



TESIS TF0924

**STUDI HAZOP PADA FASILITAS PENDUKUNG  
DISTRIBUSI BBM BERBASIS *FUZZY-LAYER OF  
PROTECTION ANALYSIS* (FLOPA)  
DI INSTALASI SURABAYA GROUP (ISG)  
PT. PERTAMINA TANJUNG PERAK**

MEY ROHMA DHANI

2412201 020

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN REKAYASA INSTRUMENTASI

JURUSAN TEKNIK FISIKA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2014



TESIS TF0924

**HAZOP STUDY OF FUEL DISTRIBUTION  
FACILITIES SUPPORT BASED ON FUZZY-LAYER  
OF PROTECTION ANALYSIS (FLOPA) AT  
INSTALASI SURABAYA GROUP (ISG)  
PT. PERTAMINA TANJUNG PERAK**

MEY ROHMA DHANI

2412201 020

SUPERVISOR

Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc

MASTER PROGRAM

STUDY OF INSTRUMENTATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2014

# LEMBAR PENGESAHAN

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T.)

di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Mey Rohma Dhani**

Nrp. 2412201020

Tanggal Ujian : 14 Juli 2014

Periode Wisuda : September 2014

Disetujui oleh :

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

(Pembimbing)

NIP : 19600901 198701 1 001

2. Dr. Totok Ruki Biyanto, S.T.,M.T.

(Penguji)

NIP : 19710702 199802 1 001

3. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc

(Penguji)

NIP: 19620822 198803 1 001

Direktur Program Pascasarjana,

**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.**

19640405 199002 1 001

# STUDI HAZOP PADA FASILITAS PENDUKUNG DISTRIBUSI BBM BERBASIS *FUZZY-LAYER OF PROTECTION ANALYSIS* (FLOPA) DI INSTALASI SURABAYA GROUP PT. PERTAMINA TANJUNG PERAK

Nama mahasiswa : Mey Rohma Dhani  
NRP : 2412201020  
Pembimbing : Dr. Ir. Ali Musyafa, M. Sc.

## ABSTRAK

Instalasi Surabaya Group (ISG) merupakan salah satu terminal bahan bakar minyak yang kegiatannya adalah menerima dan menyalurkan minyak. Dari kegiatan operasionalnya ini tentu memiliki potensi bahaya yang cukup tinggi. *Process safety management* merupakan cara untuk mencegah dan mengurangi dampak risiko dari potensi bahaya tersebut. HAZOP dilakukan untuk mengetahui potensi bahaya apa saja yang mungkin terjadi. Selanjutnya dilakukan identifikasi kecukupan *independent protection layer* (IPL) dengan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA). Hasil dari LOPA diintegrasikan dengan logika fuzzy untuk mendapatkan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) dan *risk level*. Logika fuzzy diterapkan untuk menangani ketidakpastian dari data penilaian risiko. HAZOP menghasilkan empat skenario yang selanjutnya dilakukan perhitungan LOPA. Dari perhitungan baik manual maupun dengan fuzzy, diketahui bahwa lapisan perlindungan yang ada telah cukup. Akan tetapi, untuk mencegah kejadian serupa terulang kembali diberikan rekomendasi *preventive action*.

HAZOP; logika fuzzy; LOPA; SIL

**HAZOP STUDY OF FUEL DISTRIBUTION FACILITIES  
SUPPORT BASED ON *FUZZY-LAYER OF PROTECTION  
ANALYSIS (FLOPA)* AT INSTALASI SURABAYA GROUP  
(ISG)  
PT. PERTAMINA TANJUNG PERAK**

Student : Mey Rohma Dhani  
Student Identity Number : 2412201020  
Supervisor : Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc

**ABSTRACT**

Instalasi Surabaya Group (ISG) is one of fuel oil terminal. The activities are receiving and distributing of oil, that may caused high hazard potential. Process safety management is a way to prevent and mitigate the risks of potential hazards. HAZOP was aimed to determine any potential hazards that may occur. The next step is identify the adequacy of independent protection layer (IPL) by using Layer of Protection Analysis (LOPA). The results of LOPA integrated with fuzzy logic to get value of Safety Integrity Level (SIL) and risk level. Fuzzy logic is applied to deal with the uncertainty of risk assessment data. There are four scenarios of HAZOP that will be calculated by LOPA. From these calculation, the protection layers are enough. However, we need preventive action recommendation to prevent the same incident.

HAZOP; fuzzy logic; LOPA; SIL

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT., atas segala karunia dan ridho-Nya, sehingga tesis penelitian dengan judul **“Studi Hazop Pada Fasilitas Pendukung Distribusi BBM Berbasis Fuzzy-Layer Of Protection Analysis (FLOPA) Di Instalasi Surabaya Group (ISG) PT. Pertamina Tanjung Perak”** ini dapat diselesaikan pada waktunya. Sholawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW., sebagai teladan paling sempurna bagi penulis. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada suami, orang tua, dan keluarga atas doa, semangat dan bantuannya.

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Rekayasa Instrumentasi pada program studi Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan tesis ini, penulis tidak terlepas dari bimbingan dan arahan dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc selaku Dosen Pembimbing Utama atas segala ilmu yang tercurah, bimbingan dan arahnya sehingga tesis ini dapat selesai pada waktunya,
2. Bapak Dr. Totok Ruki Biyanto, S.T.,M.T., bapak Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc., atas bimbingan dan masukannya selama ini,
3. Ibu Dr. Ir. Aulia Siti Aisyah, MT selaku Ketua Program Pascasarjana Teknik Fisika atas kesabarannya dalam membimbing penulis,
4. Seluruh dosen dan karyawan program Pascasarjana Teknik Fisika atas segala ilmu, bimbingan dan bantuannya,
5. Ibu Ir. Silvana Dacosta, M.Sc atas bantuan dan bimbingannya selama ini,
6. Bapak Supri, bapak Aris, bapak Rachmad dan seluruh karyawan Instalasi Surabaya Group (ISG) PT. Pertamina Tanjung Perak atas waktu, bantuan dan bimbingannya,
7. Rekan-rekan program Pascasarjana Teknik Fisika atas semangat, tawa, dan bantuannya selama ini

8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu selesainya tesis ini.

