



**TUGAS AKHIR TF 181801**

**ANALISIS *HAZOP* (*HAZARD AND OPERABILITY*) DAN  
PENENTUAN SIL PADA *STEAM TURBINE 103-JT*  
MENGUNAKAN METODE *LOPA* (*LAYER OF  
PROTECTION*) PABRIK I PT PETROKIMIA GRESIK**

**Isrous Saidah  
NRP. 02311745000051**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir.Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.  
NIP. 19571126 198403 2 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**



**TUGAS AKHIR TF 181801**

**ANALISIS *HAZOP* (*HAZARD AND OPERABILITY*) DAN  
PENENTUAN SIL PADA *STEAM TURBINE 103-JT*  
MENGUNAKAN METODE *LOPA* (*LAYER OF  
PROTECTION*) PABRIK I PT PETROKIMIA GRESIK**

**Isrous Saidah  
NRP. 02311745000051**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir.Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.  
NIP. 19571126 198403 2 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**



***FINAL PROJECT – TF 181801***

***HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY) ANALYSIS AND SIL  
DETERMINATION IN STEAM TURBINE 103-JT USING  
LOPA (LAYER OF PROTECTION) FACTORY I  
PT.PETROKIMIA GRESIK***

**Isrous Saidah  
NRP. 02311745000051**

***Advisor Lecturer***  
**Dr. Ir.Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.**  
**NIP. 19571126 198403 2 002**

***DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2019***

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Isrous Saidah  
NRP : 02311745000051  
Departemen/Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis HAZOP (*Hazard And Operability*) dan Penentuan SIL Pada *Steam Turbin 103-JT* Menggunakan Metode *LOPA (Layer Of Protection)* Pabrik I PT Petrokimia Gresik” adalah benar karya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 26 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,

  
Isrous Saidah  
02311745000051

**LEMBAR PENGESAHAN I**

**ANALISIS HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY) DAN  
PENENTUAN SIL PADA STEAM TURBINE 103-JT  
MENGUNAKAN METODE LOPA (LAYER OF  
PROTECTION) PABRIK I PT PETROKIMIA GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

**Oleh:**

**ISROUS SAIDAH  
NRP. 02311745000051**

**Surabaya, 30 Juli 2019**

**Pembimbing**



**Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.**  
**NIP. 19571126 198403 2 002**

**Kepala Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS**



**S.T., M.Si., Ph.D**

**NIP. 19780903 200312 1 002**

## LEMBAR PENGESAHAN II

### ANALISIS HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY) DAN PENENTUAN SIL PADA STEAM TURBINE 103-JT MENGUNAKAN METODE LOPA (LAYER OF PROTECTION) PABRIK I PT PETROKIMIA GRESIK

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

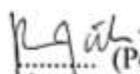
Oleh:

**ISROUS SAIDAH**

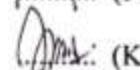
**NRP. 02311745000051**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

  
..... (Pembimbing)

2. Imam Abadi, ST, MT

  
..... (Ketua Penguji)

3. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc

  
..... (Penguji II)

4 Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT

  
..... (Penguji III)

**ANALISIS HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY) DAN  
PENENTUAN SIL PADA STEAM TURBINE 103-JT  
MENGUNAKAN METODE LOPA (LAYER OF  
PROTECTION) PABRIK PT PETROKIMIA GRESIK**

**Nama Mahasiswa** : Isrous Saidah  
**NRP** : 02311745000051  
**Program Studi** : Teknik Fisika  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

**Abstrak**

Indonesia merupakan negara agraris yang sebagian besar penduduknya bermata pencaharian di sektor pertanian hal ini didukung dengan jumlah lahan pertanian dengan kesuburan tanahnya. Hal ini ditopang dengan industri pupuk yang kuat. Untuk itu dilakukan penelitian untuk menentukan kemungkinan risiko serta bahaya dari kegagalan proses pada *steam turbine* 103-JT milik PT. Petrokimia Gresik. Serta bertujuan untuk meningkatkan nilai *safety integrity level* untuk mereduksi setiap kemungkinan bahaya. Dari hasil analisa HAZOP didapatkan bahwa kegagalan dengan risiko tertinggi adalah kegagalan yang disebabkan oleh tidak berfungsinya *governor valve* dan *extraction valve* dengan baik ditambah keausan pada komponen *bearing, nozzle, labyrinth* dan *gasket*. Dari perhitungan SIL didapatkan hasil yang menunjukkan 40% memiliki tingkat keamanan SIL 0 (*governor valve* dan *extraction valve*), dan 60% SIL 1 (*bearing, nozzle, labyrinth* dan *gasket*). Dari hasil analisa proses reduksi risiko pada 103-JT dengan menggunakan metode LOPA maka didapatkan hasil rekomendasi perlu ditambahkan adanya *loop BPCS* pengendalian dan *speed alarm low* 103-JT.

**Kata Kunci** : *safety*, HAZOP, LOPA, SIL

**HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY) ANALYSIS AND  
SIL DETERMINATION IN STEAM TURBINE 103-JT USING  
LOPA (LAYER OF PROTECTION) FACTORY I PT  
PETROKIMIA GRESIK**

***Student Name*** : Isrous Saidah  
***NRP*** : 02311745000051  
***Study Program*** : *Engineering Physics*  
***Major*** : *Engineering Physics FTI – ITS*  
***Advisor Lecturer*** : **Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.**

***Abstract***

*Indonesia is an agrarian country with a large portion of the population making a living in the agricultural sector, this is supported by the amount of agricultural land with fertility of the land. This is supported by a strong fertilizer industry. For this reason, a study was conducted to determine the possible risks and dangers of process failure on the 103-JT steam turbine owned by PT. Petrochemical Gresik. And aims to increase the value of safety integrity levels to reduce every possible hazard. From the results of the HAZOP analysis, it was found that failure with the highest risk was a failure caused by the malfunction of the governor valve and extraction valve, plus wear on the bearing, nozzle, labyrinth and gasket components. From the calculation of SIL, the results showed that 40% had a SIL 0 security level (governor valve and extraction valve), and 60% SIL 1 (bearing, nozzle, labyrinth and gasket). hence the recommendation result needs to be added to the BPCS control loop and speed alarm low 103-JT.*

***Keywords: safety, HAZOP, LOPA, SIL***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY) DAN PENENTUAN SIL PADA STEAM TURBINE 103-JT MENGGUNAKAN METODE LOPA (LAYER OF PROTECTION) PABRIK I PT PETROKIMIA GRESIK”** dengan tepat waktu. terselesaikannya laporan ini juga tak luput dari dukungan dan peran dari orangtua dan keluarga besar serta berbagai pihak. Untuk itulah dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, M.Si, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika
2. Ibu Dr. Ir.Ronny Dwi Noriyati, M.Kes. selaku dosen pembimbing yang penulis cintai yang telah membimbing proses pengerjaan Tugas Akhir dengan baik dan sabar.
3. Ketua penguji bapak Dr. Imam Abadi, ST, MT, penguji II bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', Msc dan penguji III Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT
4. Bapak Lugas Dwi Prayogi selaku pembimbing di PT.Petrokimia Gresik.
5. Kedua orang tua yang tidak henti-hentinya memberi semangat dan doa untuk menyelesaikan Tugas akhir ini.
6. Lugas *team* (Nawang, Siti, Aris dan Mas Uut) yang telah bersama sama berjuang dalam menyelesaikan Tugas akhir ini
7. Muhammad Dzulkifli Syamsiar yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan Tugas akhir
8. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih kurang sempurna. Oleh karena itu penulis menerima segala masukan baik berupa saran, kritik, dan segala bentuk tegur sapa demi kesempurnaan laporan ini.

Demikian laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan dengan harapan dapat bermanfaat dalam akademik baik bagi penulis sendiri maupun bagi pembaca.

Surabaya, 14 juni 2019

Penulis.

## DAFTAR ISI

	Hal
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>TITLE OF PAGE</b> .....	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN I</b> .....	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN II</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>xiv</b>

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat .....	3
1.6 Sistematika Laporan .....	3

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 <i>Steam Turbine</i> 103 JT.....	5
2.2 Laju Kegagalan ( <i>failure rate</i> ) .....	9
2.3 Distribusi Kegagalan.....	9
2.4 <i>Hazard and Operability Study</i> (HAZOP).....	15
2.4.1 <i>Guidewords</i> dan <i>Parameter</i> HAZOP .....	16
2.4.2 <i>Control Chart</i> .....	19
2.4.3 <i>Risk Matrix</i> .....	20
2.5 <i>Safety Integrity Level</i> .....	20
2.6 <i>Layer of Protection</i> .....	23

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	27
-----------------------------------	----

3.2 Tahap Tahap Penelitian .....	27
----------------------------------	----

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Alur Proses pada <i>Steam Turbine 103JT</i> .....	33
4.2 Analisis Risiko .....	33
4.3 Analisis Potensi, Penyebab dan Akibat Bahaya .....	41
4.4 Penentuan <i>Likelihood</i> .....	45
4.5 Penentuan <i>Consequences</i> .....	50
4.6 <i>Risk Ranking</i> .....	51
4.7 Analisis HAZOP.....	52
4.8 <i>Layer of Protection Analysis (LOPA)</i> .....	52
4.9 Perhitungan <i>Layer of Protection Analysis (LOPA)</i> .....	56
4.10 Pembahasan.....	61

## **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	63
5.2 Saran.....	63

## **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	Hal
<b>Gambar 2.1</b>	Komponen <i>Steam Turbine</i> 103-JT.....5
<b>Gambar 2.2</b>	P&ID <i>Loop</i> Pengendalian Proses <i>Steam Turbine</i> 103-JT .....8
<b>Gambar 2.3</b>	Grafik Distribusi Normal..... 11
<b>Gambar 2.4</b>	Grafik Distribusi <i>Lognormal</i> ..... 12
<b>Gambar 2.5</b>	Grafik Distribusi <i>Weibull 2-parameter</i> ..... 14
<b>Gambar 2.6</b>	Grafik Distribusi Eksponensial ..... 15
<b>Gambar 2.7</b>	<i>Layer of Protection</i> ..... 23
<b>Gambar 2.8</b>	Tingkat Bahaya Tiap <i>Layer</i> ..... 25
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Flowchart</i> Penelitian ..... 27
<b>Gambar 4.1</b>	P&ID <i>Steam Turbine</i> 103-JT ..... 35
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik <i>Logsheet</i> PT 1006..... 36
<b>Gambar 4.3</b>	<i>Electrical</i> Grafik <i>Logsheet</i> PT 1035 ..... 37
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik <i>logsheet</i> SI 1003..... 38
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik <i>logsheet</i> TI 1753..... 39
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik <i>logsheet</i> TI 1750..... 40

## DAFTAR TABEL

	Hal
<b>Tabel 2.1</b> <i>Guidewords</i> HAZOP.....	17
<b>Tabel 2.2</b> <i>Parameter</i> Proses Analisa HAZOP.....	17
<b>Tabel 2.3</b> <i>Risk Matriks</i> .....	19
<b>Tabel 2.4</b> Kategori Nilai SIL.....	21
<b>Tabel 2.5</b> <i>Target Mitigated Event Likelihood</i> .....	22
<b>Tabel 3.1</b> Klasifikasi Dampak Risiko.....	29
<b>Tabel 3.2</b> Klasifikasi <i>Likelihood</i> .....	30
<b>Tabel 4.1</b> <i>Guideword</i> dari PT 1006.....	36
<b>Tabel 4.2</b> <i>Guideword</i> dari PT 1035.....	37
<b>Tabel 4.3</b> <i>Guideword</i> dari SI 1003.....	38
<b>Tabel 4.4</b> <i>Guideword</i> dari TI 1753.....	40
<b>Tabel 4.5</b> <i>Guideword</i> dari TI 1750.....	41
<b>Tabel 4.6</b> <i>Causes dan Consequences</i> .....	42
<b>Tabel 4.7</b> <i>Kriteria Likelihood Node Steam Turbine 103-JT</i> ...49	
<b>Tabel 4.8</b> Standar <i>Likelihood</i> PT.Petrokimia Gresik ..... 49	
<b>Tabel 4.9</b> Kategori Konsekuensi.....49	
<b>Tabel 4.10</b> <i>Risk Matriks Category</i> ..... . 51	
<b>Tabel 4.11</b> Hasil ICL..... ..54	

## DAFTAR SIMBOL

$f$	= Banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi
$T$	= Total waktu operasi komponen/ sistem
$\lambda$	= Laju Kegagalan
$t$	= Waktu ( <i>variable</i> )
$\mu$	= Rata rata data
$\sigma$	= Simpangan baku
$\beta$	= Bentuk <i>parameter</i> ( <i>shape parameter</i> )
$\eta$	= <i>Parameter</i> skala ( <i>scale parameter</i> )
$\gamma$	= <i>Parameter</i> lokasi ( <i>location parameter</i> )
$\Gamma$	= Fungsi <i>Gamma</i>
$UCL$	= <i>Upper control limit x bar</i>
$CL$	= <i>Control limit x bar</i>
$LCL$	= <i>Lower control limit x bar</i>
$\bar{\bar{x}}$	= Rata-rata dari <i>mean</i> ( $\bar{\bar{x}}$ )
$\bar{s}$	= Rata-rata dari standar deviasi ( $s$ )
$A3, B3, B4$	= Konstanta mengacu <i>tables of constant for control chart</i>
$R(t)$	= keandalan
$f(t)$	= fungsi kerapatan <i>probability</i>
$F(t)$	= fungsi kumulatif <i>probability</i>
$T_i$	= <i>Time Interval</i> (/jam)
$TTF$	= <i>Time To Failure</i> (/jam)
$MTTF$	= <i>Mean Time To Failure</i> (/jam)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris yang sebagian besar penduduknya bermata pencaharian di sektor pertanian hal ini didukung dengan jumlah lahan pertanian dengan kesuburan tanahnya. Berdasarkan data dari kementerian pertanian Indonesia, jumlah lahan pertanian produktif di Indonesia pada akhir tahun 2018 ini adalah 71 juta hektar. Jumlah lahan pertanian ini mendukung ketahanan pangan Indonesia mengingat peranannya sangat penting untuk menjaga stabilitas negara. Dengan luasnya lahan pertanian yang ada di Indonesia, membuat kebutuhan akan pupuk sangatlah penting. Salah satu pemasok pupuk terbesar di Indonesia adalah PT. Petrokimia Gresik.

PT. Petrokimia Gresik merupakan salah perusahaan berskala besar di Indonesia yang bergerak dalam produksi pupuk (pupuk *nitrogen* dan *phosphat*) dan non-pupuk (*ammonia*) (Yenni,2013). Pada pabrik 1(*ammonia*) di PT. Petrokimia Gresik terdapat salah satu komponen utama yakni mesin *steam turbine* 103-JT. Mesin tersebut berfungsi sebagai penggerak kompresor 103 JLP dan kompresor 103 JHP.

Pada proses *syn gas compressor* 103-JT memiliki tahap sistem gas sintesa, yaitu adanya kenaikan tekanan pada *steam* yang dihasilkan dalam proses pembentukan *ammonia*. Empat tingkat kompresi gas beroperasi pada tekanan 30 hingga 175 kg/cm<sup>2</sup>, sehingga *temperature* yang dihasilkan pun meningkat.

Dengan peranan yang krusial pada proses tersebut, akibatnya apabila *steam turbine* 103-JT mengalami gangguan hingga *trip* maka keseluruhan proses pada pabrik 1(*ammonia*) akan mati. Selain itu, kondisi tidak adanya mesin turbin uap redundan sebagai antisipasinya sehingga dapat mengganggu jalannya proses produksi di PT.Petrokimia Gresik.

*HAZOP (Hazard and Operability)* adalah salah satu metode dalam menentukan *level* risiko dalam suatu sistem(Nolan,1994).

Dengan metode HAZOP dapat diketahui nilai *level* risiko dari setiap *instrument* yang ada pada *plant steam turbine* 103-JT.

Desain proses pada *steam turbine* 103-JT sangat penting untuk diantisipasi keagalannya karena jika gagal maka proses produksi *ammonia* akan berhenti. Sehingga perlu adanya perhitungan nilai SIL pada *instrument* menggunakan metode lapisan perlindungan atau *LOPA* (*Layer of Protection*) dan penilaian risiko (Morisson,2012).

