



**TUGAS AKHIR - EE184801**

**ANALISA KEANDALAN SISTEM MENGGUNAKAN METODE  
GABUNGAN *FAILURE MODES AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)*  
DAN *FAULT TREE ANALYSIS (FTA)***

Tiara Putri Lestari  
NRP. 0711144000045

Pembimbing Pembimbing:  
Nurlita Gamayanti, ST., M.T.  
Mochammad Sahal, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
**SURABAYA 2019**



**FINAL PROJECT - EE184801**

**ANALYSIS OF SYSTEM RELIABILITY USING COMBINED METHODS  
OF FMEA (FAILURE MODES AND EFFECT ANALYSIS) AND FTA  
(FAULT TREE ANALYSIS)**

Tiara Putri Lestari  
NRP. 0711144000045

Supervisor  
Nurlita Gamayanti, ST., M.T.  
Mochammad Sahal, ST., M.Sc.

**ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
SURABAYA 2019**

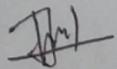
## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "ANALISA KEANDALAN SISTEM MENGGUNAKAN METODE GABUNGAN *FAILURE MODES AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA) DAN *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA)" adalah hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku

Surabaya, Juli 2019



Penulis

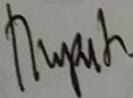
**Analisa Keandalan Sistem Menggunakan Metode  
Gabungan *Failure Modes and Effect Analysis (FMEA)*  
dan *Fault Tree Analysis (FTA)***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik System Pengaturan  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui,

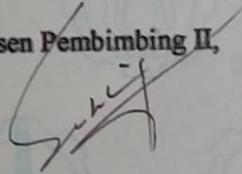
Dosen Pembimbing I,



**Nurlita Gamavanti, ST.,M.T.**

NIP: 197812012002122002

Dosen Pembimbing II,



**Mochammad Sahal, ST.,M.Sc.**

NIP :197011191998021002



# **ANALISA KEANDALAN SISTEM MENGGUNAKAN METODE GABUNGAN *FAILURE MODES AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA)***

Nama Mahasiswa : Tiara Putri Lestari  
NRP : 0711144000045  
Pembimbing : 1. Nurlita Gamayanti, ST.,M.T.  
2. Mochammad Sahal, ST.,M.Sc.

## **ABSTRAK**

Sistem adalah kombinasi dari komponen-komponen yang bekerja bersama-sama membentuk suatu obyek tertentu. Keandalan sistem tergantung dari keandalan komponen dan struktur dari sistem. Analisa keandalan sistem bertujuan untuk menganalisa kemampuan suatu peralatan atau sistem dalam menjalankan misinya. Terdapat banyak metode untuk menganalisa keandalan. Beberapa diantaranya adalah metode *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)* dan metode *Fault Tree Analysis (FTA)*. Namun metode FMEA dan metode FTA memiliki kelemahan. Metode FMEA membagi komponen sistem berdasarkan hubungan tiap komponen sehingga ketika sistem terlalu kompleks maka *worksheet* FMEA akan kompleks juga. Sedangkan kelemahan metode FTA adalah diagram *Fault Tree* disusun berdasarkan penyebab kerusakan sehingga konektifitas komponen fisik tidak bisa menjadi pertimbangan. Nantinya hasil analisa gabungan FMEA dan FTA akan berupa analisa kuantitatif yang didapatkan dari keandalan *basic events* dan keandalan jaringan serta analisa kualitatif didapatkan dari *worksheet* FMEA.

Kata kunci: Keandalan, FMEA, FTA, dan Gabungan

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

***ANALYSIS OF SYSTEM RELIABILITY USING COMBINED  
METHODS OF FMEA (FAILURE MODES AND EFFECT  
ANALYSIS) AND FTA (FAULT TREE ANALYSIS)***

*By* : Tiara Putri Lestari  
*Student Identity Number* : 07111440000045  
*Supervisor(s)* : 1. Nurlita Gamayanti, ST.,M.T.  
2. Mochammad Sahal, ST.,M.Sc.

***ABSTRACT***

*System is a combination of components that work together to form a certain object. Reliability system depends on the reliability of the components and structure of the system. Reliability system analysis aims to analyze the ability of a device or system in carrying out its mission. There are many methods to analyze reliability. Some of them are the Failure Modes and Effects Analysis method (FMEA) and the Fault Tree Analysis (FTA) method. But the FMEA method and the FTA method have weaknesses. The FMEA method divides system components based on the relationship of each component so that when the system is too complex the FMEA worksheet will be complex too. While the weakness of the FTA method is the Fault Tree diagram arranged based on the causes of damage so that the connectivity of physical components cannot be considered. Later the results of the combined analysis of FMEA and FTA will be in the form of quantitative analysis obtained from the reliability of basic events and network reliability and qualitative analysis obtained from the FMEA worksheet.*

*Keywords: Reliability, FMEA, FTA, and Combined*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami ucapkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan kerja praktek dengan judul “Analisa Keandalan Sistem Menggunakan Metode Gabungan *Failure Modes And Effect Analysis* (FMEA) Dan *Fault Tree Analysis* (FTA)”. Selesaiannya laporan kerja praktek ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak. Untuk itu, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. yang senantiasa memberikan Rahmat, hidayah dan kesehatan bagi penulis.
2. Keluarga penulis di rumah yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam menuntut ilmu dan menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu Nurlita Gamayanti selaku Dosen Pembimbing I tugas akhir atas nasehat, motivasi dan bimbingannya kepada penulis.
4. Bapak Mochammad Sahal Dosen Pembimbing II tugas akhir atas nasehat, motivasi dan bimbingannya kepada penulis.
5. Karyawan PT. Pertamina RU V Balikpapan yang sudah membantu dalam mendapatkan data penelitian dan materi yang diperlukan.
6. Seluruh jajaran dosen bidang studi Teknik Sistem Pengaturan yang telah memberikan arahan kepada penulis.
7. Seluruh mahasiswa anggota Laboratorium Teknik Sistem dan *Cybernetic* yang telah membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini

Akhirnya, penulis berharap agar kedepannya laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat. Atas perhatian pembaca, penulis mengucapkan banyak terima kasih dan memohon maaf apabila terdapat ketidakcocokan dan salah kata pada penulisan laporan ini.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b>i</b>
<b>PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi Pengumpulan Data.....	2
1.6 Sistematika.....	3
1.7 Relevansi.....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Keandalan Sistem.....	5
2.2 Metode Analisa Keandalan.....	6
2.2.1 <i>Failure Modes and Effects Analysis</i> (FMEA).....	8
2.2.2 <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	10
2.2.3 Keandalan Jaringan.....	13
2.2.4 Metode Gabungan FMEA dan FTA.....	14
2.3 KOMPRESOR RECIPROCATING K-1-01A.....	15
2.3.1 Spesifikasi.....	15
2.3.2 Cara Kerja.....	15
2.3.3 Bagian-Bagian Kompresor <i>Reciprocating</i> .....	19
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b> .....	<b>21</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
3.2 Identifikasi Sistem.....	23
3.3 Pembuatan Diagram <i>Fault tree</i> .....	23
3.4 Diagram Alir Analisis Kuantitatif pada Basic Event.....	26

3.5	Analisa Kualitatif Menggunakan FMEA Worksheet .....	27
3.6	Analisa Kualitatif Menggunakan Metode FMEA Berdasarkan <i>Fault tree</i> .....	31
<b>BAB 4 ANALISA SISTEM .....</b>		<b>33</b>
4.1	Analisa Menggunakan FMEA .....	33
4.2	Nilai Keandalan Komponen .....	37
4.3	Pengolahan Data Menggunakan <i>Fault Tree</i> .....	39
4.3.1	Minimum Path .....	40
4.3.2	Minimum Cut .....	41
4.4	Penggabungan FMEA dan FTA .....	41
4.4.1	Keuntungan Menggunakan Metode gabungan FMEA dan FTA .....	47
4.4.2	Kelemahan Menggunakan Metode Gabungan FMEA dan FTA .....	47
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>49</b>
5.1	Kesimpulan .....	49
5.2	Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>51</b>
<b>Lampiran .....</b>		<b>52</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Langkah ekspansi dari titik A ke B bar .....	17
Gambar 2.2. Langkah suction fluida masuk kedalam silinder dari titik B ke C .....	17
Gambar 2.3. Langkah kompresi dari titik C ke D. ....	18
Gambar 2.4. Langkah discharge dari titik D ke A.....	18
Gambar 2.5. Letak valve dan torak pada kompresor single acting two stage .....	19
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian .....	22
Gambar 3.2. Alur Proses pada K-1-01A .....	23
Gambar 3.3. Fault Tree Kompresor K-1-01A .....	1
Gambar 3.4. Metode Penelitian Fault Tree Analysis .....	26

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Simbol - Simbol Fault Tree.....	11
Tabel 2.2. Perbedaan Antara Metode FMEA dan metode FTA .....	14
Tabel 3.1. Kode Basic Events .....	25
Tabel 3.2. Nilai Severity .....	27
Tabel 3.3. Nilai Occurence.....	28
Tabel 3.4. Nilai Detection .....	29
Tabel 3.5. Format Tabel Hasil Analisa Menggunakan Metode FMEA berdasarkan Fault Tree.....	31
Tabel 4.1. Worksheet FMEA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.2. Hasil Analisa Keandalan Tiap Komponen .....	38
Tabel 4.3. Hasil Analisa Metode Gabungan FMEA Berdasarkan Fault Tree .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem adalah kombinasi dari komponen-komponen yang bekerja bersama-sama membentuk suatu obyek tertentu. [5] Suatu sistem akan lebih baik jika komponen – komponen penyusunnya ditata sedemikian rupa sehingga sistem bekerja lebih optimal. [4] Sehingga sistem secara sederhana dapat dikatakan sebagai sejumlah komponen yang dirangkai. Keandalan sistem tergantung dari keandalan komponen dan struktur dari sistem.[4]

Analisa keandalan sistem bertujuan untuk menganalisa kemampuan suatu peralatan atau sistem dalam menjalankan misinya. Keandalan adalah probabilitas dari kesuksesan atau probabilitas sistem dapat melakukan kerja sesuai spesifikasi fungsinya. Terdapat banyak metode untuk menganalisa keandalan. Beberapa diantaranya adalah metode *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) dan metode *Fault Tree Analysis* (FTA).

Metode FMEA secara formal pertama kali dilakukan di industri kedirgantaraan pada pertengahan tahun 1960an dan secara khusus berfokus pada isu-isu keselamatan. Tidak lama kemudian, FMEA menjadi alat kunci untuk meningkatkan keamanan, terutama di industri proses kimia. FMEA sampai sekarang digunakan untuk mencegah kecelakaan dan insiden keselamatan terjadi.[2] Yang menjadi objek pada metode FMEA adalah proses atau produk secara keseluruhan yang mengalami kegagalan. Sedangkan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) diperkenalkan pada tahun 1962 di *Bell Telephone Laboratories*, sehubungan dengan evaluasi keselamatan sistem peluncuran rudal Minuteman antar benua. [2] Metode FTA saat ini adalah salah satu teknik yang paling umum digunakan untuk mempelajari risiko dan keandalan sistem. FTA merupakan analisa menggunakan binari. Semua kejadian diasumsikan terjadi atau tidak terjadi, dengan kata lain tidak terdapat opsi penengah.[2]

Namun metode FMEA dan metode FTA memiliki kelemahan. Metode FMEA Membagi komponen sistem berdasarkan hubungan tiap komponen sehingga ketika sistem terlalu kompleks maka akan mejadi

kompleks juga. Sedangkan kelemahan metode FTA adalah diagram *Fault Tree* disusun berdasarkan penyebab kerusakan sehingga konektivitas komponen fisik tidak bisa menjadi pertimbangan. Oleh karena itu dilakukan penggabungan metode FMEA dan metode FTA. Penggabungan kedua metode tersebut dilakukan untuk menyederhanakan tabel hasil analisa FMEA. Penggabungan kedua metode tersebut diharapkan dapat menutup kelemahan masing-masing metode dan didapatkan hasil analisa yang lebih efisien.

