) mengalami penurunan keandalan hingga bernilai 0,85. Dari nilai tersebut menunjukkan komponen ini memiliki keandalan kuat dan menunjukkan bahwa peluang kegagalan dalam interval waktu 1 tahun operasi pada komponen *filter* KV2283 sangat kecil terjadi.

- **Analisis *Preventive Maintenance***

Komponen *filter* KV2283 dilakukan *preventive maintenance* setiap interval 27000 jam sekali, interval tersebut untuk menjaga komponen tetap berada pada keandalan minimum *moderate*. Dengan semakin singkatnya waktu yang dibutuhkan untuk perawatan maka diharapkan frekuensi kerusakan komponen tersebut akan berkurang dan bekerja semaksimal mungkin.

Hasil *preventive maintenance* di plot dalam grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional pada Gambar 4.4.

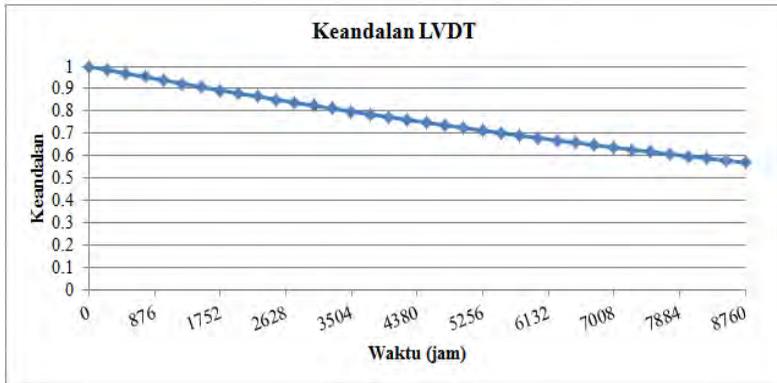


Gambar 4.4 Grafik *Preventive Maintenance* Filter KV2283

c. Komponen LVDT

- **Analisis Keandalan**

Berdasarkan data *failure rate* yang diketahui, maka keandalan pada komponen LVDT pada *inlet guide valve* (IGV) dapat ditentukan. Sehingga dari parameter tersebut dapat dilakukan evaluasi keandalan untuk nilai t (jam). Untuk evaluasi keandalan menggunakan persamaan distribusi *exponensial* (2.18) pada BAB II, dengan bantuan *software reliasoft weibull 6 ++* dapat diketahui *lamda* (λ) = $6,42 \times 10^{-5}$. Penurunan tingkat keandalan komponen dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah ini dengan plot keandalan berdasarkan waktu.



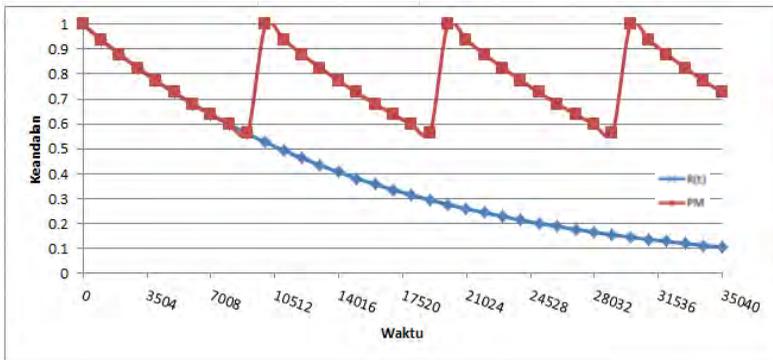
Gambar 4.5 Grafik Keandalan LVDT

Nilai keandalan pada komponen LVDT yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 dapat terlihat laju keandalannya. Dalam interval waktu 8760 jam (1 tahun) mengalami penurunan keandalan hingga bernilai 0,56. Dari nilai tersebut menunjukkan komponen ini memiliki keandalan *moderate* dan menunjukkan bahwa peluang kegagalan dalam interval waktu 1 tahun operasi pada komponen LVDT masih kecil terjadi.

- **Analisis *Preventive Maintenance***

Komponen LVDT dilakukan *preventive maintenance* setiap interval 10000 jam sekali, interval tersebut untuk menjaga komponen tetap berada pada keandalan *moderate*. Dengan semakin singkatnya waktu yang dibutuhkan untuk perawatan maka diharapkan frekuensi kerusakan komponen tersebut akan berkurang dan bekerja semaksimal mungkin.

Hasil *preventive maintenance* di plot dalam grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional pada Gambar 4.6.

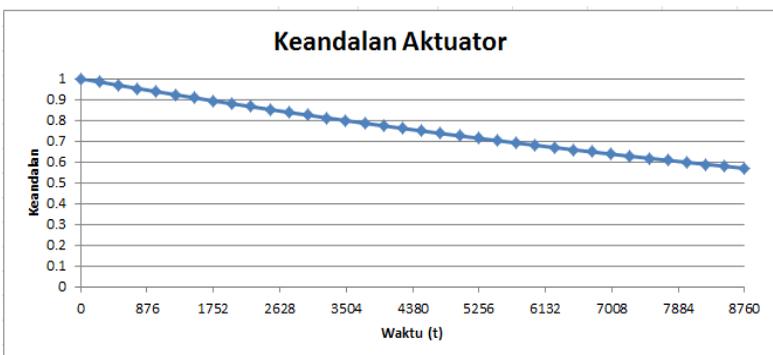


Gambar 4.6 Grafik *Preventive Maintenance* LVDT

d. Komponen Aktuator

- Analisis Keandalan

Berdasarkan data *failure rate* yang diketahui, maka keandalan pada komponen aktuator pada *inlet guide valve* (IGV) dapat ditentukan. Sehingga dari parameter tersebut dapat dilakukan evaluasi keandalan untuk nilai t (jam). Untuk evaluasi keandalan menggunakan persamaan distribusi *exponensial* (2.18) pada BAB II, dengan bantuan *software reliasoft weibull 6 ++* dapat diketahui λ (λ) = $6,42 \times 10^{-5}$. Penurunan tingkat keandalan komponen dapat dilihat pada Gambar 4.7 dengan plot keandalan berdasarkan waktu.



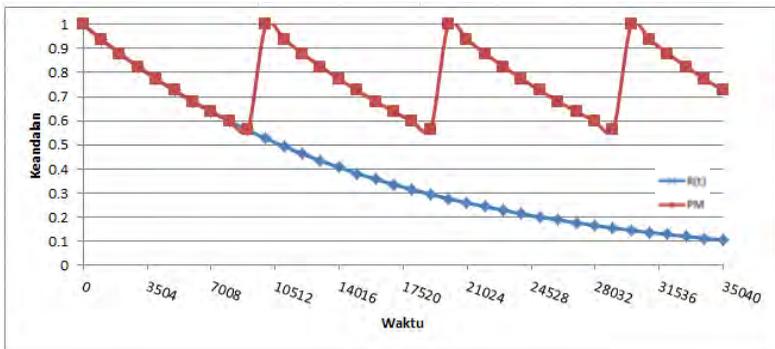
Gambar 4.7 Grafik Keandalan Aktuator

Nilai keandalan pada komponen aktuator yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 dapat terlihat laju keandalannya. Dalam interval waktu 8760 jam (1 tahun) mengalami penurunan keandalan hingga bernilai 0,56. Dari nilai tersebut menunjukkan komponen ini memiliki keandalan *moderate* dan menunjukkan bahwa peluang kegagalan dalam interval waktu 1 tahun operasi pada komponen masih kecil terjadi.

- **Analisis Preventive Maintenance**

Komponen aktuator dilakukan *preventive maintenance* setiap interval 10000 jam sekali, interval tersebut untuk menjaga komponen tetap berada pada keandalan *moderate*. Dengan semakin singkatnya waktu yang dibutuhkan untuk perawatan maka diharapkan frekuensi kerusakan komponen tersebut akan berkurang dan bekerja semaksimal mungkin.