Penulis berdoa semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan tesis ini. Amin ya Rabbal 'Alamiin. Dengan segala keterbatasan, penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna untuk itu masukan dari pembaca senantiasa ditunggu untuk perbaikan. Akhirnya penulis berharap semoga tesis ini membawa manfaat.

Surabaya,

Juli 2014

Mey Rohma Dhani

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
KATA PENGANTAR .....	<b>iiError! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR GAMBAR .....	x
BAB 1 PENDAHULUAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1 Latar Belakang.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Perumusan Masalah .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4 Batasan Masalah .....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>defined.</b>	
2.1 Distribusi Bahan Bakar Minyak (BBM).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Perhitungan Risiko.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3 <i>Hazard and Operability</i> (HAZOP).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.1 Pengertian dan Tujuan HAZOP.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.2 Penentuan Node .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.3 <i>Guide word</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.4 <i>HAZOP Worksheet</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4 <i>Layer of Protection Analysis</i> (LOPA).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5 <i>Safety Instrumented System</i> (SIS).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.6 <i>Safety Integrity Level</i> (SIL).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.7 Logika <i>Fuzzy</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB 3 METODA PENELITIAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Identifikasi Permasalahan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Penetapan Tujuan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Studi Pustaka.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

3.4	Studi Lapangan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5	Tahap Pengolahan Data .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.6	Tahap Analisis Data .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.7	Kesimpulan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.8	Penyusunan Laporan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.9	Diagram alir penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1	Deskripsi Proses Distribusi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2	Hazop ( <i>Hazard and Operability Study</i> ) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3	HAZOP <i>Integration</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4	Pengerjaan <i>Layer of Protection Analysis</i> (LOPA). .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5	Perhitungan LOPA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.6	Hasil Sistem Fuzzy .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.7	Analisis <i>Severity Rate</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.8	Analisis FLOPA (Risk ranking-SIL rating) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB 5 KESIMPULAN .....		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR PUSTAKA .....		53
LAMPIRAN .....		55
Lampiran 1 .....		56
Lampiran 2 .....		57
Lampiran 3 .....		58

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Worksheet HAZOP .....	9
Gambar 2.2 lapisan pertahanan untuk melawan kemungkinan Celaka .....	10
Gambar 2.3 SIL .....	14
Gambar 2.4 Struktur Dasar Fuzzy .....	15
Gambar 3.1 Tahapan Pengerjaan Fuzzy .....	21
Gambar 3.2 Sistem Fuzzy Severity rate .....	22
Gambar 3.3 Fungsi keanggotaan dampak manusia .....	23
Gambar 3.4 Fungsi keanggotaan dampak lingkungan .....	23
Gambar 3.5 Fungsi keanggotaan dampak aset .....	24
Gambar 3.6 Fungsi keanggotaan dampak reputasi .....	25
Gambar 3.7 Fungsi keanggotaan reputasi .....	25
Gambar 3.8 Sistem Fuzzy MIMO .....	26
Gambar 3.9 Fungsi keanggotaan likelihood .....	27
Gambar 3.10 Fungsi keanggotaan SIL .....	27
Gambar 3.11 Diagram Alir .....	29
Gambar 4.1 HAZOP .....	33

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Integrity level .....	21
Tabel 3.2 Dampak terhadap manusia .....	23
Tabel 3.3 Dampak terhadap lingkungan .....	23
Tabel 3.4 Dampak terhadap aset .....	24
Tabel 3.5 Dampak terhadap reputasi .....	25
Tabel 3.6 Severity .....	26
Tabel 3.7 Rulebase Severity rate .....	26
Tabel 3.8 Likelihood .....	27
Tabel 3.9 Rulebase Risk-SIL .....	28
Tabel 4.1 Studi Node HAZOP .....	33
Tabel 4.2 Guide word dan parameter .....	33

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Instalasi Surabaya Group (ISG) merupakan terminal bahan bakar minyak yang dimiliki oleh PT. Pertamina (Persero) yang kegiatannya adalah menerima dan menyalurkan bahan bakar minyak. Pendistribusian dilakukan di enam Sales Area Manager (SAM), antara lain Surabaya-Madura, Madiun-Kediri, Malang-Banyuwangi, Bali-NTB, dan NTT. Sebelumnya didistribusikan ke masing-masing SAM, minyak ditampung dalam tangki penyimpanan ISG, kemudian disalurkan ke SPBU dengan mobil tangki distribusi.

Dalam kegiatan operasionalnya, ISG berkomitmen untuk memprioritaskan aspek keselamatan. Hal ini mengingatkan, bahwa setiap kegiatan operasional yang dilakukan, baik dari kapal tanker hingga pengisian pada mobil distributor minyak memiliki potensi bahaya yang tinggi, misalnya: kebocoran minyak, tumpahan minyak, ledakan, kebakaran, dan pencemaran lingkungan. Kejadian yang pernah terjadi yaitu ledakan pipa PT. Pertamina di Dusun Maribaya, Ancol, Cinemas, Tasikmalaya, Jawa Barat yang mengakibatkan kebakaran pada pukul 18.00 WIB, Selasa 30 Juli 2013. Ledakan ini terjadi karena kebocoran pada pipa premium yang diduga akibat upaya percobaan pencurian.

Untuk mencegah dan mengurangi dampak risiko dari potensi bahaya yang mungkin terjadi, diperlukan adanya *process safety management* yang baik. *Process safety management* tidak pernah terlepas dari proses identifikasi bahaya dan pengendalian risiko. *Hazard and Operability Study* atau yang lebih dikenal sebagai HAZOPS merupakan suatu teknik analisis bahaya yang digunakan untuk meninjau suatu proses atau operasi secara sistematis. Hazop juga dapat digunakan untuk menentukan apakah penyimpangan (*deviation*) dalam suatu proses dapat menimbulkan kejadian atau kecelakaan yang tidak diinginkan (Juniani, 2007). *Deviation* yang dimaksud dapat ditinjau dari aspek instrumentasi maupun non-instrumentasi.