## **1.2 Permasalahan**

Analisa keandalan sistem bertujuan untuk menganalisa kemampuan suatu peralatan atau sistem dalam menjalankan misinya. Metode untuk menganalisa keandalan beberapa diantaranya adalah metode *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) dan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Namun keduanya memiliki kelemahan. Untuk itu dilakukan penggabungan metode FMEA dan metode FTA yang nantinya diharapkan dapat menutup kelemahan masing-masing metode dan didapatkan hasil analisa yang lebih efisien.

## **1.3 Batasan Masalah**

Penelitian ini difokuskan pada metode gabungan FMEA dan FTA dengan penerapannya dilakukan menggunakan data yang diambil dari Kompresor *reciprocating* K-1-01A yang dimiliki PT Pertamina RU V Balikpapan.

## **1.4 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisa keandalan menggunakan gabungan metode *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) dan metode *Fault Tree Analysis* (FTA).

## **1.5 Metodologi Pengumpulan Data**

Dalam penyusunan laporan, penulis terlebih dahulu mengumpulkan data-data terlebih dahulu sebagai bahan laporan yang diperoleh selama mengerjakan kerja praktek. Penulis menggunakan metode pengumpulan data sebagai berikut:

1. Metode Interview atau Tanya Jawab  
Metode tanya jawab yaitu pengumpulan data dengan menampung pendapat dari berbagai kalangan yang berada di wilayah perusahaan maupun yang lainnya tentang data tersebut dengan melakukan tanya jawab secara langsung sehingga diperoleh data yang diinginkan.

## 2. Metode Literatur

Metode literatur yaitu pengumpulan data yang dilakukan dengan cara mencatat atau menggunakan data perusahaan baik seluruh maupun yang berupa arsip-arsip dan katalog. Pengumpulan data ini diperoleh dari buku-buku dan dokumen-dokumen perusahaan.

### 1.6 Sistematika

Untuk memberikan gambaran secara garis besar mengenai keseluruhan isi laporan kerja praktek ini akan dikemukakan sistematika penulisan sebagai berikut:

1. BAB 1 Pendahuluan: Pada bab ini berisikan tentang latar belakang penelitian ini, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode pengumpulan data, dan sistematika.
2. BAB 2 Tinjauan Pustaka: Dalam bab ini membahas tentang materi yang menjadi dasar penelitian dan membantu dalam melakukan analisa.
3. BAB 3 Metode Penelitian: Pada bab ini dijelaskan langkah-langkah penelitian dan analisa data.
4. BAB 4 Analisa Sistem: Pada bab ini akan dilakukan analisa data dan pembahasan hasil analisa.
5. BAB 5 Kesimpulan: Pada bab ini akan didapatkan kesimpulan dari tugas akhir ini dan saran yang membangun demi penelitian selanjutnya.

### 1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat atau dampak positif sebagai berikut.

- a. Bagi PT Pertamina RU V Balikpapan  
Hasil analisa keandalan dapat menjadi acuan dalam merencanakan perawatan rutin serta menjadi informasi dasar dalam melakukan pencegahan kegagalan dan penanggulangan kegagalan.
- b. Bagi Peneliti yang Sebidang  
Sebagai acuan untuk meneliti dan mengembangkan metode gabungan FMEA dan FTA.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Keandalan Sistem

Sistem adalah kombinasi dari komponen-komponen yang bekerja bersama-sama membentuk suatu obyek tertentu. [5] Suatu sistem akan lebih baik jika komponen – komponen penyusunnya ditata sedemikian rupa sehingga sistem bekerja lebih optimal. [4] Sehingga sistem secara sederhana dapat dikatakan sebagai sejumlah komponen yang dirangkai. Keandalan sistem tergantung dari keandalan komponen dan struktur dari sistem.[4]

Keandalan adalah probabilitas dari kesuksesan atau probabilitas sistem dapat melakukan kerja sesuai spesifikasi fungsinya. [2] Secara matematis keandalan  $R(t)$  adalah probabilitas sistem dapat melakukan kerja pada interval waktu 0 sampai dengan  $t$  :

$$R(t) = P(T > t) \quad , t \geq 0$$

Dimana nilai  $T$  adalah variabel acak waktu yang menunjukkan time-to-failure atau failure time. [2] Maka keandalan sistem merupakan fungsi dari keandalan komponen.

Sebaliknya, kegagalan  $F(t)$  didefinisikan sebagai probabilitas sistem akan mengalami kegagalan pada waktu  $t$  :

$$F(t) = P(\leq t) \quad , t \geq 0$$

Dengan kata lain  $F(t)$  adalah fungsi distribusi kegagalan.[2] Jika variabel acak  $T$  dari time-to-failure mempunyai fungsi densitas  $f(t)$  maka :

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(s)ds$$

Atau dapat ditulis juga menjadi seperti berikut :

$$f(t) = -\frac{d}{dt}[R(t)]$$

Fungsi densitas di atas dapat mendiskripsikan nilai  $T$  secara matematis seperti berikut :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} P(t < T \leq t + \Delta t)$$

Persamaan di atas menjelaskan bahwa probabilitas *failure time*  $T$  akan terjadi di antara waktu operasi  $t$  dan interval waktu operasi selanjutnya adalah  $t + \Delta t$ . [4]

Keandalan dari suatu sistem seringkali diberikan dalam bentuk angka yang menyatakan ekspektasi masa pakai sistem tersebut, yang dinotasikan  $E[T]$  dan sering disebut dengan rata-rata waktu kerusakan atau *Mean Time To Failure* (MTTF). MTTF hanya dipergunakan pada komponen/ peralatan yang sekali mengalami kerusakan harus diganti dengan komponen/ peralatan yang masih baru dan baik. [3] Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

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

Diketahui nilai fungsi keandalan  $(t) = \int_t^{\infty} f(s)ds$  , dapat disubstitusikan pada persamaan di atas (persamaan 6) menjadi :

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

Sehingga MTTF didefinisikan sebagai evaluasi integral yang pasti dari fungsi keandalan. [4]

## 2.2 Metode Analisa Keandalan

Terdapat banyak metode untuk menganalisa keandalan. Awalnya keandalan diterapkan pada Perang Dunia I, yaitu awal dari teknologi mulai muncul. Penghitungan keandalan saat itu dilakukan dengan cara menghitung kecelakaan pesawat tiap jam terbang.

Sebelum membahas tentang metode analisa keandalan perlu dipahami perbedaan antara *failure*, dan *faul*. *Failure* adalah *event* ketika fungsi yang dibutuhkan berakhir atau melebihi kapasitas yang dapat diterima. Sedangkan *fault* adalah keadaan dari suatu alat yang dikarakteristikan menurut ketidakmampuan dalam mengeporesikan fungsi yang dibutuhkan, kecuali ketidakmapuan saat pemeliharaan rutin atau aksi yang direncanakan atau rusak karena factor dari luar. [3]

*Failure mode* (mode kegagalan) adalah manifestasi kegagalan yang dilihat dari luar, yaitu penghentian satu atau beberapa fungsi. Mode kegagalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Intermittent failures*: Kegagalan yang merupakan hasil dari ketidaknormalan beberapa fungsi untuk beberapa waktu saja.

Blok fungsional akan kembali ke standar operasional penuh segera setelah kegagalan

2. *Extended failures*: Kegagalan yang merupakan hasil dari ketidaknormalan beberapa fungsi yang akan berlanjut hingga sampai beberapa bagian dari blok fungsional digantikan atau diperbaiki. *Extended failures* bila dirinci lebih dalam dapat dibagi menjadi sebagai berikut:
  - a. *Complete failures*: Kegagalan yang menyebabkan kurangnya fungsi yang dibutuhkan.
  - b. *Partial failures*: Kegagalan yang menyebabkan kurangnya beberapa fungsi tetapi tidak menyebabkan kekurangan fungsi yang dibutuhkan.

*Complete failures* dan *partial failures*, keduanya dapat dibagi menjadi dua kategori sebagai berikut:

- a. *Sudden failures*: Kegagalan yang tidak dapat diramalkan dengan pengujian atau pemeriksaan sebelumnya.
- b. *Gradual failures*: Kegagalan yang bisa diperkirakan dengan pengujian atau pemeriksaan.

*Extended failures* dapat digolongkan menjadi empat kategori. Dari empat kategori tersebut dapat digolongkan menjadi dua, yaitu:

- a. *Catastrophic failures*: Suatu kegagalan yang merupakan *complete failure* dan *sudden failure*.
- b. *Degraded failure*: Suatu kegagalan yang merupakan *partial failure* dan *gradual failure*.

Selain klasifikasi di atas, kegagalan juga dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

- a. *Primary failure*: Kegagalan yang disebabkan oleh penuaan alami dari blok fungsional. Tindakan perbaikan diperlukan untuk mengembalikan blok fungsional ke status yang berfungsi
- b. *Secondary failure*: Kegagalan yang disebabkan oleh tekanan berlebihan di luar blok fungsional. Tekanan semacam itu dapat berupa kejutan dari sumber energi termal, mekanik, listrik, kimia, magnetik, atau radioaktif. Tekanan dapat disebabkan oleh komponen tetangga, lingkungan, atau oleh personel operator sistem. Tindakan perbaikan diperlukan

untuk mengembalikan blok fungsional ke status yang berfungsi.

*Failure causes* (penyebab kegagalan) adalah keadaan selama desain, pembuatan atau penggunaan yang telah menyebabkan kegagalan. Penyebab kegagalan merupakan informasi penting yang dibutuhkan untuk menghindari kegagalan yang berulang. [2] Penyebab kegagalan dapat diklasifikasikan menjadi sebagai berikut:

- a. *Design failure*: Kegagalan yang dikarenakan ketidaksempurnaan desain dari blok fungsional.
- b. *Weakness failure*: Kegagalan yang dikarenakan kelemahan dari blok fungsional itu sendiri ketika mengalami tekanan dalam kemampuan yang dinyatakan dari blok fungsional.
- c. *Manufacturing failure*: Kegagalan yang disebabkan karena ketidaksesuaian selama pembuatan untuk desain blok fungsional atau proses manufaktur tertentu.
- d. *Ageing failure*: Kegagalan yang probabilitas kemunculannya meningkat dengan berlalunya waktu, sebagai hasil dari proses yang melekat pada blok fungsional.
- e. *Misuse failure*: Kegagalan karena penerapan tekanan selama penggunaan yang melebihi kemampuan blok fungsional.
- f. *Mishandling failure*: Kegagalan yang disebabkan oleh penanganan yang salah atau kurangnya perawatan blok fungsional.