Hasil *preventive maintenance* di plot dalam grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional pada Gambar 4.8.



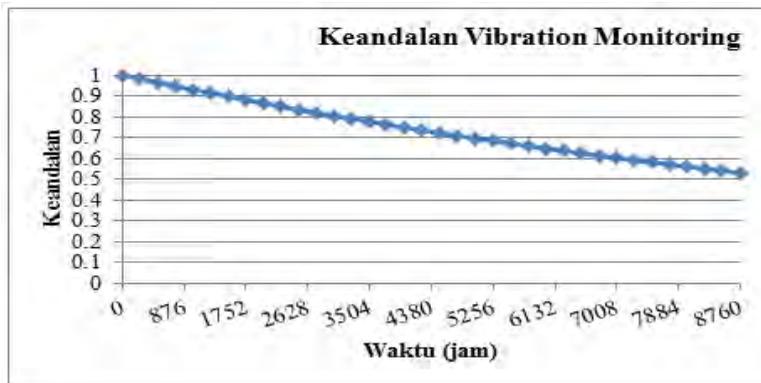
Gambar 4.8 Grafik *Preventive Maintenance* Aktuator

e. Komponen *Vibration Monitoring*

- **Analisis Keandalan**

Berdasarkan data *failure rate* yang diketahui, maka keandalan pada komponen *vibration monitoring* pada kompresor dapat ditentukan. Sehingga dari parameter tersebut dapat dilakukan evaluasi keandalan untuk nilai t (jam). Untuk evaluasi keandalan menggunakan persamaan distribusi *exponensial* (2.18)

pada BAB II, dengan bantuan *software reliasoft weibull 6 ++* dapat diketahui $\lambda = 7,26 \times 10^{-5}$. Penurunan tingkat keandalan komponen dapat dilihat pada Gambar 4.9 di bawah ini dengan plot keandalan berdasarkan waktu.



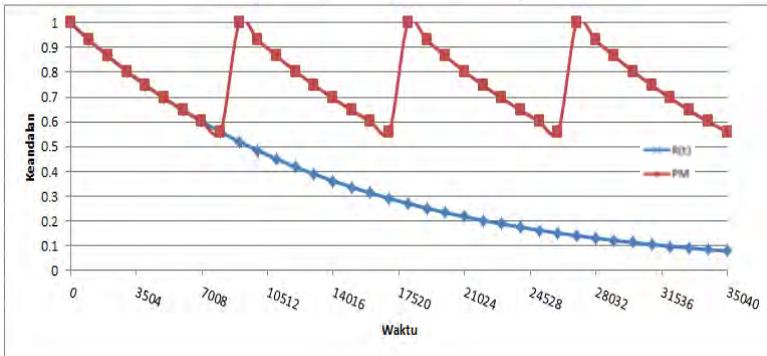
Gambar 4.9 Grafik Keandalan *Vibration Monitoring*

Nilai keandalan pada komponen *vibration monitoring* yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 dapat terlihat laju keandalannya. Dalam interval waktu 8760 jam (1 tahun) mengalami penurunan keandalan hingga bernilai 0,52. Dari nilai tersebut menunjukkan komponen ini memiliki keandalan *moderate* dan menunjukkan bahwa peluang kegagalan dalam interval waktu 1 tahun operasi pada komponen masih kecil terjadi.

- **Analisis *Preventive Maintenance***

Komponen *vibration monitoring* dilakukan *preventive maintenance* setiap interval 4750 jam sekali, interval tersebut untuk menjaga komponen *vibration monitoring* tetap berada pada keandalan *moderate*. Dengan semakin singkatnya waktu yang dibutuhkan untuk perawatan maka diharapkan frekuensi kerusakan komponen tersebut akan berkurang dan bekerja semaksimal mungkin.

Hasil *preventive maintenance* di plot dalam grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional pada gambar 4.10.

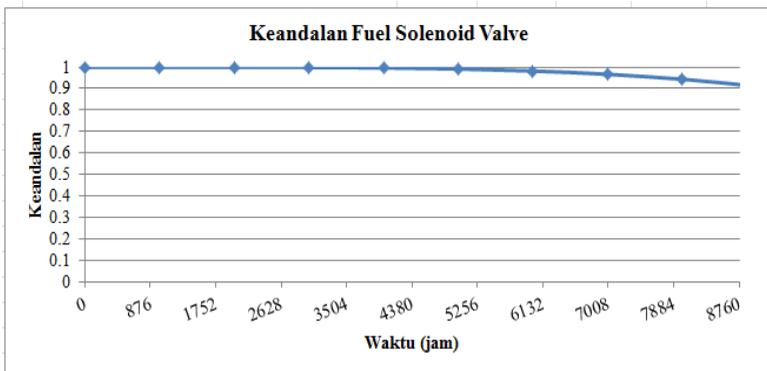


Gambar 4.10 Grafik *Preventive Maintenance Vibration Monitoring*

f. Komponen *Fuel Solenoid Valve*

- **Analisis Keandalan**

Berdasarkan data *failure rate* yang diketahui, maka keandalan pada komponen *fuel solenoid valve*. dapat ditentukan. Sehingga dari parameter tersebut dapat dilakukan evaluasi keandalan untuk nilai t (jam). Untuk evaluasi keandalan menggunakan persamaan distribusi *weibull2p* (2.14) pada BAB II, dengan bantuan *software reliasoft weibull 6 ++* dapat diketahui *beta* (β) = 4.039 dan *eta* (η) = 16170. Penurunan tingkat keandalan komponen dapat dilihat pada Gambar 4.11 di bawah ini dengan plot keandalan berdasarkan waktu.



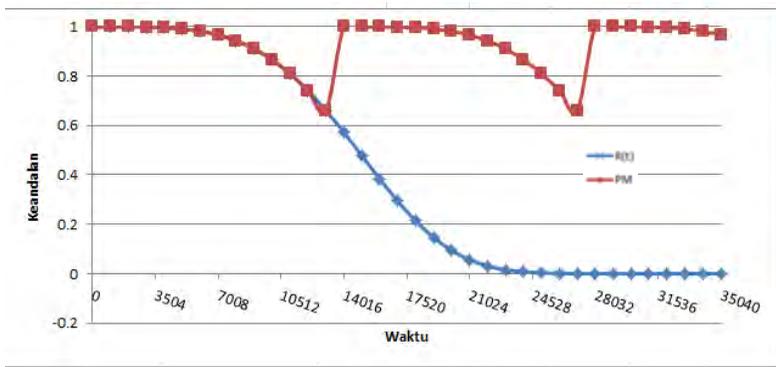
Gambar 4.11 Grafik Keandalan *Fuel Solenoid Valve*

Nilai keandalan pada komponen *fuel solenoid valve* yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 dapat terlihat laju keandalannya. Dalam interval waktu 8760 jam (1 tahun) mengalami penurunan keandalan hingga bernilai 0,91. Dari nilai tersebut menunjukkan komponen ini memiliki keandalan sangat kuat dan menunjukkan bahwa peluang kegagalan dalam interval waktu 1 tahun operasi pada komponen sangat kecil terjadi.

- **Analisis *Preventive Maintenance***

Komponen *fuel solenoid valve* dilakukan *preventive maintenance* setiap interval 12500 jam sekali, interval tersebut untuk menjaga komponen tetap berada pada keandalan *moderate*. Dengan semakin singkatnya waktu yang dibutuhkan untuk perawatan maka diharapkan frekuensi kerusakan komponen tersebut akan berkurang dan bekerja semaksimal mungkin.

Hasil *preventive maintenance* di plot dalam grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional pada Gambar 4.12.