Oleh karena pentingnya peran *steam turbine* 103-JT, Tugas Akhir ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi berdasarkan perhitungan SIL dengan metode *Layer of Protection Analysis* (*LOPA*) dan penilaian risiko dengan analisis *Hazard and Operability Study* (*HAZOP*) untuk mencapai keselamatan kerja dari suatu industri proses. Objek yang akan dianalisis terkait risiko dan nilai SIL adalah *steam turbine* 103-JT di pabrik 1 PT. Petrokimia Gresik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah :

- a. Bagaimana perhitungan *level* risiko dengan metode HAZOP pada *steam turbine* 103-JT pabrik I PT Petrokimia Gresik?
- b. Bagaimana perhitungan dan peningkatan nilai *Safety Integrity Level* dengan metode *Layer Of Protection* (*LOPA*) pada *steam turbine* 103-JT pabrik I PT Petrokimia Gresik ?
- c. Apa saja rekomendasi yang dapat diberikan terkait hasil analisis secara keseluruhan yang telah diperoleh?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dilakukan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui menghitung *level* risiko dengan metode HAZOP pada *steam turbine* 103-JT pabrik I PT Petrokimia Gresik

- b. Mengetahui bagaimana perhitungan dan peningkatan nilai *Safety Integrity Level* dengan metode *Layer Of Protection (LOPA)* pada *steam turbine* 103-JT pabrik I PT Petrokimia Gresik
- c. Memberikan rekomendasi yang bermanfaat kepada perusahaan terkait dengan kondisi sistem *safety* yang telah dianalisis.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk menghindari meluasnya permasalahan, maka diperlukan batasan masalah sebagai berikut :

- a. *Plant* yang digunakan adalah mesin *steam turbine* 103-JT pada pabrik 1 (*ammonia*) PT. Petrokimia Gresik.
- b. Analisa bahaya menggunakan metode HAZOP.
- c. Analisis SIL dengan metode LOPA.

#### **1.5 Sistematika Laporan**

Adapun sistematika dalam laporan Tugas Akhir ini adalah disusun dengan perincian sebagai berikut:

##### **BAB I Pendahuluan**

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

##### **BAB II Tinjauan Pustaka**

Berisi tentang teori yang berhubungan dengan Tugas Akhir yang diambil yaitu meliputi proses *steam turbine* 103-JT, analisis HAZOP, *Layer of Protection Analysis (LOPA)*, serta perhitungan SIL dengan LOPA.

##### **BAB III Metodologi penelitian**

Berisi tentang metode serta urutan langkah-langkah dalam pengerjaan penelitian dan pengolahan data.

##### **BAB IV Hasil dan Pembahasan**

Berisi tentang evaluasi *hazard* pada *steam turbine* 103-JT menggunakan metode HAZOP dan menentukan *hazard* dengan kategori *high risk*, serta menghitung nilai SIL dengan metode LOPA dan

rekomendasi berkaitan dengan *safety* guna meningkatkan nilai SIL pada *steam turbine* 103-JT .

## **BAB V Penutup**

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang dapat digunakan untuk rekomendasi Tugas Akhir atau pengembangan selanjutnya.

## BAB II

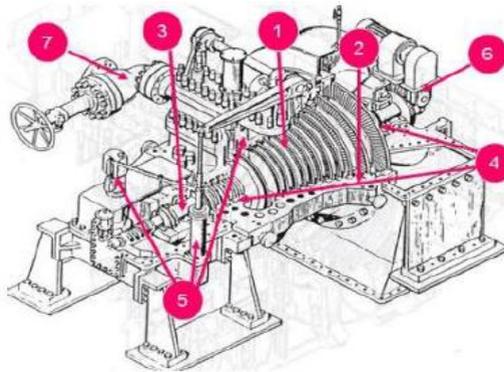
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Steam Turbine 103-JT*

*Steam turbine 103-JT* merupakan salah satu turbin uap pada *plant* produksi *ammonia* pabrik I PT. Petrokimia Gresik. Fungsi dari *steam turbine 103-JT* adalah menggerakkan kompresor 103J-LP dan 103J-HP. *Steam turbine 103-JT* memiliki empat tahap sistem gas sintesa, yaitu adanya kenaikan tekanan pada *steam* yang dihasilkan dalam proses pembentukan *ammonia*. Tingkat kompresi gas beroperasi pada tekanan 30 hingga 175kg/cm<sup>2</sup>, sehingga *temperature* yang dihasilkan pun meningkat.

Spesifikasi 103-JT adalah sebagai berikut (Mitsubishi,1994):

- a. *Manufacture* :Mitsubishi Heavy Industry
- b. *Service* : Syntesis Gas Compressor
- c. *Turbine item* : 103-JT
- d. *Turbine model* : 5MXL-6



**Gambar 2.1** Komponen *Steam Turbine 103-JT* (Mitsubishi 1994)

Komponen yang terdapat pada *steam turbine 103-JT* digambarkan pada Gambar 2.1 antara lain :

- a. *Rotor*: bagian dari turbin yang berputar pada porosnya. *Rotor* dilengkapi sudu-sudu pada proses kerjanya. Sudu/*blade* pada turbin berfungsi untuk menerima dan mengarahkan kemana *steam* selanjutnya akan masuk (*stationary blade*) dan juga berfungsi untuk mengubah energi yang ada pada *steam* menjadi bentuk energi kinetik yang akhirnya memutar poros turbin (*moving blade*).
- b. *Casing*: bagian dari badan turbin yang berfungsi untuk mengarahkan fluida masuk ke dalam turbin. Fungsi lain dari *casing* ini mengurangi efek vibrasi dan kebisingan yang terjadi ketika turbin uap sedang melakukan proses ekspansi, serta melindungi bagian-bagian dalam turbin dari gangguan luar.
- c. *Bearing*: komponen mekanik yang berfungsi untuk menyokong dan menerima beban *radial* serta gaya aksial yang akan muncul pada poros turbin baik ketika *start up* maupun ketika proses telah berjalan dengan normal. Selain fungsi tersebut, *bearing* juga berguna untuk menahan berat dari *rotor* serta menahan ketidakseimbangan (*unbalance*) apabila terdapat kerusakan pada sudu-sudu turbin.
- d. *Labyrinth* : komponen penyusun turbin yang berfungsi untuk menurunkan *pressure* dari *steam* yang masuk ke turbin uap. Selain fungsi tersebut fungsi lain. *Labyrinth* adalah sebagai penyekat untuk menahan kebocoran uap maupun kebocoran oli.
- e. *Turning Gear* : perangkat turbin uap yang berfungsi untuk memutar *rotor*. Turbin pada putaran rendah yang fungsinya adalah untuk menjamin pemanasan/ pendinginan *rotor* yang merata sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya bengkok pada *rotor* ketika proses *start up* maupun proses *trip* atau *shutdown* pada turbin uap 103-JT. Selain itu, *turning gear* juga mempunyai fungsi lain yaitu memberikan gerak awal pada saat turbin *start up* sehingga dapat mengurangi gesekan statis pada bantalan (*bearing turbin*).

- f. *Sealing*: berfungsi untuk mencegah *steam* yg sedang diekspansi keluar atau lolos melalui celah-celah antara *casing* dan poros turbin akibat adanya perbedaan tekanan.
- g. *Governing system*: suatu rangkaian sistem yang berguna untuk mengontrol putaran *steam turbine* dengan mengatur jumlah aliran *steam* yang masuk ke dalam turbin, atau dengan mengatur besarnya bukaan dari katup *governor*.

Untuk menjaga serta mengontrol operasi kerja turbin maka pada komponen mesin *steam turbine* dilengkapi dengan beberapa instrumen pengendalian, baik yang berupa *process control* maupun *safety control*.

Adapun *instrument control* yang digunakan pada *steam turbine* 103-JT untuk mengontrol jalannya proses produksi *ammonia* atau *process control* antara lain :

a. *Governor Valve Assembly*

*Governor valve* berfungsi sebagai pengatur kecepatan putar *rotor* turbin uap 103-JT. *Governor* adalah sebuah instrumen aktuator berupa *valve* yang berfungsi untuk mengatur besar kecilnya masukan *steam* yang akan menuju ke *steam turbine* 103-JT, dari besar kecilnya jumlah *steam* yang masuk tersebut *governor* mengontrol kecepatan putar poros turbin.

b. *Extraction Valve Assembly*

*Extraction valve* merupakan instrumen kontrol yang berfungsi untuk menyalurkan *steam* dari *steam turbine* 103-JT menuju pipa *MS steam header*. Dimana HZ 1041 akan terbuka melalui sinyal kontrol yang dikirimkan oleh HIC 1041 berdasarkan besarnya *pressure* yang terbaca oleh PT 1753. Selain 2 buah *loop* pengendalian proses tersebut, pada mesin *steam turbin* 103-JT juga dilengkapi sistem instrumentasi berupa *safety control* yang berupa *Trip Throttle Valve*.

c. *Trip Throttle Valve*

TTV adalah sebuah katup yang berada pada *line steam* menuju *governor valve* dan *extraction valve* yang berfungsi untuk mematikan *steam turbine plant* apabila terdapat indikasi kegagalan pada proses turbin dan kompresor. Indikasi yang



sistem atau komponen tersebut mengalami kegagalan atau kerusakan. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan laju kegagalan adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997) :

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

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.2)$$

Dimana :

$f$  = banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

$T$  = total waktu operasi komponen/ sistem

### 2.3 Distribusi Kegagalan

Distribusi kegagalan merupakan sebuah grafik sebaran yang menggambarkan kemungkinan/ probabilitas kegagalan dari suatu komponen atau sistem. Distribusi kegagalan didapatkan melalui data *TTF (Time To Failure)* sebuah komponen atau sistem, data TTF bisa didapatkan dengan menganalisa data *maintenance* yang dimiliki perusahaan untuk tiap-tiap komponen. Dari data *maintenance* tersebut maka akan bisa dilihat kapan waktu rusak sebuah komponen dan kapan pula waktu setelah perbaikannya selesai dilakukan. Sehingga didapatkan TTF adalah selisih waktu antara waktu kerusakan berikutnya dengan waktu perbaikan pada kerusakan yang satu.

*Parameter* yang didapat dari analisa distribusi data yang digunakan adalah antara lain untuk menentukan MTTF dan *reliability* dari suatu komponen atau sistem tersebut. Dari data MTTF akan dihasilkan nilai *likelihood* komponen atau sistem. Yakni sebuah tingkat kejadian kegagalan berdasarkan nilai MTTF sepanjang kurun waktu operasi sistem atau komponen tersebut.

Berikut adalah *formula* yang digunakan untuk mendapatkan MTTF suatu komponen atau sistem (Ebeling, 1997) :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.3)$$

$$Likelihood = \frac{\text{waktu operasi (jam)}}{MTTF(\text{jam})} \quad (2.4)$$

Keterangan :

*MTTF (Mean Time to Failure)* = rata-rata selang waktu antara kegagalan yang satu dengan kegagalan lainnya

Di bawah ini merupakan jenis-jenis distribusi kegagalan yang umumnya digunakan untuk analisis keandalan suatu sistem atau komponen.

### a. Distribusi Normal

Ebeling (1997) mengatakan bahwa distribusi normal atau yang sering disebut distribusi *gaussian* merupakan jenis distribusi yang tepat apabila digunakan dalam menjelaskan *model fatigue* dan *wearout phenomena*. Berikut merupakan persamaan untuk menentukan *Probability density function* pada distribusi normal (Ebeling, 1997) :

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

Keterangan :

t = waktu (*variable*)

$\mu$  = rata rata data

$\sigma$  = simpangan baku

Bila distribusi kegagalan suatu sistem menunjukkan distribusi normal, maka fungsi keandalan, laju kegagalan serta MTTF dari sistem tersebut adalah sebagai berikut :

Fungsi *reliability* R(t)

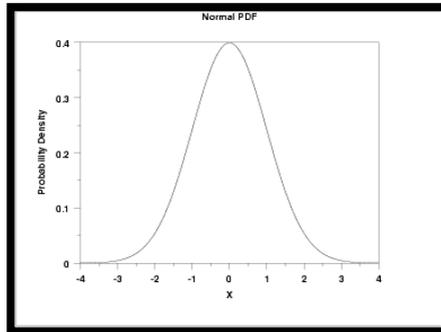
$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.6)$$

Laju kegagalan  $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.7)$$

MTTF  $E(t)$

$$E(t) = \mu \quad (2.8)$$



**Gambar 2.3** Grafik Distribusi Normal

### b. Distribusi *Lognormal*

Distribusi *lognormal* merupakan distribusi dari suatu variabel acak yang apabila dilogartmakan akan berdistribusi normal. Suatu variabel dapat dimodelkan menjadi suatu bentuk *lognormal* apabila ia merupakan hasil perkalian dari banyak variabel acak positif yang saling bebas (untuk kondisi yang bervariasi) (Anshori & Mustajib, 2013).

*Parameter* yang dimiliki distribusi *lognormal* sama seperti yang dimiliki oleh distribusi normal. Berikut merupakan persamaan untuk mencari *Probability density function system* (Ebeling, 1997) :

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

Keterangan :

$t$  = waktu (*variable*)

$\mu$  = rata rata data

$\sigma$  = simpangan baku

Nilai keandalan dan *failure rate*, serta *MTTF system* adalah sebagai berikut :

Fungsi *reliability*  $R(t)$

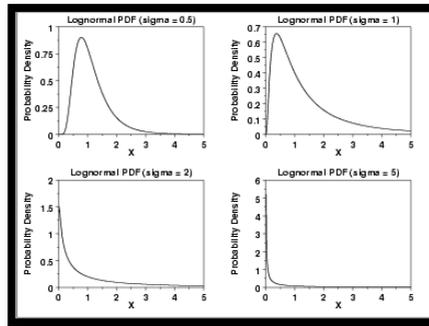
$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.10)$$

Laju kegagalan  $\lambda(t)$

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

MTTF  $E(t)$

$$E(t) = \exp(\mu) \quad (2.12)$$



**Gambar 2.4** Grafik Distribusi *Lognormal*

### c. Distribusi *Weibull*

*Probability density function* dari distribusi *weibull* dapat dicari dengan persamaan berikut (Leitch, 1995) :

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

Untuk distribusi *weibull 3-parameter*. Sedangkan untuk distribusi *weibull 2-parameter* maka memiliki nilai  $\gamma=0$ , sehingga persamaannya akan berupa seperti di bawah ini :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[ \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \right] \exp \left[ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.14)$$

Keterangan :

$t$  = waktu (*variable*)

$\beta$  = bentuk *parameter* (*shape parameter*)

$\eta$  = *parameter* skala (*scale parameter*)

$\gamma$  = *parameter* lokasi (*location parameter*)

Bila pendekatan data distribusi kegagalan suatu sistem menggunakan distribusi *weibull*, maka keandalan sistem dan *failure rate* sistem dapat dicari menggunakan persamaan berikut :

Fungsi *reliability*  $R(t)$

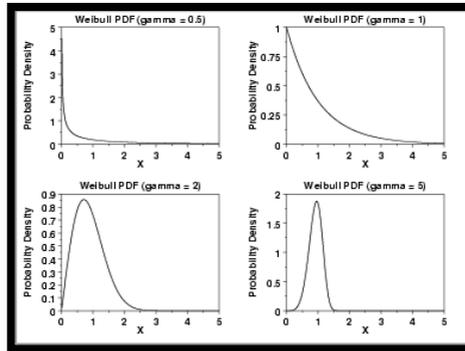
$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.15)$$

Laju kegagalan  $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[ \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \right] \quad (2.16)$$

MTTF  $E(t)$

$$E(t) = \gamma + \eta \Gamma(1 + \beta) \quad (2.17)$$



**Gambar 2.5** Grafik Distribusi *Weibull parameter*

#### d. Distribusi Eksponensial

*Probability density function* dari distribusi eksponensial dapat dicari dengan persamaan berikut (Leitch, 1995) :

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

Bila distribusi kegagalan suatu sistem menggunakan distribusi eksponensial, maka dapat digunakan persamaan berikut untuk mengetahui keandalan, *failure rate*, serta *MTTF system* :

Fungsi *reliability*  $R(t)$

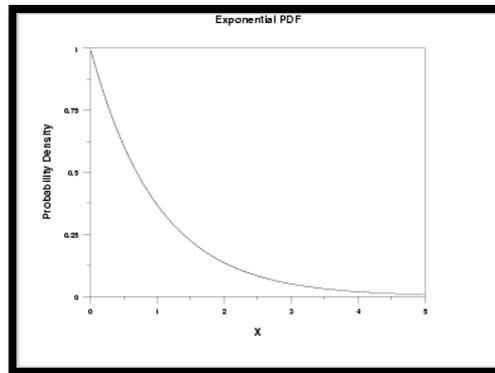
$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.19)$$

Laju kegagalan  $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.20)$$

MTTF  $E(t)$

$$E(t) = \frac{1}{\lambda} \quad (2.21)$$



**Gambar 2.6** Grafik Distribusi Eksponensial

## 2.4 Hazard and Operability Study (HAZOPS)

*Hazard and Operability Study* (HAZOPS) adalah teknik terstruktur dan sistematis untuk pemeriksaan sistem dan manajemen risiko. Secara khusus, HAZOP sering digunakan sebagai teknik untuk mengidentifikasi potensi bahaya dalam suatu sistem dan mengidentifikasi masalah pengoperasian yang mengarah ke produk yang tidak sesuai. Metode ini menggunakan teknik kualitatif yang di eksekusi oleh beberapa personil grup untuk mengidentifikasi potensi bahaya dengan menggunakan sekumpulan *guidewords*. HAZOP digunakan untuk menjelaskan setiap bagian dari proses untuk mengetahui penyimpangan-penyimpangan dari desain yang telah dibuat dan apa penyebab dan akibatnya. berlangsung. Secara garis besar HAZOP dijalankan dengan mengikuti prosedur berikut ini (Crawley,2015):

- a. Pengumpulan gambaran selengkap-lengkapnya setiap proses yang ada dalam sebuah pabrik. Analisis dilakukan dengan menganalisis *Piping and Instrumentation Diagram* untuk mengetahui alur dari sebuah sistem proses yang mencakup jalur pipa, *instrument*, *transmitter*, *valve*, dan lain sebagainya.