### **2.2.1 *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)***

FMEA secara formal pertama kali dilakukan di industri kedirgantaraan pada pertengahan tahun 1960an dan secara khusus berfokus pada isu-isu keselamatan. Tidak lama kemudian, FMEA menjadi alat kunci untuk meningkatkan keamanan, terutama di industri proses kimia. FMEA sampai sekarang digunakan untuk mencegah kecelakaan dan insiden keselamatan terjadi.[2]

Yang menjadi objek pada metode FMEA adalah proses atau produk secara keseluruhan yang mengalami kegagalan. Kegagalan pada produk terjadi ketika produk tidak berfungsi seperti seharusnya atau juga ketika terjadi kesalahan fungsi pada produk. *Failure modes* pada FMEA ditujukan pada produk atau proses yang mengalami kegagalan. [2]

Mengevaluasi resiko kegagalan dan efeknya dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu:

1. *Severity*, yaitu akibat yang mungkin terjadi apabila terjadi kegagalan.
2. *Occurrence*, yaitu probabilitas kemungkinan terjadi kerusakan atau frekuensi banyaknya terjadi kegagalan.
3. *Detection*, yaitu probabilitas kemungkinan dari kegagalan tersebut dapat dideteksi sebelum pengaruh dari efek kegagalan dapat disadari.

Data *severity*, *occurrence*, dan *detection* masing-masing memiliki skala dari 1 hingga 10 atau *low to high*.

#### **2.2.1.1 Risk Priority Number**

*Severity*, *occurrence*, dan *detection* nantinya digunakan untuk mencari *Risk Priority Number* (RPN). RPN adalah hasil perkalian dari *severity*, *occurrence*, dan *detection*. RPN memperlihatkan besarnya potensi terjadinya kegagalan dan efeknya. Nilai RPN mempunyai skala dari 1 sampai 1000. Semakin besar nilai RPN semakin besar kemungkinan terjadi kegagalan. Sehingga failure modes yang memiliki RPN tertinggi harus menjadi perhatian utama. Selain itu apabila nilai *severity* tinggi (9 atau 10) dengan nilai RPN berapapun, juga harus menjadi perhatian khusus. Hal tersebut dikarekan nilai *severity* menunjukkan seberapa gawat efek yang terjadi apabila kegagalan tersebut terjadi. [2]

#### **2.2.1.2 Langkah-Langkah Analisa FMEA**

Berikut adalah langkah-langkah analisa menggunakan metode FMEA.

1. Mengidentifikasi produk atau proses yang akan dianalisis serta diagram alirnya. Dalam tugas akhir ini proses yang akan dianalisa adalah proses pengompresan pada *Reciprocating Compressor* di Pertamina Refinery V Balikpapan. Sehingga langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari diagram alir *Reciprocating Compressor* dan peralatan pendukungnya.
2. Membuat daftar failure modes yang mungkin terjadi. Setelah didapatkan daftar failure modes kemudian dikelompokkan menurut kategori tertentu, contohnya kategori komponen, yaitu kegagalan yang terjadi terletak pada alat atau komponen yang sama.

3. Membuat daftar tentang efek yang mungkin terjadi pada tiap failure modes.
4. Mencari nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* pada tiap komponen. Tiap nilai S.O.D memiliki rentang nilai dari 1 sampai 10 poin. Dengan nilai 1 adalah nilai terendah.
5. Meranking nilai *severity*. Hal tersebut dimaksudkan untuk mengetahui komponen mana yang memiliki resiko kegagalan paling berbahaya.
6. Meranking nilai *occurrence*. Besarnya nilai *occurrence* memperlihatkan seberapa sering komponen terjadi kegagalan.
7. Meranking nilai *detection* untuk tiap komponen, untuk mengetahui *current controls*. Bila ada current control maka nilai *detection* akan rendah, sebaliknya bila tidak ada *current controls* maka nilai *detection* akan tinggi (9 atau 10).
8. Menghitung nilai *Risk Priority Number* (RPN).
9. Memilih dan memprioritaskan *failure modes* untuk merencanakan tanggapan selanjutnya.
10. Melakukan langkah untuk mengurangi atau menghilangkan resiko tinggi pada failure modes.
11. Menghitung hasil RPN sebagai failure modes yang dikurangi atau dihilangkan

### **2.2.2 Fault Tree Analysis (FTA)**

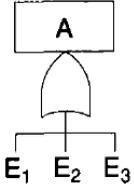
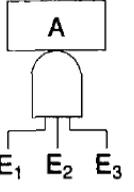
Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) diperkenalkan pada tahun 1962 di *Bell Telephone Laboratories*, sehubungan dengan evaluasi keselamatan sistem peluncuran rudal Minuteman antar benua. Perusahaan Boeing memperkenalkan program komputer FTA untuk menganalisa secara kualitatif dan kuantitatif.[2] Metode FTA saat ini adalah salah satu teknik yang paling umum digunakan untuk mempelajari risiko dan keandalan sistem.

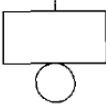
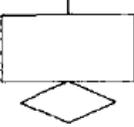
Metode FTA merupakan teknik deduktif dimana analisa dimulai dengan kegagalan sistem yang ditentukan, yang disebut *top event*. [2] *Top event* dapat didefinisikan dengan cara menjawab pertanyaan what, where, dan when. Sedangkan event di level paling bawah disebut dengan basic events.[5] FTA merupakan analisa menggunakan binari. Semua kejadian diasumsikan terjadi atau tidak terjadi, dengan kata lain tidak terdapat opsi penengah. Berikut adalah langkah-langkah melakukan analisa menggunakan metode FTA:

1. Definiskan masalah dan kondisi batas sistem atau peralatan/komponen.
2. Membuat fault tree.
3. Mengidentifikasi *minimal cut* dan atau *minimum path*.
4. Analisis kualitatif *fault tree*.
5. Analisis kuantitatif *fault tree*.

Untuk dapat membuat *fault tree* pada Tabel 2.1 adalah simbol-simbol pada *fault tree*.

Tabel 2.1. Simbol - Simbol Fault Tree

	Simbol	Deskripsi
<i>Logic gates</i>	Gerbang OR  	Gerbang OR menunjukkan bahwa peristiwa keluaran A terjadi jika ada kejadian masukan pada $E_i$ yang mana pun.
	Gerbang AND  	Gerbang AND menunjukkan bahwa peristiwa keluaran A terjadi jika pada tiap $E_i$ ada kejadian masukan.

	Simbol	Deskripsi
<i>Input events</i>	<p><i>Basic event</i></p> 	<p><i>Basic event</i> merupakan kegagalan peralatan unit dasar yang tidak memerlukan pengembangan penyebab kegagalan lebih lanjut</p>
	<p><i>Undeveloped event</i></p>  <p><i>event</i></p>	<p><i>Undeveloped event</i> merupakan peristiwa yang tidak diperiksa lebih lanjut karena informasi tidak tersedia atau karena konsekuensinya tidak signifikan.</p>
<i>Description</i>	<p><i>Comment rectangle</i></p> 	<p>Untuk informasi tambahan</p>
<i>Transfer simbol</i>	<p><i>Transfer-out</i></p>  <p><i>Transfer-in</i></p> 	<p><i>Transfer-out</i> menunjukkan bahwa <i>fault tree</i> dikembangkan lebih lanjut pada terjadinya simbol <i>Transfer-in</i> yang sesuai.</p>

### 2.2.3 Keandalan Jaringan

Keandalan jaringan didapatkan dengan dihitung dengan prinsip Boolean. Logika variabel Boolean didefinisikan menjadi sebagai berikut.

$$X_s = \begin{cases} 1, & \text{bila sistem berfungsi} \\ 0, & \text{bila sistem tidak berfungsi} \end{cases}$$
$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{bila komponen berfungsi} \\ 0, & \text{bila komponen tidak berfungsi} \end{cases}$$
$$\bar{X} = \begin{cases} 1, & \text{bila } x = 0 \\ 0, & \text{bila } x = 1 \end{cases}$$

Untuk mencari menguji nilai keandalan jaringan tersebut perlu dicari *path* dan *cut*. *Path* adalah himpunan cabang-cabang yang menghubungkan input ke *output*. Sedangkan *cut* adalah himpunan cabang-cabang yang memisahkan input dari outputnya. Dari himpunan cabang-cabang tersebut kemudian diambil *minimum path* dan *minimum cut*.

#### 2.2.3.1 *Minimum path*

*Minimum path* merupakan *path* dengan anggota sedikit mungkin, sedemikian hingga bila salah satu anggotanya dihilangkan input tidak lagi terhubung ke output. *Minimum path* adalah himpunan komponen-komponen sesedikit mungkin sedemikian hingga bila semua komponen dalam himpunan tersebut berfungsi maka sistemnya berfungsi dan bila salah satunya tidak berfungsi maka path tersebut tidak menghubungkan input ke outputnya. Nilai keandalan dari *minimum path* merupakan nilai *upper bound*, yaitu keandalan yang paling tinggi yang mungkin dicapai oleh sistem.

#### 2.2.3.2 *Minimum cut*

*Minimum cut* merupakan *cut* dengan anggota sedikit mungkin, sedemikian hingga bila salah satu anggotanya dihilangkan input menjadi terhubung ke output. *Minimum cut* merupakan himpunan komponen-komponen sesedikit mungkin sedemikian hingga bila semua komponen dalam himpunan tersebut rusak maka sistemnya rusak dan bila salah satunya tidak rusak maka *cut* tersebut tidak memisahkan input dari

outputnya. Nilai keandalan dari minimal cut merupakan nilai *lower bound*, yaitu keandalan yang paling rendah yang mungkin dicapai oleh sistem.

#### 2.2.4 Metode Gabungan FMEA dan FTA

Pendekatan metode FMEA dan FTA berbeda. Pada metode FMEA dilakukan pendekatan secara induktif sedangkan pada metode FTA dilakukan pendekatan secara deduktif. Tabel 2.2 menjelaskan perbedaan kedua metode tersebut.[1]

Tabel 2.2. Perbedaan Antara Metode FMEA dan metode FTA

Metode FMEA	Metode FTA
<i>Inductive methods</i>	<i>Deductive methods</i>
Lebih sederhana tetapi ketika sistem terlalu kompleks maka akan mejadi kompleks juga	Lebih kompleks karena mendiskripsikan penyebab kegagalan dalam bentuk hirarki
Membagi komponen sistem berdasarkan hubungan tiap komponen	Membagi komponen sistem berdasarkan fungsi atau events tiap komponen
Kelemahan: pada sistem yang memiliki komponen yang kompleks tabel FMEA akan terlalu panjang	Kelemahan: diagram <i>Fault Tree</i> berdasarkan penyebab kerusakan sehingga konektifitas komponen fisik tidak bisa menjadi pertimbangan

Penggabungan metode FMEA dan FTA akan dapat saling menutup kelemahan tiap metode. FTA berfungsi sebagai informasi ‘memandu’ FMEA agar FMEA lebih terorganisir dan penyebab kegagalan juga dipertimbangkan. Pertama, membuat diagram FTA sederhana. Kedua, Mendiskripsikan sub-causes yang disesuaikan dengan komponen atau bagian sistem sesuai dengan metode FMEA.[1] Kemudian dilakukan penggabungan metode FMEA dan FTA dengan langkah-langkahnya sebagai berikut.