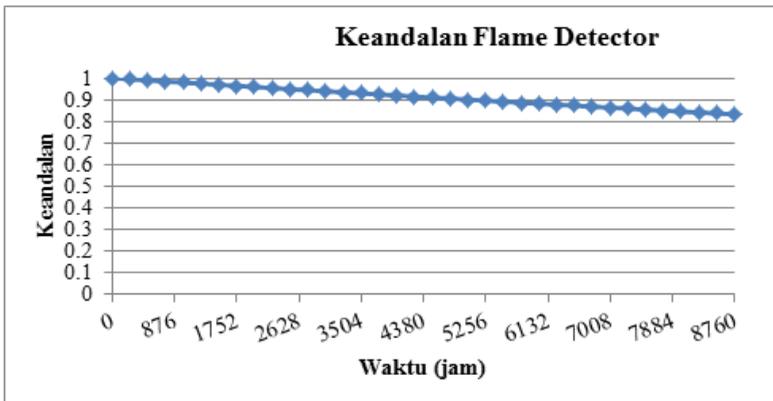


Gambar 4.12 Grafik *Preventive Maintenance Fuel Solenoid Valve*

g. Komponen *Flame Detector (FD)*

- **Analisis Keandalan**

Berdasarkan data *failure rate* yang diketahui, maka keandalan pada komponen *flame detector (FD)* pada *combustion* dapat ditentukan. Sehingga dari parameter tersebut dapat dilakukan evaluasi keandalan untuk nilai t (jam). Untuk evaluasi keandalan menggunakan persamaan distribusi *exponensial* (2.18) pada BAB II, dengan bantuan *software reliasoft weibull 6 ++* dapat diketahui $\lambda = 2,1 \times 10^{-5}$. Penurunan tingkat keandalan komponen dapat dilihat pada Gambar 4.13 di bawah ini dengan plot keandalan berdasarkan waktu.



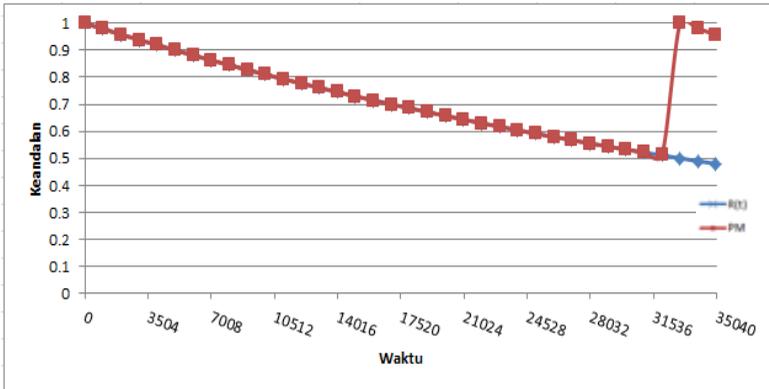
Gambar 4.13 Grafik Keandalan *Flame Detector*

Nilai keandalan pada komponen *flame detector* (FD) yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 terlihat laju keandalannya. Dalam interval waktu 8760 jam (1 tahun) mengalami penurunan keandalan hingga bernilai 0,83. Dari nilai tersebut menunjukkan komponen ini memiliki kuat dan menunjukkan bahwa peluang kegagalan dalam interval waktu 1 tahun operasi pada komponen *flame detector* (FD) sangat kecil terjadi.

- **Analisis Preventive Maintenance**

Komponen *flame detector* dilakukan *preventive maintenance* setiap interval 33000 jam sekali, interval tersebut untuk menjaga komponen *flame detector* tetap berada pada keandalan *moderate*. Dengan semakin singkatnya waktu yang dibutuhkan untuk perawatan maka diharapkan frekuensi kerusakan komponen tersebut akan berkurang dan bekerja semaksimal mungkin.

Hasil *preventive maintenance* di plot dalam grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional pada Gambar 4.14 di bawah ini.



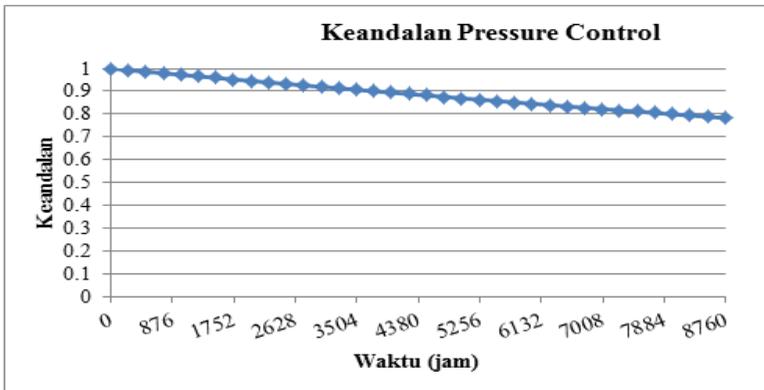
Gambar 4.14 Grafik *Preventive Maintenance Flame Detector*

Komponen *flame detector* dilakukan *preventive maintenance* setiap interval 33000 jam sekali, interval tersebut untuk menjaga komponen *flame detector* tetap berada pada keandalan *moderate*. Dengan semakin singkatnya waktu yang dibutuhkan untuk perawatan maka diharapkan frekuensi kerusakan komponen tersebut akan berkurang dan bekerja semaksimal mungkin.

h. Komponen PC Exhaust

- **Analisis Keandalan**

Berdasarkan data *failure rate* yang diketahui, maka keandalan pada komponen *pressure control (PC) Exhaust* dapat ditentukan. Sehingga dari parameter tersebut dapat dilakukan evaluasi keandalan untuk nilai t (jam). Untuk evaluasi keandalan menggunakan persamaan distribusi *exponensial* (2.18) pada BAB II, dengan bantuan *software reliasoft weibull 6 ++* dapat diketahui λ (λ) = $2,79 \times 10^{-5}$. Penurunan tingkat keandalan komponen dapat dilihat pada Gambar 4.15 di bawah ini dengan plot keandalan berdasarkan waktu.



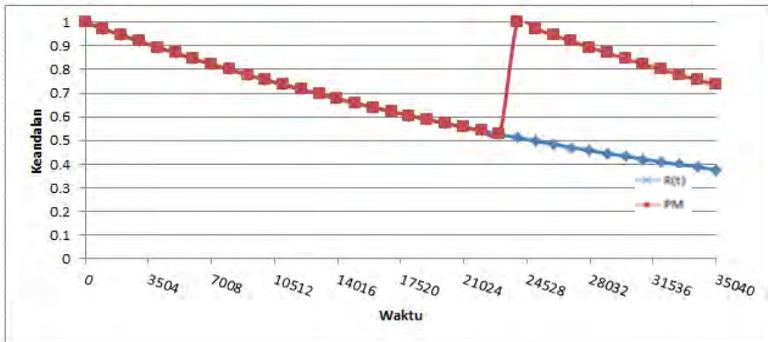
Gambar 4.15 Grafik Keandalan *Pressure Control*

Nilai keandalan pada komponen *pressure control* (PC) yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 terlihat laju keandalannya. Dalam interval waktu 8760 jam (1 tahun) mengalami penurunan keandalan hingga bernilai 0,78. Dari nilai tersebut menunjukkan komponen ini memiliki keandalan yang tidak baik dan menunjukkan bahwa peluang kegagalan dalam interval waktu 1 tahun operasi pada komponen *pressure control* (PC) cukup kecil terjadi.

- **Analisis *Preventive Maintenance***

Komponen *pressure control* (PC) dilakukan *preventive maintenance* setiap interval 24000 jam sekali, interval tersebut untuk menjaga komponen PC tetap berada pada keandalan *moderate*. Dengan semakin singkatnya waktu yang dibutuhkan untuk perawatan maka diharapkan frekuensi kerusakan komponen tersebut akan berkurang dan bekerja semaksimal mungkin.

Hasil *preventive maintenance* di plot dalam grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional pada Gambar 4.16 di bawah ini.