- b. Penentuan *node*  
*Node* ditentukan untuk memperjelas pemisahan *sub*-proses dengan *sub*-proses yang lain berdasarkan bagian-bagian yang memiliki peluang bahaya yang sama.
- c. Penentuan *loop* pengendalian  
Dari masing-masing *node* ditentukan jenis *loop* pengendaliannya. Contohnya adalah pengendalian *temperature*, pengendalian *pressure*, pengendalian *flow* dan lain sebagainya.
- d. Pengumpulan data *maintenance* dan data proses  
Data *maintenance* yang digunakan untuk menentukan kriteria nilai *likelihood*. Kriteria *likelihood* ini berdasarkan seberapa sering komponen mengalami kegagalan operasi selama waktu lima tahun. Kriteria ini kemudian divalidasi oleh *operator*. Data proses digunakan untuk mengetahui penyimpangan agar dapat menentukan *guideword* dan deviasi terhadap *parameter*.

#### **2.4.1 Guidewords dan Parameter HAZOP**

*Guidewords* adalah kata-kata sederhana atau frasa yang digunakan untuk menyatakan penyimpangan pada sistem atau kegiatan proses (secara kualitatif) (Nolan, 1994). *Guidewords* tersebut merupakan hasil analisa terhadap data proses yang diambil serta dihitung secara kuantitatif menggunakan *statistic process control (SPC)*.

Sedangkan proses *parameter* adalah *parameter* yang relevan untuk kondisi-kondisi dari proses (Nolan, 1994). Proses *parameter* biasanya berupa properti fisika atau proses kimia yang ada di dalam suatu sistem. Proses kimia yang dimaksud meliputi *composition*, *mixing*, *concentration*, dan *reaction*. Sementara properti fisika yang dimaksud seperti *temperature*, *pressure*, *level*, dan *flow*.

**Tabel 2.1** *Guidewords* HAZOP

<i>Guidewords</i>	<i>Meaning</i>
<i>No (not, none)</i>	Tidak ada tujuan <i>parameter</i> yang tercapai
<i>More (more of, higher)</i>	Kenaikan kuantitatif pada <i>parameter</i>
<i>Less (less of, lower)</i>	Penurunan kuantitatif pada <i>parameter</i>
<i>As well as (more than)</i>	Adanya aktivitas tambahan
<i>Part of</i>	Hanya beberapa tujuan <i>parameter</i> tercapai
<i>Reverse</i>	Terjadi kebalikan dari tujuan <i>parameter</i>
<i>Other than (other)</i>	Aktivitas lain terjadi atau aktivitas yang tidak biasa terjadi atau kondisi yang tidak biasa ada

**Tabel 2.2** *Parameter* Proses Analisa HAZOP

<i>Flow</i>	<i>Composition</i>	<i>pH</i>
<i>Pressure</i>	<i>Addition</i>	<i>Sequence</i>
<i>Temperature</i>	<i>Separation</i>	<i>Signal</i>
<i>Mixing</i>	<i>Time</i>	<i>Start/stop</i>
<i>Strirring</i>	<i>Phase</i>	<i>Operate</i>
<i>Transfer</i>	<i>Speed</i>	<i>Maintain</i>
<i>Level</i>	<i>Particle size</i>	<i>service</i>
<i>Viscosity</i>	<i>Measure</i>	<i>Communication</i>
<i>reaction</i>	<i>Control</i>	

Penggabungan antara *guidewords* dan *parameter* proses akan menghasilkan data *deviation* atau penyimpangan, yakni suatu proses yang keluar atau melewati dari standar yang sebagaimana telah ditentukan suatu perusahaan maupun standar operasi sebuah komponen itu sendiri. Berikut ini adalah rumusan untuk menentukan deviasi proses (Rausand, 2004) :

$$\text{Guidewords} + \text{Parameter} = \text{Deviation} \quad (2.22)$$

Dari hasil penyimpangan-penyimpangan proses yang terjadi pada sistem atau komponen tersebut barulah dapat dijabarkan apa saja yang menyebabkan deviasi tersebut, apa dan bagaimana konsekuensinya terhadap jalannya proses pada sistem atau *plant* tersebut, serta aksi apakah yang tepat untuk menanggulangi permasalahan tersebut.

### 2.4.2 Control Chart

*Control charts* merupakan salah satu metode *statistical process control* yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik jalannya proses yang berlangsung dalam periode waktu tertentu. Sedangkan *Statistical process control (SPC)* adalah salah satu teknik yang dapat digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap performansi suatu proses. Teknik ini menggunakan metode statistik untuk *me-monitor*, menganalisa, mengontrol, dan mempengaruhi perbaikan performansi proses dengan menggunakan data hasil pengukuran.

Dengan menggunakan metode *control chart* dapat diketahui simpangan apa saja yang terjadi pada selama proses tersebut berlangsung. Suatu proses dapat dikatakan menyimpang apabila terdapat pembacaan *real time* proses yang menunjukkan adanya simpangan yang lebih besar dari standar deviasinya.

Berdasarkan data *real-time* proses pada *plant* dapat diketahui apakah proses tersebut cenderung berada di dalam *range* kendali atau justru di luar batas kendali (*out of control*). Batas kendali yang dimaksud adalah *Upper Control Limit (UCL)* dan *Lower Control Limit (LCL)* yang masing-masing mengindikasikan batas atas dan batas bawah dimana proses-proses tersebut dapat dikatakan terkendali. Sedangkan CL adalah *parameter* yang menunjukkan rata-rata pembacaan proses *real-time*. Pada Tugas Akhir kali ini digunakan *Xbar chart* dan *s chart* untuk mengidentifikasi jalannya proses. Dengan *parameter-parameter* yang terdapat pada *formula* di bawah ini.

*Xbar Chart*

$$CL\bar{x}=\bar{X} \quad (2.23)$$

$$UCL\bar{x}=\bar{X}+A3\bar{S} \quad (2.24)$$

$$LCL\bar{x}=\bar{X}-A3\bar{S} \quad (2.25)$$

*s Chart*

$$CLS=\bar{s} \quad (2.26)$$

$$UCL\bar{s}=B4\bar{s} \quad (2.27)$$

$$LCL\bar{s}=B3\bar{s} \quad (2.28)$$

Keterangan :

$\bar{X}$  = rata-rata data *subgrup*

$A3$  = *control limit factor (chart average)*

$B3\& B4$  = *factor for control limits (chart standart deviation)*

$\bar{s}$  = *standart deviation of subgroup*

$S$  = *mean of standart deviation subgroup*

### 2.4.3 Risk Matrix

*Risk matriks* adalah suatu metode penskalaan risiko dan bahaya yang mungkin terjadi pada sebuah komponen atau sistem pada suatu perusahaan untuk dinilai seberapa besar dampaknya bagi perusahaan tersebut. Dimana setiap potensi risiko tersebut memiliki *likelihood* dan konsekuensi (*consequences*) yang berdampak terhadap kematian (*personal*), kerusakan lingkungan, serta kerugian finansial, aset dan reputasi (Zhou, 2013). *Likelihood* didefinisikan sebagai ukuran probabilitas atau frekuensi yang dimungkinkan dari terjadinya suatu peristiwa.

Berikut adalah tabel *risk matrix* dalam penentuan bahaya.

**Tabel 2.3 Risk Matriks**

<i>Consequence/ likelihood</i>	<i>(1)Insignificant</i>	<i>(2)minor</i>	<i>(3)moderate</i>	<i>(4)major</i>	<i>(5)Catastrophic</i>
<i>(1)Brand New Excellent</i>	L1	L2	L3	L4	M5
<i>(2)Very Good / Good Serviceable</i>	L2	L4	M6	M8	H10
<i>(3)Acceptable</i>	L3	M6	M9	M12	H15
<i>(4)Below Standard / Poor</i>	L4	M8	M12	H16	H20
<i>(5)Bad/ Unacceptable</i>	M5	H10	H15	H20	H25

Keterangan :

H = *High Risk*

M = *Moderate Risk*

L = *Low Risk*

## 2.5 Safety Integrity Level

*Safety integrity level* adalah suatu ukuran yang menyatakan besarnya PFD dari suatu sistem. Sedangkan PFD atau *probability failure on demand* merupakan kemungkinan kegagalan komponen atau sistem ketika ia dibutuhkan untuk bekerja. Dengan mengetahui nilai SIL yang bekerja pada sebuah sistem maka akan diketahui pula seberapa tingkat keamanan atau *safety* dari sistem tersebut. (King 2013).

*Safety Integrity Level (SIL)* adalah cara umum yang digunakan untuk menilai tingkat keandalan dari *Safety Instrumented Function (SIF)* yang memiliki skala 1-4, dimana skala 4 adalah skala *extremely dependable* dan 1 adalah skala *moderately dependable*. Dari suatu komponen *instrument* yang terkonfigurasi dengan *safety instrumented system (SIS)* maupun *Safety Instrumented Function (SIF)* seperti *sensor, logic solver, dan final element*.

*SIL determination* termasuk di dalamnya adalah *Layer of Protection Analysis*, yakni bertujuan untuk menentukan rekomendasi tingkatan SIL yang sesuai untuk sebuah *system*

*integrity function* agar dapat mengurangi kemungkinan bahaya atau risiko. Tabel 2.4 berikut ini adalah pengklasifikasian kategori SIL:

**Tabel 2.4** Kategori Nilai SIL (IEC 61508,1997)(ISA,2002)

<i>Safety Integrity Level (SIL)</i>	<i>Probability Failure on Demand (PFD)</i>	<i>Safety Availability</i>	<i>Risk Reduction Factor (RRF)</i>	<i>PFH = Probability of Failure per Hour</i>
<b>4</b>	0,0001-0,00001	99,99-99,999%	10000-1000000	< 10 <sup>-8</sup>
<b>3</b>	0,001-0,0001	99,9-99,99%	1000-10000	≥ 10 <sup>-8</sup> to < 10 <sup>-7</sup>
<b>2</b>	0,01-0,001	99-99,9%	100-1000	≥ 10 <sup>-7</sup> to < 10 <sup>-6</sup>
<b>1</b>	0,1 – 0,01	90-99%	10-100	≥ 10 <sup>-6</sup> to < 10 <sup>-5</sup>
<b>0</b>	<i>Basic Process Control System</i>			

SIL 4 merupakan tingkatan nilai SIL dengan kategori tingkat bahaya paling tinggi dan dampak yang paling besar, oleh karenanya harus diterapkan SIL 4 sehingga harus dilakukan reduksi risiko keterjadian kegagalan hingga 1 kejadian per 10000 jam. Berikut ini adalah rumusan untuk menentukan *Probability of Failure on Demand (PFD)* yang sesuai untuk sebuah SIF.

$$\text{SIF Integrity Level} = \text{necessary risk reduction} = \frac{\text{TMEL}}{\text{IEL}} \quad (2.29)$$

Keterangan :

TMEL : *Target Mitigated Event Likelihood*

IEL : *Intermediete Event Likelihood*

ICL : *Initiating Cause Likelihood*

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n \quad (2.30)$$

Dari Nilai PFD yang telah didapatkan bisa digunakan untuk merepresentasikan nilai SIL yang sesuai untuk sebuah *safety instrumented function* (SIF).

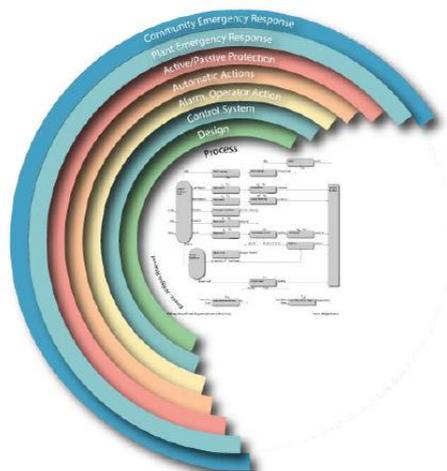
Penentuan TMEL disesuaikan dengan tingkat keparahan (*severity level*) dari bahaya yang mungkin terjadi. *Target Mitigated Event Likelihood* merupakan target suatu perusahaan yang ditujukan agar potensi/ probabilitas terjadinya suatu kegagalan atau bahaya pada *plant* dapat bernilai sekecil mungkin. Terdapat sebuah standar yang mewakili tingkat keparahan suatu bahaya berdasarkan konsekuensi yang ditimbulkannya yang juga telah diterjemahkan ke dalam angka-angka harapan TMEL, sebagaimana pada Tabel 2.5 berikut :

**Tabel 2.5 Target Mitigated Event Likelihood (Lassen, 2008)**

<i>Severity Level</i>	<i>Safety Consequence</i>	<i>Target Mitigated Event Likelihood</i>
C <sub>A</sub>	<i>Single first aid injury</i> (satu orang/pekerja mengalami cedera ringan)	$3 \times 10^{-2}$ per year
C <sub>B</sub>	<i>Multiple first aid injury</i> (banyak orang/ pekerja mengalami cedera ringan)	$3 \times 10^{-3}$ per year
C <sub>C</sub>	<i>Single disabling injury or multiple series injury</i> (satu orang/pekerja mengalami cedera serius)	$3 \times 10^{-4}$ per year
C <sub>D</sub>	<i>Single on site fatality</i> (kematian satu orang/pekerja dilokasi kejadian)	$3 \times 10^{-5}$ per year
C <sub>E</sub>	<i>More than one and up to three site on fatalities</i> (kematian lebih dari satu orang/pekerja dilokasi kejadian)	$1 \times 10^{-5}$ per year

## 2.6 Layer Of Protection

LOPA adalah suatu metode yang digunakan untuk menilai tingkat keamanan suatu *plant* (*safety*) terhadap suatu ancaman risiko bahaya dengan menganalisa lapisan-lapisan pelindung yang telah diterapkan pada sistem atau komponen tersebut.



**Gambar 2.7** *Layer of Protection* (Marszal, 2014)

*Protection Layer (PL)* adalah Perangkat, sistem atau tindakan yang mampu mencegah penyimpangan proses dari kemungkinan dampak akhir yang lebih parah (Lassen, 2008) Berikut adalah penjelasan untuk masing-masing PL :

*a. Process Design*

*Process design* merupakan *layer protection* pertama pada sebuah sistem atau komponen pada dunia Industri. Proses desain juga turut mereduksi bahaya proses dengan mengurangi kemungkinan adanya penyimpangan proses. Contoh dari proses desain adalah seperti ketebalan pipa, pemilihan bahan pada instrumen yang berhubungan dengan kondisi sistem.

*b. Basic Process Control System (BPCS)*

Tahap pengamanan kedua setelah adanya desain untuk proses adalah BPCS. BPCS diberi kemampuan untuk menjaga agar kondisi proses tetap berada di daerah aman, yaitu di daerah *process set point*. BPCS biasanya terdiri dari *sensor transmitter*, *logic solver (indicated control)*, dan *final element* atau *actuator*. BPCS bisa berupa *loop* pengendalian *full-automatic* namun juga bisa berupa *semi-automatic*.

c. *Alarms and Operator Actions*

Sistem *alarm* merupakan *level* perlindungan ketiga pada *layer* LOPA. Sistem *alarm* ada yang tergabung dengan BPCS dan ada pula yang independen terhadap BPCS. Ketika BPCS tak mampu mengatasi permasalahan ini (kondisi bahaya proses terus meningkat), maka sistem pengaman selanjutnya akan aktif. *Alarm* akan menyala apabila terjadi suatu penyimpangan proses dari keadaan yang diinginkan. Ketika kondisi ini terlampaui, maka sistem *alarm* akan aktif. Kondisi ini biasa dinamakan *high or low condition*. *Alarm* akan membutuhkan tindakan *operator* sesuai SOP sebagai suatu bentuk tindak lanjut indikasi kegagalan.

d. *Automatic Actions (SIS)*

SIS adalah kombinasi *sensor*, *logic solver*, dan *final element* dengan tingkat integritas tingkat tinggi. Sistem ini bisa berupa ESD (*Emergency Shut Down Valve*), yakni *valve* yang bekerja untuk mematikan *plant* secara mendadak dengan cara memutus aliran fluida proses. SIS merupakan *layer* terakhir yang berfungsi dalam penanganan sebelum kejadian (*prevention*).

e. *Physical Protection (Relief Valve, Rupture Disc, etc)*

Perlindungan fisik merupakan *layer* yang bertindak apabila dampak (*fire*) sudah terlanjur terjadi. *Layer* ini berfungsi untuk melindungi komponen dan instrumen mayor pada sebuah industri.

f. *Passive Protection (Dikes, Blast Walls, etc)*

PL ini adalah alat pasif yang bekerja yang kegagalan dan kerusakan sudah terjadi, dan dibutuhkan tindakan penanggulangan untuk mencegah risiko kecelakaan meluas, seperti mencederai manusia, dan lingkungan sekitar. *Passive protections* biasa berupa *Dike* (galian) dan *Blast Wall* (tembok tahan api, biasanya dipasang di *offshore*).