1. Mendefinisikan komponen-komponen sistem berdasarkan fungsi yang sama.
2. Mendefinisikan event teratas dari diagram FTA

3. Membuat ulang diagram FTA berdasarkan poin (a) dan (b).
4. Menganalisa diagram FTA untuk mendapatkan jalur terpendek (menggunakan Minimal Cut Sets).
5. Menyambungkan metode FTA berdasarkan hubungan antar komponen (penyebab kerusakan) berdasarkan metode FMEA

### **2.3 KOMPRESOR RECIPROCATING K-1-01A**

Untuk melakukan analisa pada tugas akhir ini digunakan data dari kompresor reciprocating K-1-01A yang terdapat di PT Pertamina Balikpapan.

#### **2.3.1 Spesifikasi**

Kompresor adalah peralatan yang digunakan untuk menaikkan tekanan dari fluida yang kompresibel (dapat dimampatkan) seperti udara dan gas. Kompresor secara umum digunakan untuk keperluan proses, transmisi dan distribusi udara / gas pada pabrik petrokimia, produksi migas, pengolahan migas dan lain – lain.

Kompresor K-1-01A terdapat di area Plant 1, yaitu di *Crude Distillation Unit IV* (CDU IV). Hasil dari CDU IV yang masuk ke kompresor K-1-01A merupakan hasil fraksinasi dari olahan minyak mentah berupa fraksi ringanya. Fraksi ringan tersebut merupakan gas bahan dasar LPG. Kompresor K-1-01A berfungsi mengirim fraksi ringan tersebut ke bagian Stabilizer C-1-05. Pada Stabilizer C-1-05 fraksi ringan tersebut akan dipisahkan antara Naptha dan murni fraksi LPG.

Jika terjadi kerusakan pada kompresor K-1-01A menyebabkan fraksi ringan dari CDU IV tidak bisa seluruhnya ditransfer ke Stabilizer C-1-05. Secara otomatis maka fraksi ringan akan dibuang ke atmosfer melalui pembakaran di *Flare stack*. Bila hal tersebut terjadi akan menyebabkan kerugian besar bagi perusahaan. Total kerugian yang disebabkan pengoprasian kompresor K-1-01A dihentikan dapat digambarkan dengan mengalikan kapasitas kompressor K-1-01 A dengan lamanya equipment tidak beroperasi yang hasilnya sama dengan jumlah fraksi ringan yang dibuang.

#### **2.3.2 Cara Kerja**

Kompresor secara umum dapat beroperasi dengan tekanan masuk dibawah atmosfer (vakum) sampai dengan tekanan tinggi (positif) diatas

atmosfer, sedangkan tekanan keluar memiliki tingkatan dari tekanan atmosfer sampai dengan tekanan tinggi diatas sepuluh ribu pound per inchi kwadrat. Berdasarkan cara pemampatan dan aliran terhadap udara/gas dalam kompresor dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu:

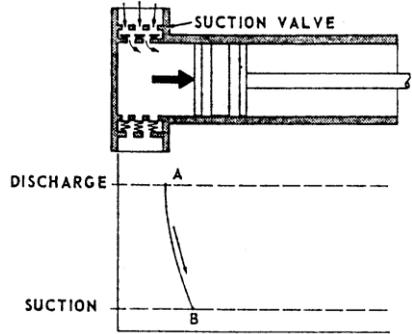
- a. Pemampatan dan aliran *intermittent* (berselang), adalah pemampatan dan aliran terhadap udara/gas yang masuk sampai keluar kompresor dilakukan secara periodik. Kelompok kompresor ini disebut juga sebagai *positive displacement compressor*. Kompresor jenis ini terdapat dua jenis, yaitu *reciprocating compressor* (kompresor gerak translasi/bolak-balik) dan *rotary compressor* (kompresor gerak berputar)
- b. Pemampatan dan aliran kontinyu, adalah pemampatan dan aliran terhadap udara/gas yang masuk sampai keluar kompresor dilakukan secara kontinyu atau terus menerus.

Kompresor K-1-01A merupakan kompresor jenis *reciprocating compressor*. Elemen mekanik yang untuk memampatkan udara / gas dinamakan piston atau torak. Tekanan udara / gas yang keluar merupakan tekanan *discharge* yang dihasilkan oleh kompresor *reciprocating*. Kompresor *reciprocating* terdiri dari susunan komponen mekanik yang mentransmisikan gerakan bolak balik kepada torak yang bergerak bebas didalam silinder. Pergerakan torak dalam silinder saat langkah ekspansi dan *suction* bersamaan dengan gerakan *valve suction* terbuka yang menyebabkan sejumlah udara/gas masuk kedalam silinder. Demikian pada gerakan torak sebaliknya pada langkah kompresi dan *discharge* bersamaan valve *discharge* terbuka, sehingga terjadi pengeluaran udara/gas dari dalam silinder.

Prinsip kerja kompresor *reciprocating* dinyatakan sebagai diagram indikator yang menunjukkan perubahan pergerakan torak, posisi valve *suction/discharge* dan menggambarkan perubahan tekanan dan volume dalam silinder. Berikut adalah pola kerja torak dan diagram yang menggambarkan perubahan tekanan pada *liquid*.

### 1. Expansion

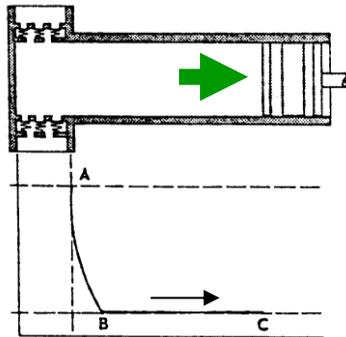
Saat torak mulai bergerak ke belakang, udara/gas didalam *learance space* diekspansikan. Tekanan di dalam silinder turun, valve suction terbuka. Garis A-B pada diagram menunjukkan pergerakan torak dan penurunan tekanan. Pembukaan *valve suction* ditunjukkan oleh titik B pada akhir langkah ekspansi. Gambar 2.1 menunjukkan langkah ekspansi dari titik A ke B bar.



Gambar 2.1. Langkah ekspansi dari titik A ke B bar

### 2. Suction

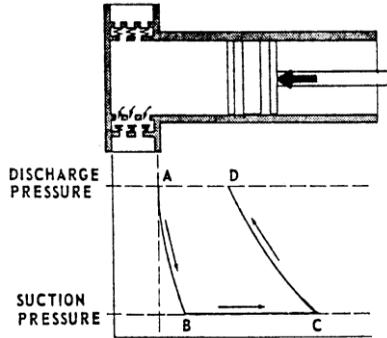
Selanjutnya torak terus bergerak ke belakang, dan udara/gas masuk kedalam silinder. Tekanan dalam silinder relatif konstan. Diagram p-v pada Gambar 2.2 menunjukkan torak bergerak pada satu arah sampai titik batas maksimum pada titik C. Akhir langkah *suction* ditunjukkan pada titik C.



Gambar 2.2. Langkah suction fluida masuk kedalam silinder dari titik B ke C.

### 3. Compression

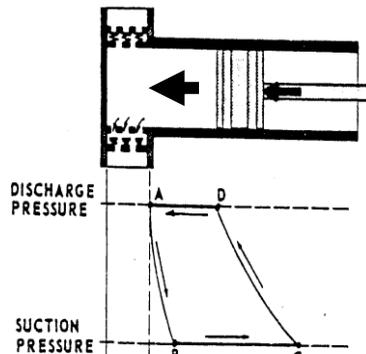
Sesaat kemudian torak mulai bergerak ke depan (berlawanan arah), udara/gas dimampatkan (*compression*) dimulai pada titik C dimana kedua *valve suction* dan *discharge* tertutup. Volume udara/gas mengecil dan tekanan bertambah sampai sedikit diatas tekanan *discharge*. Kondisi ini disebut langkah kompresi dan pada diagram pada Gambar 2.3 ditunjukkan oleh titik D.



Gambar 2.3. Langkah kompresi dari titik C ke D.

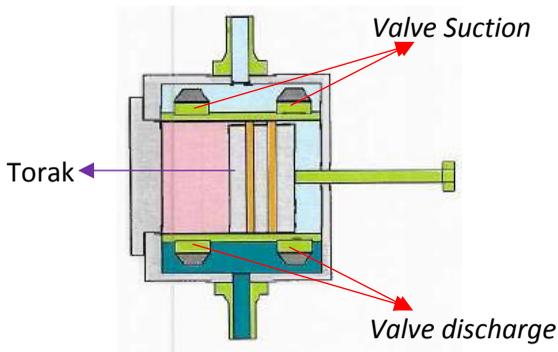
### 4. Discharge

Kemudian torak meneruskan langkah menekan udara/gas keluar melewati *valve discharge*, langkah tersebut dinamakan langkah *discharge*. Selama langkah *discharge*, tekanan udara/gas didalam silinder relatif konstan. Gambar 2.4 menunjukkan langkah *discharge* dari titik D ke A.



Gambar 2.4. Langkah discharge dari titik D ke A.

Penjelasan di atas berlaku untuk kompresor *reciprocating single acting*. Kompresor *reciprocating* berdasarkan langkah kerja per satu silinder dibagi menjadi *single acting* dan *double acting*. Kompresor K-1-01A termasuk dalam jenis *double acting*, sehingga dalam satu langkah torak akan terjadi *suction* dan *discharge* sekaligus. Berdasarkan jumlah toraknya kompresor K-1-01A digolongkan menjadi *double stage*, yaitu terdapat dua torak pada tempat yang berbeda dan masing-masing torak akan memampatkan fluida dengan tekanan yang berbeda. Gambar 2.5 memperlihatkan silinder untuk Kompresor *reciprocating double acting*.



Gambar 2.5. Letak valve dan torak pada kompresor *single acting two stage*

### 2.3.3 Bagian-Bagian Kompresor *Reciprocating*

Bagian-bagian Kompresor *Reciprocating* K-1-01A yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. *Valve Suction*, adalah *valve* untuk memasukan fluida. Pada kompresor K-1-01A terdapat dua jenis *valve suction* berdasarkan letak *stage*-nya (torak), yaitu *valve suction stage I* dan *valve suction stage II*.
2. *Valve Discharge*, *valve* untuk mengeluarkan fluida hasil pemampatan. Sama halnya *valve suction*, pada kompresor K-1-

01A juga terdapat dua jenis *valve discharge*, yaitu *valve discharge stage I* dan *valve discharge stage II*.

3. *Oil System*, sebagai pelumas pada penggerak torak.
4. *Cooling system*, merupakan *water jacket* yang berupa ruangan pad silinder untuk sirkulasi air sebagai pendingin.
5. *Separator stage*, berfungsi untuk memisahkan antara fluida (cair) dan Gas. Pada kompressor alat ini berperan penting untuk mencegah timbulnya knocking (getaran hebat yang tidak diinginkan yang menyebabkan kerusakan) yang dikarenakan kontaminasi fluida (cair) yang masuk pada ruang kompresi pada kompressor.
6. *Suction Strainer*, berfungsi menyaring kotoran yang terikut dalam aliran gas agar pada saat kompressor bekerja dan menghisap gas, tidak timbul kerusakan pada komponen kompressor yang diakibatkan karena kotoran tersebut.
7. *Header Block*, adalah alat yang digunakan untuk menutup aliran gas dari jalur utama yang akan masuk ke dalam unit kompressor. Valve ini berjumlah dua, yaitu *header suction valve* dan *header discharge valve*. Jika terjadi kerusakan pada salah satu valve ini, maka berakibatnya kompressor tidak bisa di kosongkan (tidak bisa diamankan) pada saat kebutuhan maintenance kompressor.