Tingkat integritas keselamatan dari perlindungan yang ada atau biasa disebut *Safety Integrity Level* (SIL) perlu dimiliki oleh sebuah sistem keselamatan (Mecfredi\_csfe, 2007). SIL merupakan nilai ukur dari performansi suatu peralatan-peralatan yang mengkonfigurasi *Safety Instrumented System* (SIS) seperti sensor, *logic solver*, dan *final element*. SIL juga mempresentasikan besarnya probabilitas kegagalan dari komponen Safety Instrumented System (SIS) ketika ada permintaan (ISA 84.01, 2007).

Metode yang sesuai untuk mendukung HAZOPS guna mencari SIL dari masing-masing lapisan perlindungan adalah metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA). LOPA adalah bentuk sederhana dari penilaian risiko secara kuantitatif yang menggunakan frekuensi kejadian awal, tingkat keparahan dari konsekuensi, dan probabilitas kegagalan pada setiap lapisan perlindungan untuk memperkirakan skenario risiko dari suatu insiden (*Center for Chemical Process Safety*, 2001). Meskipun dinilai secara kuantitatif, namun LOPA dapat menunjukkan lapisan perlindungan secara kualitatif dalam membuat sebuah skenario bahaya yang akan terjadi (Kenneth First, 2010). LOPA memiliki delapan lapisan, yaitu desain proses, kontrol (BPCS, alarm proses, dan prosedur operasi), pencegahan (SIS), tindakan mitigasi, rintangan fisis, sistem pemadam kebakaran, respon darurat *plant* dan masyarakat digunakan untuk melakukan estimasi risiko (Khalil, Abdou, dkk, 2012).

Dalam melakukan penilaian risiko, diperlukan data yang rinci mengenai suatu proses yang terkadang kurang tepat dan tidak tentu. Oleh karena itu, salah satu cara yang efisien saat ini untuk menangani dengan ketidakpastian adalah logika fuzzy (Markowsky dan Mannan, 2009). Logika fuzzy yang diterapkan dalam sebuah sistem menggunakan penalaran manusia serta mempertimbangkan analisis subyektif untuk mengendalikan kejadian tidak terduga dalam menyusun sebuah aturan (*rulebase*). Sistem fuzzy bertingkat (*cascade fuzzy*) telah diterapkan dengan menggunakan tipe amandani dalam menentukan *Safety Integrity Level* (SIL) dengan berbagai pilihan *safeguard* dan LOPA pada sebagian besar penyusunan skenario bahaya (Khalil, Abdou, dkk, 2012). Oleh karena itu penerapan metode HAZOPS dan LOPA berbasis fuzzy diperlukan agar

memberikan hasil kombinasi metode yang lebih baik secara kualitatif dan kuantitatif, yang diaplikasikan pada fasilitas distribusi minyak.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat ditentukan permasalahan dalam penelitian adalah:

1. Bagaimana mengidentifikasi deviasi proses dengan metode *human* HAZOP pada fasilitas distribusi minyak di Instalasi Surabaya Group PT. Pertamina Tanjung Perak?
2. Bagaimana penentuan penilaian SIL pada *human action* dengan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA)?
3. Bagaimana membangun sistem *Fuzzy Layer of Protection Analysis* (fLOPA) dari sistem distribusi bahan bakar minyak?

## 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi deviasi proses dengan metode *human* HAZOP pada fasilitas distribusi minyak di Instalasi Surabaya Group PT. Pertamina Tanjung Perak.
2. Melakukan penilaian SIL pada *human action* dengan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA).
3. Membangun sistem *Fuzzy Layer of Protection Analysis* (fLOPA) dari sistem distribusi bahan bakar minyak.

Manfaat yang bisa didapat adalah:

1. Diperoleh hasil estimasi nilai *risk level* yang tepat dari hasil kombinasi metode HAZOP.
2. Dapat mengetahui kecukupan IPL (*Independent Protection Layer*)
3. Dapat memberikan rekomendasi terhadap penanganan risiko baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan yang digunakan dalam penelitian adalah

1. Studi HAZOP dilakukan pada fasilitas distribusi BBM dari kapal tanker dermaga gopier dan pipa transmisi wilayah Tuban hingga proses pengisian bahan bakar minyak ke mobil tangki distributor
2. Standar yang digunakan untuk menentukan nilai Safety Integrity Level (SIL) adalah ISA-TR84 dan IEC 61508

## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Distribusi Bahan Bakar Minyak (BBM)

Distribusi BBM yang ada di ISG dimulai dari penerimaan bahan bakar minyak kapal tanker dermaga gospier dan pipa transmisi wilayah Tuban hingga proses *backloading* ke mobil distributor. Secara umum, sistem penerimaan yang ada di ISG terdiri dari dua jalur, yaitu darat dan laut. Pada jalur darat dimulai dengan penerimaan produk melalui *pipeline receiving* Terminal Transit Utama (TTU) Tuban, dimana pada jalur ini jenis BBM yang diterima adalah jenis solar dan premium. Sedangkan pada jalur laut, pasokan produk BBM berasal dari kapal tanker yang berlabuh ke Dermaga Semampir, yang berlokasi di kompleks KOARMATIM TNI AL dan Dermaga Gospier.

Hasil produk yang disuplai melalui dermaga Semampir yaitu berupa Avtur, Premium, Kero, HSD, MFO, MDF, AVIGAS, untuk dermaga gospier dapat menyuplai BBM berjenis Avtur, Pertamina, Premium, Kerosene, HSD, LPG. Kapasitas total maksimum pengiriman melewati setiap dermaga adalah 35 000 DWT (*dead weight tonnage*) dengan jumlah permintaan suplai 12 kali /bulan. Proses bongkar muat BBM atau proses *discharge* memerlukan pengecekan spesifikasi BBM yang meliputi mengukur tinggi level air, tinggi level minyak, suhu density dan appearance pada seluruh tanki Tanker (*compartment*), dan dilakukan oleh seorang *Loading Master* PT. Pertamina Terminal BBM Surabaya Group. Pengecekan dilakukan dengan cara pengambilan sample setiap jam di tiap *compartment* Tanker. Hal ini dilakukan sebagai pemeriksaan mutu bahan bakar minyak yang juga dilakukan di tangki penyimpanan di darat.