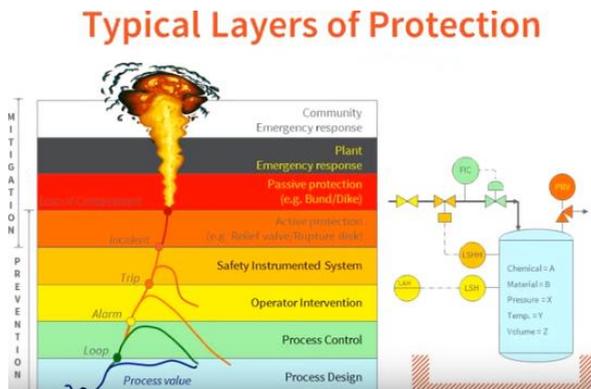
g. *Plant Emergency Response*

Fitur ini mencakup pasukan pemadam kebakaran, sistem pemadaman *manual*, fasilitas evakuasi, dll.

#### h. *Community Emergency Response*

Berbagai *asset* penting, properti bahkan SDM bisa saja menjadi terancam. Oleh karena itu tanggap darurat (*emergency response*) adalah hal yang wajib dikembangkan di perusahaan untuk mengantisipasi kerugian akibat bencana yang karena suatu hal dapat tidak terkendali. Untuk mengatasi kejadian-kejadian seperti meledaknya sebuah *plant* dan bencana alam diperlukan adanya sistem manajemen ERP yang tepat. *ERP (Emergency Response Plan/ Tanggap Darurat Bencana)* adalah sistem yang menggabungkan beberapa departemen mencakup HRD, keamanan (*security*), kesehatan, termasuk K3 (keselamatan dan kesehatan kerja) itu sendiri untuk menanggulangi kejadian bencana tersebut.

Dibawah ini merupakan tingkatan bahaya yang dimungkinkan terjadi apabila setiap lapisan proteksi gagal menjalankan tugasnya. Terdapat pula pada Gambar 2.8 tersebut kinerja reduksi bahaya yang dilakukan oleh tiap-tiap *layer* serta pembagian *Layer of Protection* ke dalam 2 kategori, yakni *prevention* (pencegahan) dan *mitigation* (peringanan insiden).



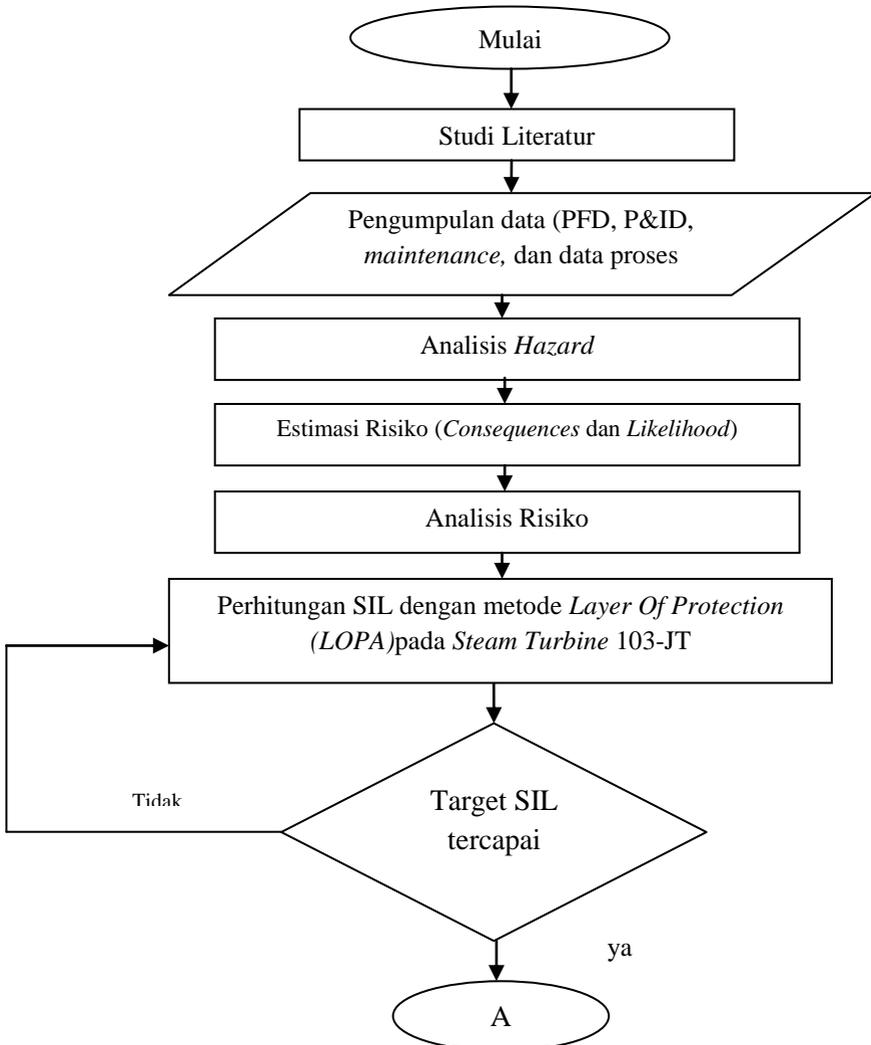
**Gambar 2.8** Tingkat Bahaya Tiap *Layer* (Hatch & Stauffer, 2009)

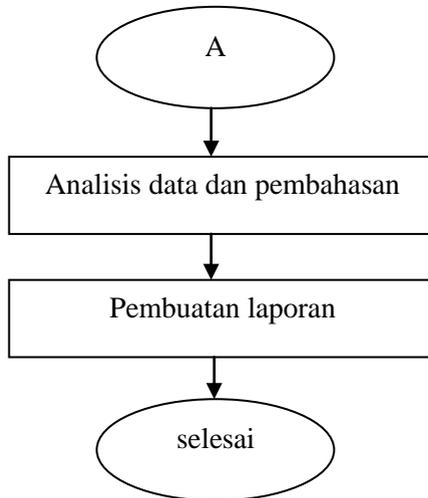
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam Tugas Akhir ini disusun langkah-langkah kerja pada Gambar 3.1 berikut:





**Gambar 3.1** *Flowchart* Tugas Akhir

### 3.2 Tahap Tahap Penelitian

Adapun tahapan pada Tugas Akhir ini meliputi beberapa hal diantaranya :

#### a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari referensi mengenai HAZOP, perhitungan SIL dengan metode LOPA . Literatur yang digunakan berasal dari jurnal-jurnal, buku, laporan Tugas Akhir yang telah dilakukan sebelumnya dan berbagai referensi lainnya.

#### b. Pengumpulan Data

- Data spesifikasi komponen *steam turbine* 103-JT.
- P&ID dan PFD *plant* Pabrik *Ammonia*.
- *Logsheet* data proses komponen instrumentasi dan komponen mekanikal penyusun *node steam turbine* 103-JT .
- *Data Maintenance* berupa perbaikan, penggantian, serta kalibrasi komponen yang diambil selama kurun waktu  $\pm 5$  tahun terakhir dari mesin *steam turbine* 103-JT yang tersedia pada Dept Pemeliharaan 1.

- Serta wawancara dengan *operator* maupun pihak pelaksana SOP terkait bila dibutuhkan.

### c. Analisis Hazard

Analisis bahaya atau *hazard* pada *node steam turbine* 103-JT dikerjakan dengan metode *HAZOP (Hazard Operability)*. Analisa yang dilakukan meliputi penentuan deviasi, risiko, penyebab, serta peluang bahaya yang akan ditimbulkan pada *plant* serta pada *steam turbine* 103-JT khususnya. Tahapan dalam melakukan HAZOP diantaranya :

- Menentukan *node* titik peninjauan berdasarkan data P&ID. Dalam Tugas Akhir ini *node* pada sistem adalah *steam turbine* 103-JT.
- Menentukan instrumen kontrol dan *monitoring* serta komponen-komponen mekanikal lain yang bekerja serta menopang kestabilan kerja proses pada *steam turbine* 103-JT.
- Menentukan *guideword* dan simpangan proses (deviasi) yang didapat dari data *logsheet* proses pembacaan *transmitter* selama bulan januari, februari , dan maret 2019. Dengan melakukan *plotting* menggunakan grafik *control chart* untuk mendapatkan deviasi dari pengendalian proses *steam turbine* 103-JT.

### d. Estimasi Risiko

**Tabel 3.1** Klasifikasi Dampak Risiko

<b>Ranking</b>	
1	<i>Insignificant</i>
2	<i>Minor</i>
3	<i>Moderate</i>
4	<i>Major</i>
5	<i>Catastrophics</i>

Risiko ditentukan dari seluruh bahaya yang telah diidentifikasi. Penentuan risiko ini dapat dilakukan dengan cara

membaca secara *detail* jalannya proses melalui data PFD dan P&ID. Dalam menentukan tingkat keparahan menggunakan skala *consequences* dan *likelihood*. Skala penilaian *consequences* dilakukan dengan menyimpulkan wawancara kepada pihak pelaksana SOP terkait dan dikategorikan melalui Tabel 3.1

Sedangkan untuk nilai *likelihood* didapatkan dengan membagi lama waktu operasi dengan MTTF dari masing-masing komponen. Penskalaan nilai *likelihood* dilakukan dengan menggunakan Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Klasifikasi *Likelihood*

<b><i>Ranking</i></b>	
1	<i>Brand New Excellent</i>
2	<i>Very Good / Good Serviceable</i>
3	<i>Acceptable</i>
4	<i>Below Standart / Poor</i>
5	<i>Bad/Unacceptable</i>

#### **e. Analisis Risiko**

Setelah indentifikasi risiko dan bahaya telah dikategorikan terhadap *risk ranking* masing-masing, maka dilakukan analisis terhadap risiko bahaya yang memiliki *ranking* tinggi. Pengelompokan ini bertujuan untuk memilih bagian mana saja dari proses yang memerlukan analisis lebih lanjut terkait tingkat keamanannya dengan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis*.

#### **f. Perhitungan SIL dengan Metode *Layer Of Protection***

Perhitungan SIL dengan metode LOPA dapat dilakukan melalui perhitungan dari PFD tiap komponen yang mewakili setiap *event*. Nilai SIL sistem *steam turbine* 103-JT diperoleh dari keseluruhan PFD dari komponen SIF yang menyusun *node steam turbine* 103-JT sehingga didapatkan tingkatan SIL yang sesuai untuk mereduksi risiko.

**g. Analisis Data dan Pembahasan**

Tahap ini merupakan tahap akhir yang dilakukan dengan tujuan untuk memberikan rekomendasi dari hasil yang telah dikerjakan dalam Tugas Akhir. Dalam hal ini, rekomendasi yang akan diberikan adalah terkait peningkatan nilai SIL dari *plant* dengan cara mengevaluasi *Safety Instrumented System (SIS)* dari *plant* yang sudah dibangun. Bagian akhir dari seluruh analisis adalah dengan memberikan kesimpulan yang dapat menjawab tujuan dan menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam topik Tugas Akhir ini

**h. Pembuatan Laporan**

Penulisan laporan Tugas Akhir disertai hasil dan analisis serta kesimpulan yang memuat rekomendasi bagi perusahaan guna meningkatkan tingkat *safety* terhadap ancaman bahaya yang mungkin terjadi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Alur Proses Pada *Steam Turbine 103-JT*

*Steam turbine 103-JT* merupakan *unit* turbin ekspansi yang berfungsi untuk menghasilkan kerja pada kompresor dengan berputarnya poros turbin. Fluida yang digunakan untuk memutar poros turbin ialah uap berjenis *high pressure* yang diambil dari *high steam header*, yang mana jumlah *steam* yang digunakan akan dikendalikan oleh sebuah perangkat pengendali *governing system*. Pada proses ekspansi yang terjadi di dalam turbin, kuantitas dan kualitas *steam* akan selalu dijaga. Kuantitas *steam* yang masuk ke dalam turbin akan sangat mempengaruhi kecepatan putar poros turbin tersebut. Dampaknya adalah jika putaran poros turbin tidak memenuhi kebutuhan pada kompresor, maka akan terjadi kekurangan *pressure* pada *flush drum 104 F*. Oleh karena itu dipasang sebuah *pressure transmitter* pada komponen *flush drum 104F*.

Selain itu, kualitas *steam* akan dijaga melalui *extraction assembly valve*. Dimana *valve* ini akan berfungsi apabila terdapat indikasi *pressure* berlebih pada *line H.S. header*. *Extraction valve* adalah sebuah *valve* yang terhubung dengan pipa *medium steam header*, yang mana pipa tersebut merupakan sebuah pipa yang memuat uap bertekanan *medium* yang berasal dari *steam turbine 103-JT* menuju proses lainnya. Yang mana *steam* yang digunakan pada kasus ini akan dikategorikan sebagai *extraction steam*. *Extraction valve* ini merupakan instrumen kontrol kedua yang digunakan untuk mengontrol jalannya proses kerja dari turbin 103-JT. Letaknya berada setelah *governor valve assembly*. Keluaran utama *steam turbine 103-JT* adalah kerja yang dihasilkan untuk memutar poros kompresor 103J.

### 4.2 Analisis Risiko

Dalam melakukan analisis potensi bahaya pada *steam turbine 103-JT* adalah dengan menggunakan data proses atau *logsheet*

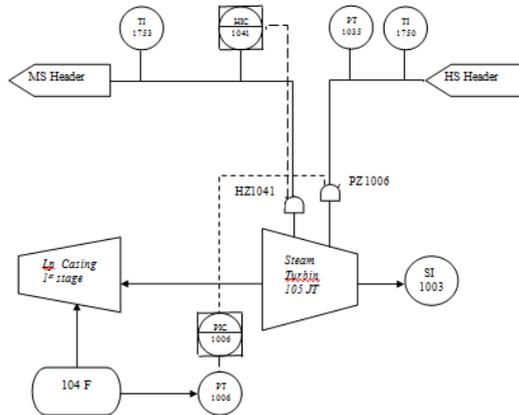
dari setiap *transmitter* yang terdapat pada 103-JT, baik yang berupa satu *loop* pengendalian maupun yang hanya berfungsi sebagai *monitoring*. Data *logsheet* tersebut didapat dari *process historical database* pada DCS dengan pola data rata-rata tiap jam operasi dari pembacaan selama 1 bulan terakhir pada 2019, yakni mei 2019. Potensi bahaya yang ditimbulkan dapat diketahui berdasarkan pola penyimpangan rata-rata data operasi yang ditentukan dengan *guideword* dan dinyatakan dengan deviasi.

Proses pada *steam turbine* 103-JT dijaga dan dikendalikan dengan 2 buah *loop* pengendalian berupa *BPCS (Basic Process Control System)*, yakni PT 1006 pada *governing system* dan PT 1035 sebagai *input* untuk *extraction valve assembly*. Dua buah instrumen *sensor* lain yang juga terdapat pada 103-JT adalah sebuah *loop semi-automatic* dimana indikator digunakan untuk *me-monitor temperature* pada *node* 103-JT.

Sebagai langkah antisipasi terjadinya ancaman bahaya akibat kegagalan proses pada 103-JT maka diberikan sebuah *safety control* berupa *trip throttle valve*. TTV akan bekerja dengan beberapa *parameter input* diantaranya adalah SI 1003, dimana sinyal kontrol yang dikirimkan oleh SI 1003 ke DCS akan berfungsi untuk mengaktifkan TTV apabila terdapat indikasi *overspeed* pada 103-JT. Selain itu ada beberapa elemen *monitoring* yang ditambahkan pada *node* 103-JT untuk dapat meningkatkan keamanan jalannya proses, yakni TI 1750 dan TA 1753, masing-masing pada *line HS header* dan *MS header*. Elemen-elemen *sensing* dan *monitoring* tersebut bersifat *semi-automatic* karena tidak berupa *loop* yang memiliki sebuah *final element* atau *actuator* berupa *valve*.

Berdasarkan data *log sheet steam turbine* 103-JT dapat diperoleh grafik *control chart* terhadap rata-rata operasi setiap komponen. Dari grafik tersebut akan didapatkan apakah terdapat penyimpangan proses yang terjadi. Dikatakan bahwa suatu proses tersebut mengalami penyimpangan bilamana didapati pada grafik *Xbar Chart* titik-titik pembacaan yang melewati batas atas (UCL) atau batas bawah (LCL). Dimana diketahui bahwa simpangan

pada UCL maupun LCL senilai dengan 3 kali standar deviasi ( $3\sigma$ ).