## **BAB 3**

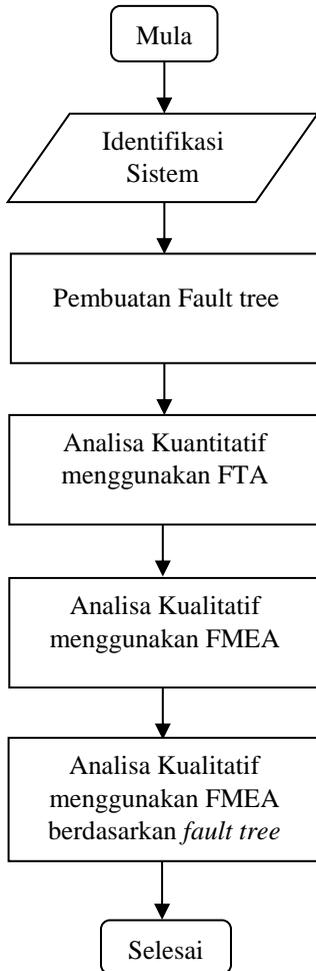
### **METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini akan menguraikan tentang tahapan dalam menganalisis keandalan sistem dengan menggunakan metode gabungan FTA dan metode FMEA. Untuk mengetahui kegagalan-kegagalan yang terjadi maka tahap awal yang dilakukan adalah mendiskripsikan model kegagalan system. Dari model kegagalan system tersebut dapat dibuat diagram *fault tree*. Dari diagram *fault tree* akan dilakukan analisa kuantitatif. Sedangkan analisa kualitatif dilakukan berdasarkan FMEA worksheet.

#### **3.1 Diagram Alir Penelitian**

Sistem terdiri dari komponen-komponen pendukung. Kegagalan yang dialami komponen pendukung akan mempengaruhi kerja sistem secara keseluruhan. Sehingga perancangan sistem diawali dengan identifikasi sistem. Dengan melakukan identifikasi sistem akan dimengerti komponen sistem secara keseluruhan dan proses-proses yang dialami sistem.

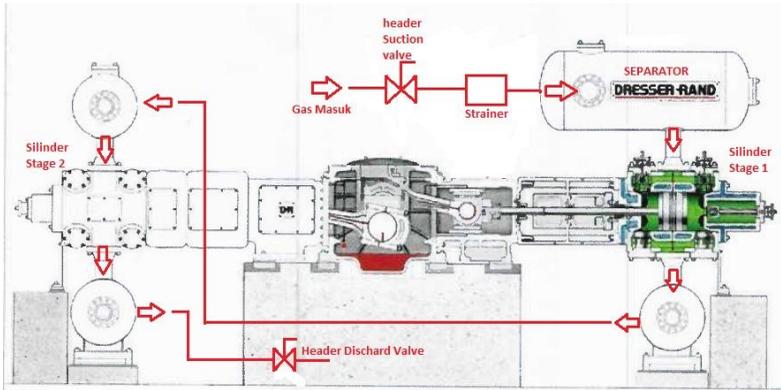
Setelah mengerti proses yang dialami sistem dapat dibuat diagram *fault tree*. Dari diagram *fault tree* dan data riwayat sistem dapat dilakukan analisa kuantitatif. Analisa kualitatif dilakukan dengan mewawancarai teknisi lapangan kemudian mengisi FMEA *worksheet*. Setelah mengisi FMEA *worksheet*, kemudian mengisi tabel analisa FMEA berdasarkan *fault tree*. Lebih jelasnya diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Identifikasi Sistem

Pada Gambar 3.2 memperlihatkan fluida yang masuk pada kompresor K-1-01A merupakan hasil fraksinasi dari olahan minyak mentah berupa fraksi ringanya. Fraksi ringan tersebut sebelum dimampatkan akan dilakukan pemisahan antara fluida dan endapan di *separator*. Kemudian fluida akan dimampatkan pada *silinder stage I* lalu dikirimkan ke *silinder stage II* untuk dimampatkan lagi.



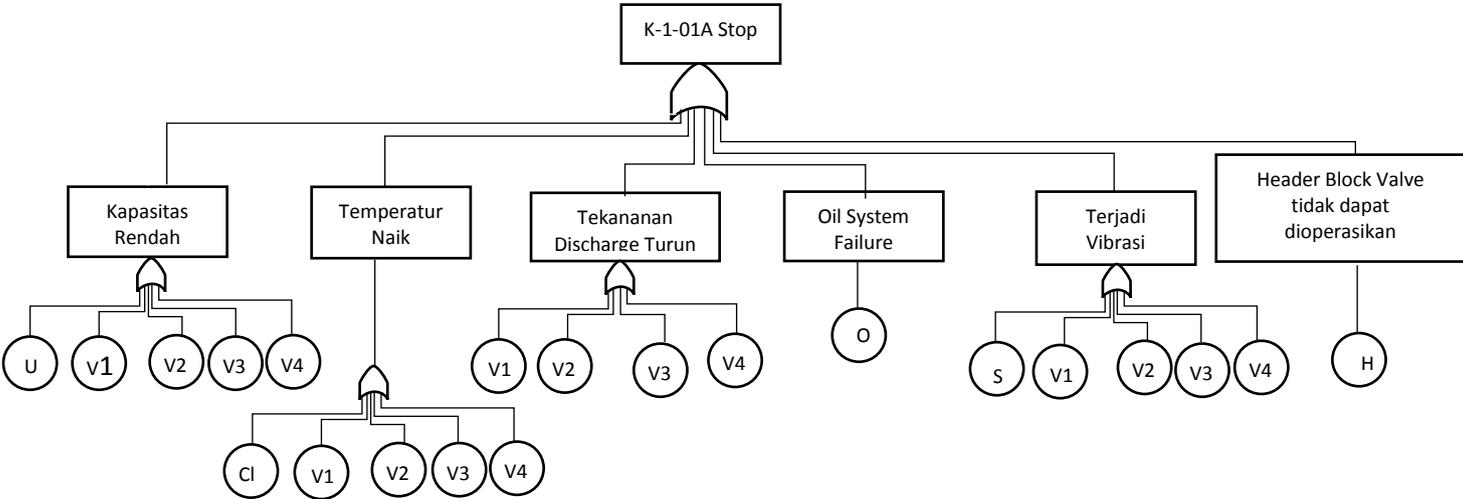
Gambar 3.2. Alur Proses pada K-1-01A

### 3.3 Pembuatan Diagram *Fault tree*

*Top event* dapat didefinisikan dengan cara menjawab pertanyaan *what*, *where*, dan *when*. Sedangkan event di level paling bawah disebut dengan basic events.[4] FTA merupakan analisa menggunakan binari. Semua kejadian diasumsikan terjadi atau tidak terjadi, dengan kata lain tidak terdapat opsi penengah. *Fault tree* Kompresor K-1-01A dapat dilihat pada Gambar 3.3. Kode *basic event* dapat dilihat pada Tabel 3.1.



Gambar 3.35. Fault Tree Kompresor K-1-01A



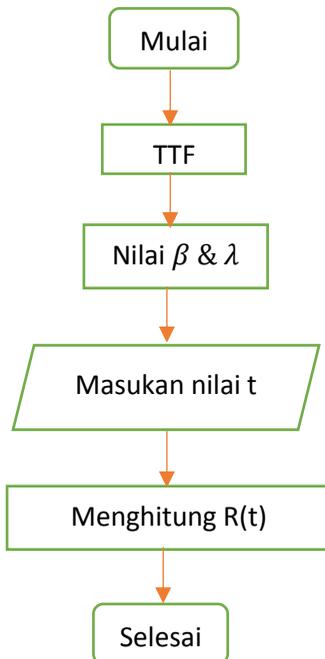


*Tabel 3.1. Kode Basic Events*

No	Kerusakan	Kode
1.	Kerusakan pada Valve Suction Stage I	V1
2.	Kerusakan pada Valve Discharge Stage I	V2
3.	Kerusakan pada Valve Suction Stage II	V3
4.	Kerusakan pada Valve Discharge Stage II	V4
5.	Separator Stage II bermasalah	S
6.	Cooling System bermasalah	Cl
7.	Kerusakan Suction Strainer	U
8	Oil filter pekat	O
9	Header Block Valve Suction & Discharge tidak bekerja secara	H

### 3.4 Diagram Alir Analisis Kuantitatif pada Basic Event

Untuk mendapatkan nilai keandalan basic event ( $R(t)$ ) diperlukan data riwayat sistem. Dari data riwayat tersebut diperoleh data TTF (*Time to Failure*) tiap komponen. TTF diperoleh dengan mencari waktu kerusakan dari data riwayat sistem. Data TTF kemudian diolah dengan Software Reliasoft Weibull ++. Pada perangkat lunak ini, data kerusakan suatu komponen sebagai input untuk menghitung parameter-parameter lainnya. Model distribusi data kerusakan yang digunakan adalah distribusi weibull 2 parameter. Dari proses ini akan didapatkan parameter Beta dan eta. Lebih jelasnya diagram alir analisis kuantitatif dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.43.36. Metode Penelitian Fault Tree Analysis

### 3.5 Analisa Kualitatif Menggunakan FMEA Worksheet

Analisa kualitatif menggunakan FMEA *worksheet* berfokus pada mencari nilai *Severity*, *occurrence*, dan *detection*. *Severity*, *occurrence*, dan *detection* nantinya digunakan untuk mencari *Risk Priority Number* (RPN). RPN adalah hasil perkalian dari *severity*, *occurrence*, dan *detection*. RPN memperlihatkan besarnya potensi terjadinya kegagalan dan efeknya. Nilai RPN mempunyai skala dari 1 sampai 1000. Semakin besar nilai RPN semakin besar kemungkinan terjadi kegagalan. Sehingga failure modes yang memiliki RPN tertinggi harus menjadi perhatian utama. Selain itu apabila nilai *severity* tinggi (9 atau 10) dengan nilai RPN berapapun, juga harus menjadi perhatian khusus. Hal tersebut dikarekan nilai *severity* menunjukkan seberapa gawat efek yang terjadi apabila kegagalan tersebut terjadi. [2]

Berikut adalah skala yang digunakan untuk mencari nilai RPN.