Proses penerimaan bahan bakar dioperasikan secara manual. Proses ini dimulai dari kapal sandar di dermaga, kemudian dilakukan proses pengecekan spesifikasi muatan. Kapten kapal akan mengirim pesan ke *loading master* untuk menyiapkan tangki timbun yang kosong guna melakukan proses penerimaan. Ketika Terminal BBM tidak memiliki tangki yang cukup untuk menerima pasokan BBM, maka akan dilakukan *return cargo* (sebagian atau seluruh muatan

tanker dikembalikan ke *loading port*), begitu pula ketika ada kondisi *off specification cargo* (kerusakan pada muatan di kapal tanker).

Selanjutnya, apabila semua telah siap, BBM dari kapal tanker akan dipompa bisa melalui selang (*hose connection*) dan MLA (*Marine Loading Arm*) yang menghubungkan antara manifold kapal dengan manifold dermaga. Pompa yang terdapat di kapal dihubungkan ke SBM (*single bouy mooring*) yaitu suatu alat *connector* yang digunakan untuk pembongkaran BBM di tanker untuk dipompakan ke tangki timbun darat, yang mengapung di tengah laut sekitar 6 km lepas pantai. Selama proses penerimaan tetap dilakukan pengecekan terhadap *visual check density* dan warna serta kualitas dan kuantitas BBM. Selain itu petugas juga mengawasi selang, dan peralatan lainnya yang berhubungan dengan proses pemompaan, sehingga ketika terjadi gangguan pemompaan yang mengakibatkan keterlambatan, kontaminasi dan lain-lain akan dapat segera diatasi. Selesai pembongkaran akan dilakukan perhitungan kembali antara *After Discharge Ex- Tanker* dan *Actual receipt* Tanki Timbun di darat meliputi pengukuran density, tinggi minyak serta suhu tangki darat yang dikonversikan pada suhu standar (liter 15 ° C atau bbl , 60° F).

Pada proses *loading*, *density* dari BBM dideteksi dengan menggunakan densitometer (alat pengukur massa jenis cairan) untuk menentukan jenis BBM yang sedang disalurkan. Densitas BBM selalu distandarkan untuk setiap jenisnya, yaitu premium memiliki range antara 713-730 dan solar range-nya berkisar antara 730-735. Saat pengiriman berlangsung akan dilakukan komunikasi antar operator di Pertamina Tuban dengan operator di *control room* ex TTU Tuban. Operator akan menekan tombol *open valve* jika di display HMI terdeteksi adanya *flowrate* BBM pada pipa penerimaan. Pada kondisi penerimaan BBM ini diberikan tekanan yang sangat tinggi yaitu sekitar 80 kg/ cm<sup>2</sup> untuk meminimalisir terjadinya kontaminasi antar BBM dengan jenis berbeda serta mempercepat laju aliran sehingga waktu yang diperlukan dalam proses pengiriman semakin efisien. Setelah BBM melewati MOV cairan akan dilewatkan ke *Pressure Control Valve* (PCV) karena BBM semakin mendekati tangki timbun. PCV digunakan mengontrol tekanan atau *pressure*.

Sistem *metering* cairan BBM menuju tangki timbun menggunakan *metering skid* dimana alat tersebut terdapat beberapa komponen antara lain *flowmeter*, *pressuremeter*, dan *densitometer* sehingga bisa menyalurkan BBM ke tangki timbun yang tepat sesuai dengan jenis BBM. Untuk premium akan dialirkan ke tangki timbun premium, solar ke tangki timbun khusus untuk solar. Sedangkan campuran dari kedua jenis BBM tersebut yang memiliki densitas yang mendekati nilai densitas premium akan dialirkan ke tangki timbun feedstock 001, begitu juga cairan BBM yang memiliki densitas yang mendekati nilai densitas solar akan dialirkan ke tangki timbun feedstock 002.

## 2.2 Perhitungan Risiko

Risiko merupakan kombinasi dari *likelihood* dan *consequence* atau dalam penelitian ini lebih lanjut disebut *severity*. *Likelihood* sebuah ukuran jumlah kejadian per unit waktu (AS/NZS 4360, 2004). *Consequence* atau *severity* ialah akibat dari suatu kejadian yang biasanya dinyatakan sebagai kerugian dari suatu risiko. Oleh karena itu, perhitungan risiko dilakukan dengan mengalikan nilai *likelihood* dengan *consequence*.

$$R = L \times C \quad \dots \dots \dots 2.1$$

Dimana :

R = risiko

L = likelihood (per tahun)

C = consequences

Nilai dari suatu risiko berupa kerugian biaya yang dialami per tahun.

Untuk memudahkan penentuan level risiko dibuatlah suatu tabel *risk-matrix*.

Mengatur risiko ialah suatu proses sistematis yang digunakan untuk membuat keputusan dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi dari performansi perusahaan. Sedangkan mengelola risiko adalah mengidentifikasi suatu kejadian yang dapat merugikan perusahaan dan mengambil suatu tindakan untuk menghindari dan mengurangi hal-hal yang tidak diinginkan oleh perusahaan.

Setiap perusahaan membutuhkan metode tertentu untuk mengontrol berbagai risiko yang mungkin timbul. Manajemen risiko dapat diartikan sebagai

suatu sistem pengawasan risiko dan perlindungan harta benda, hak milik dan kemungkinan badan usaha atau perorangan atas kemungkinan timbulnya kerugian karena adanya suatu risiko. Suatu keseimbangan antara biaya dalam mengelola risiko dengan keuntungan yang akan didapatkan sangat dibutuhkan dalam pelaksanaan program manajemen risiko.