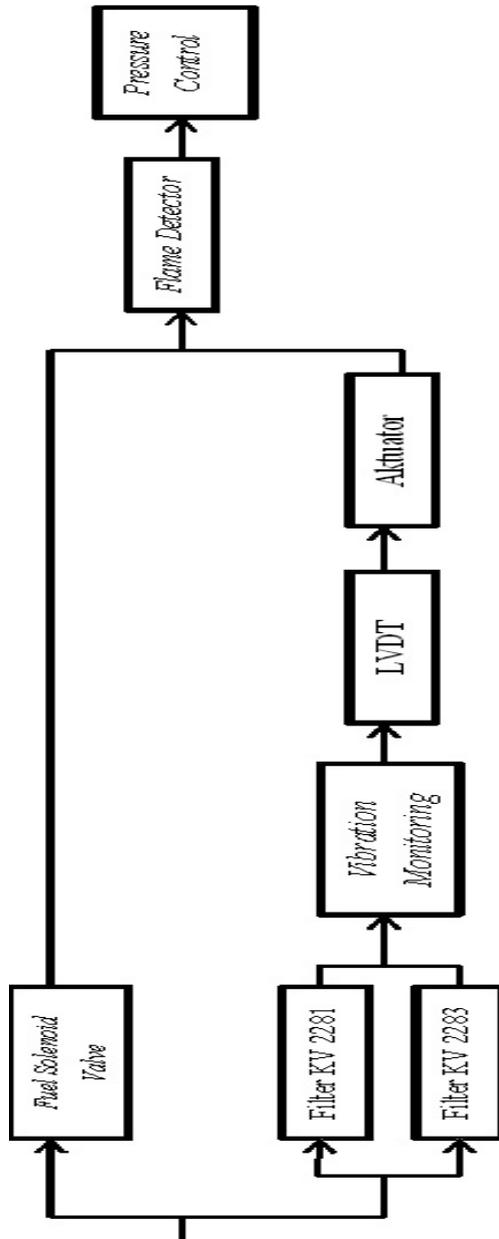


Gambar 4.16 Grafik *Preventive Maintenance Pressure Control*

4.1.2 Evaluasi Keandalan Sistem.

Proses perhitungan keandalan sistem turbin gas, perlu dilakukan identifikasi tentang instalasi sistem, apakah tersusun secara seri atau paralel. Hasil identifikasi yang telah dijelaskan pada BAB II diperoleh sistem pengendalian pada turbin gas tersusun secara seri dan paralel yang dapat ditunjukkan pada *reliability block diagram* (RBD) di bawah ini. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai keandalan, adapun perhitungan nilai keandalan pada turbin gas adalah sebagai berikut:

- Diketahui :
- $R_1 = R$ (*Fuel Solenoid Valve*)
 - $R_2 = R$ (*Filter KV2281*)
 - $R_3 = R$ (*Filter KV2283*)
 - $R_4 = R$ (*Vibration Monitoring*)
 - $R_5 = R$ (*LVDT*)
 - $R_6 = R$ (*Aktuator*)
 - $R_7 = R$ (*Flame Detector*)
 - $R_8 = R$ (*Pressure Control*)



Gambar 4.17 Diagram Blok Keandalan Pada Turbin Gas

Hubungan antar komponen yang dihitung nilai keandalannya dapat dilihat pada Gambar 4.17. Berdasarkan diagram blok keandalan pada Gambar 4.17, maka total keandalan sistem dihitung melalui persamaan berikut:

$$R_{p1} = 1 - (1 - R_2) \times (1 - R_3)$$

$$R_{s1} = R_{p1} \times R_4 \times R_5 \times R_6$$

$$R_{s3} = R_7 \times R_8$$

$$R_{p.total} = 1 - (1 - R_1) \times (1 - R_{s1})$$

$$R_{system} = R_{p.total} \times R_{s3}$$

Keterangan: R = Keandalan (*Reliability*)

R_p = Keandalan rangkaian paralel

R_s = Keandalan rangkaian seri

Setelah menghitung keandalan setiap komponen, kemudian dihitung keandalan sistem yang sesuai persamaan pada BAB II dengan menggunakan t (waktu) 4500 jam operasional dengan asumsi tanpa perbaikan selama kurun waktu tersebut (*free maintenance*) dan komponen yang dapat dihitung nilai keandalannya adalah komponen yang memiliki riwayat kegagalan lebih dari dua kali pada data *maintenance*. Kemudian dari hasil perhitungan didapatkan hasil yang disampaikan dalam tabel 4.1:

Tabel 4.1 Keandalan Sistem Turbin Gas

Tag Number	Keandalan komponen $R_k(t)$	Keandalan Sistem $R_s(t)$
<i>Fuel Solenoid Valve</i>	0.994	0.798
<i>Filter KV2281</i>	0.793	
<i>Filter KV2283</i>	0.935	
<i>Vibration Monitoring</i>	0.721	
LVDT	0.749	
Aktuator	0.749	
<i>Flame Detector</i>	0.909	
<i>Pressure Control</i>	0.882	

Dari Tabel 4.1 menunjukkan nilai keandalan sistem yang masih dalam keadaan baik dalam interval waktu operasional 4500 jam. Dari hasil perhitungan didapatkan keandalan sistem kurang baik dengan acuan tabel (2.1). Hal ini ditunjukkan dengan nilai keandalan 0,798. Sehingga termasuk pada nilai keandalan *moderate*.

4.2 Analisis Kualitatif.

Analisis kualitatif dapat dilakukan dengan dua penerapan metode yaitu metode *failure mode and effect analysis* (FMEA) dan metode *fault tree analysis* (FTA). Untuk analisis dengan metode FMEA dimulai dengan membuat informasi kertas kerja (*worksheet*) yang meliputi fungsi (*function*), kegagalan fungsi (*failure mode*) dan efek kegagalan (*failure effect*). Selanjutnya, dilakukan analisis dengan metode FTA yang disusun berdasarkan penyebab terjadinya *failure mode* yang dideteksi dari metode FMEA.

4.2.1 Analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Analisis *failure mode and effect analysis* dilakukan pada tiap komponen berdasarkan sub komponen yang ada. *Failure mode and effect analysis* dilakukan untuk menganalisis dampak suatu masalah dalam subkomponen. Sehingga dari hasil tersebut dapat diambil langkah-langkah untuk pengembangan dari desain keandalan. FMEA *work sheet*.

Beberapa komponen yang dianalisis adalah komponen pada sistem turbin gas antara lain.

- Komponen *Flame Detector*

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk *flame detector* adalah *unreadable* atau kegagalan mendeteksi nyala api. Hal ini disebabkan karena kerusakan pada kabel dan lensa *flame detector* kotor. Dampak dari kegagalan tersebut adalah penunjukkan indikator tidak tepat

- Komponen LVDT

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk LVDT adalah *unreadable* atau kegagalan mengatur posisi *valve* yang

menyebabkan pasokan udara yang menuju *combustion* tidak sesuai. Hal ini disebabkan karena *electric controller* tidak bekerja dengan baik. Dampak dari kegagalan tersebut adalah pasokan udara tidak terkontrol.

- **Komponen Aktuator**

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk aktuator adalah *unreadable* atau kegagalan mengatur pasokan udara yang menuju *combustion*. Hal ini disebabkan karena *electric controller* tidak bekerja dengan baik. Dampak dari kegagalan tersebut adalah pasokan udara tidak terkontrol.

- **Komponen *Vibration Monitoring***

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk *vibration monitoring* adalah *unreadable* atau kegagalan memproteksi vibrasi pada turbin gas. Hal ini disebabkan karena kerusakan pada kabel. Dampak dari kegagalan tersebut adalah vibrasi pada turbin gas tidak terkendali.