- a. **Severity**, yaitu akibat yang mungkin terjadi apabila terjadi kegagalan. Rincian nilai *severity* terdapat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Nilai Severity

Rangking	Severity	Diskripsi
10	Berbahaya tanpa peringatan	Kegagalan sistem yang menghasilkan efek sangat berbahaya
9	Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan sistem yang menghasilkan efek berbahaya
8	Sangat tinggi	Sistem tidak beroperasi
7	Tinggi	Sistem beroperasi tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh
6	Sedang	Sistem beroperasi dan aman tetapi mengalami penurunan performa

Rangking	Severity	Diskripsi
		sehingga mempengaruhi output
5	Rendah	Mengalami penurunan kinerja secara bertahap
4	Sangat Rendah	Efek yang kecil pada performa sistem
3	Kecil	Sedikit berpengaruh pada kinerja sistem
2	Sangat kecil	Efek yang diabaikan pada kinerja sistem
1	Tidak ada efek	Tidak ada efek

- b. **Occurrence**, yaitu probabilitas kemungkinan terjadi kerusakan atau frekuensi banyaknya terjadi kegagalan. Rincian nilai *occurrence* terdapat pada Tabel 3.3.

*Tabel 3.3. Nilai Occurrence*

Rangking	Occurrence	Deskripsi
10	Sangat Tinggi	Sering gagal
9		
8	Tinggi	Kegagalan yang berulang
7		
6	Sedang	Jarang terjadi kegagalan
5		
4	Rendah	Sangat kecil terjadi kegagalan
3		
2		
1	Tidak ada efek	Hampir tidak ada kegagalan

- c. **Detection**, yaitu probabilitas kemungkinan dari kegagalan tersebut dapat dideteksi sebelum pengaruh dari efek kegagalan dapat disadari. Rincian nilai *detection* terdapat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Nilai Detection

Rangking	Detection	Diskripsi
10	Tidak pasti	Perawatan preventif akan selalu tidak mampu untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
9	Sangat Kecil	Perawatan preventif memiliki kemampuan “ <i>very remote</i> ” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
8	Kecil	Perawatan preventif memiliki kemampuan “ <i>remote</i> ” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat rendah	Perawatan preventif memiliki kemampuan sangat rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan preventif memiliki kemampuan rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
5	Sedang	Perawatan preventif memiliki kemampuan “ <i>moderate</i> ” untuk mampu

Rangking	Detection	Diskripsi
		mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
4	Menengah Keatas	Perawatan preventif memiliki kemampuan “ <i>moderately high</i> ” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
3	Tinggi	Perawatan preventif memiliki kemampuan tinggi untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
2	Sangat Tinggi	Perawatan preventif memiliki kemampuan sangat tinggi untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
1	Hampir pasti	Perawatan preventif akan selalu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

### 3.6 Analisa Kualitatif Menggunakan Metode FMEA Berdasarkan *Fault tree*

Pada analisa kualitatif menggunakan metode FMEA berdasarkan *fault tree* pada dasarnya seperti menata ulang worksheet FMEA berdasarkan *basic event* sesuai *fault tree*. Pada analisa keandalan Kompresor K-1-01A ini didapatkan jumlah *basic events* yang sedikit. Sehingga penataan ulang *worksheet* FMEA dilakukan bersarakan *sub-causes* di atas *basic events*. Format tabel hasil analisa menggunakan gabungan metode FMEA berdasarkan *fault tree* dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Format Tabel Hasil Analisa Menggunakan Metode FMEA berdasarkan *Fault Tree*

Berdasarkan <i>fault tree</i>	<i>Sub-causes</i>	<i>Causes1</i>	<i>Causes 2</i>	...
	<i>Failure Causes</i>	<i>Causes1</i>	<i>Causes 2</i>	...
Berdasarkan <i>worksheet</i> FMEA	<i>Reliability</i>			
	<i>Impact</i>			
	<i>Urgency</i>			
	<i>Maintance</i>			

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB 4**

### **ANALISA SISTEM**

#### **4.1 Analisa Menggunakan FMEA**

Analisa menggunakan FMEA dilakukan berdasarkan hasil wawancara teknisi dilapangan. Hasil wawancara tersebut kemudian dimasukkan kedalam *worksheet* FMEA. Berikut adalah hasil analisa menggunakan FMEA dalam bentuk *worksheet* FMEA.

Dari tabel *worksheet* FMEA pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa komponen *valve suction* dan *discharge* serta *separator stage* apabila terjadi kegagalan memiliki nilai *severity* tertinggi sebesar 10. *Valve suction* dan *discharge* juga memiliki nilai *detection* yang tinggi. Sehingga penggantian *valve* harus rutin dilakukan sebagai langkah pencegahan. Sedangkan komponen yang memiliki nilai *occurrence* tinggi adalah kerusakan pada *suction stainer*. *Suction strainer* berfungsi untuk menyaring kotoran yang terikut dalam aliran gas saat kompresor berkerja dan menghisap gas, sehingga harus rutin melakukan pembersihan *strainer*.

Kegagalan yang miliki nilai RPN yang tinggi adalah *valve suction* dan *discharge* serta *separator stage*. Komponen-komponen tersebut harus rutin dilakukan perawatan agar bahaya akibat kegagalan operasi dapat dihindari.

*Tabel 4.1. Worksheet FMEA*

No	Ketidaknormalan komponen	Penyebab Kegagalan	Akibat Kegagalan	Pencegahan	Langkah Pertama Penanganan	S	O	D	RPN
1	Kerusakan pada Valve Suction Stage II	Valve tidak beroperasi secara normal	Kapasitas turun, temperatur naik, tekanan discharge turun, vibrasi	Menjaga suction strainer berfungsi normal	Pergantian valve	10	6	9	540
2	Kerusakan pada Valve Discharge Stage II	Valve tidak beroperasi secara normal	Kapasitas turun, temperatur naik, tekanan discharge turun, vibrasi	Menjaga suction strainer berfungsi normal	Pergantian valve	10	6	9	540
3	Kerusakan pada Valve Suction Stage I	Valve tidak beroperasi secara normal	Kapasitas turun, temperatur naik, tekanan discharge turun, vibrasi	Menjaga suction strainer berfungsi normal	Pergantian valve	10	6	9	540
4	Kerusakan pada Valve Discharge Stage I	Valve tidak beroperasi secara normal	Kapasitas turun, temperatur naik, tekanan discharge turun, vibrasi	Menjaga suction strainer berfungsi normal	Pergantian valve	10	6	9	540

No	Ketidaknormalan komponen	Penyebab Kegagalan	Akibat Kegagalan	Pencegahan	Langkah Pertama Penanganan	S	O	D	RPN
5	Separator Stage II bermasalah	Bocor, line drain buntu, pipa pembuangan buntu	Kebocoran gas yang berpotensi kebakaran, terjadi endapan liquid dan kondensat gas	Melakukan pembersihan dan pengukuran ketebalan dinding separator secara berkala	Memperbaiki kebocoran	10	5	8	400
6	Cooling System bermasalah	Sumbatan kotoran pada air pendingin atau terjadi kerusakan pada pipa pendingin	Temperatur naik	Membersihkan rongga water jacket dan line pipa pendingin secara periodik, menjaga tekanan dan laju air pendingin normal	Perbaiki pipa dan atau membersihkan kotoran pada pipa	9	5	7	315
7	Suction Strainer bermasalah	Kotoran endapan sulfur dan gas H <sub>2</sub>	Kapasitas turun	Perawatan rutin	Melakukan pembersihan strainer	6	8	3	144
8	Oil filter pekat	Adanya endapan kotoran sehingga terjadi sumbatan	Temperatur pelumas naik, temperatur bearing naik, system oil seal terganggu, tekanan oli rendah	Melakukan pembersihan dan pengantian oli secara periodik	Melakukan pembersihan dan penggantian oli	7	7	1	49

No	Ketidaknormalan komponen	Penyebab Kegagalan	Akibat Kegagalan	Pencegahan	Langkah Pertama Penanganan	S	O	D	RPN
9	Header Block Valve Suction & Discharge tidak bekerja secara normal	Terjadi kekeringan akibat panas yang tidak normal, adanya kotoran endapan sulfur	Valve macet sehingga tidak dapat beroperasi	Melakukan regreasing (pelumasan) secara periodik	Perbaiki valve, melakukan regreasing (pelumasan) ulang	9	4	1	36

## 4.2 Nilai Keandalan Komponen

Untuk mendapatkan nilai keandalan basic event ( $R(t)$ ) diperlukan data riwayat sistem. Dari data riwayat tersebut diperoleh data TTF (Time to Failure) tiap komponen. TTF diperoleh dengan mencari waktu kerusakan dari data riwayat sistem. Data TTF kemudian diolah dengan Software Reliasoft Weibull ++. Model distribusi data kerusakan yang digunakan adalah distribusi weibull 2 parameter. Pemilihan distribusi Weibull dikarekan distribusi Weibull paling cocok untuk komponen berupa mesin mekanik. Dari proses ini akan didapatkan parameter Beta dan eta.

Pada komponen *valve suction stage II* (V4) didapatkan nilai  $\beta = 0,7155$  dan nilai  $\eta = 341,0825$ . Data tersebut kemudian dimasukan ke dalam persamaan  $R(t)$ . Berikut adalah persamaan untuk mencari nilai keandalan.

$$R(t) = e^{-\lambda t^\beta}, \text{ dimana nilai } t > 0$$

Nilai  $\lambda$  disebut juga skala parameter. Skala parameter didapatkan dengan persamaan berikut.

$$\lambda_i = \frac{1}{\eta_i}$$

$$\text{Sehingga nilai dapat dihitung menjadi } \lambda_{V4} = \frac{1}{341,0825} = 0,0029 .$$

Waktu operasi ( $t$ ) pada pembahasan ini ditentukan selama 365 hari. Maka nilai keandalan untuk kerusakan pada valve suction stage II ( $R(t)_{V4}$ ) adalah sebagai berikut.

$$R(t)_{V4} = e^{-0,0029t^{0,7155}}$$

$$R(365)_{V4} = 0,8189$$

Setelah didapatkan nilai keandalan, nilai ketidakandalan  $F(t)_{V4}$  juga dapat dicari. Nilai ketidakandalan adalah fungsi distribusi kumulatif sistem (lifetime) atau fungsi kerusakan yang nilainya merupakan probabilitas terjadinya kegagalan pada waktu lebih kecil atau sama dengan  $t$ . Nilai ketidakandalan dapat dicari dengan persamaan berikut.

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

Sehingga nilai ketidakandalan untuk kerusakan pada valve suction stage II adalah sebagai berikut.

$$F(365)_{V4} = 1 - R(365)_{V4} = 0,1811$$

Nilai keandalan tiap *basic events* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

*Tabel 4.2. Hasil Analisa Keandalan Tiap Komponen*

No	Komponen	Tanggal terjadinya kerusakan	Umur saat terjadi kerusakan (hari)	Weibull (beta, eta)		R(t=365)
1	Valve Suction Stage II	15/5/2017, 14/10/2017, 4/2/2019	45; 194; 665	0,7155	341,0825	0,8189
2	Valve Discharge Stage II	15/6/2017, 22/4/2018	75; 357	0,8108	277,1242	0,64950
3	Valve Suction Stage I	1/10/2017, 16/7/2018	104; 496	0,80890	384,90300	0,73560
4	Valve Discharge Stage I	30/06/2018, 15/7/2018	120; 465	0,93390	373,21630	0,99730
5	Separator Stage II	8/5/2017, 9/02/2018, 11/9/2018	39; 310; 521	0,72560	347,37650	0,81190
6	Cooling System	17/5/2017, 19/2/2018, 25/7/2018, 18/1/2019	47; 300; 475; 653	0,89520	438,57210	0,63820
7	Suction Strainer	15/5/2017, 29/12/2017	45; 258	0,72440	194,31660	0,6911

No	Komponen	Tanggal terjadinya kerusakan	Umur saat terjadi kerusakan (hari)	Weibull (beta, eta)		R(t=365)
8	Oil filter	18/4/2017 , 4/10/2017 , 4/8/2018	18; 184; 484	0,57640	259,24160	0,8908
9	Header Block Valve Suction & Discharge	20/7/2017, 26/8/2018	110; 506	0,8289	394,9727	0,7135

### 4.3 Pengolahan Data Menggunakan *Fault Tree*

Analisa keandalan menggunakan metode fault tree bertujuan untuk mencari keandalan jaringan. Berikut hasil perhitungan keandalan jaringan untuk tiap cabang *fault tree* dengan definisi variabel Boolean dimana semua komponen berfungsi.