## **2.3 Hazard and Operability (HAZOP)**

### **2.3.1 Pengertian dan Tujuan HAZOP**

HAZOP (*Hazard and Operability*) merupakan sebuah teknik identifikasi bahaya yang formal, sistematis, *logical* dan terstruktur untuk menguji potensi deviasi operasi dari kondisi desain yang dapat menimbulkan permasalahan operasi proses dan bahaya-bahaya (Vincoli, 2006). Terdapat empat tujuan dasar dari analisis studi HAZOP (Nolan, 1994) yaitu:

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

### **2.3.2 Penentuan Node**

Terdapat tiga kriteria dasar dalam mengidentifikasi node-node yang akan direview (Vincoli, 2006) yaitu:

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

### 2.3.3 Guide word

*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 (CCPS, 1992).

### 2.3.4 HAZOP Worksheet

Teknik analisa HAZOP membutuhkan gambar proses atau prosedur yang dibagi menjadi titik studi, bagian proses, atau langkah operasi dan potensi bahaya proses tersebut ditempatkan dengan menggunakan *guide words*. Hasil dari HAZOP dicatat dalam format tabulasi, dapat dilihat pada gambar 2.1.

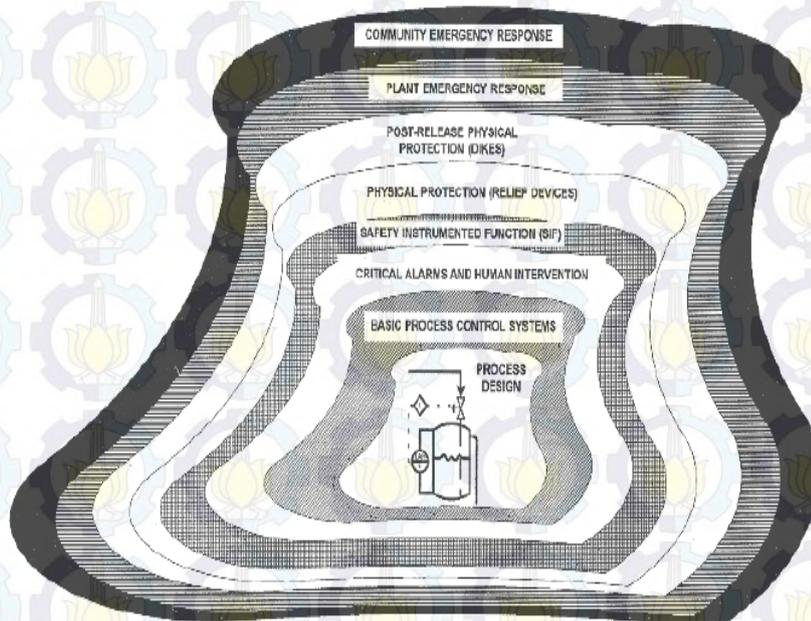
GW	Dev.	Causes	Consequence	Safeguards	S	L	R	Rics	Remarks	Comments

Gambar 2.1. Tabel Format Lembar Kerja Analisa HAZOP (Nolan, 1994)

## 2.4 Layer of Protection Analysis (LOPA)

*Layer of Protection Analysis* (LOPA) merupakan alat semikuantitatif untuk menganalisa dan menilai risiko (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 risiko kejadian dapat ditolerir.



Gambar 2.2 Lapisan pertahanan untuk melawan kemungkinan celaka (*Center for Chemical Process Safety, 2001*)

IPL adalah sebuah alat, sistem, atau tindakan yang dapat mencegah skenario berproses menjadi *consequence* yang tidak diinginkan dari *initiating events*. Perbedaan antara IPL dan *safeguard* adalah penting. *Safeguard* adalah alat, sistem atau tindakan yang akan menghentikan rantai kejadian setelah *initiating events*. Efektifitas IPL dihitung dengan istilah *probability failure on demand* (PFD) yang merupakan kemungkinan suatu sistem akan gagal melaksanakan fungsinya yang spesifik. PFD adalah angka tanpa dimensi antara 0 dan 1. Nilai terkecil dari PFD merupakan pengurangan frekuensi *consequence* terbesar dari frekuensi *initiating event* yang diberikan. Karakteristik lapisan perlindungan dan bagaimana mereka seharusnya dikelompokkan sebagai IPL dalam metode LOPA dibahas pada penjelasan di bawah ini:

#### 1. *Process Design*

Ada yang mengasumsikan bahwa beberapa skenario kecelakaan tidak dapat terjadi karena desain *inherently safer* pada peralatan dan proses. Namun ada

juga yang meneliti bahwa beberapa fitur pada desain proses yang *inherently safer* dianggap *nonzero* PFD yang 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.

## 2. *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, analisis harus mengevaluasi efektifitas kendali akses dan sistem keamanan ketika kesalahan manusia dapat menurunkan kemampuan BPCS.

## 3. *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.

## 4. *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.

## 5. *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.

#### 6. *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.

#### 7. *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.

#### 8. *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*.

LOPA dibagi menjadi beberapa langkah :

1. Mengidentifikasi *consequence* untuk memilih skenario.
2. Memilih skenario kecelakaan.
3. Mengidentifikasi *initiating event* dari skenario dan menetapkan frekuensi *initiating event (event per year)*.
4. Mengidentifikasi IPLs dan memperkirakan *probability of failure on demand (PFD)* dari masing-masing IPL.
5. Menilai risiko skenario secara matematis dengan mengkombinasikan *consequence, initiating event*, dan data IPL
6. Mengevaluasi risiko untuk mencapai keputusan mengenai skenario.

