



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

***HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOPS)  
BERBASIS LAYER OF PROTECTION ANALYSIS  
(LOPA) PADA FIRST EFFECT EVAPORATOR  
DI PT. POLYCHEM INDONESIA, Tbk - MERAK***

**AUDI ABRAHAM MAENGGOM  
NRP 2413 100 027**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



FINAL PROJECT - TF 141581

***HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOPS)  
BERBASIS LAYER OF PROTECTION ANALYSIS  
(LOPA) PADA FIRST EFFECT EVAPORATOR  
DI PT. POLYCHEM INDONESIA, Tbk - MERAK***

**AUDI ABRAHAM MAENGGOM  
NRP 2413 100 027**

**Supervisor  
Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc.**

**ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Audi Abraham Maengkom

NRP : 2413100027

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul **“HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOPS) BERBASIS LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA) PADA FIRST EFFECT EVAPORATOR DI PT. POLYCHEM INDONESIA, Tbk - MERAK”** adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 12 Juni 2017  
Yang membuat pernyataan,



Audi Abraham Maengkom  
NRP. 2413100027

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOPS)  
BERBASIS LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA)  
PADA FIRST EFFECT EVAPORATOR DI PT. POLYCHEM  
INDONESIA, Tbk - MERAK**

**TUGAS AKHIR**

**OLEH**

**Audi Abraham Maengkom**  
**NRP. 2413 100 027**

**Surabaya, 28 Juli 2017**

**Mengetahui,  
Dosen Pembimbing**

**Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.**  
**NIP: 19600901 198701 1 001**

**Menyetujui,  
Kepala Departemen Teknik Fisika FTI-ITS**



**Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph.D**  
**NIP: 19780902 200312 1 002**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOPS)  
BERBASIS LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA)  
PADA FIRST EFFECT EVAPORATOR DI PT. POLYCHEM  
INDONESIA, Tbk - MERAK**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**AUDI ABRAHAM MAENGGOM**  
NRP. 2413 100 027

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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



..... Pembimbing

2. Hendra Cordova, S.T, M.T



..... Ketua Penguji

3. Dr.rer.nat. Ir. Aulia Muhammad



..... Penguji I

Taufiq Nasution, M.Sc

**SURABAYA**  
**Juli, 2017**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOPS)  
BERBASIS LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA)  
PADA FIRST EFFECT EVAPORATOR DI PT. POLYCHEM  
INDONESIA, Tbk - MERAK**

**Nama Mahasiswa : AUDI ABRAHAM MAENGGOM**  
**NRP : 2413 100 027**  
**Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS**  
**Dosen Pembimbing: Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc.**

**Abstrak**

PT Polychem Indonesia Tbk merupakan satu-satunya perusahaan yang memproduksi Etilen Glikol di Indonesia dengan kapasitas Produksi sebesar 120.000 MTPY, produk dari perusahaan dipakai oleh Negara sendiri dan juga di ekspor ke beberapa Negara Asia dan Eropa. Beroperasi sejak tahun 1989, salah satu unit *Evaporator* (T-531) di PT. Polychem Indonesia ini pernah mengalami kebocoran dan kerusakan dinding tabung *evaporator*. Hal tersebut diakibatkan tidak berfungsinya alarm dan pembiaran terhadap keadaan tabung yang sudah tidak layak pakai. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan *Hazard and Operability Study* (HAZOPS) berbasis *Layer of Protection Analsys* (LOPA) untuk menentukan nilai SIL. Berdasarkan penelitian, didapatkan bahwa sebanyak 9 *impact events* pada T-531 bernilai SIL 1 dan 4 *impact events* pada T-531 bernilai SIL 0. Sehingga direkomendasikan untuk pemasangan Pressure Alarm (PAHH, PALL) pada FT-511 dan Flow Alarm (FAHH, FALL) pada FT-513.

**Kata Kunci: *Evaporator, Safety, HAZOPS, LOPA, SIL***

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOPS)  
BERBASIS LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA)  
PADA FIRST EFFECT EVAPORATOR DI PT. POLYCHEM  
INDONESIA, Tbk - MERAK**

**Name** : AUDI ABRAHAM MAENGGOM  
**NRP** : 2413 100 027  
**Department** : Engineering Physics FTI-ITS  
**Supervisor** : Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

**Abstract**

*PT Polychem Indonesia Tbk is the only company producing Ethylene Glycol in Indonesia with a production capacity of 120,000 MTPY, the products of the company are used by the State itself and also exported to several Asian and European countries. Operating since 1989, one of Evaporator unit (T-531) in PT. Polychem Indonesia has experienced leakage and damage to evaporator tube walls. This is due to the non-functioning of the alarm and the omission of the state of the tube that is not feasible to use. In this Final Project will be done Hazard and Operability Study (HAZOPS) based on Layer of Protection Analysis (LOPA) to determine SIL value. Based on the research, it was found that 9 impact events on T-531 were SIL 1 and 4 impact events on T-531 worth SIL 0. So it was recommended to install Pressure Alarm (PAHH, PALL) on FT-511 and Flow Alarm (FAHH, FALL ) On the FT-513.*

**Keyword:** *Evaporator, Safety, HAZOPS, LOPA, SIL*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur senantiasa terpanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi berkat dan rahmatnya. Atas petunjuk, dan karunia-Nya penulis telah melaksanakan tugas akhir periode genap tahun ajaran 2016/2017 sampai dengan menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul :

### ***HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOPS) BERBASIS LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA) PADA FIRST EFFECT EVAPORATOR DI PT. POLYCHEM INDONESIA, Tbk - MERAK***

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat memenuhi mata kuliah TF 141581 - Tugas Akhir di Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Terselesainya tugas akhir ini tidak lepas dari berbagai pihak yang telah membantu, maka pada kesempatan kali ini ijinkan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan serta gambaran umum terkait HAZOPS dan LOPA.
2. Agus Muhamad Hatta, ST, Msi, Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika FTI-ITS.
3. Seluruh Dosen Teknik Fisika FTI-ITS yang telah memberikan dukungan dan ilmunya kepada penulis.
4. Keluarga tercinta yang selalu mendoakan, mendukung serta mengijinkan untuk melaksanakan Tugas Akhir di PT. Polychem Indonesia Tbk.
5. Bapak Alamsyah selaku Kepala Bagian HRD PT. Polychem Indonesia yang telah mengijinkan penulis untuk melakukan pengambilan data.
6. Segenap Dewan Direksi PT. Polychem Indonesia Tbk. yang telah memberikan ijin pengambilan data kepada penulis.

7. Bapak Taufan Prihadi, Mr Chung dan Bapak David C Castro selaku Manajer dan Advisor Divisi Electric & Instrumentation yang telah membantu penulis.
8. Bapak Anang selaku pembimbing di PT. Polychem Indonesia Tbk.
9. Pak Didik, Pak Supri, Pak Wijaya, Pak Herlan , Mas Recky, Pak Zainal, Pak Aa, Pak Agus Riyanto, Pak Antan, pak Nofal, Pak Dwiyanto dan Pak Bowo serta staf dan karyawan PT. Polychem Indonesia Tbk yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas segala bantuan yang diberikan kepada penulis.
10. Teman-teman di Kota Cilegon Galih Budi, Alfian Fadli, Dwityo Naufal, Febrianto Bimo dan Adhi Thya yang telah membantu segala kebutuhan hidup di Cilegon
11. Seluruh teman-teman Teknik Fisika angkatan 2013, terima kasih atas bantuannya selama ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih terdapat kekurangan baik dari segi isi, cara penyampaian maupun teknik penulisan sehingga kritik dan saran akan penulis terima dengan lapang dada.

Akhirnya, semoga laporan ini dapat bermanfaat serta menambah pengetahuan dan wawasan baik bagi pembaca maupun penulis sendiri.

Surabaya, 3 Juni 2017  
Penulis

Audi Abraham Maengkom  
NRP. 2413 100 027

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>v</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Laporan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 <i>First Effect Evaporator</i> T-531 .....	5
2.2 <i>Safety Integrity Level (SIL)</i> .....	6
2.3 <i>Hazard and Operability Study (HAZOPS)</i> .....	8
2.4 <i>LOPA</i> .....	11
2.5 <i>Control Chart Xbar-S</i> .....	15
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>17</b>
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	17
3.2 Tahap-tahap Penelitian.....	18
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAH</b> .....	<b>21</b>
4.1 Alur Proses Pemekatan Glikol .....	21
4.2 Analisis Resiko.....	22
4.3 Analisis <i>Cause and Consequences</i> .....	28
4.4 Analisis HAZOP .....	34
4.5 Analisis <i>Layer of Protection Analysis (LOPA)</i> .....	38

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>43</b>
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>45</b>
<b>LAMPIRAN A P&amp;ID T-531</b>	
<b>LAMPIRAN B WORKSHEET HAZOPS</b>	
<b>LAMPIRAN C DATA PROSES</b>	
<b>LAMPIRAN D DATA MAINTENANCE</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	<i>First Effect Evaporator (T-531)</i> .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	<i>layer LOPA</i> .....	12
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Flowchart</i> .....	17
<b>Gambar 4.1</b>	Probability Failure on Demand .....	21
<b>Gambar 4.2</b>	Risk Matrix PT. Polychem Indonesia .....	22
<b>Gambar 4.3</b>	P&ID T-531 .....	23
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Xbar-S untuk PT-222.....	24
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Xbar-S untuk LT-222.....	26
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Xbar-S untuk FT-221.....	27