- **Komponen *Fuel Solenoid Valve***

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk *fuel solenoid valve* adalah *unreadable* atau kegagalan mengatur bukaan *fuel valve*. Hal ini disebabkan karena piston kotor. Dampak dari kegagalan tersebut adalah solenoid mengalami kerusakan.

- **Komponen Termokopel TTXD**

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk termokopel TTXD adalah *unreadable* atau kegagalan mengindikasikan temperatur *exhaust* turbin gas dan kebocoran. Untuk *unreadable* disebabkan karena modul kotor dan kerusakan pada kabel, sedangkan kebocoran disebabkan oleh tubing yang mengalami kebocoran. Akibatnya, bila modul kotor, penunjukkan indikator tidak tepat. Sedangkan bila tubing bocor, temperatur yang dideteksi tidak sesuai.

- **Komponen *Temperature Control TC-Kompresor***

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk *temperature control* adalah *unreadable* atau kegagalan mengindikasikan dan mengontrol temperatur pada kompresor. Hal ini disebabkan karena kerusakan pada kabel dan sensor terhambat kotoran.

Dampak dari kegagalan tersebut adalah temperatur tidak terkontrol.

- *Komponen Temperature Control TC-Combustion*

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk *temperature control* adalah *unreadable* atau kegagalan mengindikasikan dan mengontrol temperatur pada *combustion*. Hal ini disebabkan karena kerusakan sensor. Dampak dari kegagalan tersebut adalah temperatur tidak terkontrol.

- *Komponen Valve Hydraulic Oil*

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk *hydraulic oil* adalah *unreadable* atau kegagalan menggerakkan *gas valve*. Hal ini disebabkan karena *valve* tersumbat kotoran. Dampak dari kegagalan tersebut adalah *valve* mengalami macet.

- *Komponen Pressure Control PC-Exhaust*

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk *pressure control* adalah *unreadable* atau kegagalan mengatur tekanan gas. Hal ini disebabkan karena sensor terhambat kotoran. Dampak dari kegagalan tersebut adalah tekanan tidak terkontrol.

- *Komponen Fire Detector*

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk *fire detector* adalah *unreadable* atau kegagalan mendeteksi nyala api pada ruang turbin gas. Hal ini disebabkan karena sensor rusak. Dampak dari kegagalan tersebut adalah tidak ada indikasi alarm saat terjadi kebakaran.

- *Komponen Pressure Control PC-Combustion*

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk *pressure control* adalah *unreadable* atau kegagalan mengatur tekanan gas pada *combustion*. Hal ini disebabkan karena sensor rusak. Dampak dari kegagalan tersebut adalah tekanan tidak terkontrol.

- *Komponen Flow Indikator FI-Kompresor*

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk *flow indikator* adalah *unreadable* atau kegagalan mengindikasikan aliran udara pada kompresor. Hal ini disebabkan karena sensor gagal mengirim sinyal. Dampak dari kegagalan tersebut adalah aliran udara setelah melalui kompresor tidak terindikasikan.

- **Komponen Filter Gas**

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk filter gas adalah *unreadable* atau kegagalan memisahkan partikel kering dari gas dan kebocoran. Untuk *unreadable* disebabkan karena banyak partikel yang menyumbat, sedangkan kebocoran disebabkan instrument yang mengalami kebocoran. Akibatnya, bila banyak partikel yang menyumbat, filter tersumbat. Sedangkan bila instrument bocor, benda asing akan masuk ke dalam turbin gas.

- **Komponen Pada Air Filter**

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk *air filter* adalah *unreadable* atau kegagalan menyaring debu yang akan masuk ke turbin gas dan kebocoran. Untuk *unreadable* disebabkan karena *back wash* macet, sedangkan kebocoran disebabkan kebocoran pada tubing dan instrument serta *tubing connection* yang lepas. Akibatnya, bila *back wash* macet, filter tersumbat. Sedangkan bila tubing dan instrument bocor serta *tubing connection* yang lepas, benda asing akan masuk ke dalam turbin gas.

- **Komponen Flow Indikator FI-Gas**

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk *pressure control* adalah *unreadable* atau kegagalan mengindikasikan aliran gas untuk *supply* bahan bakar. Hal ini disebabkan karena sensor gagal mengirim sinyal. Dampak dari kegagalan tersebut adalah aliran gas bahan bakar menuju *combustion* tidak terindikasikan.

- **Komponen Lube Oil**

Berdasarkan analisis *failure mode* untuk *lube oil* adalah pompa macet atau kegagalan melakukan pelumasan pada setiap komponen turbin gas dan kebocoran. Untuk pompa macet disebabkan karena kerusakan motor, sedangkan kebocoran disebabkan *seal* rusak. Akibatnya, bila motor rusak, fluida pelumas tidak mengalir. Sedangkan bila *seal* rusak, fluida pelumas akan tumpah.

4.2.2 Analisis Risk Priority Number (RPN).

Berdasarkan analisis *failure mode and effect analysis* (FMEA) yang telah ditentukan nilai *severity*, *occurrence* dan *detection*, maka dengan menggunakan persamaan 2.21 di BAB II

diperoleh nilai RPN untuk setiap mode kegagalan sub komponen pada tiap komponen. Berdasarkan hasil perhitungan, untuk mode kegagalan komponen dengan nilai RPN tertinggi yaitu *unreadable* dan kebocoran yang terjadi pada termokopel TTXD dengan nilai RPN 60. Kedua mode kegagalan tersebut memiliki nilai RPN sebesar 32 dan 28.

Tabel 4.2 Nilai Perhitungan RPN TTXD

Komponen	Potensial Failure Mode	Severity	Occurance	Detection	RPN
TTXD	<i>Kebocoran</i>	7	2	2	28
	<i>Unreadable</i>	8	2	2	32

Dampak kegagalan telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Hasil nilai RPN berdasarkan analisis *failure mode and effect analysis* (FMEA) dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai *Risk Priority Number* (RPN)

No	Tag Number	RPN
1	<i>Flame detector</i>	20
2	LVDT	7
3	Aktuator	7
4	<i>Vibration monitoring</i>	40
5	<i>Fuel Solenoid Valve</i>	5
6	TTXD	60
7	TC-kompresor	7
8	TC-combustion	18
9	<i>Valve Hidrolic Oil</i>	20
10	PC-exhaust	12
11	<i>Fire Detector</i>	10
12	PC-Combustion	14
13	FI-kompresor	6
14	Filter Gas	8
15	<i>Air Filter</i>	17
16	FI Gas	10
17	<i>Lube Oil</i>	11

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui nilai *risk priority number* (RPN) dari masing-masing komponen. Dimana semakin besar nilai RPN maka semakin rawan komponen tersebut mengalami kegagalan. Hasil dari RPN menunjukkan tingkatan prioritas peralatan yang dianggap beresiko tinggi untuk terjadi kegagalan, sehingga dapat dijadikan sebagai penunjuk ke arah tindakan perbaikan.