### 2.5 *Safety Instrumented System (SIS)*

*Integrated Control System (ICS)* memiliki dua buah program kontrol yang berbeda, satu digunakan untuk *Basic Process Control System (BPCS)* dan yang lainnya digunakan untuk *Safety Instrumented System (SIS)*. BPCS berfungsi untuk mengontrol, mengevaluasi serta melaksanakan perintah untuk sebuah proses yang ada dilapangan, sedangkan SIS berfungsi sebagai pengaman ketika suatu bahaya

terjadi. Sistem pengontrol yang ada disebuah peralatan harus memiliki sebuah pengaman yang terpasang juga sehingga yang diharapkan ketika terjadi suatu bahaya dapat segera dihentikan dikarenakan oleh sistem yang terpisah. Ada beberapa bagian yang harus dipisahkan antar SIS dan BPCS yaitu:

- a. *Logic Solver*
- b. Sensor dilapangan
- c. *Final Element*
- d. Komunikasi antar elemen

*Safety Instrumented System* (SIS) adalah suatu sistem yang terdiri dari *sensor*, pengolahan logika atau *logic solver* dan *final element* dengan tujuan untuk membawa suatu proses pada kondisi yang aman ketika kondisi yang tidak diinginkan terjadi. Hal ini dibutuhkan untuk mengidentifikasi risiko individu dan menaksir dampak-dampaknya. *Safety Instrumented System* ini memiliki fungsi-fungsi tersendiri dalam hal menunjang keselamatan proses yaitu *Safety Instrumented Function* dan di SIF inilah memiliki *Safety Integrity Level* untuk masing-masing fungsi.

## 2.6 *Safety Integrity Level* (SIL)

*Safety Instrumented System* memiliki fungsi-fungsi tersendiri dalam hal menunjang keselamatan proses yaitu *Safety Instrumented Function* dan memiliki *Safety Integrity Level* untuk masing-masing fungsi. SIL memiliki beberapa level untuk menentukan kebutuhan SIL pada SIF untuk dialokasikan ke SIS. SIL terdiri dari 4 level, semakin tinggi level SIL maka semakin tinggi probabilitas yang diperlukan SIF untuk melakukan kerja sesuai dengan fungsinya.

Dalam klasifikasi SIL berdasarkan frekuensi skenario permintaan dan tingkat keparahan konsekuensi dari peristiwa berbahaya yang digunakan untuk menetapkan SIL yang mengacu pada norma umum untuk keselamatan IEC 61508 dan norma keselamatan diadaptasi untuk proses industri IEC 61511 dimana menentukan tingkat yang diperlukan untuk pengurangan risiko. Berikut merupakan penentuan *Safety Integrity Level*:

Safety Integrity Level (SIL)	Target Range Probability of Failure on Demand Average (PFD <sub>avg</sub> )
1	10 <sup>-1</sup> to 10 <sup>-2</sup>
2	10 <sup>-2</sup> to 10 <sup>-3</sup>
3	10 <sup>-3</sup> to 10 <sup>-4</sup>
4	10 <sup>-4</sup> to 10 <sup>-5</sup>

Gambar 2.3 *Safety Integrity Level (SIL) Target Ranges* (ISA-TR84.00.02-2002)

## 2.7 Logika Fuzzy

Logika Fuzzy merupakan sebuah pendekatan logika yang dimana logika tersebut merupakan wujud nyata dari daya nalar manusia. Logika fuzzy merupakan salah satu komponen pembentuk *soft computing*. Dasar logika fuzzy adalah teori himpunan fuzzy. Pada teori himpunan fuzzy, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan menjadi ciri utama dari penalaran dengan logika fuzzy tersebut. Dalam banyak hal, logika fuzzy digunakan sebagai suatu cara untuk memetakan permasalahan dari input menuju ke output yang diharapkan (Kusumadewi, 2010).

Terdapat beberapa istilah yang perlu diketahui dalam logika fuzzy, antara lain:

### a. Variabel fuzzy

Variabel fuzzy merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem fuzzy. Contoh: umur, temperatur, permintaan, dan lainnya.

### b. Himpunan fuzzy

Himpunan fuzzy merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel fuzzy. Contoh: variabel umur, terbagi menjadi 3 himpunan fuzzy yaitu: muda, parobaya, dan tua.

### c. Semesta pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel fuzzy. Semesta pembicaraan

merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan.

d. Domain

Domain himpunan fuzzy adalah keseluruhan nilai yang diizinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan fuzzy. Seperti halnya semesta pembicaraan, domain merupakan bilangan real yang senantiasa naik (bertambah).

e. Fungsi keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai dengan 1.

Adapun beberapa jenis logika *fuzzy* adalah sebagai berikut :

a. Logika *Fuzzy* Murni

Logika *fuzzy* ini memiliki masukannya berupa linguistik dan keluarannya linguistik

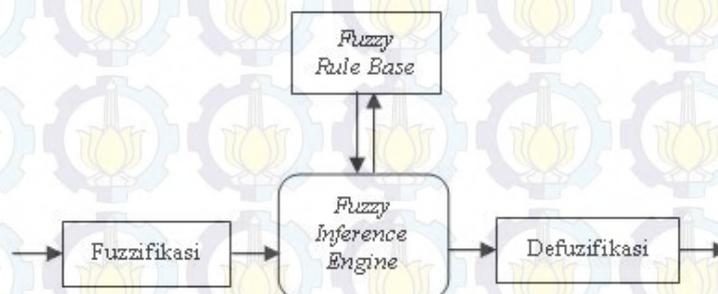
b. Logika *Fuzzy* Mamdani

Logika fuzzy dimana masukannya berupa numerik dan keluarannya numerik

c. Logika *Fuzzy* Takagi Sugeno

Logika *fuzzy* dimana memiliki masukan berupa numerik dan keluaran berupa linguistik.

Struktur dasar dari sistem fuzzy dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.4 Struktur Dasar Fuzzy (<http://nurmuhlis.wordpress.com> 3 Juli 2013)

Berdasarkan gambar di atas, berikut merupakan penjelasannya:

a. *Fuzzyfikasi*

*Fuzzyfikasi* adalah proses untuk merubah masukan dari bentuk *crisp* menjadi variabel *fuzzy*. Hal ini nantinya akan mempermudah pemetakan *fuzzy* agar sesuai dengan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*. Fungsi keanggotaan inilah yang nantinya dapat digunakan untuk mengetahui nilai derajat keanggotaan.

b. *Fuzzy Inference System*

Proses ini merupakan tahapan penalaran suatu nilai masukan agar dapat diperoleh hasil keluaran yang digunakan sebagai pengambil keputusan. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dimana salah satunya adalah metode *max*. Metode ini mengambil nilai maksimum untuk memperoleh solusi dari himpunan *fuzzy*. Adapun model penalaran yang sering digunakan adalah *max-min*.

c. *Fuzzy Rulebase*

*Fuzzy rulebase* adalah suatu kaidah aturan yang digunakan dalam kendali sistem *fuzzy*. Adapun aturan yang digunakan adalah IF-THEN dengan koneksi AND-OR dan NOT. Aturan inilah yang digunakan oleh sistem untuk memperoleh keluaran dari *fuzzy*.

d. *Defuzzyfikasi*

*Defuzzyfikasi* adalah proses merubah kembali *fuzzyfikasi*. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan yaitu metode *maximum* (puncak), metode titik tengah (pusat area), metode rata-rata, dan lain-lain. Adapun metode yang lazim digunakan adalah metode titik tengah dimana keluarannya adalah titik tengah dari hasil proses penalaran.