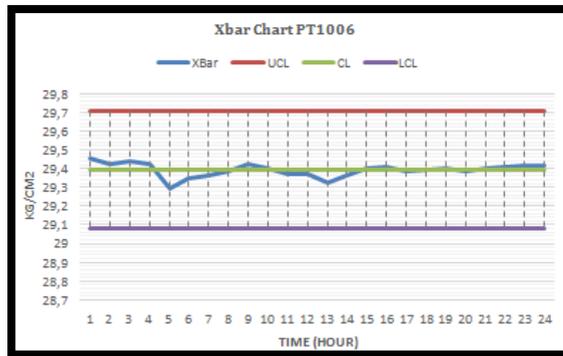


**Gambar 4.1** P&ID *Steam Turbine 103-JT*

a. *Pressure Transmitter 1006 (PT 1006)*

*Pressure transmitter 1006 (PT1006)* merupakan komponen *sensor* dan *transmitter* untuk *loop* pengendalian *pressure* pada 104 F. Diperoleh deviasi dari grafik *control chart* pada pembacaan tekanan rata-rata /jam sebagaimana pada Gambar 4.2. Dimana  $UCL=29,705\text{Kg/cm}^2$ ,  $CL =29,392\text{ Kg/cm}^2$  dan  $LCL=29,078\text{ Kg/cm}^2$ .

Dari Gambar 4.2 di atas dapat diketahui bahwa sistem yang dikendalikan beroperasi cukup stabil tiap harinya, dimana tidak terdapat nilai simpangan rata-rata yang terlalu jauh dari batas atas dan bawah dari kendali operasi. Sehingga jika dirata rata pembacaan PT 1006 adalah  $29,392\text{ Kg/cm}^2$  setiap harinya.



**Gambar 4.2** Grafik *Logsheet* PT 1006

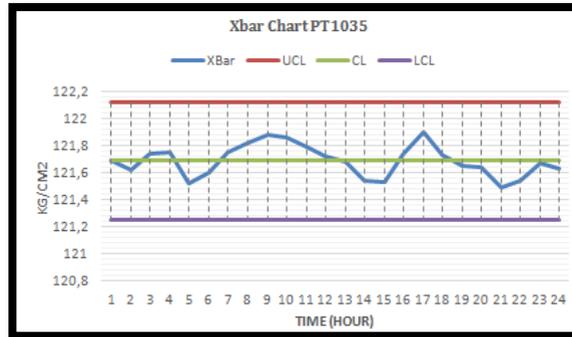
Berikut adalah *guideword* dari PT 1006 :

**Tabel 4.1** *Guideword* dari PT 1006

<i>NO</i>	<i>Component</i>	<i>Guideword</i>	<i>Deviation</i>
1	<i>Pressure Transmitter PT 1006</i>	<i>High</i>	<i>High pressure</i>
		<i>Low</i>	<i>Low pressure</i>

b. *Pressure Transmitter 1035 (PT 1035)*

*Pressure Transmitter 1035 (PT 1035)* pada *loop* pengendalian tekanan yang berada pada *line high steam header* berfungsi untuk menjaga *pressure* masukan uap dari *governor* menuju *steam turbine 103-JT* dengan cara mengekstraksi *steam* pada bagian *extraction* menuju *line medium steam header*. Dari data proses didapatkan grafik *control chart* deviasi pada Gambar 4.3. Dimana  $CL=121,688871$  Kg/cm<sup>2</sup>,  $UCL =122,122$  Kg/cm<sup>2</sup> dan  $LCL = 121, 255$  Kg/cm<sup>2</sup>.



**Gambar 4.3** Grafik *Logsheet* PT 1035

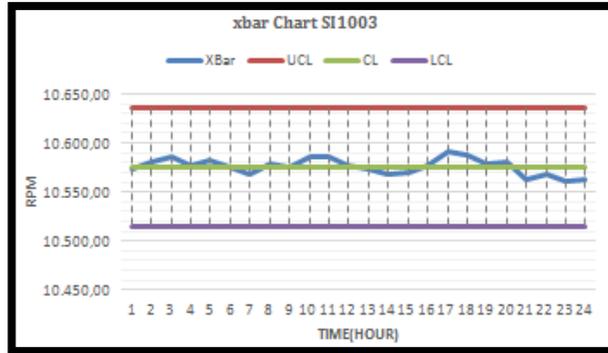
Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pembacaan dari PT 1035 selama 31 hari tidak mengalami perbedaan yang signifikan yaitu berada pada kisaran 121-122 Kg/cm<sup>2</sup>. Jika dirata rata pembacaan selama 31 hari nilai yang di tunjukkan oleh PT 1035 adalah 121,688 Kg/cm<sup>2</sup>. Berikut adalah *guideword* dari PT 1035 :

**Tabel 4.2** *Guideword* dari PT 1035

<i>NO</i>	<i>Component</i>	<i>Guideword</i>	<i>Deviation</i>
1	<i>Pressure Transmitter PT 1035</i>	<i>High</i>	<i>High pressure</i>
		<i>Low</i>	<i>Low pressure</i>

c. *Speed Indicator 1003 (SI 1003)*

Kondisi *steam turbine* sangat dijaga dari kemungkinan yang dapat menimbulkan gagalnya proses diakibatkan faktor *internal* pada turbin uap. Salah satu hal paling signifikan yang dapat menyebabkan sistem mengalami *trip* paksa adalah keadaan dimana 103-JT diindikasikan *overspeed*. Berikut merupakan grafik *tren* operasi SI 1005 dengan menggunakan *statistic process control*, dimana CL= 10575,87 rpm sedangkan UCL=10575,4 rpm dan LCL= 10515,4 rpm.



**Gambar 4.4** Grafik *logsheet* SI 1003

Dari Gambar 4.4 diketahui ada peningkatan pembacaan paling tinggi pada SI 1003 yaitu pada hari ke 19 dan 20, dan penurunan signifikan pada hari ke 29 pembacaan. Jika dirata rata pembacaan selama 31 hari pada SI 1003 adalah 10575,87 rpm. Berikut adalah *guideword* dari SI 1003 :

**Tabel 4.3** *Guideword* dari SI 1003

<i>NO</i>	<i>Component</i>	<i>Guideword</i>	<i>Deviation</i>
1	<i>Speed Indicator</i> SI 1003	<i>High</i>	<i>High speed</i>
		<i>Low</i>	<i>Low speed</i>

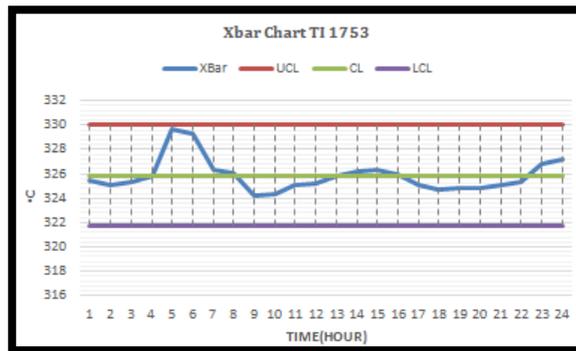
Dari *guideword* diketahui potensi bahaya yang dapat terjadi pada *steam turbine* 103-JT yang diindikasikan oleh elemen *sensing* SI 1003 yaitu *high speed (overspeed)* dan *low speed*. Kedua indikasi tersebut berpotensi menimbulkan bahaya terhadap *instrument* dan *mechanical components* lainnya.

d. *Temperature Indicator* 1753 (TI 1753)

Pada 103-JT terdapat pula elemen *monitoring* yang berupa *sensor temperature* yang digunakan untuk mengukur

*temperature steam* keluaran *steam turbine* 103-JT menuju *line medium steam header* dari *extraction valve* (HZ 1041). Elemen TI 1753 tersebut bisa disebut sebagai komponen penyusun *loop* pengendalian *semi-automatic*. Dikatakan *semi-automatic* karena *temperature indicator* akan mengirimkan sinyal yang akan *ter-display* pada *control room* sehingga senantiasa *temperature* aktual dapat dipantau oleh *operator* diruang DCS. Sehingga fungsi aktuator atau *final element* akan diambil peran oleh *operator* sebagai pengambil keputusan apabila ada indikasi meragukan ataupun kegagalan pada sistem *steam turbine* 103-JT

*Tren* grafik pengendalian rata-rata jamnya pada setiap hari memiliki nilai  $CL=325,84^{\circ}C$ ,  $UCL= 329,997^{\circ}C$  dan  $LCL= 321,683^{\circ}C$  ditampilkan pada gambar 4.5 di bawah ini.



**Gambar 4.5** Grafik *logsheet* TI 1753

Dari Gambar 4.5 diketahui pembacaan dari TI 1753 selama 31 hari tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hanya saja ada peningkatan pada hari ke 9 yaitu pada kisaran  $340^{\circ}C$ . Jika dirata rata pembacaannya yaitu  $325.84^{\circ}C$ . Berikut adalah *guideword* dari TI 1753 :

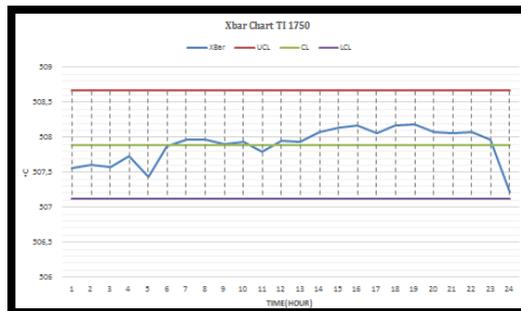
**Tabel 4.4** *Guideword* dari TI 1753

<i>NO</i>	<i>Component</i>	<i>Guideword</i>	<i>Deviation</i>
1	<i>Temperature Indicator</i> TI 1753	<i>High</i>	<i>High temperature</i>
		<i>Low</i>	<i>Low temperature</i>

e. *Temperature Indicator 1750 (TI 1750)*

Komponen lain yang juga menunjang stabilnya sistem proses yang ada pada *node* 103-JT adalah elemen *monitoring temperature* TI 1750. *Sensor temperature* ini terletak pada *line high steam header* menuju *governor valve* (PZ 1006). *Temperature steam* pada bukaan katup *governor* penting untuk terus diamati kondisinya sebab jika *temperature steam* terlalu tinggi maka akan berdampak pada 103-JT, baik kondisi komponen maupun jalannya proses.

Dari keseluruhan data proses pada TI 1750 yang telah diolah didapatkan nilai  $CL=507,8919$  °C,  $UCL= 508,6675$  °C dan  $LCL=507,1164$  °C. berikut adalah grafik yang diperoleh dari data proses TI 1750.

**Gambar 4.6** Grafik *logsheet* TI 1750

Terlihat dari Gambar 4.6 di atas bahwa pembacaan *temperature* rata-rata pada *line medium steam header* yang menuju katup *governor* relatif stabil dengan simpangan yang

kecil dengan pembacaan rata rata yaitu 507.8919 °C. Berikut adalah *guideword* dari TI 1750 :

**Tabel 4.5** *Guideword* dari TI 1750

<i>NO</i>	<i>Component</i>	<i>Guideword</i>	<i>Deviation</i>
1	<i>Temperature Indicator</i> TI 1750	<i>High</i>	<i>High temperature</i>
		<i>Low</i>	<i>Low temperature</i>

### 4.3 Analisis Potensi, Penyebab dan Akibat Bahaya

Analisis risiko adalah kegiatan analisis kemungkinan dampak bahaya yang terjadi akibat adanya penyimpangan dari kondisi proses yang diinginkan dan dikendalikan. Dalam metode HAZOP terdapat beberapa analisa diantaranya *guideword*, *deviation*, *causes* dan *consequences*.

Data *guideword* dan deviasi telah didapatkan dari langkah sebelumnya dengan menggunakan *control chart*. Sedangkan analisis *causes* adalah untuk menganalisa kemungkinan yang memicu timbulnya deviasi atau penyimpangan proses. Dari analisa *causes* maka akan didapatkan kemungkinan bahaya apa saja yang akan mengancam jalannya proses pada mesin *steam turbine* 103-JT. Setiap *causes* mungkin memiliki beberapa dampak yang memungkinkan timbul darinya lebih dari satu bahaya. Bahaya-bahaya yang merupakan dampak penyimpangan proses inilah yang disebut dengan *consequences*. Keduanya, *causes* dan *consequences* didapatkan dengan proses menganalisa proses pada *steam turbine* 103-JT ditambah dengan wawancara kepada petugas *operator* atau pihak-pihak pelaksana SOP terkait.

**Tabel 4.6** *Causes dan Consequences*

<b>Component</b>	<b>Description</b>	<b>Guide word</b>	<b>Deviation</b>	<b>Causes</b>	<b>Consequences</b>
PT 1006	<i>Pressure Transmitter</i>	<i>High</i>	<i>High Pressure</i>	Kenaikan tekanan pada <i>steam turbine</i> 103-JT tekanan pada 104 <i>flash drum</i> terlalu tinggi,	Memberi dampak pada <i>flash drum</i> 104 F, meningkatkan tekanan sehingga <i>temperature</i> juga naik
		<i>Low</i>	<i>Low Pressure</i>	penurunan tekanan pada <i>steam turbine</i> 103-JT, tekanan pada 104 <i>flash drum</i> terlalu rendah,	Memberi dampak pada <i>flash drum</i> 104 F, menurunkan tekanan sehingga <i>temperature</i> juga turun
PT 1035	<i>Pressure Transmitter</i>	<i>High</i>	<i>High Pressure</i>	Tekanan dari <i>HS header</i> terlalu tinggi	turbin bekerja lebih keras, menyebabkan kerusakan internal, <i>overpressure</i>
		<i>Low</i>	<i>Low Pressure</i>	Tekanan mengalami <i>pressure drop</i>	turbin bekerja tidak maksimal, mengurangi efisiensi turbin
HZ 1041 ( <i>Extraction Control Valve</i> )	<i>Control Valve</i>	<i>Reverse</i>	<i>Steam Flow Continuous</i>	Tidak ada sinyal kontrol, <i>failed to close</i>	Menurunkan kecepatan , mengakibatkan <i>low speed</i> di 103-JT
<i>Trip Throttle Valve</i>	<i>Control Valve</i>	<i>Reverse</i>	<i>Steam Flow Continuous</i>	Kontrol sistemnya gagal, tidak ada sinyal kontrol, <i>failed to close</i>	Turbin bekerja dikondisi berbahaya, bisa menyebabkan kerusakan <i>internal</i> dan <i>high vibration</i> ,

**Tabel 4.6** *Causes dan Consequences*(lanjutan)

<i>Component</i>	<i>Description</i>	<i>Guide word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>
PZ 1006 (Governor Valve)	Control Valve	<i>High</i>	<i>High Speed</i>	a. aliran steam menjadi tinggi, sistem kontrol gagal	103-JT overspeed, plant trip dan shutdown dapat merusak equipment, High Speed Turbine - kerusakan Internal -High Vibration
		<i>Low</i>	<i>Low Speed</i>	Aliran steam rendah b. kontrol sistem gagal	Low power Turbine , Low Speed, Low Power Compressor - Low Pressure on Discharge compressor
		<i>none</i>	<i>no steam flow</i>	Tidak ada sinyal kontrol , <i>broken oil instrument</i>	Kebocoran steam pada 103-JT, kompressor tidak dapat bekerja, steam turbine 103-JT trip
SI 1003 A	Speed Indicator	<i>High</i>	<i>High Speed on rotating turbine shaft</i>	Kelebihan steam dari Steam Header, komponen Mechanical rusak	Other mechanical damage, 103-JT trip
		<i>Low</i>	<i>Low Speed on rotating turbine shaft</i>	Kekurangan aliran steam dari steam header	Low power Compressor

**Tabel 4.6** *Causes dan Consequences*(lanjutan)

<i>Component</i>	<i>Description</i>	<i>Guide word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>
TI 1753	<i>Temperature Indicator</i>	<i>High</i>	<i>High Temperature</i>	Panas turbin terlalu tinggi	Kerusakan <i>Mechanical</i>
		<i>Low</i>	<i>Low Temperature</i>	Panas turbin terlalu rendah	Mengurangi kualitas dari <i>steam</i>
<i>Nozzle</i>	<i>Mechanical Component</i>	<i>High</i>	<i>High Frequency of Vibration</i>	Turbin bekerja pada tekanan tinggi menyebabkan komponen menjadi <i>aus</i>	<i>high vibration</i> pada <i>on 103-JT</i> , dan menyebabkan komponen <i>mechanical</i> lainnya rusak
		<i>Low</i>	<i>Low Temperature</i>	Mengurangi panas dari <i>Superheat Burner</i>	Mengurangi kualitas dari <i>steam</i>
<i>Labyrinth</i>	<i>Mechanical Component</i>	<i>High</i>	kebocoran uap yang tinggi	turbin bekerja pada tekanan tinggi menyebabkan komponen menjadi <i>aus</i> ,	<i>loss</i> efisiensi pada <i>steam turbine 103-JT</i>
<i>Gasket</i>	<i>Mechanical Component</i>	<i>High</i>	kebocoran uap yang tinggi	Turbin bekerja pada tekanan tinggi, <i>gasket</i> sobek	<i>loss</i> efisiensi pada <i>steam turbine 103-JT</i>

**Tabel 4.6** *Causes dan Consequences*(lanjutan)

<i>Component</i>	<i>Description</i>	<i>Guideword</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>
<i>Bearing</i>	<i>Mechanical Component</i>	<i>High</i>	frekuensi getaran tinggi dan <i>temperature</i> tinggi	Turbin bekerja pada tekanan tinggi dapat menyebabkan komponen menjadi <i>aus</i>	<i>high vibration</i> dan <i>high temperature</i> pada 103-JT, komponen <i>mechanical</i> lainnya rusak

#### 4.4 Penentuan *Likelihood*

Penilaian keterjadian kerusakan/ *likelihood* dapat ditentukan menggunakan data *maintanance*, penggantian instrumentasi dan komponen mekanikal yang diperoleh dari Dept. Pemeliharaan I Pabrik *Ammonia*.

$$likelihood = \lambda \times total\ time\ operation \quad (4.1)$$

$$likelihood = \frac{43800}{MTTF(hour)} \quad (4.2)$$

Dimana waktu operasi diambil berdasarkan kurun waktu pengambilan data *maintenance* selama 5 tahun (43800 jam). Berikut ini adalah perhitungan MTTF dari tiap-tiap komponen instrumentasi dan mekanikal pada turbin uap 103-JT yang dihitung dari data *maintenance* yang didapat dari perusahaan.