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Kriteria SIL (IEC 61508).....	8
<b>Tabel 2.2</b>	Guide Words HAZOPS .....	9
<b>Tabel 2.3</b>	Analisa Proses HAZOPS .....	10
<b>Tabel 2.4</b>	Format Kerja HAZOPS .....	11
<b>Tabel 4.1</b>	Analisa <i>Cause and consequences</i> HAZOPS.....	28
<b>Tabel 4.2</b>	Risk Ranking .....	32
<b>Tabel 4.3</b>	Perhitungan LOPA.....	35

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

PT Polychem Indonesia Tbk memiliki 2 divisi yaitu divisi kimia didirikan pada tahun 1989 dan terletak di kabupaten Serang, Banten dan divisi Polyester yang didirikan pada tahun 1978. PT Polychem Indonesia Tbk merupakan satu-satunya jenis pabrik Petrochemical penghasil Ethylene Glycole di Indonesia dengan produk utamanya yaitu Ethoxylate, Monoethylene Glycole (MEG), Diethylene Glycole (DEG) dan Triethylene Glycole (TEG) untuk divisi kimia. Untuk memenuhi kebutuhan Ethylene Glycole local maupun interlokal maka PT Polychem Indonesia Sendiri memproduksi 200.000 Ton Ethylene Glycole setiap tahunnya. PT Polychem Indonesia Tbk divisi Kimia terdiri dari dua unit Plant [1]. Dalam proses produksi Produknya yang didukung dengan sistem terdistribusi (DCS) dalam proses monitoring dan Interface kontrol serta variable dan parameter penting dalam pengolahannya sehingga operator serta insinyur yang bekerja didalamnya dapat mengantisipasi adanya indikasi kekeliruan dari variabel.

Evaporator merupakan salah satu alat yang banyak digunakan di industri kimia untuk memekatkan suatu larutan. Peristiwa yang terjadi pada proses di evaporator adalah evaporasi. Sedangkan pengertian evaporasi sendiri merupakan proses perubahan molekul yang memiliki fasa cair dengan spontan menjadi fasa gas. Proses ini adalah kebalikan dari kondensasi. Aplikasi dari evaporasi pun sangat bermacam-macam. Hampir seluruh proses di industri menggunakan prinsip evaporasi sebagai salah satu proses yang ditempuh untuk menghasilkan suatu produk. Salah

satunya, PT Polychem Indonesia yang merupakan salah satu perusahaan dalam industri kimia ini pun juga menggunakannya. Proses evaporasi ini salah satu proses yang sangat penting dalam proses pemekatan glikol yaitu pengurangan kadar air untuk memperoleh konsentrat glikol yang tinggi [2]. Untuk melakukan proses evaporator tersebut, dibutuhkan alat Multiple Effect Evaporator agar energi yang dikeluarkan untuk melangsungkan evaporasi dapat dimanfaatkan dengan efisien. Dalam rangkaian Multiple Effect Evaporator, terdapat First Effect Evaporator dimana tangki evaporator ini memiliki tekanan dan suhu yang paling tinggi dibandingkan rangkaian tangki evaporator selanjutnya. Sehingga dalam pengoperasiannya dibutuhkan prosedur kerja bahkan elemen pengaman yang sesuai standar untuk mengurangi bahaya atau resiko kecelakaan kerja bagi perusahaan.

*Hazard and Operability Study (HAZOPS)* adalah suatu teknik identifikasi dan analisis bahaya yang formal, sistematis, logis, dan terstruktur untuk meninjau suatu proses atau operasi pada sebuah sistem secara otomatis dan menguji potensi deviasi operasi dari kondisi desain yang dapat menimbulkan masalah operasi proses dan bahaya [3]. Bahaya dapat dihitung dengan analisa kuantitatif dan kualitatif. *Safety Integrity Level (SIL)* adalah tingkat integritas keselamatan dari suatu system, lebih tepatnya probabilitas dari *safety-related system* yang melakukan fungsi *safety* dalam segala kondisi dan waktu yang ditentukan<sup>[2]</sup> Nilai SIL menunjukkan nilai kemanan dari sebuah system. Semakin tinggi nilai SIL maka semakin tinggi pula tingkat kemanan dari system tersebut. Tujuan utama dari perhitungan nilai SIL adalah untuk mengidentifikasi semua *Safety Instrumented Function (SIF)*

dan menentukan performansi kerja dari SIF tersebut. Salah satu metode untuk menghitung SIL adalah *Layer of Protection Analysis*. Dengan lapisan analisis (LOPA) estimasi frekuensi dari suatu peristiwa akan dibandingkan dengan frekuensi dampak yang diterima[3].

### 1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang sebelumnya, maka permasalahan yang dapat diambil yaitu:

- a. Bagaimana melakukan analisis bahaya dengan menggunakan metode HAZOPS pada *First Effect Evaporator* di PT. Polychem Indonesia ?
- b. Bagaimana menentukan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) pada *First Effect Evaporator* di PT. Polychem Indonesia dengan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA)?
- c. Bagaimana meningkatkan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) pada *First Effect Evaporator* di PT. Polychem Indonesia?

### 1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan sebelumnya, maka tujuan yang dapat diambil yaitu:

- a. Mengetahui hasil analisis HAZOPS pada *First Effect Evaporator* di PT. Polychem Indonesia.
- b. Mengetahui nilai *Safety Integrity Level* (SIL) dengan menggunakan metode LOPA pada *First Effect Evaporator* di PT. Polychem Indonesia..
- c. Memodelkan *Safety Instrumented System* (SIS) untuk meningkatkan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) pada *First Effect Evaporator* di PT. Polychem Indonesia.

#### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penenitian ini antara lain:

- a. Plant yang dianalisis adalah *First Effect Evaporator* di PT. Polychem Indonesia.
- b. Analisa bahaya menggunakan metode HAZOPS
- c. Analisis *Safety Integrity Level* (SIL) menggunakan metode LOPA.

#### 1.5 Sistematika Laporan

Sistematika laporan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

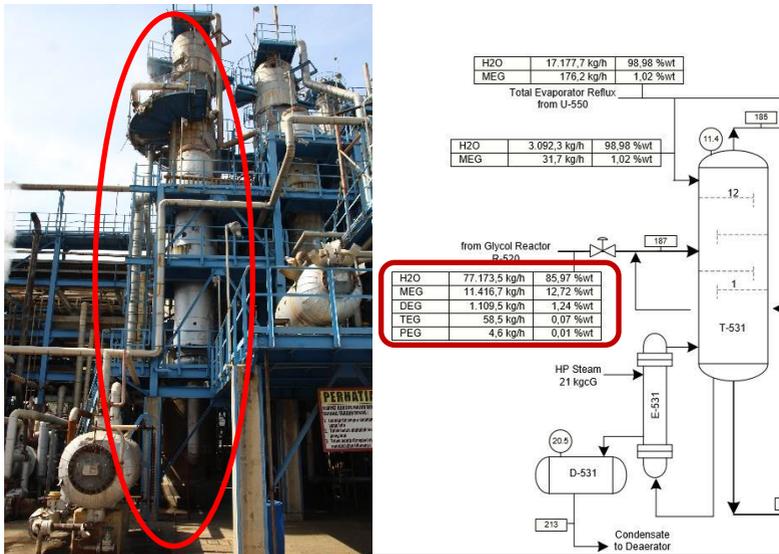
- a. Bab I Pendahuluan  
Berisi tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah dan sistematika laporan.
- b. Bab II Tinjauan Pustaka  
Berisi tentang teori yang berhubungan dengan proses evaporasi pada T-531 *First Effect Evaporator*, analisis HAZOPS, *Layer of Protection Analysis* (LOPA), serta perhitungan SIL dengan metode LOPA.
- c. Bab III Metodologi  
Berisi tentang metode yang digunakan dalam pengerjaan penelitian dan pengolahan data.
- d. Bab IV Analisis Data dan Pembahasan  
Berisi tentang evaluasi pengolahan data membuat *worksheet* HAZOPS, menghitung nilai SIL, serta mendesain ulang SIS untuk peningkatan SIL.
- e. Bab V Penutup  
Berisi tentang hasil penelitian, kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, serta saran sebagai bentuk keberlanjutan dan pengembangan penelitian selanjutnya

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *First Effect Evaporator T-531*

Secara keseluruhan, *Multiple Effect Evaporator* ini bekerja dalam satu rangkaian proses yang disebut *Glycol Concentrating Section* atau pemekatan glikol. Proses ini terdiri dari enam tahap pemekatan yaitu lima evaporator yang berhubungan (*5th Effect Evaporator*) yaitu T-531, T-532, T-533, T-534, T-535, serta Vacuum Effect Evaporator yaitu T-536 yang mempunyai dua belas tray. Keluaran reaktor R-520 yang mengandung 10% berat glikol pada temperatur 190°C diumpankan ke *First Effect Evaporator* ( T-531 ). Cairan ini diuapkan oleh panas yang dihasilkan oleh *First Effect Reboiler* (E-531) dengan menggunakan steam bertekanan tinggi. Kondensat dari steam ditampung dalam *First Effect Reboiler Condensate Tank Dearator* D-920 sebagai make up umpan boiler. Penguapan air dari cairan umpan disertai dengan penguapan glikol. Sebelum campuran uap tersebut keluar dari T-531 yang ikut teruap diserap oleh air reflux dari *Cycle Water Treating Unit* ( U-550 )

Uap yang keluar dari T-531 dengan kandungan glikol 0.008% berat digunakan sebagai sumber panas di dalam *Second Effect Reboiler* ( E-532 ), kondensatnya ditampung dalam D-532 kemudian di kirim ke dalam *Aldehyde Stripper* T-540. Di dalam T-540 kondensat dipanaskan oleh steam tekanan sedang, uap yang terbentuk dikirm ke *First Stage Reactor Feed Heater* ( E-521 ). Sedangkan yang tidak terkondensasi di tampung di *Third Stage Reboiler Condensate Tank* ( D-533 ). Keluaran T-531 dengan kadar air 83.39% berat di masukkan ke E-532 bersama sama dengan cairan sirkulasi dari *Second Effect Evaporator* ( T-532 ). Cairan ini diuapkan di dalam *Second Effect Reboiler* ( E-532 ), uap yang terbentuk kemudian di kontakkan dengan reflux dari U-550 sehingga glikol ikut terserap kembali