## **BAB 3**

### **METODA PENELITIAN**

#### **3.1 Identifikasi Permasalahan**

Tahap identifikasi dan perumusan masalah merupakan langkah awal agar permasalahan dapat dipecahkan melalui penelitian yang akan dilakukan. Hasil dari identifikasi awal akan dituangkan dalam suatu rumusan permasalahan yang jelas.

#### **3.2 Penetapan Tujuan**

Setelah perumusan masalah dilakukan maka ditetapkan tujuan penelitian yang ingin dicapai dari penelitian ini agar penelitian memiliki arah dan sasaran yang tepat.

#### **3.3 Studi Pustaka**

Studi pustaka dilakukan guna menunjang pencapaian tujuan dan pemecahan masalah dengan pendekatan teori yang sesuai. Studi pustaka berisi teori-teori terkait yang mendukung pengolahan data dan analisa dalam penelitian.

#### **3.4 Studi Lapangan**

Studi lapangan dilaksanakan untuk mengamati objek yang akan diteliti. Dari hasil pengamatan dilapangan akan diketahui kondisi sebenarnya dari sistem distribusi dan fasilitas tangki. Dari studi lapangan diharapkan dapat diperoleh gambaran tentang pendekatan yang sesuai untuk pelaksanaan penelitian.

#### **3.5 Tahap Pengolahan Data**

Pada tahap ini data-data akan yang didapatkan akan dianalisis secara kualitatif ataupun kuantitatif.

##### **3.5.1 Pengerjaan HAZOP**

HAZOP merupakan cara yang terstruktur dari pengujian operasi proses yang ada. HAZOP memiliki tujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi dari permasalahan yang dapat menggambarkan resiko pada

pekerja atau peralatan. Pengerjaan HAZOP *worksheet* didukung dengan informasi dari dokumen lain yaitu P&ID perusahaan yang telah di-*update*.

### 3.5.2 Integrasi HAZOP - LOPA

LOPA merupakan alat yang bertujuan untuk menilai kecukupan lapisan pelindung dalam memitigasi rasio proses. Skenario yang dipilih dari HAZOP merupakan penyebab awal di dalam sebuah LOPA. Dari pengerjaan HAZOP, *consequence* yang memiliki tingkat risiko paling tinggi (merah) maka akan menjadi input awal bagi LOPA.

#### a. Identifikasi Penyebab Skenario

Kemungkinan penyebab awal dapat didefinisikan berdasarkan data tingkat kegagalan aktual, penilaian peneliti, atau merujuk pada table. Data kegagalan aktual untuk fasilitas tertentu mungkin tidak tersedia, untuk menghindari penilaian secara subjektif maka pendekatan dengan merujuk pada tabel yang digunakan LOPA (*Layer of Protection Analysis*) sangat dianjurkan. Tabel dari ini dipublikasikan oleh CCPS (AIChE) tahun 2001.

#### b. Identifikasi TMEL (*Target Mitigated Event Likelihood*) dari Skenario

TMEL adalah frekuensi maksimum yang ditentukan untuk tingkat keparahan (*severity*) dari sebuah konsekuensi atau dampak. Selama proses LOPA, peneliti mengidentifikasi kemungkinan bahwa kejadian dapat termitigasi dari segi keselamatan dari setiap risiko. TMEL untuk bahaya dalam hal keselamatan harus digunakan sebagai kriteria untuk pengurangan risiko yang mencukupi berdasarkan matriks risiko yang telah dimiliki perusahaan.

#### c. Identifikasi IPL (*Independent Protection Layer*).

Pada tahap ini peneliti melakukan pengindentifikasian terhadap lapisan-lapisan pelindung yang independen. Karakteristik nyata dari lapisan pelindung adalah mencegah terjadinya konsekuensi. Setiap lapisan IPL harus berfungsi sedemikian rupa sehingga konsekuensi tidak akan terjadi. Setiap lapisan pelindung

yang diperhitungkan harus independen dari lapisan pelindung lainnya. Artinya, tidak boleh ada kegagalan yang dapat menonaktifkan dua atau lebih lapisan pelindung. Seperti: BPCS (*Basic Process Control Valve*), alarm, lapisan mitigasi tambahan dll.

*Basic Process Control System* (BPCS) digunakan sebagai IPL untuk mengevaluasi efektifitas *access control* dan sistem keamanan ketika terjadi kesalahan manusia. 3 fungsi keselamatan yang dapat digunakan menjadi IPLs meliputi *continous control action, state controller (logic solver atau alarm trip units atau control relays)*. Nilai PFD rata-rata kegagalan BPCS sebesar 0.1 dimana sesuai dengan batas maksimum yang direkomendasikan IEC 61511 yang terlampir pada data *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) 2001.

Alarm merupakan level perlindungan kedua selama operasi normal yang harus diaktifkan oleh BPCS dimana juga pada hal tertentu terdapat campur tangan dari operator didalamnya. Nilai PFD dari respon terhadap alarm adalah 1 jika tidak terdapat penginstalan alarm sedangkan jika dipengaruhi oleh kegagalan operator adalah 0.1 dengan pekerjaan rutin dalam sekali sebulan dan pengerjaan prosedur rutin, asumsi terlatih dengan baik, tidak stress dan tidak lelah) (CCPS 2001).