#### ➤ TTV

Dengan mengolah data *maintenance*, kalibrasi dan servis pada TTV ditentukan bahwa Distribusi *Time to failure*-nya merupakan distribusi *weibul 3* dengan parameter  $\beta = 0,4922$   $\eta = 366,7715$   $\gamma = -203,3$  sehingga

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

$$MMTF = 14533,274 \text{ hour}$$

$\Gamma$  adalah  $\left( \frac{1}{\beta} + 1 \right)$  kemudian hasilnya dilihat pada tabel *gamma*

➤ PZ 1006

Distribusi *time to failure* untuk PZ 1006 adalah distribusi eksponensial, dengan *parameter-parameter*  $\gamma = 1210,431$  dan  $\lambda = 0,0000932$  sehingga

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTTF = \frac{1}{0,0000932}$$

$$MTTF = 10729,613 \text{ hour}$$

➤ HZ 1041

Distribusi *time to failure* untuk HZ 1041 adalah distribusi normal, dengan *parameter*  $\mu = 6744,6$  dan  $\sigma = 7295,294$  sehingga

$$MTTF = \mu$$

$$MMTF = 6744,6 \text{ hour}$$

➤ PT 1006

Distribusi *time to failure* untuk PT 1006 adalah distribusi *weibul 2*, dengan *parameter-parameter*  $\beta = 0,2211$  dan  $\eta = 8499,2937$  sehingga

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

$$\text{MMTF} = 93880,48 \text{ hour}$$

➤ TI 1753

Distribusi *time to failure* untuk TI 1753 adalah distribusi *weibul 2*, dengan *parameter-parameter*  $\beta = 0,2314$  dan  $\eta = 8480,7741$  sehingga

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

$$\text{MMTF} = 90261,237 \text{ hour}$$

➤ TI 1750

Distribusi *time to failure* untuk TI 1750 adalah distribusi normal, dengan *parameter*  $\mu = 9625,0007$  dan  $\sigma = 10487$  sehingga

$$\text{MTTF} = \mu$$

$$\text{MMTF} = 9625,0007 \text{ hour}$$

➤ PT 1035

Distribusi *time to failure* untuk PT 1035 adalah distribusi normal, dengan *parameter*  $\mu = 12905$  dan  $\sigma = 13504$  sehingga

$$\text{MTTF} = \mu$$

$$\text{MMTF} = 12905 \text{ hour}$$

➤ *Bearing*

Distribusi *time to failure* untuk *bearing* adalah distribusi normal, dengan *parameter*  $\mu = 10554$  dan  $\sigma = 10015$  sehingga

$$\text{MTTF} = \mu$$

$$\text{MMTF} = 10554 \text{ hour}$$

➤ *Nozzle*

Distribusi *time to failure* untuk *nozzle* adalah distribusi normal, dengan *parameter*  $\mu = 10554$  dan  $\sigma = 10015$  sehingga

$$\text{MTTF} = \mu$$

$$\text{MMTF} = 10554 \text{ hour}$$

➤ *Labyrinth*

Distribusi *time to failure* untuk *labyrinth* adalah distribusi normal, dengan *parameter*  $\mu = 10554$  dan  $\sigma = 10015$  sehingga

$$\text{MTTF} = \mu$$

$$\text{MMTF} = 10554 \text{ hour}$$

➤ *Gasket*

Distribusi *time to failure* untuk *gasket* adalah distribusi normal, dengan *parameter*  $\mu = 10554$  dan  $\sigma = 10015$  sehingga

$$\text{MTTF} = \mu$$

$$\text{MMTF} = 10554 \text{ hour}$$

➤ SI 1003

Distribusi *time to failure* untuk PT 1035 adalah distribusi *weibul 3* dengan parameter  $\beta = 0,5142$   $\eta = 10037$   $\gamma = 28$  sehingga

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

$$MMTF = 19037,309 \text{ hour}$$

Dari data MTTF tiap-tiap komponen mekanikal, maka akan diketahui tingkat keterjadian kegagalan dari komponen-komponen yang disebut sebagai nilai *likelihood* komponen.

Berikut adalah tabel komponen-komponen yang memiliki tingkat keseringan tinggi untuk gagal adalah komponen-komponen mekanikal pada *steam turbine* 103-JT.

**Tabel 4.7** Kriteria *Likelihood Node Steam Turbine* 103-JT

<i>Component</i>	<i>MTTF (hour)</i>	<i>Likelihood (per 5 tahun)</i>	<b>Standar likelihood petrokimia</b>
PT 1006	93880,48	0,47	1
PT 1035	12905	3,4	3
<i>Trip Throttle Valve</i>	44464,3	0,98	1
PZ 1006 ( <i>Governor Valve</i> )	10279,613	4,08	4
HZ 1041 ( <i>Extraction Control Valve</i> )	6744,6	6,49	5
<i>Gasket</i>	10554	4,15	4
<i>Nozzle</i>	10554	4,15	4
<i>Labyrinth</i>	10554	4,15	4
<i>Bearing</i>	10554	4,15	4
SI 1003 A	323136,19	0,135	1
TI 1753	90261,2379	0,48	1
TI 1750	9625	4,5	4

**Tabel 4.8** Standar *Likelihood* PT.Petrokimia Gresik

<b>Ranking</b>		<b>Description</b>
<b>1</b>	<i>Brand New Excellent</i>	Risiko jarang sekali muncul frekuensi kejadian kurang dari 2 kali dalam 5 tahun
<b>2</b>	<i>Very Good / Good Serviceable</i>	Risiko terjadi 2-3 kali dalam 5 tahun
<b>3</b>	<i>Acceptable</i>	Risiko terjadi antara 3-4 kali dalam 5 tahun
<b>4</b>	<i>Below Standard / Poor</i>	Risiko terjadi 4-5 kali dalam 5 tahun
<b>5</b>	<i>Bad/ Unacceptable</i>	Risiko terjadi 5 dan lebih dari 5 kali dalam 5 tahun

#### 4.5 Penentuan *Consequences*

*Consequences* adalah segala bentuk kemungkinan dampak dari risiko yang timbul akibat adanya kegagalan atau penyimpangan pada proses atau operasi yang melewati batas kendali yang diinginkan. Nilai skala *consequences* ditentukan dengan mengikuti standar kriteria profil konsekuensi pabrik *Ammonia* PT. Petrokimia Gresik. Berdasarkan data proses yang ada serta wawancara dengan *operator* serta pelaksana standar operasional (SOP) lainnya di Pabrik *Ammonia* dapat dilakukan penentuan tingkat keparahan sesuai dengan kategori *consequences* yang terdapat pada tabel 4.4.

Berdasarkan kriteria *consequences* yang dibuat oleh PT. Petrokimia Gresik pada Tabel 4.4 di atas dapat diketahui bahwa *level 5* menunjukkan tingkatan *catastrophic*, dimana risiko akan berdampak besar *plant* sehingga aktivitas produksi terganggu hingga harus dihentikan (*shutdown*).

**Tabel 4.9** Kategori *Konsekuensi*

<i>Level</i>	<i>Descriptor</i>	<i>Description</i>
1	<i>Insignificant</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/obyek dalam beraktivitas) tidak berdampak sama sekali, akibatnya tidak signifikan terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas tetap terlaksana
2	<i>Minor</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/obyek dalam beraktivitas) berdampak kecil, akibatnya kecil terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas tetap masih terlaksana
3	<i>Moderate</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/obyek dalam beraktivitas) berdampak sedang, akibatnya sedang terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas tetap masih terlaksana
4	<i>Major</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/obyek dalam beraktivitas) berdampak besar, akibatnya cukup signifikan terhadap kelangsungan aktivitas, namun aktivitas masih dapat terlaksana walaupun tidak optimal
5	<i>Catastrophic</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/obyek dalam beraktivitas) berdampak sangat besar, akibatnya sangat signifikan terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas tidak dapat terlaksana

#### 4.6 Risk Ranking

Tahapan terakhir dalam analisis bahaya adalah menentukan nilai skala *risk ranking*. *Risk ranking* didapat dengan mengalikan antara skala *likelihood* dengan skala *consequences*. Standar *risk ranking* yang digunakan pada Tugas Akhir ini mengikuti standar kriteria *risk ranking* dari Departemen Produksi pabrik I PT. Petrokimia Gresik yang terdapat pada Tabel 4.10.

Warna hijau menandakan tingkat *low risk* atau bahaya rendah, kuning berarti *medium risk* atau bahaya sedang, sedangkan merah merupakan kategori tingkatan bahaya paling tinggi atau *high risk*. Sebuah bahaya sangat berpotensi menimbulkan risiko yang besar apabila ia bersifat *catastrophic* secara *consequence*, atau dalam

kategori *bad/ unacceptable* pada skala *likelihood*. Tabel *risk ranking consequences* (HAZOP) dapat dilihat pada lampiran A.

**Tabel 4.10 Risk Matriks Category**

<i>Consequence/ likelihood</i>	<i>(1)Insignificant</i>	<i>(2)minor</i>	<i>(3)moderate</i>	<i>(4)major</i>	<i>(5)Catastrophic</i>
<i>(1)Brand New Excellent</i>	L1	L2	L3	L4	M5
<i>(2)Very Good / Good Serviceable</i>	L2	L4	M6	M8	H10
<i>(3)Acceptable</i>	L3	M6	M9	M12	H15
<i>(4)Below Standard / Poor</i>	L4	M8	M12	H16	H20
<i>(5)Bad/ Unacceptable</i>	M5	H10	H15	H20	H25

Dengan mengklasifikasikan nilai *likelihood* pada Tabel 4.8 dengan kategori yang terdapat pada Tabel 4.9 maka akan didapatkan nilai skala pada kolom L Tabel 4.10. Dalam kolom tersebut didapat bahwasanya *occurance* tertinggi ada pada komponen PZ 1006, HZ 1041, *gasket, nozzle, labyrinth* dan *bearing* memiliki kategori *high risk*.

#### 4.7 Analisis HAZOP

Dari hasil analisis HAZOP yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa risiko yang dapat terjadi pada *unit steam turbine* 103-JT terbagi menjadi tiga kategori dengan *persentase* sebagai berikut :

*Low* = 25 %  
*Medium* (kuning) = 25 %  
*High* (merah) = 50 %

Kerusakan-kerusakan yang tergolong dalam kategori *high risk* pada *steam turbine* 103-JT berdasarkan analisa adalah disebabkan oleh kegagalan pada *governor valve, extraction valve, gasket, labyrinth, nozzle* dan *bearing*. Kegagalan-kegagalan tersebut akan dianalisa menggunakan LOPA untuk menentukan tingkatan SIL yang digunakan serta digunakan untuk dasar merekomendasi tindakan yang dapat mereduksi risiko dan dampak kegagalan melalui peningkatan nilai SIL.

#### **4.8 Layer of Protection Analysis (LOPA)**

Pada *Protection layer* yang akan dianalisis terdiri dari *general process design, Basic Process Control System (BPCS), alarm,* serta *additional mitigation layer*. *General process design* merupakan elemen paling dasar dalam jalannya proses, yakni dengan mendesain bagaimana desain terbaik dari sebuah sistem, sehingga kapasitas serta keandalannya sesuai dengan proses atau kondisi dimana ia akan bekerja. Dikatakan suatu proses memiliki sebuah *general design process* apabila telah terdapat PFD dan PID yang telah menyertakannya dalam alur proses.

BPCS merupakan salah satu *protection layer* yang bertujuan untuk *me-monitoring* serta mengendalikan jalannya sebuah proses. Jalannya proses senantiasa dievaluasi melalui *set point* yang sudah ditetapkan perusahaan. BPCS merupakan salah satu *layer* yang paling signifikan dalam kaitannya meminimalisir kegagalan sistem. BPCS dikatakan terpasang apabila terdapat *element sensor, logic solver* dan *final element*.

*Alarm* adalah *protection layer* tingkat selanjutnya setelah BPCS. *Alarm* dapat terhubung maupun terpisah dengan BPCS. *Alarm* akan berbunyi manakala sistem mengindikasikan adanya penyimpangan proses di luar batas toleransi perusahaan, *alarm* tersebut dapat berupa *HH (High-High)* dan *LL (Low-Low)*. Untuk ketiga *independent protection layer* tersebut akan memiliki nilai PFD sebesar  $10^{-1}$  apabila masing-masing aktif bekerja dan akan bernilai 1 jika tidak terpasang atau tidak tersedia

Sedangkan *Additional mitigation layer* merupakan salah satu *protection layer* yang biasa berupa *Safety Instrumented System (SIS)*. Apabila *process control system* gagal melakukan tugas dalam upayanya mengamankan jalannya operasi dan keselamatan komponen serta sistem, maka SIS secara otomatis akan aktif bekerja untuk melindungi *plant* dari kemungkinan terjadinya kerusakan yang lebih parah. Adapun *Additional mitigation* pertama berupa *human performance on restricted area*, yang mana besarnya PFD untuk *under stress performance* bernilai 0,5. Yang kedua adalah *high integrity additional mitigation*, berupa PRV atau *pressure relief valve* yang berfungsi untuk perlindungan akhir dari kemungkinan bahaya yang lebih besar diakibatkan oleh *overpressure* pada *plant*. PFD yang diberikan untuk instalasi PRV bernilai  $10^{-2}$ .

Sebelum menentukan lapisan proksi setia *layer* nya, terlebih dahulu langkah sebelum menentukan PFD adalah menentukan *Initiating Caused Likelihood (ICL)*, berikut merupakan perhitungan ICL untuk setiap kerusakan. Dengan ICL merupakan *events per year* (Lassen, 2008).

$$ICL=1- \textit{Realibility} \quad (4.3)$$

Dari nilai ICL itu dapat dilakukan perhitungan nilai SIL dari setiap *instrument*. Nilai SIL merupakan nilai tingkat keamanan dari *plant* tersebut. Dengan menggunakan metode LOPA dapat diketahui bahwa nilai SIL yang semakin kecil menunjukkan *layer* proteksi dari *plant* tersebut semakin banyak yang artinya keamanan semakin bagus.

**Tabel 4.11** Hasil ICL

<i>Instrument</i>	<i>Impact Event Description</i>	<i>Initiating cause</i>	<i>Realibility</i>	<i>ICL(per year)</i>
<i>Labyrinth</i>	<i>loss efisiensi pada 103-JT</i>	<i>Labyrinth aus</i>	0,44	0,56

**Tabel 4.11** Hasil ICL(lanjutan)

<i>Instrument</i>	<i>Impact Event Description</i>	<i>Initiating cause</i>	<i>Realibility</i>	<i>ICL(per year)</i>
<i>Bearing</i>	<i>high vibration dan high temperature pada 103-JT, dan dapat menyebabkan komponen mechanical lainnya rusak</i>	<i>Bearing aus</i>	0,44	0,56
<i>Nozzle</i>	<i>high vibration pada 103-JT, dan dapat meyebabkan komponen mechanical lainnya rusak</i>	<i>Nozzle aus</i>	0,44	0,56
<i>Gasket</i>	<i>loss efisiensi pada steam turbine 103-JT</i>	<i>Gasket aus</i>	0,44	0,56
HZ 1041 ( <i>Extractuon Valve</i> )	Menurunkan kecepatan , mengakibatkan <i>lowspeed</i> di 103-JT	<i>Reverse</i>	0,23	0,73

**Tabel 4.11** Hasil ICL(lanjutan)

<i>Instrument</i>	<i>Impact Event Description</i>	<i>Initiating cause</i>	<i>Realibility</i>	<i>ICL(per year)</i>
PZ 1006(Governor Valve)	103-JT <i>overspeed, plant trip dan shutdown dapat merusak equipment, High Speed Turbine</i> - kerusakan <i>Internal -High Vibration</i>	<i>High Speed</i>	0,44	0,56
	<i>Low power Turbine , Low Speed, Low Power Compressor - Low Pressure on Discharge compressor</i>	<i>Low Speed</i>		
	Kekurangan <i>steam</i> untuk 103-JT, <i>compressor</i> tidak dapat bekerja, <i>steam turbine</i> 103-JT <i>trip</i>	<i>None</i>		

#### 4.9 Perhitungan *Layer of Protection Analysis (LOPA)*

Berikut adalah perhitungan dari *Layer of Protection Analysis (LOPA)* terhadap instrumen yang memiliki nilai risiko tinggi atau *high risk*.