**Gambar 2.1** First Effect Evaporator T-531

Untuk melakukan kontrol level pada Multiple Effect Evaporator (e.x First Effect Evaporator), instrumen yang digunakan adalah Level Transmitter LT-510 yang akan mendeteksi informasi level pada tangki evaporator, setelah itu informasi tersebut akan dikirim ke DCS di control room melalui kabel. DCS akan menerjemahkan informasi level tersebut kedalam sebuah indikator pengontrol yaitu Level Indicator Control (LIC-510). LIC-510 diatur oleh DCS untuk mengontrol secara bertingkat (cascade control) terhadap Flow Indicator Control (FIC-503) yang terhubung dengan instrumen lapangan yaitu Flow Valve (FV-503) sebagai aktuator flow dari Glycol Stripper (T-510) menuju Glycol Feed Reactor (R-520) yang setelah itu akan diumpungkan ke First Effect Evaporator (T-531)

Untuk melakukan kontrol pressure pada tiap-tiap tangki evaporator, tekanan dalam tangki evaporator akan dideteksi oleh Pressure Transmitter (PT-511) yang akan diterima DCS sebagai

Pressure Indicator Control (PIC-511) dan akan diatur untuk mengendalikan aktuatur berupa Pressure Valve (PV-511)

## 2.2 *Safety Integrity Level (SIL)*

SIL dalam LOPA adalah kebutuhan untuk mereduksi resiko dari suatu alat *instrument* yang dikonfigurasi sebagai *Safety Instrumented System (SIS)* seperti *sensor*, *logic solver*, dan *final element*. (Lassen, 2008) Ketika terjadi suatu bahaya seperti *overtemperature*, *overspeed*, *overvibration*, *loss of flame* maka salah satu tindakan untuk mengatasi hal tersebut adalah *trip* (menghentikan segala kegiatan) proses tersebut agar tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan. Dengan mengetahui nilai SIL dari suatu alat instrumen maka *user* dapat membuat rekomendasi atas keputusan untuk menanggulangi bencana yang akan ataupun sudah terjadi. Kinerja SIS yang lebih baik dicapai dengan ketersediaan keamanan yang lebih tinggi. Kinerja SIS ditingkatkan dengan penambahan redundansi, tes yang lebih sering, penggunaan deteksi kesalahan, dan lain-lain. Beberapa pemahaman tentang bagaimana tiga tingkat SIL diimplementasikan adalah penting bagi proses keamanan dalam penentuan SIL. Dengan pemahaman tentang pentingnya aspek keselamatan dari SIS, termasuk apa yang dibutuhkan untuk mencapai SIL yang berbeda. Untuk mengetahui nilai SIL yang digunakan dalam suatu alat instrumen maka terlebih dahulu mengetahui nilai *intermediate event likelihood (IEL)* kemudian menentukan nilai *Probability of Failure on Demand (PFD)*. Dimana TMEL merupakan nilai target mitigasi kegagalan yang ingin dihindari. Setelah mengetahui nilai PFD dari masing-masing komponen kemudian dapat mencari tingkatan nilai SIL dengan melihat *range* nilai PFD yang tercantum pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Nilai Safety Integrity Level

<b>Kategori SIL</b>	<b>PFD SIF</b>	<b>RRF= (1/PFD)</b>
NR	$1 \leq \text{PFD}$	$\text{RRF} \leq 1$
SIL 0	$10^{-1} \leq \text{PFD} < 1$	$1 < \text{RRF} \leq 10$
SIL 1	$10^{-2} \leq \text{PFD} < 10^{-1}$	$10 < \text{RRF} \leq 100$
SIL 2	$10^{-3} \leq \text{PFD} < 10^{-2}$	$100 < \text{RRF} \leq 1.000$
SIL 3	$10^{-4} \leq \text{PFD} < 10^{-3}$	$1.000 < \text{RRF} \leq 10.000$
SIL 4	$10^{-5} \leq \text{PFD} < 10^{-4}$	$10.000 < \text{RRF} \leq 100.000$

Sumber : ISA TR 84.00.02-2002.

Untuk SIL 1 memiliki tingkat resiko yang besar sehingga memiliki laju kegagalan yang tinggi. Sedangkan SIL 4 memiliki tingkat keamanan yang tinggi sehingga resiko timbulnya laju kegagalan juga semakin kecil.

Berikut ini salah satu metode kuantitatif untuk menentukan *Probabilitas of Failure on Demand* (PFD) dan nilai:

$$PFD_{SIL} = \frac{TMEL}{IEL} \quad (2.1)$$

Dimana :

TMEL = *Target Mitigated Event Likelihood*

IEL = *Intermediete Event Likelihood*

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n \times P_P \times P_I \times P_{Tr} \quad (2.2)$$

Laju kegagalan ( $\lambda$ ) selain diperoleh dari data kegagalan yang dimiliki suatu perusahaan juga bisa didapatkan dengan menggunakan data dari OREDA. Dari Nilai PFD yang telah

didapatkan bisa digunakan untuk merepresentasikan nilai *Safety Integrity Level (SIL)* yang dipakai pada komponen,

### 2.3 *Hazard and Operability Study (HAZOPS)*

*Hazard and Operability Study (HAZOPS)* adalah suatu teknik identifikasi dan analisis bahaya yang formal, sistematis, logical, dan terstruktur untuk meninjau suatu proses atau operasi pada sebuah sistem secara otomatis dan menguji potensi deviasi operasi dari kondisi desain yang dapat menimbulkan masalah operasi proses dan bahaya. (Rausand, 2004).

Terdapat empat tujuan dasar dari analisis studi HAZOP (Nolan, 1994) yaitu:

- a. Untuk mengidentifikasi penyebab-penyebab dari semua perubahan penyimpangan dalam fungsi proses.
- b. Untuk menentukan semua bahaya-bahaya mayor dan permasalahan operasi.
- c. Untuk memutuskan aksi apa yang dibutuhkan untuk mengontrol bahaya atau permasalahan *operability*
- d. Untuk meyakinkan bahwa aksi-aksi yang telah diputuskan terimplementasi dan terdokumentasi.

Adapun dibutuhkan beberapa informasi terlebih dahulu sebelum melakukan HAZOP studi yaitu diantaranya :

Untuk Preliminary HAZOPS :

- *Process Flow Diagram*
- Deskripsi dari proses tersebut

Untuk Detail HAZOPS :

- *Piping and Instrument Diagram (P&ID)*
- *Process Calculation*
- *Process Data Sheets*
- *Instrument Data Sheets*
- *Interlock Schedules*
- *Layout Requirements*
- *Hazardous Area Classification*

- *Schedule of alarm trip setting, cause and effect chart*
- *Piping Material Specifications, Main Piping Layout and Elevation Drawing*<sup>[7]</sup>

Konsep dari “NODE” :

Dalam studi HAZOPS, *review team* harus mengidentifikasi area-area atau komponen-komponen dari sistem yang akan dianalisa selama proses review. Dalam industry kimia, terdapat komponen-komponen individu yang mengacu pada “node-node”. Terdapat tiga kriteria dasar dalam mengidentifikasi node-node yang akan direview (Dennis P. Nolan, 1994) yaitu:

- Membagi fasilitas kedalam sistem proses dan subsistem.
- Mengikuti aliran proses dari sistem.
- Mengisolasi subsistem kedalam koponen mayor yang mencapai sebuah objek tunggal seperti peningkatan tekanan, pemisahan gas-gas, penghilangan air dll.

*Guide Words* dan Parameter HAZOPS :

*Guide Words* merupakan kata-kata mudah (*simple*) yang digunakan untuk desain secara kualitatif atau kuantitatif dan sebagai penunjuk serta simulasi proses brainstorming untuk mengidentifikasi bahaya-bahaya proses. Sedangkan proses parameter merupakan properti kimia atau fisika dengan proses, meliputi item-item general seperti *reaction*, *mixing*, *concentration*, pH, dan item-item yang spesifik seperti *temperature*, *pressure*, *phase*, dan *flow*. Berikut merupakan contoh dari *guide words* dan parameter proses HAZOP pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** *Guide Words* HAZOP

<b>Guide Words</b>	<b>Meaning</b>
No	Negation of the Design Intent
Less	Quantitative Decrease

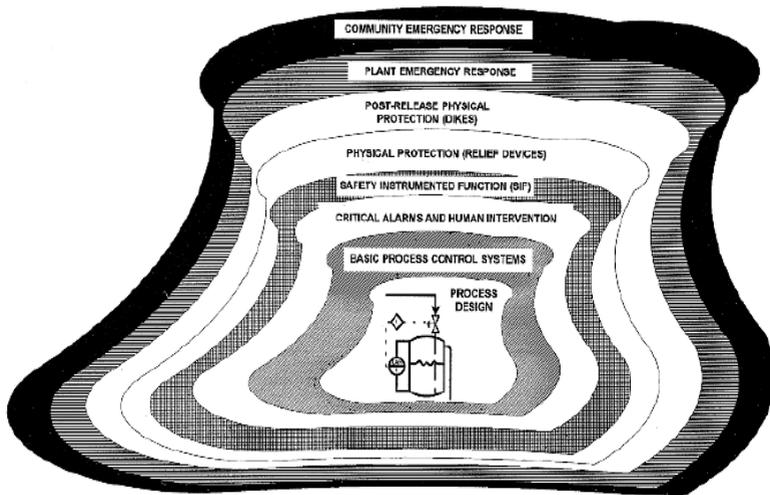


## 2.4 *Layer of Protection Analysis*

LOPA adalah cara untuk menganalisis SIL dan SIS dari suatu sistem serta mengevaluasi layer proteksi lainnya dengan cara melihat mitigation risk dari layer proteksi tersebut. (John Day, 2008) Identifikasi bahaya menggunakan HAZOP. (Silvana D. Costa, 2015) Setiap zone/system akan dibagi menjadi sub-sub system guna diidentifikasi bahayanya berdasarkan layer of protection (LOPA) dimulai dari (1) layer Process Design, (2) layer Basic Process Control system (BPCS), (3) layer Alarm System, (4) layer Emergency Shutdown System (ESD) dan (5) layer Passive Protection yang ada pada setiap sub-system. Dimana setiap bahaya mempunyai probabilitas (likelihood) dan konsekuensinya (Impact) terhadap personal, lingkungan, aset dan reputasi, sehingga dapat dihitung tingkat risikonya untuk dibandingkan dengan “Risk Matrix” perusahaan terkait. *Layer of Protection Analysis* (LOPA) merupakan alat semikuantitatif untuk menganalisa dan menilai resiko (Center for Chemical Process Safety, 2001).