1. Cabang Kapasitas Rendah ( $R_C$ )

$$1 - R_C = (1 - R_{V1})(1 - R_{V2})(1 - R_{V3})(1 - R_{V4})(1 - R_U)$$

$$R_C = 1 - (1 - 0,8189)(1 - 0,6495)(1 - 0,7356)(1 - 0,9973)(1 - 0,6911)$$

$$R_C = 1 - (0,1811)(0,3505)(0,4110)(0,0027)(0,3089)$$

$$R_C = 1 - 0,0000217 = 0,9999782$$

2. Cabang Temperatur Naik ( $R_T$ )

$$1 - R_T = (1 - R_{V1})(1 - R_{V2})(1 - R_{V3})(1 - R_{V4})(1 - R_{Cl})$$

$$R_T = 1 - (1 - 0,8189)(1 - 0,6495)(1 - 0,7356)(1 - 0,9973)(1 - 0,6382)$$

$$R_T = 1 - (0,1811)(0,3505)(0,4110)(0,0027)(0,3618)$$

$$R_T = 1 - 0,0000223 = 0,9999776$$

3. Cabang Tekanan Discharge Turun ( $R_P$ )

$$1 - R_P = (1 - R_{V1})(1 - R_{V2})(1 - R_{V3})(1 - R_{V4})$$

$$R_P = 1 - (1 - 0,8189)(1 - 0,6495)(1 - 0,7356)(1 - 0,9973)$$

$$R_p = 1 - (0,1811)(0,3505)(0,4110)(0,0027)$$

$$R_p = 1 - 0,0000704 = 0,9999295$$

4. Cabang Terjadi Vibrasi ( $R_{Vb}$ )

$$1 - R_{Vb} = (1 - R_{V1})(1 - R_{V2})(1 - R_{V3})(1 - R_{V4})(1 - R_S)$$

$$R_{Vb} = 1 - (1 - 0,8189)(1 - 0,6495)(1 - 0,7356)(1 - 0,9973)(1 - 0,8119)$$

$$R_{Vb} = 1 - (0,1811)(0,3505)(0,4110)(0,0027)(0,1881)$$

$$R_{Vb} = 1 - 0,0000132 = 0,9999867$$

Sehingga nilai total keandalan jaringan Kompresor K-1-01A ( $R_K$ ) ketika semua komponen berfungsi adalah sebagai berikut.

$$1 - R_K = (1 - R_C)(1 - R_T)(1 - R_p)(1 - R_O)(1 - R_{Vb})(1 - R_H)$$

$$R_K = 1 -$$

$$(0,0000217)(0,0000223)(0,0000704)(0,1092)(0,0000132)(0,2865)$$

$$R_K = 1 - 1,4068845e-20 \cong 1$$

#### 4.3.1 Minimum Path

Nilai keandalan dari *minimum path* merupakan nilai *upper bound*, yaitu keandalan yang paling tinggi yang mungkin dicapai oleh sistem. Pada sistem kompresor K-1-01A didapatkan minimum path sebagai berikut.

Sistem berfungsi apabila (V1, V2, V3, V4, dan U berfungsi) atau

(V1, V2, V3, V4, dan Cl berfungsi) atau

(V1, V2, V3, dan V4 berfungsi) atau

(O berfungsi) atau

(V1, V2, V3, V4, dan S berfungsi) atau

(H berfungsi)

$$R_{K_{path}} = 1 - (1 - \bar{R}_{V1}\bar{R}_{V2}\bar{R}_{V3}\bar{R}_{V4}\bar{R}_U)(1 -$$

$$\bar{R}_{V1}\bar{R}_{V2}\bar{R}_{V3}\bar{R}_{V4}\bar{R}_{Cl})(1 - \bar{R}_{V1}\bar{R}_{V2}\bar{R}_{V3}\bar{R}_{V4})(1 -$$

$$\bar{R}_O)(1 - \bar{R}_{V1}\bar{R}_{V2}\bar{R}_{V3}\bar{R}_{V4}\bar{R}_S)(1 - \bar{R}_H)$$

$$R_{K_{path}} = 1 -$$

$$(0,0000217)(0,0000223)(0,0000704)(0,1092)(0,0000132)(0,2865)$$

$$R_{K_{path}} = 1 - 1,4068845e-20$$

$$R_{K_{path}} \cong 1$$

$$R_{K_{path}} = R_K \cong 1$$

### 4.3.2 Minimum Cut

Nilai keandalan dari minimal cut merupakan nilai *lower bound*, yaitu keandalan yang paling rendah yang mungkin dicapai oleh sistem. Pada sistem kompresor K-1-01A didapatkan minimum path adalah apabila sistem rusak apabila (V1, V2, V3, V4, U, Cl, O, S, dan H rusak).

Maka nilai upper bound-nya menjadi:

$$R_{K_{cut}} = 1 - (1 - R_{V1})(1 - R_{V2})(1 - R_{V3})(1 - R_{V4})(1 - R_U)(1 - R_{Cl})(1 - R_O)(1 - R_S)(1 - R_H)$$

$$R_{K_{cut}} = 1 - (1 - 0,8189)(1 - 0,6495)(1 - 0,7356)(1 - 0,9973)(1 - 0,6911)(1 - 0,6382)(1 - 0,8908)(1 - 0,8119)(1 - 0,7135)$$

$$R_{K_{cut}} = 1 - (0,1811)(0,3505)(0,4110)(0,0027)(0,3089)(0,3618)(0,1092)(0,1881)(0,2865)$$

$$R_{K_{cut}} = 1 - 4,6327043e-8=0,9999999536$$

Nilai keandalan sistem harus berada di antara atau sama dengan nilai *lower bound* dan *upper bound*, atau bila dituliskan dalam persamaan adalah sebagai berikut.

$$R_{K_{cut}} \leq R_K \leq R_{K_{path}}$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan nilai keandalan  $R_K$  sudah sesuai.

### 4.4 Penggabungan FMEA dan FTA

Pada analisa kualitatif menggunakan metode FMEA berdasarkan *fault tree* pada dasarnya seperti menata ulang *worksheet* FMEA berdasarkan event sesuai *fault tree*. Penggabungan metode FMEA dan FTA akan dapat saling menutup kelemahan tiap metode. FTA berfungsi sebagai informasi ‘memandu’ FMEA agar FMEA lebih terorganisir dan penyebab kegagalan juga dipertimbangkan. Dalam penelitian ini *fault tree* sebagai ‘pemandu’ FMEA yang digunakan adalah pada cabang *sub-causes*. Hasil analisa menggunakan gabungan metode FMEA berdasarkan *fault tree* dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Pada *sub-causes* kapasitas rendah diketahui bahwa yang menyebabkan terjadinya penurunan kapasitas gas yang dimampatkan karena terjadi kegagalan pada *valve suction* dan *discharge* serta kegagalan pada *suction strainer*. *Suction strainer* berfungsi untuk memisahkan kondensat hidrokarbon (gas yang mencair) yang masuk ke silinder torak. Bila *suction strainer* gagal melaksanakan fungsinya endapan akan masuk ke *valve suction* dan/ *discharge* sehingga mengganggu proses pemampatan.

Pada *sub-causes* temperatur naik penyebabnya adalah gangguan pada *valve suction* dan *discharge* serta gangguan pada *cooling system*. Kenaikan temperatur sangat berbahaya karena dapat mengakibatkan *trip* karena *overheating*. Pada tabel *worksheets* FMEA nilai *severity* kerusakan pada *cooling system* memiliki nilai 10, sehingga penanganan harus didahulukan.

Tekanan *discharge* yang menurun terjadi akibat ketidaknormalan pada *valve suction* dan *discharge*. Penurunan tekanan *discharge* dapat mempengaruhi ketidaknormalan lainnya, yaitu mengakibatkan penurunan kapasitas gas yang dimampatkan, temperatur kompresor naik, dan terjadi vibrasi. Sehingga langkah pencegahan harus rutin dilakukan.

Tabel 4.3. Hasil Analisa Metode Gabungan FMEA Berdasarkan Fault Tree

<i>Sub-causes</i>	Nilai Keandalan	Penyebab Kegagalan	Akibat Kegagalan	Urgensi	Pencegahan
Kapasitas Rendah	0,9999782	<i>Valve suction</i> dan <i>discharge kompresor</i> tidak beroperasi secara normal, kotoran endapan sulfur dan gas H <sub>2</sub>	Kapasitas turun	-Suction strainer kotor sehingga menyumbat aliran gas masuk - <i>Valve discharge</i> dan <i>suction kompresor</i> yang tidak normal mengakibatkan penurunan kapasitas kinerja kompresor.	Memastikan <i>suction strainer</i> berfungsi secara normal dengan melakukan pembersihan secara berkala. Memastikan <i>Valve discharge</i> dan <i>suction compressor</i> dalam kondisi baik, selalu termonitor kondisi temperature dan vibrasi. Segera lakukan penggantian jika running hour sudah terpenuhi atau jika gejala kondisi abnormal sudah terdeteksi.
Temperatur Naik	0,9999776	<i>Valve suction</i> dan <i>discharge kompresor</i> tidak beroperasi secara normal, Sumbatan kotoran pada air pendingin	Kompresor Trip / shutdown karena overheating. Berarti kerugian proses produksi.	Kerusakan pada <i>valve discharge</i> dan <i>suction</i> memiliki <i>severity</i> tinggi sehingga penanganan harus diprioritaskan	Memastikan <i>suction strainer</i> berfungsi secara normal, Memastikan <i>Valve discharge</i> dan <i>suction compressor</i> dalam kondisi baik, selalu termonitor kondisi temperature dan vibrasi. Segera

<i>Sub-causes</i>	Nilai Keandalan	Penyebab Kegagalan	Akibat Kegagalan	Urgensi	Pencegahan
					lakukan penggantian jika running hour sudah terpenuhi atau jika gejala kondisi abnormal sudah terdeteksi. membersihkan rongga water jacket dan line pipa pendingin secara periodik, menjaga tekanan dan laju air pendingin normal
Tekanan Discharge Turun	0,9999295	<i>Valve suction</i> dan <i>discharge kompresor</i> tidak beroperasi secara normal	Kapasitas turun	Kerusakan pada <i>valve discharge</i> dan <i>suction</i> memiliki <i>severity</i> tinggi sehingga penanganan harus diprioritaskan	Memastikan <i>suction strainer</i> berfungsi secara normal Memastikan <i>Valve discharge</i> dan <i>suction compressor</i> dalam kondisi baik, selalu termonitor kondisi temperature dan vibrasi. Segera lakukan penggantian jika running hour sudah terpenuhi atau jika gejala kondisi abnormal sudah terdeteksi.