##### a. PZ 1006

- **Impact Event Description** : terjadinya *high speed, low speed* dan *no flow steam* pada *steam turbine* 103-JT yang dapat mengakibatkan kerusakan *mechanical* dan gangguan pada *compresor* 103 JHP dan 103 JLP
- **Initiating Cause** : *high speed, low speed* dan *no flow steam*
- **ICL** = 0,55
- **Layer Proteksi** :
  - *Process Design* = 0,1
  - *BPCS* = 0,1
  - *Alarm* = 1
  - *Additional mitigation, Restricted access* = 0,5
  - *Additional mitigation, Dike (Bunds), PRV* = 0,01

$$IEL = ICL \times PFD1 \times PFD2 \times \dots \times PFDn$$

$$IEL = 0,55 \times 0,1 \times 0,1 \times 1 \times 0,5 \times 0,01$$

$$IEL = 2,75 \times 10^{-5}$$

$$PFD_{avg} = \frac{TMEL}{IEL} \text{ dengan } TMEL = 1 \times 10^{-5}$$

$$PFD_{avg} = 0.36$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA di atas, maka nilai SIL didapatkan sebagai **SIL 0**.

##### b. HZ 1041

- **Impact Event Description** : Menurunkan kecepatan , mengakibatkan *lowspeed* di 103-JT
- **Initiating Cause** : *reverse*

- **ICL** = 0,73
- *Layer* Proteksi :
  - *Process Design* =0,1
  - **BPCS** =0,1
  - *Alarm* = 1
  - *Additional mitigation, Restricted access* = 0,5
  - *Additional mitigation, Dike (Bunds), PRV* = 0,01

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n$$

$$IEL = 0,73 \times 0,1 \times 0,1 \times 1 \times 0,5 \times 0,01$$

$$IEL = 3,65 \times 10^{-5}$$

$$PFD_{avg} = \frac{TMEL}{IEL} \text{ dengan } TMEL = 1 \times 10^{-5}$$

$$PFD_{avg} = 0.27$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas, maka nilai SIL didapatkan sebagai **SIL 0**.

### c. *Gasket*

- **Impact Event Description** : menyebabkan *loss efficiency* pada *steam turbine 103JT*
- **Initiating Cause** : *gasket aus*
- **ICL** = 0,56
- *Layer* Proteksi :
  - *Process Design* =0,1
  - **BPCS** =1
  - *Alarm* =1
  - *Additional mitigation, Restricted access* = 0,5
  - *Additional mitigation, Dike (Bunds), PRV* = 0,01

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n$$

$$IEL = 0,56 \times 0.1 \times 1 \times 1 \times 0,5 \times 0,01$$

$$IEL = 2,8 \times 10^{-4}$$

$$PFD_{avg} = \frac{TMEL}{IEL} \text{ dengan } TMEL = 1 \times 10^{-5}$$

$$PFD_{avg} = 0,035$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA di atas, maka nilai SIL didapatkan sebagai **SIL 1**.

**d. Nozzle**

➤ **Impact Event Description** : menyebabkan *high vibration* pada *steam turbine* 103-JT, dan dapat menyebabkan komponen *mechanical* lainnya rusak

➤ **Initiating Cause** : *nozzle aus*

➤ **ICL** = 0,56

➤ **Layer Proteksi** :

▪ *Process Design* = 0,1

▪ *BPCS* = 1

▪ *Alarm* = 1

▪ *Additional mitigation, Restricted access* = 0,5

▪ *Additional mitigation, Dike (Bunds), PRV* = 0,01

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n$$

$$IEL = 0,56 \times 0,1 \times 1 \times 1 \times 0,5 \times 0,01$$

$$IEL = 2,8 \times 10^{-4}$$

$$PFD_{avg} = \frac{TMEL}{IEL} \text{ dengan } TMEL = 1 \times 10^{-5}$$

$$PFD_{avg} = 0,035$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA di atas, maka nilai SIL didapatkan sebagai **SIL 1**.

**e. Bearing**

- **Impact Event Description** : menyebabkan *high vibration* dan *high temperature* pada 103-JT, dan dapat menyebabkan komponen *mechanical* lainnya rusak
- **Initiating Cause** : *bearing aus*
- **ICL** = 0,56
- **Layer Proteksi** :
  - *Process Design* =0,1
  - *BPCS* =1
  - *Alarm* =1
  - *Additional mitigation, Restricted access* = 0,5
  - *Additional mitigation, Dike (Bunds), PRV* = 0,01

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n$$

$$IEL = 0,56 \times 0,1 \times 1 \times 1 \times 0,5 \times 0,01$$

$$IEL = 2,8 \times 10^{-4}$$

$$PFD_{avg} = \frac{TMEL}{IEL} \text{ dengan } TMEL = 1 \times 10^{-5}$$

$$PFD_{avg} = 0,035$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA di atas, maka nilai SIL didapatkan sebagai **SIL 1**.

**f. Labyrinth**

- **Impact Event Description** : menyebabkan *loss efisiensi pada steam turbine* 103-JT
- **Initiating Cause** : *labyrinth aus*
- **ICL** = 0,56
- **Layer Proteksi** :
  - *Process Design* =0,1
  - *BPCS* =1
  - *Alarm* =1
  - *Additional mitigation, Restricted access* = 0,5

- *Additional mitigation, Dike (Bunds)*, PRV = 0,01

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n$$

$$IEL = 0,56 \times 0,1 \times 1 \times 1 \times 0,5 \times 0,01$$

$$IEL = 2,8 \times 10^{-4}$$

$$PFD_{avg} = \frac{TMEL}{IEL} \text{ dengan } TMEL = 1 \times 10^{-5}$$

$$PFD_{avg} = 0,035$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas, maka nilai SIL didapatkan sebagai **SIL 1**.

#### 4.10 Pembahasan

*Instrument* pada *steam turbine* 103-JT adalah PT 1006, PT 1035, TTV, PZ 1006, HZ 1041, TI 1753, TI 1750, SI 1003, *gasket*, *nozzle*, *labyrinth* dan *bearing*. Dari *instrument* yang dianalisis menggunakan metode HAZOP diperoleh nilai *level* risiko 50% *high risk*, 25% *medium risk* dan 25% *low risk*. *Instrumen* yang memiliki nilai risiko *high risk* yaitu PZ 1006, HZ 1041, *gasket*, *nozzle*, *labyrinth*, dan *bearing* yang kemudian akan di analisis nilai SIL (*Safety Integrity Level*) nya menggunakan metode LOPA (*Layer of Protection*).

Dari perhitungan SIL pada 103-JT yang memiliki nilai *level* risiko tinggi didapatkan hasil sebagai berikut :

- PZ 1006 dengan nilai SIL 0,36 (SIL 1)
- HZ 1041 dengan nilai SIL 0,27 (SIL 1)
- *Gasket* dengan nilai SIL 0,035 (SIL 0)
- *Nozzle* dengan nilai SIL 0,035 (SIL 0)
- *Labyrinth* dengan nilai SIL 0,035 (SIL 0)
- *Bearing* dengan nilai SIL 0,035 (SIL 0)

Hasil dari perhitungan di atas dan pada tabel standar, maka didapatkan bahwa nilai SIL untuk tiap *Impact event* bervariasi

antara, SIL 0 dan SIL 1. Yakni dengan persentasi sebesar SIL 0 = 40 % dan SIL 1 = 60%.

Hasil analisa yang menunjukkan hasil nilai SIL 0 sistem sudah sangat aman dan terproteksi dengan baik. Sedangkan SIL 1 menunjukkan bahwa bahaya yang timbul akibat kegagalan proses dapat direduksi dengan penambahan *protection layer* dan dapat ditingkatkan SIL nya menjadi SIL 0. Untuk meningkatkan SIL atau meningkatkan nilai reduksi risiko maka dilakukan penambahan *layer* proteksi yaitu BPCS pada Turbin 103-JT (lampiran D2).

➤ *Layer* Proteksi :

- *Process Design* =0,1
- BPCS =0.1
- *Alarm* =1
- *Additional mitigation, Restricted access* = 0,5 (*human performance, under stress*)
- *Additional mitigation, Dike (Bunds), PRV* = 0,01 (terdapat *safety valve* berupa TTV dan PRV)

$$IEL = ICL \times PFD1 \times PFD2 \times \dots \times PFDn$$

$$IEL = 0,56 \times 0.1 \times 0.1 \times 1 \times 0,5 \times 0,01$$

$$IEL = 2,8 \times 10^{-5}$$

$$PFD_{avg} = \frac{TMEL}{IEL} \text{ dengan } TMEL = 1 \times 10^{-5}$$

$$PFD_{avg} = 0,35$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA di atas, maka nilai SIL didapatkan sebagai **SIL 0**.

Selain penambahan *layer* BPCS, perlu adanya penambahan *speed alarm* lowsebagai rekomendasi untuk meningkatkan keamanan pada *steam turbine* 103-JT.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Hasil analisis HAZOP pada *steam turbine* 103-JT menunjukkan risiko bahaya dengan tiga kategori *risk ranking* yaitu *high risk* : 50 %, *medium risk* : 25 %, *low risk*: 25 % dan setelah dilakukan peningkatan SIL nilai risiko *medium risk* : 25 %, *low risk*: 75 %.
- b. Nilai *safety integrity level* pada *steam turbine* 105-JT PT. Petrokimia Gresik menunjukkan nilai bervariasi yaitu SIL 0, dan SIL 1 untuk *high risk consequences hazard*. Dengan presentasi SIL 0 = 40 % dan SIL 1 = 60%. Setelah dilakukan peningkatan SIL didapatkan nilai yang menunjukkan 100 % SIL 0.
- c. Untuk meningkatkan keamanan pada *steam turbine* 103-JT, maka rekomendasi yang diberikan adalah dengan menambahkan *speed alarm low* pada *steam turbine* 103-JT

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan berkaitan dengan keamanan sistem *steam turbine* 103-JT PT. Petrokimia Gresik yaitu :

- a. Penerapan *preventive maintenance* yang merata terhadap semua komponen untuk mendeteksi lebih awal dari ketidaksesuaian jalannya proses yang disebabkan oleh kegagalan kerusakan alat instrumentasi dan komponen mekanik yang terpasang sehingga dapat mereduksi angka *failure rate* dari seluruh komponen instrumentasi yang terpasang.
- b. Pencatatan data *logsheet* dapat dilakukan setiap elemen agar didapatkan *record* data proses yang lebih akurat sehingga penyimpangan yang terjadi dalam proses selalu dapat terdeteksi lebih awal.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Yenni, Yefta, "*Sejarah dan Perkembangan PT. Petrokimia Gresik*," Dept Prod III, PT. Petrokimia Gresik, 2013,
- Mitsubishi. 1994. **Steam Turbine 103-JT 5MXL Model Datasheet**. Japan: Mitsubishi Heavy Industry Manufacturer.
- Ebeling, C. E. 1997. **An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering, 1st ed**, Singapore: McGraw-Hill Companies.
- NIST/SEMATECH. 2012. **e-Handbook of Statistical Methods**. URL:<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>
- Anshori, N. Dan Mustajib, M. I. 2013. **Sistem Perawatan Terpadu (Integrated Maintenance System), Edisi Pertama**. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Leitch, R. D. 1995. **Reliability Analysis for Engineers**. New York: Oxford University Press, Inc.
- Crawley, Frank & Tyler, Bryan., *HAZOP: Guide to Best Practice Guidelines to Best Practice for the Process and Chemical Industries (3rd Edition)*, United States: Elsevier, 2015
- Nolan, D. P. 1994. **Application of HAZOP and What-if Safety Reviews to the Petroleum, Petrochemical and Chemical Industries**. New Jersey: Noyes Publications.
- Zhou, J. 2013. **Determination of Safety/ Environmental Integrity Level for Subsea Safety Instrumented Systems**. NTNU-Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- King, A. G. 2013. "SIL Determination: Dealing with Unexpected". **AIDIC**.
- International Electrotechnical Commission <sup>a</sup> 61508 IEC: 1997," *Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems*,". 1997
- Instrumentation, Systems, and Automation Society  
ISATR84.00.02:2002 "SIF-Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Techniques", 2002

Lassen, C. A. 2008. **Layer of protection analysis (LOPA) for determination of safety integrity level (SIL)**. Norwegian: The Norwegian University of Science and Technology

Marszal, E. et al. 2014. **PHA, LOPA, and QRA**.  
URL:<http://www.kenexis.com>

Hatch, D. dan Stauffer, T. 2009. **Operators on Alert**.  
URL:<http://www.isa.org>

**LAMPIRAN A**  
**TABEL HAZOP**

## LAMPIRAN A : TABEL HAZOP

<i>Component</i>	<i>Description</i>	<i>Guide word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>	<i>safeguard</i>	<i>L</i>	<i>C</i>	<i>R</i>
PT 1006	<i>Pressure Transmitter</i>	<i>High</i>	<i>High Pressure</i>	Kenaikan tekanan pada <i>steam turbine</i> 105-JT tekanan pada 104 flash drum terlalu tinggi,	Memberi dampak pada <i>flash drum</i> 104 F, meningkatkan tekanan sehingga <i>temperature</i> juga naik,	-	1	3	L
		<i>Low</i>	<i>Low Pressure</i>	penurunan tekanan pada <i>steam</i> turbin 103-JT tekanan pada 104 <i>flash drum</i> terlalu rendah,	Memberi dampak pada <i>flash drum</i> 104 F, menurunkan tekanan sehingga <i>temperature</i> juga turun	-		3	L
PT 1035	<i>Pressure Transmitter</i>	<i>High</i>	<i>High Pressure</i>	Tekanan dari <i>HS header</i> terlalu tinggi	turbin bekerja lebih keras, bisa menyebabkan kerusakan internal, <i>overpressure</i>	PAH1141	3	3	M
		<i>Low</i>	<i>Low Pressure</i>	Tekanan yang melalui pipa mengalami <i>pressure drop</i>	turbin bekerja tidak maksimal, mengurangi efisiensi turbin	PAL1140		3	M

## LAMPIRAN A : TABEL HAZOP

<i>Component</i>	<i>Description</i>	<i>Guide word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>	<i>safeguard</i>	<i>L</i>	<i>C</i>	<i>R</i>
<i>Trip Throttle Valve</i>	<i>Control Valve</i>	<i>reverse</i>	<i>Steam Flow Continuously</i>	Kontrol sistemnya gagal, tidak ada sinyal kontrol, <i>failed to close</i>	Turbin bekerja dikondisi berbahaya, bisa menyebabkan kerusakan internal dan <i>high vibration</i> ,	<i>Limit switch zso1003</i>	2	4	M
HZ 1041 ( <i>Extraction Control Valve</i> )	<i>Control Valve</i>	<i>Reverse</i>	<i>Steam Flow Continuously</i>	Tidak ada sinyal kontrol, <i>system control fail, failed to close</i>	Menurunkan kecepatan , mengakibatkan <i>low speed</i> di 103-JT	<i>Opening high limit (dcs)</i>	5	4	H
<i>Gasket</i>	<i>Mechanical Component</i>	<i>High</i>	<i>High Leakage of Steam</i>	turbine bekerja pada tekanan tinggi dapat, gasket sobek	<i>loss</i> efisiensi pada <i>steam turbine</i> 103-JT	-	4	4	H
<i>Nozzle</i>	<i>Mechanical Component</i>	<i>High</i>	<i>High Frequency of Vibration</i>	turbine bekerja pada tekanan tinggi dapat menyebabkan komponen menjadi aus	<i>high vibration</i> pada 103-JT, dan dapat meyebabkan komponen <i>mechanical</i> lainnya rusak	-	4	4	H

## LAMPIRAN A : TABEL HAZOP

<i>Component</i>	<i>Description</i>	<i>Guide word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>	<i>safeguard</i>	<i>L</i>	<i>C</i>	<i>R</i>
PZ 1006 (Governor Valve)	Control Valve	<i>High</i>	<i>High Speed</i>	a. aliran <i>steam</i> menjadi tinggi b. sistem kontrol gagal, tidak ada sinyal control, komponen udara rusak	103-JT <i>overspeed</i> , <i>plant trip</i> dan <i>shutdown</i> dapat merusak <i>equipment</i> , <i>High Speed Turbine</i> - kerusakan Internal - <i>High Vibration</i>	-	4	4	H
		<i>Low</i>	<i>Low Speed</i>	Aliran <i>steam</i> rendah b. kontrol sistem gagal, tidak ada sinyal kontrol, merusak <i>instrument</i> udara	<i>Low power Turbine</i> , <i>Low Speed</i> , <i>Low Power Compressor</i> - <i>Low Pressure on Discharge compressor</i>	-		4	H
		<i>none</i>	<i>no steam flow</i>	Tidak ada sinyal kontrol , kontrol sistem gaga, <i>broken oil instrument</i>	Kekurangan <i>steam</i> untuk 103-JT, kompressor tidak dapat bekerja, <i>steam turbine</i> 103-JT <i>trip</i>	-		4	H