LOPA dapat secara efektif digunakan pada tiap poin siklus dari sebuah proses atau fasilitas. Input kunci dari LOPA adalah skenario yang diperoleh dari identifikasi potensi bahaya. Tujuan utama LOPA adalah untuk memastikan bahwa telah ada lapisan perlindungan yang sesuai untuk melawan skenario kecelakaan. Skenario mungkin membutuhkan satu atau lebih lapisan perlindungan tergantung pada kompleksitas proses dan *severity* dari sebuah

*consequence*. Untuk skenario yang diberikan, hanya satu lapisan perlindungan yang harus berhasil bekerja mencegah *consequence*. Walaupun tidak ada lapisan yang efektif dengan sempurna, lapisan perlindungan yang cukup harus disediakan agar resiko kejadian dapat ditolerir. Berikut merupakan contoh dari LOPA (sumber: *Center for Chemical Process Safety*, 2001).



**Gambar 2.2** *Layer LOPA*

Karakteristik lapisan perlindungan dan bagaimana mereka seharusnya dikelompokkan sebagai IPL dalam metode LOPA dibahas pada penjelasan di bawah ini:

#### **a. Process Design**

Pada banyak perusahaan, diasumsikan bahwa beberapa skenario tidak dapat terjadi karena desain *inherently safer* pada peralatan dan proses. Pada perusahaan lainnya, beberapa fitur pada desain proses yang *inherently safer* dianggap *nonzero* PFD

masih terjadi-artinya masih mungkin mengalami kegagalan industri. Desain proses harus dianggap sebagai IPL, atau ditetapkan sebagai metode untuk mengeliminasi skenario, tergantung pada metode yang digunakan oleh organisasi.

***b. Basic Process Control System (BPCS)***

BPCS meliputi kendali manual normal, adalah level perlindungan pertama selama operasi normal. BPCS didesain untuk menjaga proses berada pada area selamat. Operasi normal dari BPCS *control loop* dapat dimasukkan sebagai IPL jika sesuai kriteria. Ketika memutuskan menggunakan BPCS sebagai IPL, analis harus mengevaluasi efektifitas kendali akses dan sistem keamanan ketika kesalahan manusia dapat menurunkan kemampuan BPCS.

***c. Critical Alarms and Human Intervention***

Sistem ini merupakan level perlindungan kedua selama operasi normal dan harus diaktifkan oleh BPCS. Tindakan operator, diawali dengan alarm atau observasi, dapat dimasukkan sebagai IPL ketika berbagai kriteria telah dapat memastikan keefektifan tindakan.

***d. Safety Instrumented Function (SIF)***

SIF adalah kombinasi sensor, *logic solver*, dan *final element* dengan tingkat integritas keselamatan spesifik yang mendeteksi keadaan diluar batas dan membawa proses berada pada fungsi yang aman. SIF merupakan fungsi *independent* dari BPCS. SIF normalnya ditetapkan sebagai IPL dan desain dari suatu sistem, tingkat pengurangan, dan jumlah dan tipe pengujian akan menentukan PFD dari SIF yang diterima LOPA.

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

Alat ini, ketika ukuran, desain, dan perawatannya sesuai, adalah IPL yang dapat menyediakan perlindungan tingkat tinggi untuk mencegah tekanan berlebih. Keefektifan mereka dapat rusak akibat kotor dan korosi, jika *block valves* dipasang di bawah

*relief valve*, atau jika aktivitas inspeksi dan perawatan sangat memprihatinkan.

**f. *Post Release Protection (Dikes, Blast Walls, etc)***

IPLs ini adalah alat pasif yang dapat menyediakan perlindungan tingkat tinggi jika didesain dan dirawat dengan benar. Walaupun laju kegagalan mereka rendah, kemungkinan gagal harus dimasukkan dalam skenario.

**g. *Plant Emergency Response***

Fitur ini (pasukan pemadam kebakaran, sistem pemadaman manual, fasilitas evakuasi, dll) secara normal tidak ditetapkan sebagai IPLs karena mereka diaktifkan setelah pelepasan awal dan terlalu banyak variabel mempengaruhi keseluruhan efektifitas dalam mengurangi skenario.

**h. *Community Emergency Response***

Pengukuran ini, yang meliputi evakuasi komunitas dan tempat perlindungan secara normal tidak ditetapkan sebagai IPLs karena mereka diaktifkan setelah pelepasan awal dan terlalu banyak variabel mempengaruhi keseluruhan efektifitas dalam mengurangi skenario. Hal ini tidak menyediakan perlindungan terhadap personil *plant*.

Pada *Layer of Protection Analysis*, perhitungan nilai SIL dari *Safety Instrumented Function* (SIF) diperoleh dari nilai perbandingan *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL) dengan *Initiating Event Likelihood* (IEL) yang didapatkan dari perhitungan laju kegagalan komponen. Kategori tingkatan dari nilai SIL dapat dilihat pada tabel 2.1.

Penentuan TMEL disesuaikan dengan tingkat keparahan bahaya dan keamanan yang diharapkan oleh perusahaan. Terdapat standar yang mewakili tingkat keparahan yang telah diterjemahkan kedalam angka TMEL. Penjelasan tingkat keparahan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.4.

**Table 2.4** Target Mitigated Event Likelihood for safety hazards

<i>Severity Level</i>	<i>Safety consequence</i>	<i>Target mitigated event likelihood</i>
C <sub>A</sub>	<i>Single first aid injury</i>	<i>3.10<sup>-2</sup> per year</i>
C <sub>B</sub>	<i>Multiple first aid injuries</i>	<i>3.10<sup>-3</sup> per year</i>
C <sub>C</sub>	<i>Single disabling injury or multiple serious injuries</i>	<i>3.10<sup>-4</sup> per year</i>
C <sub>D</sub>	<i>Single on-site fatality</i>	<i>3.10<sup>-5</sup> per year</i>
C <sub>E</sub>	<i>More than one and up to three on-site fatalities</i>	<i>1.10<sup>-5</sup> per year</i>

Sumber: Nordhagen (2007)

## 2.5 Control Chart Xbar-S

*Control charts* merupakan salah satu kegiatan *statistic process control* untuk mengetahui karakteristik proses yang dikendalikan terhadap periode waktu tertentu. Selain itu juga untuk menentukan batas atas, bawah, dan kendali. Berdasarkan data proses yang plant dapat diketahui apakah proses tersebut dalam range kendali atau justru diluar kendali (*out of control*). Pada tugas akhir ini menggunakan *control chart* jenis Xbar dan S serta batas-batas kendali menggunakan *upper control limits* (UCL)/ batas kendalai atas, *lower control limits* (LCL)/ batas bawah, dan *center line* (CL) / batas tengah. Parameter *control chart* tersebut didapatkan dari perhitungan persamaan dibawah. (Howard, 2000)Nilai *factor limit* dapat dilihat pada lampiran E.

### *Xbar Chart*

$$CL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} \quad (2.3)$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S} \quad (2.4)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S} \quad (2.5)$$

*S Chart*

$$CL_S = \bar{s} \quad (2.6)$$

$$UCL_{\bar{s}} = B_4 \bar{s} \quad (2.7)$$

$$LCL_{\bar{s}} = B_3 \bar{s} \quad (2.8)$$

## Dimana

$\bar{X}$  = rata-rata data subgroup

$A_3$  = control limit factor (chart average)

$B_3$  &  $B_4$  = factor for control limits (chart standart deviation)