Bila dilihat dari sub komponen pada komponen yang menjadi prioritas utama dan menjadi perhatian utama adalah mode kegagalan dengan nilai RPN yang besar dan mempunyai efek keparahan yang tinggi bagi pengguna. Mode kegagalan

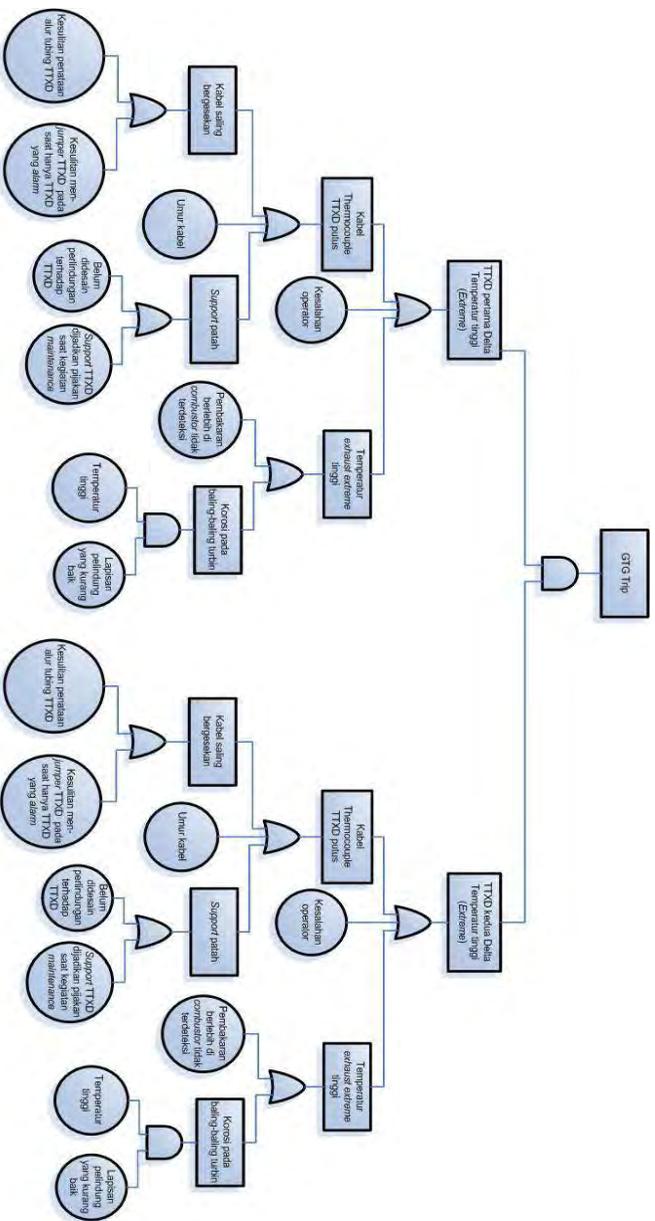
tersebut antara lain terdapat pada komponen termokopel TTXD untuk sub komponen modul instrument, kabel dan tubing.

4.2.3 *Fault Tree Analysis (FTA)*

Analisis dengan menerapkan metode *fault tree analysis* dibuat berdasarkan proses secara keseluruhan saat *top event* yaitu generator turbin gas (GTG) mengalami kegagalan (*trip*) (gambar 4.18), kemudian diperinci hingga diperoleh *basic event*. *Fault tree analysis* pada turbin gas menunjukkan bahwa kegagalan termokopel TTXD pertama dan termokopel TTXD kedua yang berdampingan terjadi, Kegagalan tersebut dapat terjadi apabila salah satu dari ketiga *event* mengalami kegagalan, ketiga event tersebut adalah gangguan pada kabel, temperatur, *exhaust extreme* tinggi, dan kesalahan operator. Kesalahan operator ini termasuk *human error*, dimana operator salah dalam pembacaan pada sistem alarm pengendalian temperatur *exhaust* turbin gas yang terpantau pada *distributed control system* (DCS). Berdasarkan ketiga *event* tersebut didapatkan *basic event* yaitu kesulitan penataan alur tubing, kesulitan men-*jumper* TTXD, belum di desain perlindungan terhadap TTXD, umur kabel, *support* TTXD yang dijadikan pijakan saat kegiatan *maintenance*, pembakaran di *combustor* tidak terdeteksi, lapisan perlindungan yang kurang baik dan disertai temperatur tinggi.

Peneliti sebelumnya yang pernah meneliti pada turbin gas adalah **Jesse Andrewus, John Watson** dan **Mohammed Kishk** dengan judul jurnal "*Maintenance optimization of wind turbines*". Penelitian tersebut menunjukkan hasil analisis menggunakan FTA adalah korosi turbin gas akibat masuknya benda asing. (Andrewus, Watson, & Kishk, 2007)

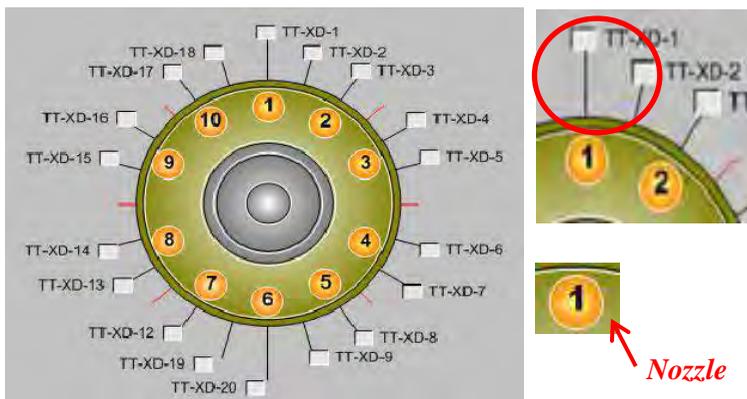
Skema *fault tree analysis* (FTA) yang disusun berdasarkan penyebab terjadinya *failure mode* yang dideteksi dari FMEA, jurnal dan wawancara dengan operator yang berpengalaman di PT. Petrokimia Gresik. Dengan adanya model FTA ini, semua *failure mode* yang terjadi pada turbin gas dapat diidentifikasi sehingga memberikan informasi tambahan kepada teknisi yang bertugas menangani sistem tersebut.



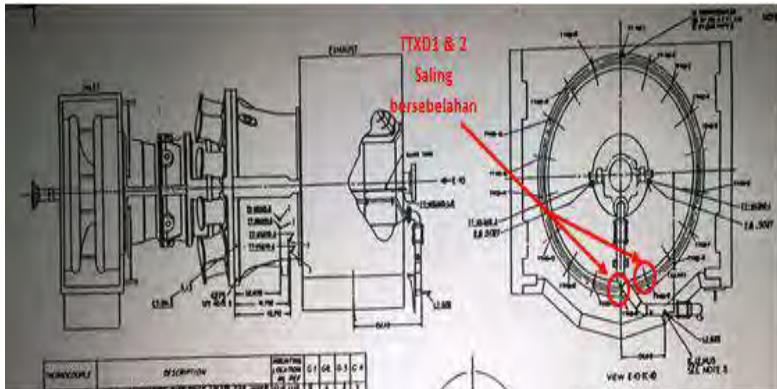
Gambar 4.18 Skema FTA Pada GTG

Termokopel TTXD pada *exhaust* turbin gas berjumlah 18, dapat dilihat pada Gambar 4.19. Fungsi dari termokopel ini adalah untuk mendeteksi temperatur *exhaust* turbin gas. Termokopel TTXD merupakan alat proteksi turbin gas. Logika sistem alarm dan *shutdown* dari termokopel TTXD tersebut adalah: (Nafsan, 2014)

- Apabila terdapat 1 termokopel yang gagal, maka turbin gas masih dapat berjalan, namun ada indikasi alarm.
- Apabila terdapat 2 termokopel yang tidak saling bersebelahan gagal, maka turbin gas masih dapat berjalan, namun ada indikasi alarm.
- Apabila terdapat 2 termokopel yang saling bersebelahan gagal, maka turbin gas akan *trip*.