<i>Sub-causes</i>	Nilai Keandalan	Penyebab Kegagalan	Akibat Kegagalan	Urgensi	Pencegahan
Oil System Failure	0,8908	Adanya endapan kotoran sehingga terjadi sumbatan	Temperatur pelumas naik, temperatur <i>bearing</i> naik, <i>oil seal system</i> terganggu, tekanan oli rendah	Nilai <i>occurrence</i> tinggi sehingga pembersihan dan pergantian oli harus sering dilakukan	Melakukan pembersihan pada jalur pelumasan dan pengantian oli sekaligus oil filter secara periodic.
Terjadi Vibrasi	0,9999867	<i>Valve suction</i> dan <i>discharge kompresor</i> tidak beroperasi secara normal, line drain buntu atau bocor	Terjadi kebocoran gas, berpotensi terjadinya kebakaran	Ketidaknormalan yang mengakibatkan vibrasi sebagian besar diakibatkan oleh endapan liquid dan kondensat gas	Memastikan <i>Valve discharge</i> dan <i>suction compressor</i> dalam kondisi baik, selalu termonitor kondisi temperature dan vibrasi. Segera lakukan penggantian jika <i>running hour</i> sudah terpenuhi atau jika gejala kondisi abnormal sudah terdeteksi. berfungsi secara normal, melakukan pembersihan dan

<i>Sub-causes</i>	Nilai Keandalan	Penyebab Kegagalan	Akibat Kegagalan	Urgensi	Pencegahan
					pengukuran ketebalan dinding separator secara berkala
Header Block Valve Tidak dapat dioperasikan (dibuka atau ditutup)	0,7135	terjadi kekeringan pelumasan pada part internal valve akibat panas pada system dan endapan kotoran dan sulfur	<i>valve</i> macet sehingga tidak dapat dioperasikan	<i>Header block valve</i> berfungsi sebagai pengaman kompresor sehingga harus dipastikan selalu berfungsi	melakukan <i>reagreasing</i> (pelumasan) secara periodik

#### **4.4.1 Keuntungan Menggunakan Metode gabungan FMEA dan FTA**

Keuntungan yang didapat dengan menggunakan metode gabungan FMEA dan FTA sebagai berikut.

1. Analisa keandalan hanya menggunakan FMEA pada dasarnya merupakan analisa kualitatif yang berupa rangkuman wawancara dari teknisi lapangan. Dengan menggunakan metode gabungan FMEA dan FTA didapatkan nilai keandalan setiap *event*-nya dan dapat menjelaskan hubungan setiap kegagalan yang terjadi.
2. Analisa keandalan hanya menggunakan FMEA tidak bisa mendapatkan nilai keandalan sistem. Dengan menggunakan metode gabungan FMEA dan FTA bisa mendapatkan nilai keandalan sistem dan *sub-causes*-nya.
3. Analisa keandalan hanya menggunakan FTA tidak bisa mendapatkan informasi kondisi di lapangan. Dengan menggunakan metode gabungan FMEA dan FTA didapatkan informasi dari lapangan berupa cara pencegahan, akibat kegagalan dan penyebab kegagalan.

#### **4.4.2 Kelemahan Menggunakan Metode Gabungan FMEA dan FTA**

Kelamahan menggunakan metode gabungan FMEA dan FTA adalah harus melakukan analisis tiga kali. Pertama melakukan analisa FMEA, lalu FTA dan terakhir baru dapat dilakukan analisa metode gabungan FMEA dan FTA.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Hasil analisa menggunakan metode FMEA yang berupa *worksheet* FMEA berisi nilai *Risk Priority Number* (RPN) serta penyebab kegagalan, akibat kegagalan, dan cara pencegahan, digunakan sebagai acuan analisa kualitatif pada metode gabungan FMEA dan FTA.
2. Pada penelitian ini *sub-causes* pada *fault tree* berfungsi sebagai acuan pembuatan tabel hasil analisa menggunakan metode gabungan FMEA dan FTA.
3. Pada analisa menggunakan metode gabungan FMEA dan FTA, analisa kuantitatif didapatkan dari hasil analisa keandalan FTA yang berupa keandalan *basic events*, keandalan *sub-causes*, dan keandalan jaringan.

#### **5.2 Saran**

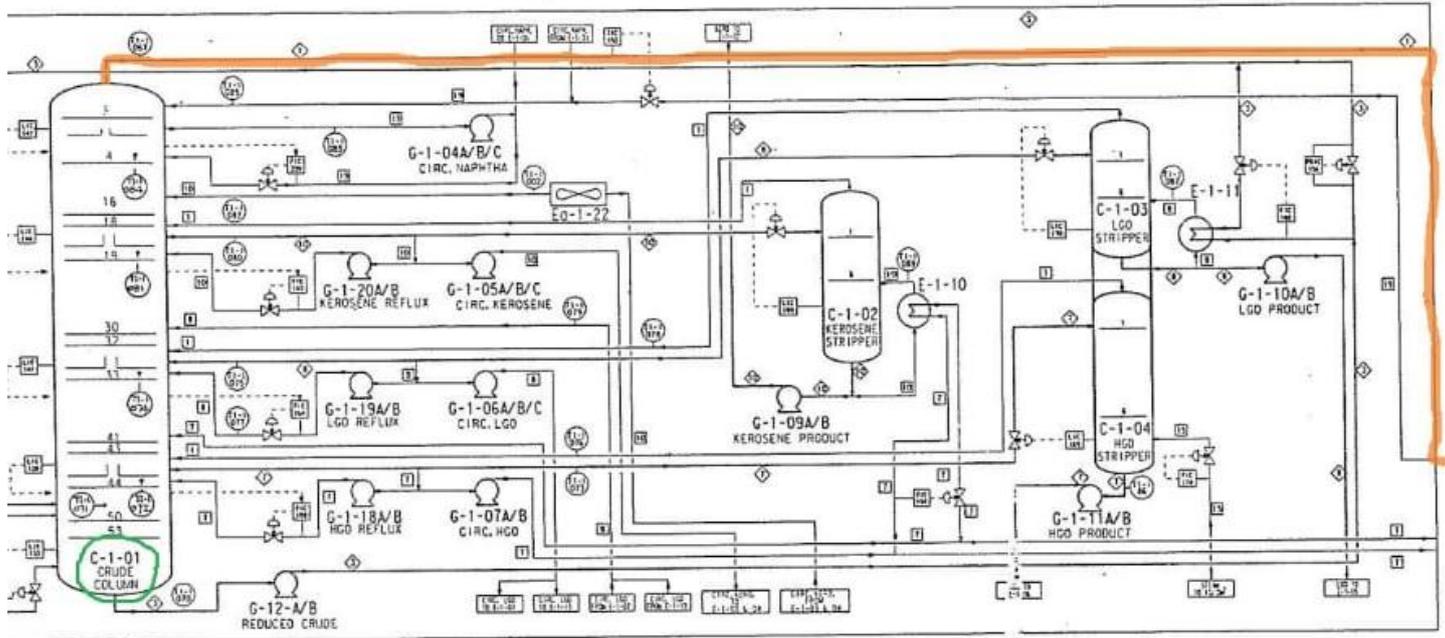
Saran penulis untuk penelitian dibidang yang sama adalah diharapkan menggunakan sistem yang memiliki data kerusakan yang mencukupi.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

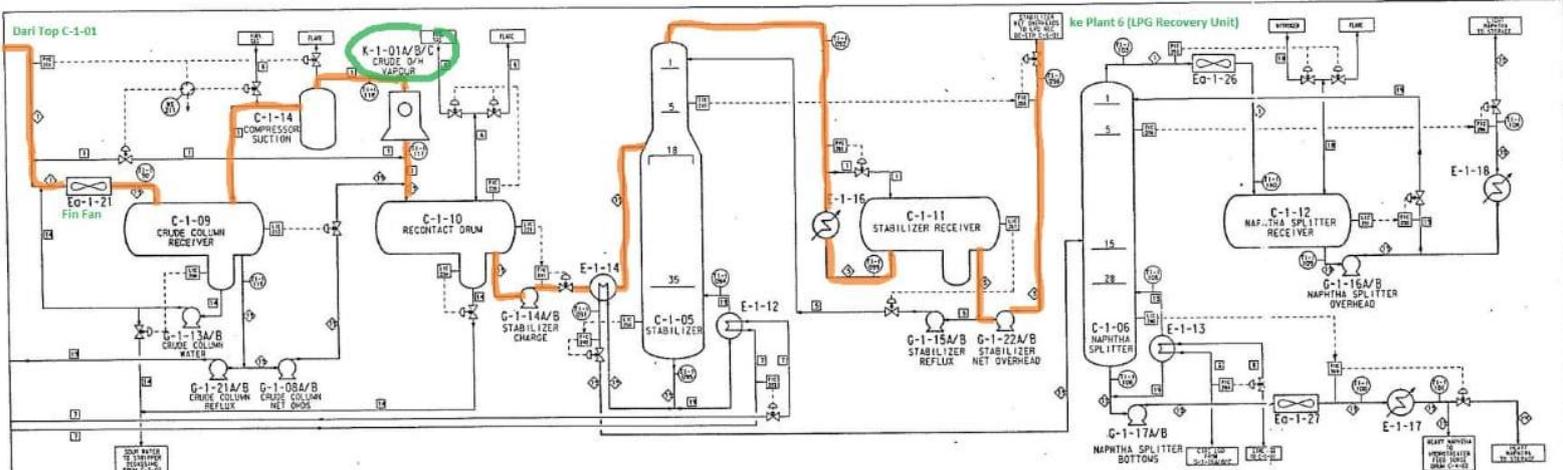
- [1] Yu, Suiran *dkk.* 2011. *A Cmparison of FMEA, AFMEA, and FTA*. IEEE : Shanghai, China
- [2] Robin E. McDermott., Raymond J. Mikulak, Michael R. Beauregard. 2009. *The Basic of FMEA*. Taylor & Francis Group 270 Madison Avenue : New York
- [3] Rausand, Marvin. 2004. *System Reliability Theory : Models, Statistical Methods, and Applications*. John Wiley & Sons, Inc : Amerika
- [4] Gamayanti, Nurlita. *Diktat Teknik Keandalan dan Keselamatan Sistem*, Institute Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya
- [5] Triwiyatno, Aris. 2011. *Konsep Umum Sistem Kontrol*, Universitas Diponegoro : Semarang.
- [6] Kusmayanto, Tata. 2014. *Pompa, Compressor, Fan & Blower*. Pertamina : Plaju

Gambar P&ID Crude Distillation Unit IV (a)



Lampiran

Gambar P&ID Crude Distillation Unit IV (b)





## **Biodata Penulis**

Penulis bernama Tiara Putri Lestari. Lahir dan dibesarkan di Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah. Penulis lahir pada tanggal 16 Juni 1996. Penulis. Hobi penulis adalah belajar Bahasa Jepang.

Penulis pernah bersekolah di:  
SDN Tegalkuning  
SMPN 1 Purworejo  
SMAN 1 Purworejo  
S1 Teknik Elektro Institut Teknologi  
Sepuluh Nopember.