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

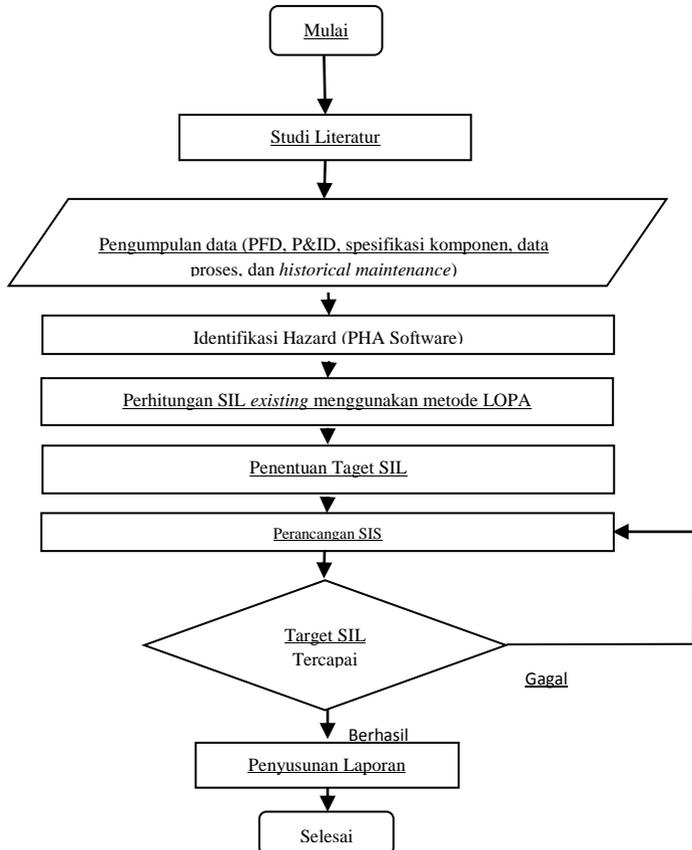
$\bar{S}$  = mean of standart deviation subgroup

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Flowchart Penelitian

Penelitian pada tugas akhir ini dirancang dengan beberapa tahapan, dapat dilihat pada diagram alir seperti pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

### 3.2 Tahap-Tahap Penelitian

Tahapan penelitian meliputi beberapa hal diantaranya:

a. Studi Literatur

Studi yang dilakukan terkait HAZOPS dengan metode LOPA, karakteristik proses evaporasi dan sistem instrumentasi dan kontrol pada plant. Sumber literatur berupa buku, jurnal penelitian, pustaka perusahaan, dan wawancara.

b. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengambil data P&ID, PFD, data spesifikasi komponen, dan *data maintenance* dari *First Effect Evaporator T-531*. Pengambilan data dilakukan selama satu bulan pada bulan Maret 2017.

c. Analisis *Hazard*

Analisis *hazard* dikerjakan dengan metode HAZOPS (*Hazard Operability Study*). Analisis meliputi risiko, peluang bahaya, serta deviasi yang terjadi pada *node First Effect Evaporator T-531* sehingga diketahui nilai resiko berdasarkan keseringan dan konsekuensi yang bisa terjadi. Tahapan dalam melakukan HAZOPS diantaranya:

- Menentukan node/ titik penijauan berdasarkan data P&ID. Dalam tugas akhir ini node pada sistem adalah *First Effect Evaporator T-531*.
- Menentukan komponen dan instrument yang digunakan dalam *node* yang mengukur parameter dari proses pada *node First Effect Evaporator T-531* seperti *level*, *temperature* dan *pressure*.
- Menentukan *guideword* yang didapat dari data proses pembacaan transmitter selama bulan Maret dan diplot pada *control chart* untuk mendapatkan deviasi dari pengendalian proses *First Effect Evaporator T-531*.
- Analisis terhadap *node* untuk penyimpangan yang mungkin terjadi serta sistem pengamanan yang telah ada sudah optimal atau membutuhkan tambahan rekomendasi.

- Sedangkan untuk MTTF didapat dari perhitungan data kegagalan yang menunjukkan laju kegagalan yang dihitung dengan persamaan 3.1.

$$MTTF = \frac{1}{\lambda (\text{failure rate})} \quad (3.1)$$

- Menganalisis konsekuensi yang timbul dari dampak yang diakibatkan karena penyimpangan pengendalian. Standar penentuan konsekuensi mengacu pada standar kriteria *Consequence* PT. Polychem Indonesia, Tbk.

d. Perhitungan SIL dengan *Layer of Protection Analysis*

Perhitungan SIL dengan metode LOPA melalui perhitungan dari tiap PFD komponen yang mewakili setiap event. Nilai SIL sistem *First Effect Evaporator* T-531 diperoleh dari keseluruhan PFD dari komponen SIS yang menyusun *node First Effect Evaporator* T-531 sehingga tingkat keamanan dapat diketahui.

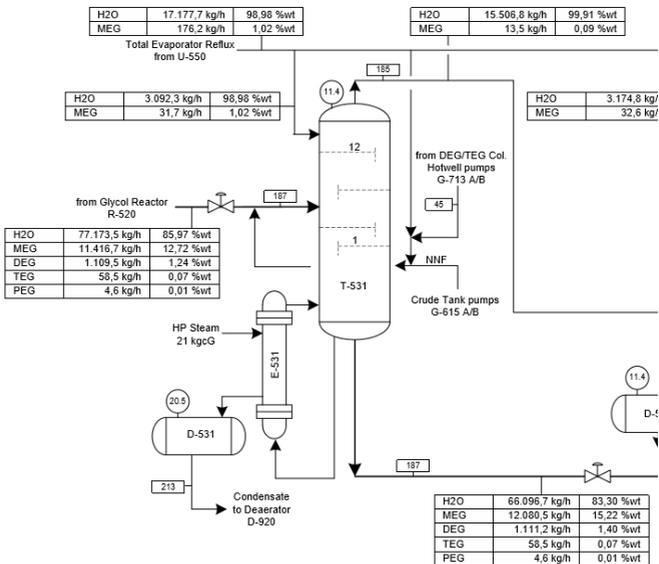
e. Penyusunan Laporan

Penulisan laporan sesuai dengan penelitian serta metodologi yang dilakukan. Serta ditulis hasil analisis yang didapatkan dari penelitian.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Proses Pemurnian Glikol



**Gambar 4.1** Process Flow Diagram T-531

Secara keseluruhan, *Multiple Effect Evaporator* ini bekerja dalam satu rangkaian proses yang disebut *Glycol Concentrating Section* atau pemekatan glikol. Proses ini terdiri dari enam tahap pemekatan yaitu lima evaporator yang berhubungan (*5th Effect Evaporator*) yaitu T-531, T-532, T-533, T-534, T-535, serta Vacuum Effect Evaporator yaitu T-536 yang mempunyai dua belas tray. Keluaran reaktor R-520 yang mengandung 10% berat glikol pada temperatur 190°C diumpankan ke *First Effect Evaporator* ( T-531 ). Cairan ini diuapkan oleh panas yang dihasilkan oleh *First Effect Reboiler* (E-531) dengan

menggunakan steam bertekanan tinggi. Kondensat dari steam ditampung dalam *First Effect Reboiler Condensate Tank Dearator* D-920 sebagai make up umpan boiler. Penguapan air dari cairan umpan disertai dengan penguapan glikol. Sebelum campuran uap tersebut keluar dari T-531 yang ikut teruap diserap oleh air reflux dari *Cycle Water Treating Unit* ( U-550 ). Uap yang keluar dari T-531 dengan kandungan glikol 0.008% berat digunakan sebagai sumber panas di dalam *Second Effect Reboiler* ( E-532 ).

## 4.2 Analisa Resiko

Dalam melaksanakan analisa resiko yang terjadi pada sebuah *equipment*, dibutuhkan acuan dasar yang digunakan sebagai pedoman dalam klasifikasi *risk* (resiko), *likelihood* (keseringan), dan *severity* (keparahan) dalam melaksanakan prosedur HAZOPS. Standar yang digunakan adalah *Risk Matrix* milik perusahaan terkait.

HEALTH, SAFETY, AND ENVIRONMENT  
DEPT. POLYCHEM INDONESIA, TBK

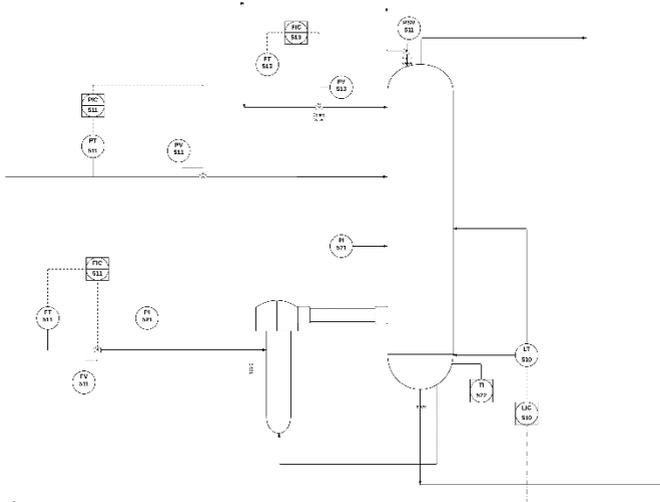


TABEL RESIKO DIV.KIMIA

		SEVERITY (KONSEKUENSI)				
		Kritis (5)	Sangat Serius (4)	Serius (3)	Minor (2)	Tidak Berarti (1)
LIKELIHOOD (FREKUENSI TERJADI)	Sangat Sering Terjadi (5)	25 Operasi Tidak Diperbolehkan	20 Operasi Tidak Diperbolehkan	15 Prioritas Tinggi	10 Butuh Penanganan Khusus	5 Dapat Diterima
	Sering Terjadi (4)	20 Operasi Tidak Diperbolehkan	16 Operasi Tidak Diperbolehkan	12 Prioritas Tinggi	8 Butuh Penanganan Khusus	4 Dapat Diterima
	Sesekali Terjadi (3)	15 Prioritas Tinggi	12 Prioritas Tinggi	9 Butuh Penanganan Khusus	6 Dapat Diterima	3 Dapat Diterima
	Jarang Terjadi (2)	10 Butuh Penanganan Khusus	8 Butuh Penanganan Khusus	6 Dapat Diterima	4 Dapat Diterima	2 Dapat Diterima
	Hampir Tidak Pernah Terjadi (1)	5 Dapat Diterima	4 Dapat Diterima	3 Dapat Diterima	2 Dapat Diterima	1 Dapat Diterima