Gambar 4.19 Letak Termokopel TTXD1 dan TTXD2 Pada *Exhaust* Turbin Gas (Nafsan, 2014)



Gambar 4.20 Letak TTXD Pada GTG (Nafsan, 2014)

Termokopel TTXD1 gagal, berdasarkan logika sistem alarm diatas maka generator turbin gas (GTG) masih dapat berjalan. kemudian termokopel TTXD2 gagal sehingga dengan adanya dua termokopel gagal yang saling bersebelahan dan dapat ditunjukkan pada Gambar 4.20, maka GTG *trip* dan *plant* mengalami *shut down total*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

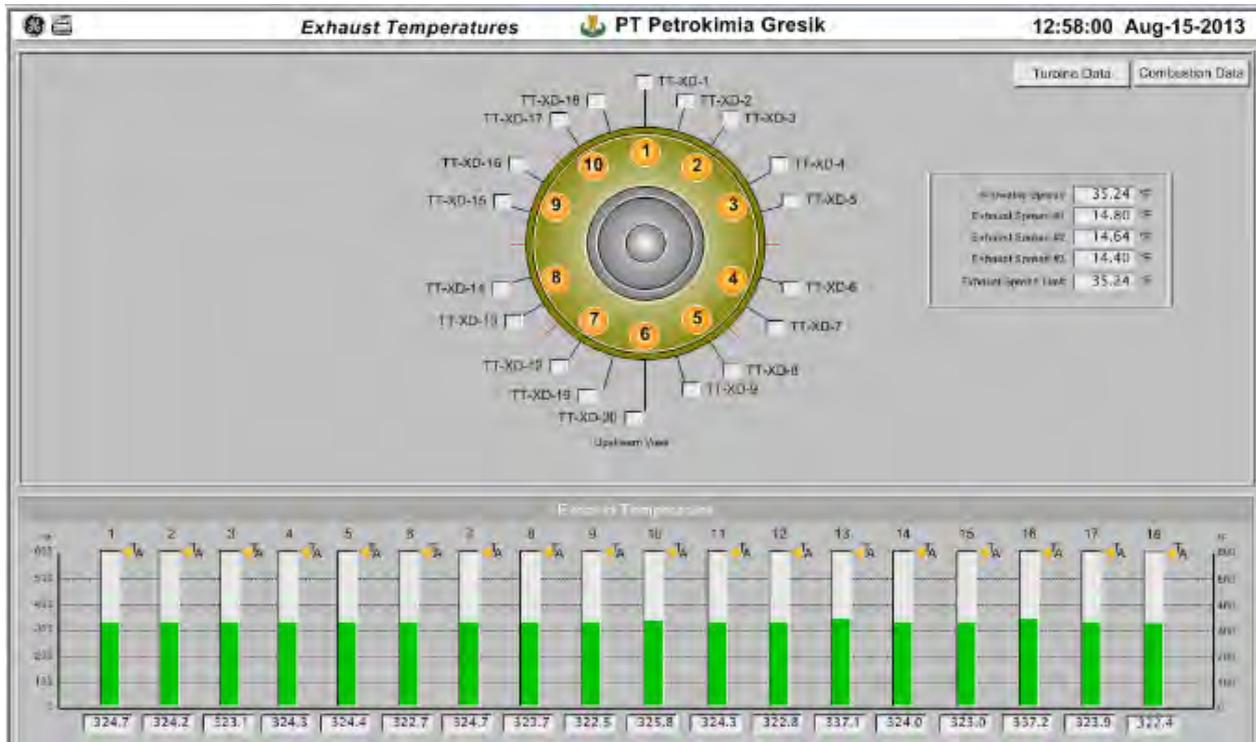
Berdasarkan analisis yang dilakukan dengan metode kuantitatif dengan perhitungan keandalan secara langsung dan penentuan waktu perawatan, serta dilakukan analisis kualitatif dengan metode FMEA dan FTA dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

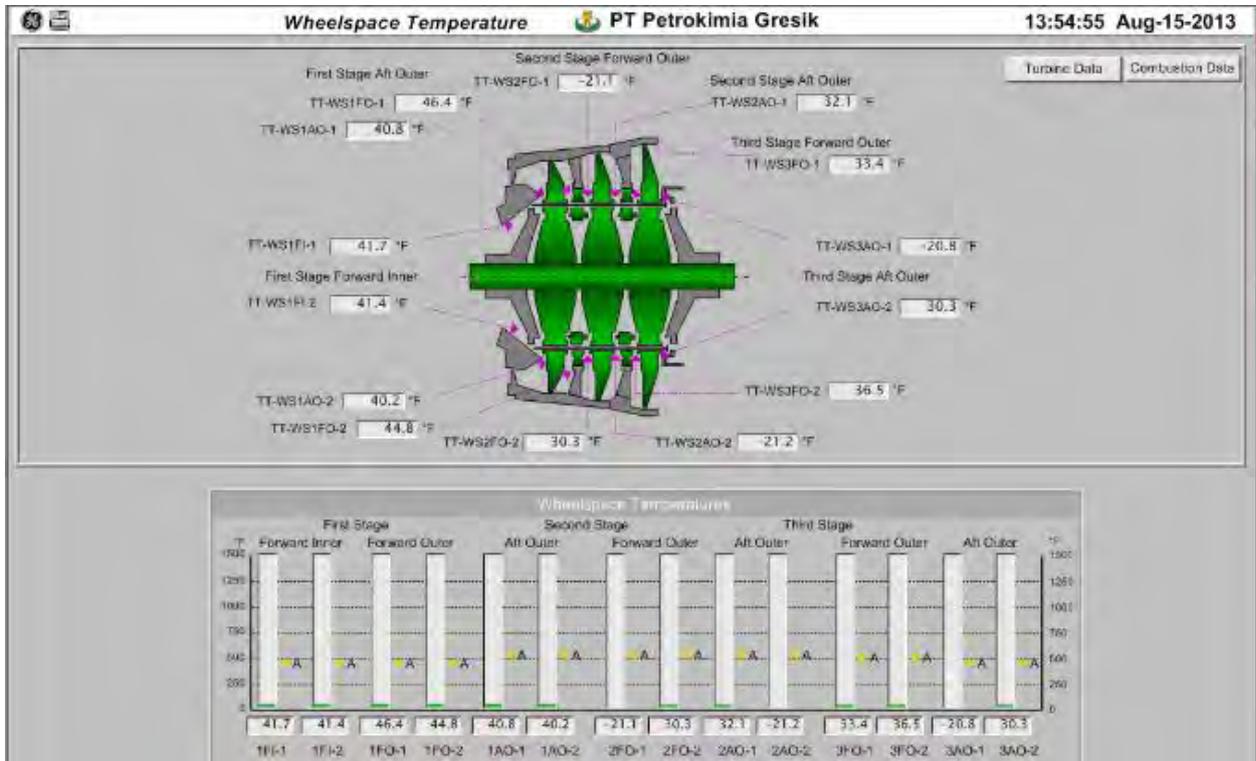
1. Dalam selang waktu 8760 jam operasional atau 1 tahun, komponen yang memiliki keandalan paling rendah yaitu *vibration monitoring* dengan nilai keandalan tergolong *moderate* yaitu 0,52.
2. Nilai keandalan terendah yang ditunjukkan pada komponen *vibration monitoring* menunjukkan *preventive maintenance* yang harus dilakukan juga masih cukup lama.
3. Nilai keandalan sistem pada waktu 4380 jam atau 6 bulan operasional didapatkan nilai keandalan sebesar 0,798, dan tergolong *moderate*.
4. Komponen dengan nilai RPN tertinggi yaitu TTXD.
5. *Top event* hasil FTA adalah GTG *trip* dan *basic event* adalah kesulitan penataan alur tubing TTXD, kesulitan men- *jumper* TTXD, belum didesain perlindungan terhadap TTXD, *support* TTXD dijadikan pijakan saat kegiatan *maintenance*, lapisan pelindung yang kurang baik yang disertai temperatur tinggi, kesalahan operator.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan guna pengembangan penelitian ini antara lain adalah:

1. Melakukan penelitian dengan data tambahan lain, misalnya data harga komponen, sehingga didapatkan rekomendasi yang lebih kompleks sebagai pertimbangan kepada perusahaan.
2. Karena penelitian ini hanya menganalisis keandalan dari gas turbin, maka ke depannya dapat dilakukan penelitian serupa dengan menganalisis unit yang lain.