## LAMPIRAN A : TABEL HAZOP

<i>Component</i>	<i>Description</i>	<i>Guide word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>	<i>safeguard</i>	<i>L</i>	<i>C</i>	<i>R</i>
<i>Labyrinth</i>	<i>Mechanical Component</i>	<i>High</i>	<i>High Leakage of Steam</i>	turbine bekerja pada tekanan tinggi dapat menyebabkan komponen menjadi aus,	<i>loss efisiensi pada steam turbine 103-JT</i>	-	4	4	H
<i>Bearing</i>	<i>Mechanical Component</i>	<i>High</i>	<i>High Frequency of Vibration and High Temperature</i>	turbine bekerja pada tekanan tinggi dapat menyebabkan komponen menjadi aus	<i>high vibration dan high temperature pada 103-JT, dan dapat menyebabkan komponen mechanical lainnya rusak</i>	-	4	4	H
SI 1003 A	<i>Speed Indicator</i>	<i>High</i>	<i>High Speed on rotating turbine shaft</i>	<i>More flow dari Steam Header, dapat menyebabkan komponen Mechanical rusak</i>	<i>Other Mechanical damage, 103-JT trip</i>	SSHH 1003, SH 1003	1	4	L
		<i>Low</i>	<i>Low Speed on rotating turbine shaft</i>	<i>Kekurangan aliran steam dari Steam Header</i>	<i>Low power Compressor</i>	-		3	L

### LAMPIRAN A : TABEL HAZOP

<i>Component</i>	<i>Description</i>	<i>Guide word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>	<i>safeguard</i>	<i>L</i>	<i>C</i>	<i>R</i>
TI 1750	<i>Temperature Indicator</i>	<i>High</i>	<i>High Temperature</i>	Meningkatkan panas dari <i>Superheat Burner</i>	Kerusakan mechanical (memuai, bengkok)	TA 1750	4	2	M
		<i>Low</i>	<i>Low Temperature</i>	Mengurangi panas dari <i>Superheat Burner</i>	Mengurangi kualitas dari <i>steam</i>	TA1750		2	M
TI 1753	<i>Temperature Indicator</i>	<i>High</i>	<i>High Temperature</i>	Panas turbin terlalu tinggi	Kerusakan <i>Mechanical</i>	TA1753	1	2	L
		<i>Low</i>	<i>Low Temperature</i>	Panas turbin terlalu rendah	Mengurangi kualitas dari <i>steam</i>	TA1753		2	L

**LAMPIRAN B**  
**TABEL *GAMMA FUNCTION***

c	$\Gamma(x)$	c	$\Gamma(x)$	c	$\Gamma(x)$	c	$\Gamma(x)$
1.01	0.99433	1.51	0.88659	2.01	1.00427	2.51	1.33875
1.02	0.98884	1.52	0.88704	2.02	1.00862	2.52	1.34830
1.03	0.98355	1.53	0.88757	2.03	1.01306	2.53	1.35798
1.04	0.97844	1.54	0.88818	2.04	1.01758	2.54	1.36779
1.05	0.97350	1.55	0.88887	2.05	1.02218	2.55	1.37775
1.06	0.96874	1.56	0.88964	2.06	1.02687	2.56	1.38784
1.07	0.96415	1.57	0.89049	2.07	1.03164	2.57	1.39807
1.08	0.95973	1.58	0.89142	2.08	1.03650	2.58	1.40844
1.09	0.95546	1.59	0.89243	2.09	1.04145	2.59	1.41896
1.10	0.95153	1.60	0.89352	2.10	1.04649	2.60	1.42962
1.11	0.94740	1.61	0.89468	2.11	1.05161	2.61	1.44044
1.12	0.94359	1.62	0.89592	2.12	1.05682	2.62	1.45140
1.13	0.93993	1.63	0.89724	2.13	1.06212	2.63	1.46251
1.14	0.93642	1.64	0.89864	2.14	1.06751	2.64	1.47377
1.15	0.93304	1.65	0.90012	2.15	1.07300	2.65	1.48519
1.16	0.92980	1.66	0.90167	2.16	1.07857	2.66	1.49677
1.17	0.92670	1.67	0.90330	2.17	1.08424	2.67	1.50851
1.18	0.92373	1.68	0.90500	2.18	1.09000	2.68	1.52040
1.19	0.92089	1.69	0.90678	2.19	1.09585	2.69	1.53246
1.20	0.91817	1.70	0.90864	2.20	1.10180	2.70	1.54469
1.21	0.91558	1.71	0.91057	2.21	1.10785	2.71	1.55708
1.22	0.91311	1.72	0.91258	2.22	1.11399	2.72	1.56964
1.23	0.91075	1.73	0.91467	2.23	1.12023	2.73	1.58237
1.24	0.90852	1.74	0.91683	2.24	1.12657	2.74	1.59528
1.25	0.90640	1.75	0.91906	2.25	1.13300	2.75	1.60836
1.26	0.90440	1.76	0.92137	2.26	1.13954	2.76	1.62162
1.27	0.90250	1.77	0.92376	2.27	1.14618	2.77	1.63506
1.28	0.90072	1.78	0.92623	2.28	1.15292	2.78	1.64868
1.29	0.89904	1.79	0.92877	2.29	1.15976	2.79	1.66249
1.30	0.89747	1.80	0.93138	2.30	1.16671	2.80	1.67649
1.31	0.89600	1.81	0.93408	2.31	1.17377	2.81	1.69068
1.32	0.89464	1.82	0.93685	2.32	1.18093	2.82	1.70506
1.33	0.89338	1.83	0.93969	2.33	1.18819	2.83	1.71963
1.34	0.89222	1.84	0.94261	2.34	1.19557	2.84	1.73441
1.35	0.89115	1.85	0.94561	2.35	1.20305	2.85	1.74938
1.36	0.89018	1.86	0.94869	2.36	1.21065	2.86	1.76456
1.37	0.88931	1.87	0.95184	2.37	1.21836	2.87	1.77994
1.38	0.88854	1.88	0.95507	2.38	1.22618	2.88	1.79553
1.39	0.88785	1.89	0.95838	2.39	1.23412	2.89	1.81134
1.40	0.88726	1.90	0.96177	2.40	1.24217	2.90	1.82736
1.41	0.88676	1.91	0.96523	2.41	1.25034	2.91	1.84359
1.42	0.88636	1.92	0.96877	2.42	1.25863	2.92	1.86005
1.43	0.88604	1.93	0.97240	2.43	1.26703	2.93	1.87673
1.44	0.88581	1.94	0.97610	2.44	1.27556	2.94	1.89363
1.45	0.88566	1.95	0.97988	2.45	1.28421	2.95	1.91077
1.46	0.88560	1.96	0.98374	2.46	1.29298	2.96	1.92814
1.47	0.88563	1.97	0.98769	2.47	1.30188	2.97	1.94574
1.48	0.88575	1.98	0.99171	2.48	1.31091	2.98	1.96358
1.49	0.88595	1.99	0.99581	2.49	1.32006	2.99	1.98167
1.50	0.88623	2.00	1.00000	2.50	1.32934	3.00	2.00000

Sumber : *Ebeling, C.E, An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering, Mc Graw-Hill, New York, 1997*

**LAMPIRAN C**  
***DATA MAINTENANCE***

➤ TI 1750

NO.	START	FINISH	TTF(day)	TTF(jam)	MTTF
1	15/1/2014	15/1/2014	0,125	3	9625,001
2	01/01/2016	10/02/2016	716	17184	
3	02/05/2017	02/05/2017	487	11688	

➤ TI 1753

NO.	START	FINISH	TTF(day)	TTF(jam)	MTTF
1	25/04/2015	25/04/2015	0,25	6	90261,238
2	06/05/2017	06/05/2017	742	17808	
4	20/01/2019	03/02/2019	624	14976	

➤ PZ1006

NO.	START	FINISH	TTF(day)	TTF(jam)	MTTF
1	07/05/2014	07/05/2014	0,25	6	10729,61
2	12/07/2015	12/07/2015	431	10344	
3	01/01/2016	10/02/2016	173	4152	
4	03/06/2018	03/06/2018	884	21216	
5	20/01/2019	03/02/2019	231	5544	

➤ HZ 1041

NO.	START	FINISH	TTF(day)	TTF(jam)	MTTF
1	17/3/2015	17/3/2015	0,125	3	6744,599
2	06/11/2015	06/11/2015	234	5616	
3	01/01/2016	10/02/2016	56	1344	
4	02/05/2017	02/05/2017	487	11688	
5	20/01/2019	03/02/2019	628	15072	

➤ PT 1006

<b>NO.</b>	<b>START</b>	<b>FINISH</b>	<b>TTF(day)</b>	<b>TTF(jam)</b>	<b>MTTF</b>
1	15/12/2014	15/12/2014	0,25	6	93880,484
3	01/04/2018	28/04/2018	1203	28872	
4	20/01/2019	03/02/2019	294	7056	

➤ PT 1035

<b>NO.</b>	<b>START</b>	<b>FINISH</b>	<b>TTF(day)</b>	<b>TTF(jam)</b>	<b>MTTF</b>
1	09/02/2014	19/02/2014	0,166666667	4	12905
2	01/01/2016	10/02/2016	691	16584	
3	11/07/2018	11/07/2018	922	22128	

➤ SI 1003

<b>NO.</b>	<b>START</b>	<b>FINISH</b>	<b>TTF(day)</b>	<b>TTF(jam)</b>	<b>MTTF</b>
1	12/04/2014	27/04/2014	15	360	19037,309
2	28/09/2015	28/09/2015	534	12816	
3	01/01/2016	10/02/2016	95	2280	
4	12/12/2018	12/12/2018	1076	25824	

➤ TTV

<b>NO.</b>	<b>START</b>	<b>FINISH</b>	<b>TTF(day)</b>	<b>TTF(jam)</b>	<b>MTTF</b>
1	08/04/2015	08/04/2015	0,25	6	14533,2747
2	01/01/2016	10/02/2016	268	6432	
4	18/11/2018	18/11/2018	1052	25248	
5	20/01/2019	03/02/2019	63	1512	

➤ BEARING

NO.	START	FINISH	TTF(day)	TTF(jam)	MTTF
1	12/04/2014	27/04/2014	15	360	10554
2	01/01/2016	10/02/2016	629	15096	
3	01/04/2018	28/04/2018	821	19704	
4	20/01/2019	03/02/2019	294	7056	

➤ GASKET

NO.	START	FINISH	TTF(day)	TTF(jam)	MTTF
1	12/04/2014	27/04/2014	15	360	10554
2	01/01/2016	10/02/2016	629	15096	
3	01/04/2018	28/04/2018	821	19704	
4	20/01/2019	03/02/2019	294	7056	

➤ NOZZLE

NO.	START	FINISH	TTF(day)	TTF(jam)	MTTF
1	12/04/2014	27/04/2014	15	360	10554
2	01/01/2016	10/02/2016	629	15096	
3	01/04/2018	28/04/2018	821	19704	
4	20/01/2019	03/02/2019	294	7056	

➤ LABIRYNT

NO.	START	FINISH	TTF(day)	TTF(jam)	MTTF
1	12/04/2014	27/04/2014	15	360	10554
2	01/01/2016	10/02/2016	629	15096	
3	01/04/2018	28/04/2018	821	19704	
4	20/01/2019	03/02/2019	294	7056	

**LAMPIRAN D**  
***LAYER OF PROTECTION (LOPA)***

## LAMPIRAN D1 : WORKSHEET PERHITUNGAN LOPA

Impact event Description	Severity level	Initiation Cause	Initiation Cause Likelihood (ICL) (event per year)	General Process Design	BPCS	Alarm	Additional Mitigation, Restricted Access	Additional Mitigations, Dike (Bunds), PRV	Intermediate Event Likelihood (IEL=ICLx PFDx...x PFDn) (Eventper year)	Target Mitigated Event Likelihood (TMEL)	PFD avg = TMEL : IELt	SIL
<i>Overspeed, low power</i> pada turbin dan mengganggu kinerja <i>steam</i> turbin 103 JHP dan 103 JLP	C <sub>E</sub>	<i>High speed, low speed</i> dan <i>no flow steam</i>	0.55	0.1	0.1	1	0.5	0.01	2.75x10 <sup>-5</sup>	1x10 <sup>-5</sup>	0.36	SIL 0
Menurunkan kecepatan , mengakibatkan lowspped di 103-JT	C <sub>E</sub>	<i>Steam</i> Flow Continuously	0.73	0.1	0.1	1	0.5	0.01	3.65x10 <sup>-5</sup>	1x10 <sup>-5</sup>	0.27	SIL 0
Menyebabkan <i>loss efficiency</i> pada <i>steam turbine 103JT</i>	C <sub>E</sub>	Gasket aus	0.56	0.1	1	1	0.5	0.01	2.8 x 10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-5</sup>	0.035	SIL 1
menyebabkan <i>high vibration</i> pada <i>steam turbine 103-JT</i> , dan dapat meyebabkan komponen <i>mechanical</i> lainnya rusak	C <sub>E</sub>	Nozzle aus	0.56	0.1	1	1	0.5	0.01	2.8 x 10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-5</sup>	0.035	SIL 1
menyebabkan <i>high vibration</i> dan <i>high temperature</i> pada 103-JT, dan dapat menyebabkan komponen <i>mechanical</i> lainnya rusak	C <sub>E</sub>	Bearing aus	0.56	0.1	1	1	0.5	0.01	2.8 x 10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-5</sup>	0.035	SIL 1
menyebabkan <i>loss efisiensi</i> pada <i>steam turbine 103-JT</i>	C <sub>E</sub>	Labirynt aus	0.56	0.1	1	1	0.5	0.01	2.8 x 10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-5</sup>	0.035	SIL 1

## LAMPIRAN D2 : *WORKSHEET* PENINGKATAN LOPA

Impact event Description	Severity level	Initiation Cause	Initiation Cause Likelihood (ICL) (event per year)	General Process Design	BPCS	Alarm	Additional Mitigation, Restricted Access	Additional Mitigations, Dike (Bunds), PRV	Intermediate Event Likelihood (IEL=ICLx PFDx...x PFDn) (Eventper year)	Target Mitigated Event Likelihood (TMEL)	PFD avg = TMEL : IELt	SIL
<i>Overspeed, low power</i> pada turbin dan mengganggu kinerja <i>steam</i> turbin 103 JHP dan 103 JLP	C <sub>E</sub>	<i>High speed, low speed</i> dan <i>no flow steam</i>	0.55	0.1	0.1	1	0.5	0.01	2.75x10 <sup>-5</sup>	1x10 <sup>-5</sup>	0.36	SIL 0
Menurunkan kecepatan , mengakibatkan lowspped di 103-JT	C <sub>E</sub>	<i>Steam</i> Flow Continuously	0.73	0.1	0.1	1	0.5	0.01	3.65x10 <sup>-5</sup>	1x10 <sup>-5</sup>	0.27	SIL 0
Menyebabkan <i>loss efficiency</i> pada <i>steam turbine 103JT</i>	C <sub>E</sub>	Gasket aus	0.56	0.1	0.1	1	0.5	0.01	2.8 x 10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-5</sup>	0.35	SIL 0
menyebabkan <i>high vibration</i> pada <i>steam turbine</i> 103-JT, dan dapat meyebabkan komponen <i>mechanical</i> lainnya rusak	C <sub>E</sub>	Nozzle aus	0.56	0.1	0.1	1	0.5	0.01	2.8 x 10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-5</sup>	0.35	SIL 0
menyebabkan <i>high vibration</i> dan <i>high temperature</i> pada 103-JT, dan dapat menyebabkan komponen <i>mechanical</i> lainnya rusak	C <sub>E</sub>	Bearing aus	0.56	0.1	0.1	1	0.5	0.01	2.8 x 10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-5</sup>	0.35	SIL 0
menyebabkan <i>loss efisiensi</i> pada <i>steam turbine 103-JT</i>	C <sub>E</sub>	Labirynt aus	0.56	0.1	0.1	1	0.5	0.01	2.8 x 10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-5</sup>	0.35	SIL 0

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Gresik pada tanggal 15 Desember 1995 dengan diberi nama Isrous Saidah. Penulis telah menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di MI Mambaul Ulum pada tahun 2008, pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN I Benjeng pada tahun 2011, pendidikan sekolah menengah akhir di SMAN 1 Gresik pada tahun 2014. Pada tahun 2017 penulis menyelesaikan pendidikan di D3 Teknik Instrumentasi ITS dan di tahun yang sama penulis terdaftar sebagai mahasiswa program studi S1 Teknik Fisika di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Konsentrasi tugas akhir yang dialami adalah bidang rekayasa instrumentasi dan kontrol. Pada bulan Juli 2019 penulis telah menyelesaikan tugas akhir dengan judul “*Hazop (Hazard And Operability) Analysis and SIL Determination in Steam Turbine 103-Jt Using LOPA (Layer Of Protection) Factory I PT.Petrokimia Gresik*”.

Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email [IsrousSaidahITS@gmail.com](mailto:IsrousSaidahITS@gmail.com).