**Gambar 4.2** *Risk Matrix* PT. Polychem Indonesia, Tbk.

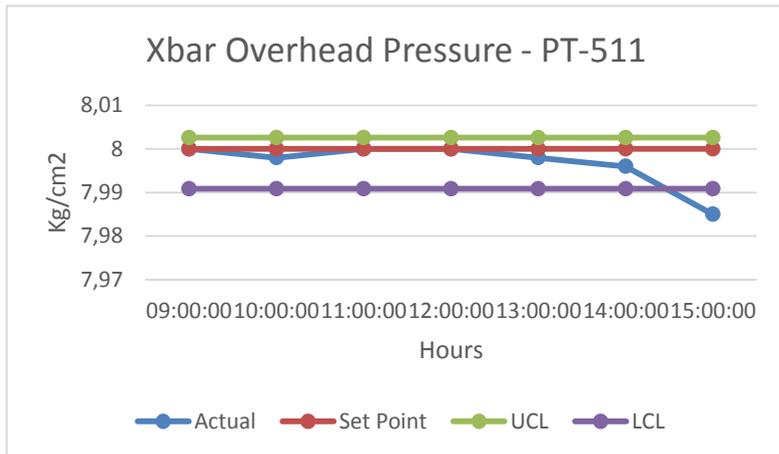
- **Penentuan *Guide Word* dan Deviasi**



**Gambar 4.3** P&ID *First Evaporator*

*Guide word* yang digunakan untuk node Pemekatan Glikol ini berdasarkan data proses pemekatan glikol pada First Effect Evaporator (T-531) selama 6 jam dengan interval 1 jam dalam kurun waktu 1 minggu yang diperoleh dari sensor *pressure transmitter* 511, *flow transmitter* 511, dan *level transmitter* 510 yang dilengkapi dengan data kualitatif subyektif dari operator di lapangan mengenai karakteristik masing-masing *transmitter*. *Guide word* yang diperoleh akan menjadi parameter dalam pelaksanaan HAZOPS.

	Overhead Pressure (Kg/cm <sup>2</sup> )			
	Actual	Set Point	UCL	LCL
09:00:00	8	8	8.0025	7.9908
10:00:00	7.998	8	8.0025	7.9908
11:00:00	8	8	8.0025	7.9908
12:00:00	8	8	8.0025	7.9908
13:00:00	7.998	8	8.0025	7.9908
14:00:00	7.996	8	8.0025	7.9908
15:00:00	7.985	8	8.0025	7.9908

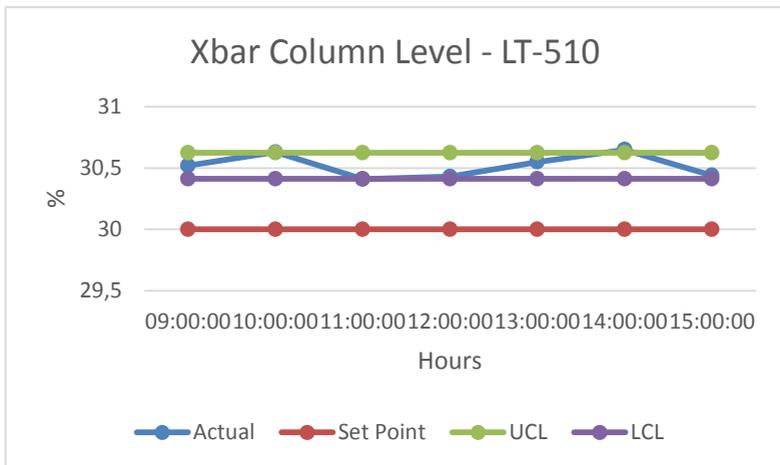


**Gambar 4.4** Grafik *X bar* S PT-511

Sesuai dengan *chart* pada gambar 4.4 di atas, nilai *Xbar* atau rata-rata tekanan yang terdapat pada *First Effect Evaporator* T-531 yang tercatat oleh PT-511 adalah sebesar 7.9967 Kg/cm<sup>2</sup>. Nilai batas atas (UCL) adalah 8.002587736 Kg/cm<sup>2</sup> dan nilai batas bawah (LCL) 7.990840835 Kg/cm<sup>2</sup>. *Set point* dari PT-511 adalah 8 Kg/cm<sup>2</sup>. Berdasarkan data proses yang dicatat, *actual*

*point* pada PT-511 berfluktuasi di atas dan dibawah *set point*, tetapi masih dalam *range* UCL dan LCL. Sehingga *guide word* yang digunakan adalah *low* dan *high*.

	Column Level (%)			
	Actual	Set Point	UCL	LCL
09:00:00	30.52	30	30.6245	30.4125
10:00:00	30.63	30	30.6245	30.4125
11:00:00	30.41	30	30.6245	30.4125
12:00:00	30.43	30	30.6245	30.4125
13:00:00	30.55	30	30.6245	30.4125
14:00:00	30.65	30	30.6245	30.4125
15:00:00	30.44	30	30.6245	30.4125

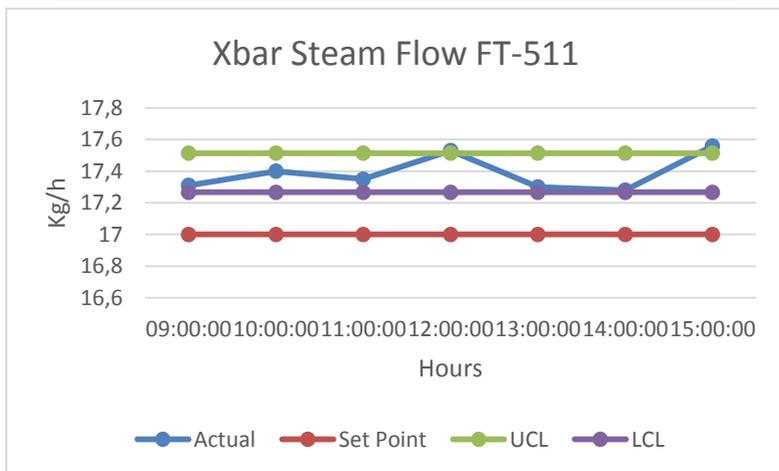


Gambar 4.5 **Grafik X bar S Chart LT-510**

Dari gambar 4.5 grafik *X bar Chart* LT-510, dapat diketahui bahwa rata-rata pembacaan LT-510 adalah 30.519 %. Dengan

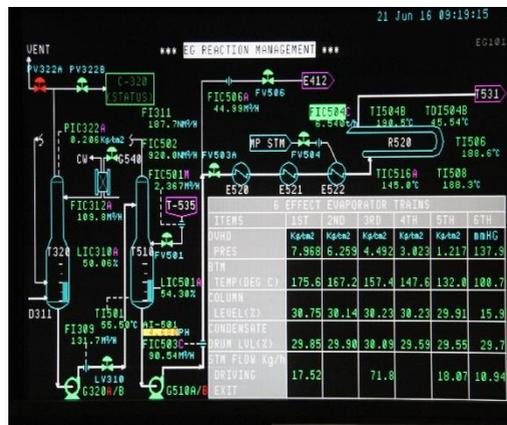
nilai batas atas (UCL) sebesar 30.6245 %, nilai batas bawah (LCL) sebesar 30.4125 %, dan set point yang ditentukan sebesar 30 %. Berdasarkan data tersebut, dapat dilihat *bahwa actual point* pada LT-510 berfluktuasi diantara *set point* tetapi masih didalam *range* UCL dan LCL, sehingga *guide word* yang digunakan adalah *low* dan *high*.

	Steam Exit Flow (Kg/h)			
	Actual	Set Point	UCL	LCL
09:00:00	17.31	17	17.5135	17.2664
10:00:00	17.4	17	17.5135	17.2664
11:00:00	17.35	17	17.5135	17.2664
12:00:00	17.53	17	17.5135	17.2664
13:00:00	17.3	17	17.5135	17.2664
14:00:00	17.28	17	17.5135	17.2664
15:00:00	17.56	17	17.5135	17.2664



**Gambar 4.6 Grafik X bar S Chart FT-511**

Berdasarkan Gambar 4.6, grafik *X bar Chart* FT-511, dapat diketahui bahwa rata-rata pembacaan FT-511 adalah 17.39 Kg/h. Dengan perhitungan standar deviasi, didapatkan nilai batas atas (UCL) sebesar 17.5135 Kg/h dan nilai batas bawah (LCL) sebesar 17.2664 Kg/h. *Set point* yang ditetapkan untuk FT-511 adalah 17 Kg/h. Berdasarkan data tersebut, dapat dilihat bahwa *actual point* pada LT-510 berfluktuasi diantara *set point* tetapi masih didalam *range* UCL dan LCL, sehingga *guide word* yang digunakan adalah *low*, *less*, dan *high*.