LAMPIRAN E

Worksheet FMEA

PT. Petrokimia Gresik-Jawa Timur

No	Tag Number	Function	Potensial Failure Mode	Saverity	Potensial Effect of Failure	Occurance	Potensial Cause Of Failure	Detection	RPN
1	<i>Flame detector</i>	Mendeteksi nyala api	<i>Unreadable</i>	10	Penunjukka n indikator tidak tepat	1	Kabel rusak Lensa FD kotor	2	20
2	LVDT	Mengatur posisi <i>valve</i> pasokan udara yang menuju <i>combustion</i>	<i>Unreadable</i>	7	Pasokan udara tidak terkontrol	1	<i>Electric controller</i> tidak bekerja dengan baik	1	7
3	Aktuator	Mengatur pasokan udara yang menuju <i>combustion</i>	<i>Unreadable</i>	7	Pasokan udara tidak terkontrol	1	<i>Electric controller</i> tidak bekerja dengan baik	1	7
4	<i>Vibration monitoring</i>	Proteksi vibrasi pada GTG	<i>Unreadable</i>	10	Vibrasi GTG tidak terkendali	2	Kabel rusak	2	40
5	<i>Fuel Solenoid Valve</i>	Pengatur bukaan <i>fuel valve</i>	<i>Unreadable</i>	5	Solenoid rusak	1	Piston kotor	1	5

No	Tag Number	Function	Potensial Failure Mode	Saverity	Potensial Effect of Failure	Occurance	Potensial Cause Of Failure	Detection	RPN
6	TTXD	Indikator temperatur <i>exhaust</i> GTG	<i>Kebocoran</i>	7	Temperatur yang dideteksi tidak sesuai	2	Tubing bocor	2	28
			<i>Unreadable</i>	8	Penunjukkan indikator tidak tepat	2	1. Module kotor 2. Kabel Rusak	2	32
7	TC-kompresor	Sebagai indikator dan pengontrol temperatur	<i>Unreadable</i>	7	Temperatur tidak terkontrol	1	1. Kabel rusak 2. Sensor terhambat kotoran	1	7
8	TC-combustion	Sebagai indikator dan pengontrol temperatur	<i>Unreadable</i>	9	Temperatur tidak terkontrol	1	Sensor rusak	2	18
9	<i>Valve Hidrolic Oil</i>	Sebagai penggerak gas valve	<i>Unreadable</i>	10	<i>Valve</i> macet	1	<i>Valve</i> tersumbat kotoran	2	20
10	PC-exhaust	Mengatur tekanan gas	<i>Unreadable</i>	2	Tekanan tidak terkontrol	2	Sensor terhambat kotoran	3	12
11	<i>Fire Detector</i>	Mendeteksi nyala api	<i>Unreadable</i>	10	Tidak ada indikasi <i>alarm</i> saat terjadi kebakaran	1	Sensor rusak	1	10

No	Tag Number	Function	Potensial Failure Mode	Saverity	Potensial Effect of Failure	Occurance	Potensial Cause Of Failure	Detection	RPN
12	PC-Combustion	Mengatur tekanan gas	<i>Unreadable</i>	7	Tekanan tidak terkontrol	1	Sensor rusak	2	14
13	FI-kompresor	Sebagai indikator aliran	<i>Unreadable</i>	6	Aliran udara setelah melalui kompresor tidak terindikasi	1	Sensor gagal mengirim sinyal	1	6
14	Filter Gas	Pemisah partikel kering dari gas	Kebocoran	3	Benda asing masuk kedalam GTG	1	Instrument bocor	1	3
			<i>Unreadable</i>	5	Filter tersumbat	1	Banyak partikel yang menyumbat	1	5
15	Air Filter	Menyaring debu yang akan masuk ke GTG	Kebocoran	4	Benda asing masuk kedalam GTG	1	a. Tubing bocor b. Instrument bocor c. Tubing conection lepas	3	12
			<i>Unreadable</i>	5	Filter tersumbat	1	<i>Back wash</i> macet	1	5

No	Tag Number	Function	Potensial Failure Mode	Saverity	Potensial Effect of Failure	Occurance	Potensial Cause Of Failure	Detection	RPN
16	FI Gas	Sebagai indikator aliran gas	<i>Unreadable</i>	5	Aliran menuju <i>combustion</i> tidak terindikasi	1	Sensor gagal mengirim sinyal	2	10
17	<i>Lube Oil</i>	Melakukan pelumasan pada setiap komponen gas turbin	Kebocoran	3	Fluida tumpah	1	Seal rusak	1	3
			Pompa macet	4	Fluida tidak mengalir	1	Kerusakan motor	2	8

DAFTAR PUSTAKA

- Andrawus, Jesse, John Watson, and Mohammed Kishk. "Maintenance optimization of wind turbines." *Annual ARCOM Conference*, 2007.
- Chin, Kwai-Sang, and Ying-Ming Wang. "Failure mode and effect analysis." *Science Direct*, 2009.
- Company, Orbital Engine. "Failure Mode and Effects Analysis of Engine Function and Component Design for Mercury Marine 15hp Outboard and Stihl FS45 Line-Trimmer Engines." *FMEA technical assessment*, 2002.
- Dhillon, B.S. *Reliability, Quality, and Safety for Engineers*. USA: CRC Press, 2005.
- Ebeling, Charles E. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: The McGraw-Hill Companies, 1997.
- Ericson II, Clifton A. *Fault Tree Analysis – A History. Proceedings of the 17th International System Safety Conference*. Washington: seattle, 1999.
- Febrihantoro, Oky. "Prediksi Keandalan Pada Product Daily Tank Pabrik Bioetanol PTPN X Mojokerto." *Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS-Teknik Fisika)*, 2014.
- FMEA, AIAG. (*AIAG FMEA*). www.TheNewExcelence.com, 2009.
- Gasperz, V. *Analisis Sistem Terapan Berdasarkan Pendekatan Teknik*. Bandung.: Tarsito,, 1992.

- Humardhani Putradhi, Ayrton. "Analisa Safety Instrument System Dengan Metode FMEA Dan FTA Pada Turbin Uap Di PT PJB Unit Pembangkit Gresik." *Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS-Teknik Fisika)*, 2013.
- Hunter, Ian Daleo, Joseph Wilson, James. "ANALYSIS OF HOT SECTION FAILURES ON GAS TURBINES IN PROCESS PLANT SERVICE." *BWD Thrbinas Limited*, 2000: 9-20.
- IMCA Publication. "Guidance on Failure Modes & Effects Analyses (FMEAs)." By IMCA. IMCA Publication, 2002.
- Improvement, Institute for Healthcare. "Definisi dan simbol Flowchart." In *Process Analysis Tools*, by Flowchart, 1-4. Boston, Massachusetts, USA, 2004 .
- Kumar, U Dinesh, John Crocker, T Chitra, and Haritha "Saranga Reliability And Six Sigma". *Reliability And Six Sigma*. America: Springer+Business Media, 2006.
- Menes, Rebecca. "Software safety and certification." *Reintroducing the FMEA*, 2004.
- Nafsan, Ifang. *Data Maintenance GTG PT.Petrokimia Gresik*. Maintenance, Gresik: Dept. HAR 1 PT.Petrokimia Gresik, 2014.
- Rahmawati, Dewi N. "Evaluasi Reliability dan Safety pada Sistem Pengendalian Level Syn Gas 2ND Interstage Separator di PT Petrokimia Gresik." *Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS-Teknik Fisika)*, 2013.

Rosa, Yazmendra. "Perencanaan dan Penerapan Preventive Maintenance PT. Dumexc Indonesia." *PT. Dumex Indonesia* (PT. Dumex Indonesia), 1995.

Saputra, Angga, interview by Akbar Prastiko. *Standard Reliability* (Desember 15, 2014).

Sarkar, Asis, and Dhiren Kumar Behera. "Gas Turbine Power Plant:A Case Study of Rukhia Gas Thermal Power Plant." *International Journal of Emerging Technology and Advaced Engineering*, 2012.

Halaman ini sengaja dikosongkan