Gambar 4.5 Human Machine Interface pada DCS T-531

### 4.3 Analisis Potensi Bahaya dan Risiko Node gas scrubber V-222

Setelah dilaksanakan prosedur *Hazard and Operability Study* (HAZOPS) maka didapatkan analisis Cause and Consequences sebagai berikut :

Tabel 4.1 Analisis Cause and Consequences node T-531

Component	GW	DEVIATION	CAUSES	CONSEQUENCES
PT-511	High	Higher Pressure	1. Excess Fluid (Ethylene Glycol) Flow from R-520 (Reactor)	1.1. Potential overpressurization and may spoil the PV-511 and explode the T-531 1.2. Potential rupture of the vessel T-531
			2. High ambient temperature	2.1. Potential increase in pressure. Not likely to approach rated pressure of the T-531
			3. PSV-503 function failed	3.1. May occur leakage of the pipe along the R-520 to T-531
	Low	Lower Pressure	4. Flow valve FV-503A fails to open	4.1. Overpressurized T-510 and Overheated R-520 by hot steam
			5. Empty T-510 (Glycol Feed Stripper)	5.1. Delay in EG Production
			6. Sudden change in ambient temperature	6.1. Potential for too low flow to the production system
			7. PV-511 fail to close	7.1. T-531 lack of pressure
Component	GW	DEVIATION	CAUSES	CONSEQUENCES
FT-511	More	More Flow	1. Overflow of HP Steam	1.1. High Flow could damaged Flow Valve (FV-511)
				1.2. T-531 overheated by the hot steam
				1.3. T-531 may explode due to high temperature and pressure

	No	No Flow	2. HP Steam Flow Valve fail to open	2.1. Evaporator shut down, Process collapsed, and Production disturbed
			3. Steam Leakage on transmission (major)	3.1. Lack of Hot Steam in T-531, Failed output product
	Less	Less Flow	4. Steam Leakage on transmission (minor)	4.1. Lack of Hot Steam in T-531, Failed output product

Component	GW	DEVIATION	CAUSES	CONSEQUENCES
FT-513	More	More Flow	1. Overflow of Demineralized Water from Pump (G550A/B)	1.1. High Flow could damaged Flow Valve (FV-513) 1.2. T-531 overflow by the Demin. Water 1.3. T-531 may explode due to high pressure
	No	No Flow	2. G550A/B function failed to pump Demin Water	2.1. Evaporator shut down, Process collapsed, and Production disturbed
			3. Pipe Leakage on transmission (major)	3.1. Lack of Demin. Water in T-531, Failed output product
	Less	Less Flow	4. Pipe Leakage on transmission (minor)	4.1. Lack of Demin. Water in T-531, Failed output product
Component	GW	DEVIATION	CAUSES	CONSEQUENCES
LT-510	High	High Level	1. Overflow of Demineralized Water from Pump (G550A/B) – fail to pump	1.1.Overflow in evaporator T-531 could damaged the Vessel Tank. Rupture and Leakage may occur, or even can explode the tank. 1.2.Minimized company profit due to corrupted production process
			2. Overflow of Ethylene Glycol from PV-511 – fail to close	
			3. Overflow of HP Steam from Steam Flow Valve – fail to close	
			4. PSV-511 failed function	

		5. LV-513 failed to open	
Low	Low Level	<p>1. Less/No Flow of Demineralized Water from Pump (G550A/B) – fail to pump</p> <p>2. Less/No Flow of Ethylene Glycol from PV-511 – fail to close</p> <p>3. Less/No Flow of HP Steam from Steam Flow Valve – fail to close</p> <p>4. Leakage of T-531</p> <p>5. LV-513 failed to open</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Less/No Flow in Evaporator T-531 could disturb the process or even shut down the Evaporator</li> <li>• Minimized company profit due to corrupted production process</li> </ul>

Component	GW	DEVIATION	CAUSES	CONSEQUENCES
<b>PV-511</b>	Close	Fail to close	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control System Failure</li> <li>• Signal Transmitting- Receiving Trouble</li> <li>• Instrument Error</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• T-531 Overfilled by Ethylene Glycol</li> <li>• Low Level in R-520</li> <li>• May Occur Rupture/Leakage at T-531</li> <li>• May explode the T-531</li> </ul>
Component	GW	DEVIATION	CAUSES	CONSEQUENCES
<b>FV-511</b>	Close	Fail to close	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control System Failure</li> <li>• Signal Transmitting- Receiving Trouble</li> <li>• Instrument Error</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• T-531 Overfilled by HP Steam</li> <li>• Low Level in T-510</li> <li>• May Occur Rupture/Leakage at T-531</li> <li>• May explode the T-531 and possibly occur fire</li> </ul>
Component	GW	DEVIATION	CAUSES	CONSEQUENCES
<b>FV-513</b>	Close	Fail to close	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control System Failure</li> <li>• Signal Transmitting- Receiving Trouble</li> <li>• Instrument Error</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• T-531 Overfilled by Demin.Water</li> <li>• May Occur Rupture/Leakage at T-531</li> <li>• May explode the T-531</li> </ul>
Component	GW	DEVIATION	CAUSES	CONSEQUENCES
<b>FV-503A</b>	Close	Fail to close	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control System Failure</li> <li>• Signal Transmitting- Receiving Trouble</li> <li>• Instrument Error</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• T-531 Overfilled by Ethylene Glycol</li> <li>• Low Level in T-510</li> <li>• May Occur Rupture/Leakage at T-531</li> <li>• May explode the T-531</li> </ul>

#### 4.4 Analisis Risk Ranking dan Evaluasi HAZOPS

Dari hasil analisis HAZOPS yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa risiko yang dapat terjadi pada unit *First Effect Evaporator* T-531 terbagi menjadi empat kategori dengan persentase sebagai berikut :

- Dapat Diterima = 13 kejadian (50 %)
- Butuh Penanganan Khusus = 8 kejadian (30.8 %)
- Prioritas Tinggi = 5 kejadian (19.2 %)
- Operasi Tidak Diperbolehkan = 0 kejadian (0 %)

Untuk mengurangi resiko tinggi yang ada, maka *risk ranking* yang termasuk kategori Prioritas Tinggi dan Operasi Tidak Diperbolehkan akan dianalisis kembali dengan metode LOPA.

#### 4.5 Layer of Protection Analysis (LOPA)

Pada bagian ini, akan dilakukan perhitungan *Safety Integrity Level* (SIL) dengan metode LOPA. *Protection layer* terdiri atas *general process design*, *Basic Process Control System* (BPCS), *alarm*, serta *additional mitigation layer*. *General process design* merupakan salah satu *protection layer* dengan probabilitas kegagalan yang kecil. BPCS merupakan salah satu *protection layer* yang bertujuan mengevaluasi jalannya *access control* serta sistem keamanan yang memiliki pengaruh besar terhadap kesalahan yang dilakukan oleh manusia. *Alarm* merupakan *protection layer* tingkat kedua setelah BPCS. *Alarm* diaktifkan oleh BPCS dan bergantung pada operator. *Additional mitigation layer* merupakan salah satu *protection layer* yang bersifat mekanikal, struktural atau sesuai prosedur yang bertujuan mencegah atau menjaga terjadinya bahaya awal. Dengan menggunakan rumus yang terampir pada standar LOPA, dapat dilakukan penghitungan IEL, PFDavg, RRF, dan nilai SIL untuk melakukan evaluasi dan rekomendasi pada *node First Effect Evaporator* T-531.

**Tabel 4.3** Hasil analisis LOPA

No.	Impact Event Description	Initiating Cause (Equipment)	ICL	Protection Layers *std1					IEL	SL	TMEL	PFDavg	RRF	SIL
				GPD	BPCS	ALARM	PSV	AMR						
1	Evaporator shut down, Process collapsed, and Production disturbed	FT-513 function failed	0.664	0.1	0.1	-	0.1	1	6.64E-04	CE	1.00E-05	0.015	66.418	<b>SIL 1</b>
2	Overpressurized T-510 and Overheated R-520 by hot steam, Delay in EG Production	PT-511 function failed	0.555	0.1	0.1	0.1	0.1	1	5.55E-05	CE	1.00E-05	0.180	5.548	<b>SIL 0</b>
3	T-531 may explode due to high temperature and pressure	FT-511 function failed	0.545	0.1	0.1	-	0.1	1	5.45E-04	CE	1.00E-05	0.018	54.501	<b>SIL 1</b>
4	Overfill in Evaporator T-531 could damaged the	LT-510 function failed	0.605	0.1	0.1	0.1	0.1	1	6.05E-04	CE	1.00E-05	0.017	60.495	<b>SIL 1</b>

	Vessel Tank. Rupture and Leakage may occur, or even can explode the tank.													
5	T-531 Overfilled by Demin.Water, Process disturbed.	FV-513 fail to close	0.663	0.1	0.1	-	0.1	1	6.63E-04	CE	1.00E-05	0.015	66.320	SIL 1
6	T-531 Overfilled by Ethylene Glycol, Explosion may occur	PV-511 fail to close	0.687	0.1	0.1	-	0.1	1	6.87E-04	CE	1.00E-05	0.015	68.689	SIL 1
7	Overheated vessel, T-531 Overfilled by HP Steam	FV-511 fail to close	0.625	0.1	0.1	0.1	0.1	1	6.25E-05	CE	1.00E-05	0.160	6.251	SIL 0
8	Overfilled T-531, Explosion may occur	FV-503A fail to close	0.560	0.1	0.1	-	0.1	1	5.60E-04	CE	1.00E-05	0.018	55.987	SIL 1
9	T-531 overheated by the hot steam	FT-511 more flow	0.545	0.1	0.1	-	0.1	1	5.45E-04	CE	1.00E-05	0.018	54.501	SIL 1
10	T-531 overfill by	FT-513	0.664	0.1	0.1	-	0.1	1	6.64E-	CE	1.00E-	0.015	66.418	SIL 1

	the Demin, Water	overflow							04		05			
11	Minimized company profit due to corrupted production process	LT-510 more flow	0.605	0.1	0.1	0.1	0.1	1	6.05E- 05	CE	1.00E- 05	0.165	6.050	<b>SIL 0</b>
12	Less/No Flow in Evaporator T- 531 could disturb the process or even shut down the Evaporator	LT-510 low level	0.605	0.1	0.1	-	0.1	1	6.05E- 04	CE	1.00E- 05	0.017	60.495	<b>SIL 1</b>
13	May Occur Rupture/Leakage at T-531	FV-511 fail to close	0.625	0.1	0.1	0.1	0.1	1	6.25E- 05	CE	1.00E- 05	0.160	6.251	<b>SIL 0</b>

Keterangan pada **Tabel 4.3**:

IED = Impact Event Description  
 SL = Severity Level  
 IC = Initiating Cause  
 ICL = Initiation Cause Likelihood  
 GPD = General Process Design  
 AI = Alarm  
 AMR = Additional Mitigation Restricted Access  
 AMD = Additional Mitigation Dikes, Pressure Relief  
 IEL = Intermediate Event Likelihood  
 TMEL = Target Mitigated Event Likelihood  
 PFD = Probability Failure on Demand

\*std1 – *Probability Failure on Demand of IPL*

No.	IPL	PFD
1	Basic Process Control System	0.1
2	Operator Alarm with sufficient time to respond	0.1
3	Relief Valve	0.01
4	Safety Valve	0.1
5	Rupture Disc	0.01
6	Flame / Detonation Arrestors	0.01
7	Dike/Bund	0.01
8	Underground Drainage System	0.01
9	Open Vent (no Valve)	0.01
10	Fireproofing	0.01
11	Blast Wall / Bunker	0.001
12	Identical Redundant Equipment	0.1

13	Diverse Redundant Equipment	0.01
14	Other Events	Personal Experience
15	SIS with SIL 1	0.1 - 0.01
16	SIS with SIL 2	0.01 - 0.001
17	SIS with SIL 3	0.001 - 0.0001

\*(CCPS, 2001 & BP, 2006)

\*std2 – *TMEL of Consequences*

Severity Level	Safety Consequences	TMEL
CA	Single first aid injury	3.00E-02
CB	Multiple first aid injuries	3.00E-03
CC	Single disabling injury or multiple serious injuries	3.00E-04
CD	Single on site fatality	3.00E-05
CE	More than one and up to three on site fatalities	1.00E-05

\*(Lassen, 2008. According to Nordhagen, 2007)

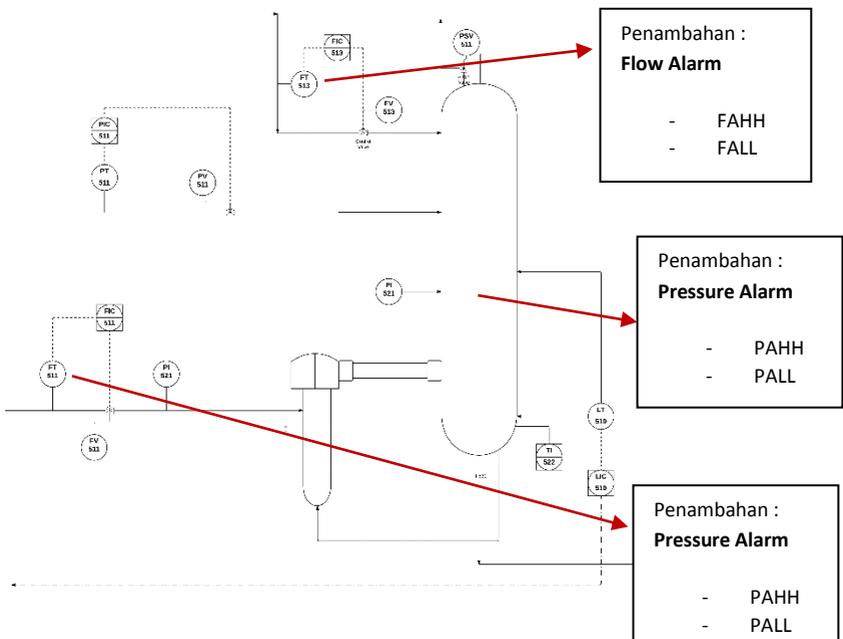
\*std3 – SIL Standards (IEC 61508 – IEC 61511)

SIL (IEC 61508)	Safety Availability	Probability Failure on Demand (PFD)	Risk Reduction Factor (RRF)
4	> 99.99 %	<0.0001	➤ 10.000
3	99.9 – 99.99 %	0.001 – 0.0001	1.000 – 10.000
2	99 – 99.9 %	0.01 – 0.001	100 – 1.000
1	90 – 99 %	0.1 – 0.01	10 – 100
0	<b>Basic Process Control</b>		

\*(IEC 61508 – IEC 61511)

#### 4.6 Pembahasan

Berdasarkan perhitungan LOPA yang telah dilakukan, didapatkan hasil yaitu sebanyak 4 Impact Events memiliki nilai SIL 0 dan sebanyak 9 Impact Events memiliki nilai SIL 1. Sehingga dibutuhkan penambahan *protection layer* pada komponen komponen yang kritis agar terjadi penurunan PFD ataupun peningkatan nilai SIL. Instrumen FT-513 memiliki nilai  $PFD_{avg} : 0.015$ , yang mana dapat dikurangi dengan penambahan *Flow Alarm* yang memiliki PFD sebesar 0.1 (CCPS, 2001), sedangkan instrumen FT-511 memiliki  $PFD_{avg} : 0.018$ , yang mana dapat dikurangi dengan penambahan *Pressure Alarm* yang memiliki PFD sebesar 0.1 (CCPS,2001) agar didapatkan kenaikan dari SIL 0 ke SIL 1



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

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

- a. Dari hasil analisis HAZOPS yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa risiko yang dapat terjadi pada unit *First Effect Evaporator* T-531 terbagi menjadi empat kategori dengan persentase sebagai berikut :
  - Dapat Diterima sebanyak 13 kejadian (50 %)
  - Butuh Penanganan Khusus sebanyak 8 kejadian (30.8 %)
  - Prioritas Tinggi sebanyak 5 kejadian (19.2 %)
  - Operasi Tidak Diperbolehkan sebanyak 0 kejadian (0 %)
- b. Nilai Safety Integrity Level (SIL) pada *First Effect Evaporator* T-531 di PT. Polychem Indonesia, Tbk. menunjukkan angka SIL 0 pada 4 *impact events* dan SIL 1 pada 9 *impact events*.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan berkaitan dengan keamanan sistem pada *First Effect Evaporator* T-531 yaitu :

- a. Dilakukan *Preventive / Predictive Maintenance* secara rutin berkala guna memperkecil *failure rate* pada tiap *equipment*.
- b. Rekomendasi *Protection Layer* (PL) yang diberikan kepada perusahaan yaitu dengan penambahan:
  - Flow Alarm (FAHH, FALL) pada FT-513
  - Pressure Alarm (PAHH, PALL) pada T-531
  - Pressure Alarm (PAHH, PALL) pada FT-511

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- ANSI/ISA-84.02. 2002 Part 2. Safety Instrumented Functions(SIF)-Safety Integrity Level(SIL) Evaluation Techniques Part 2: Determining the SIL of a SIF via Simplified Equations. *American National Standard Institute*.
- Dennis P. Nolan, P. (1994). *Application of HAZOP and What-if Safety Reviews to the Petroleum, Petrochemical and Chemical Industries*. New Jersey: Noyes Publications.
- Edward M. Marszal, B. A. (2008). Comparison of Safety Integrity Level Selection Methods and Utilization of Risk Based Approaches. In Wiley, *Process Safety Progress* (pp. 189-194). Ohio: Winter.
- Energy, U.S. Department of. (2004). *Chemical Process Hazards Analysis*. Washington, D.C: U.S. Department of Energy.
- Howard, D. (2000). The Basics of Statistical Process Control & Process Behaviour Charting. In J. M. Mal Owen, *Statistical Process Control in the Office*. Kent: Management New Style.
- John Day, H. T. (2008). A Case Study of Safety Integrity Level Assessment and Verification: Electronics Division Product Line Evaluation and Analysis. In Wiley, *Process Safety Progress* (pp. 185-191). Allentown: Published online 18 december 2007 in Wiley Interscience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)). DOI 10.100/prs.10243.

- Johnson, R. W. (2010). Beyond-compliance uses of HAZOP/LOPA studies. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 727-733.
- Lassen, C. A. (2008). *Layer of protection analysis (LOPA) for determination of safety integrity level (SIL)*. Norwegian: The Norwegian University of Science and Technology.
- Mohammad, M. K. (2012). Comparative safety assesment of chlorination unit in Tehran treatment plants with HAZOP & ETBA techniques. *Science Direct*, 27-30.
- Rausand, M. (2004). HAZOP Hazard and Operability Study. In Wiley, *System Reliability Theory (2nd ed)* (pp. 1-44). Norwegian: Department of Production and Quality Engineering University of Sciece and Technology .
- Silvana D. Costa, J. P. (2015). Evaluation Safety Integrity Level Using Layer of Protection Analysis in Recycle Gas First Stage Compressor at PT.Pertamina Persero. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 154-163.

## BIODATA PENULIS



Audi Abraham Maengkom merupakan nama lengkap penulis dengan nama panggilannya, Audi. Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 16 Mei 1995 sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari ayahanda Drs. Daniel Andreas Maengkom dan ibunda Henny Rosewita. Riwayat pendidikan penulis adalah SDK Mater Dei, Pamulang tahun (2001–2007), SMPK Mater Dei, Pamulang tahun (2007–2010), SMA Kolese Gonzaga, Jakarta tahun (2010–2013). Penulis diterima sebagai mahasiswa S1 Teknik Fisika ITS pada tahun 2013. Semasa perkuliahan, Penulis aktif organisasi kemahasiswaan di Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF) dan beberapa kepanitaan pada acara kampus. Beberapa pelatihan seperti Programming Mikrokontroller, HAZOPS Training, dan ISO Training juga telah diikuti oleh penulis. Penulis fokus pada bidang minat rekayasa instrumentasi dan kontrol khususnya topik *safety and reliability untuk* menyelesaikan tugas akhirnya. Penulis dapat dihubungi melalui email: [audi.abraham@yahoo.com](mailto:audi.abraham@yahoo.com).