*Additional Mitigation Layer* umumnya bersifat mekanikal, structural atau procedural dimana dapat mencegah atau menjaga kemungkinan kejadian bahaya awal. Berdasarkan standart IEC, nilai PFD meliputi *conditional modifier* seperti *probability of fatal injury* (Ptr), *probability of personal in affected area* (Pp), dan *probability of ignition* (Pi). Nilai *probability of fatal injury* (Ptr) dari proses operasi continue adalah 1 sedangkan sistem yang tidak selalu dioperasikan (bongkar muat, batch proses dan lain-lain) disesuaikan dengan waktu saat proses dalam mode operasi bahaya dengan waktu total sehingga dapat dirumuskan seperti berikut :

$$P = \frac{h}{t}$$

Ptr hanya berlaku jika kegagalan terjadi diluar waktu operasional dan perbaikan sebelum waktu operasional.

Nilai *probability of personal in affected area* (Pp) terkait dengan adanya waktu personil berada ditempat bahaya dengan waktu total sehingga dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$P = \frac{h}{t}$$

Nilai Pp menjadi 1 ketika bahaya hanya terjadi pada start up dan personil selalu ada saat kondisi tersebut. Nilai *probability of ignition* (Pi) merujuk pada HSL/2005/50 dengan pendekatan dari perusahaan pada beberapa kondisi berikut :

- *Probability of ignition* (Pi) dari pelepasan cairan/minyak mentah = 0,01
- *Probability of ignition* (Pi) dari pelepasan gas/kondensat yang berjumlah kecil = 0.1
- *Probability of ignition* (Pi) dari pelepasan gas/kondensat yang berjumlah besar = 0.5
- *Probability of ignition* (Pi) jika terjadi pecah atau ledakan = 1

Intermediate Event Likelihood (IEL) merupakan perkalian dari *initiating cause likelihood* (ICL), *probability failure on demand* (PFD) dari *Independent Protection Layer* (IPL) dan *frecuency conditional modifiers* dimana dapat dirumuskan seperti berikut :

$$IEL = ICL \times PFD \times PFD \times \dots \times PFD \times P \times P \times P$$

d. Perhitungan Rasio LOPA

Perhitungan rasio LOPA digunakan untuk mengetahui kecukupan lapisan pelindung yang telah ada. Formulanya adalah sebagai berikut:

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{\text{TMEL}}{\text{IELt}}$$

- Jika jumlah  $\text{IELt} \leq \text{TMEL}$ , maka pengurangan resiko tidak diperlukan
- Jika jumlah  $\text{IELt} > \text{TMEL}$  dan terdapat SIF, maka PFD SIF harus dihitung untuk menentukan SIL dari SIF
- Jika jumlah  $\text{IELt} > \text{TMEL}$  dan tidak terdapat SIF, maka lapisan-lapisan yang ada dianggap tidak memadai untuk mitigasi resiko sehingga diperlukan rekomendasi untuk strategi *inherently safer design* atau desain ulang sistem, menambahkan lapisan pelindung/SIF.

Untuk tingkatan SIF, dapat dilihat pada tabel di bawah:

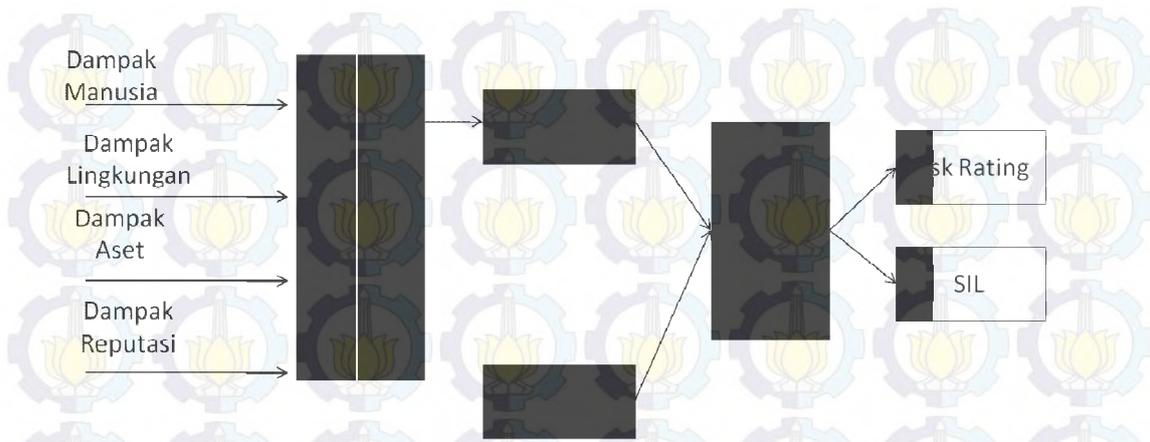
Tabel 3.1 Integrity Level untuk SIF

Kategori SIL	PFD SIF	RRF= (1/PFD)
NR- tidak dibutuhkan	$1 \leq \text{PFD}$	$\text{RRF} \leq 1$
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

### 3.5.3 Pengerjaan Fuzzy

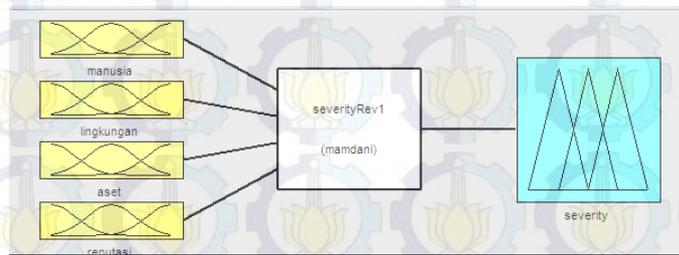
Terdapat 2 tahapan dalam pengerjaan fuzzy, yang pertama adalah membuat sistem fuzzy untuk mengetahui tingkat keparahan (*severity rate*) dari bahaya yang ada, dan sistem fuzzy yang digunakan untuk mengetahui besar risiko yang mungkin terjadi dari potensi bahaya yang ada dan nilai dari SIL. Tipe fuzzy yang digunakan yaitu Mamdani dikarenakan tipe ini yang sesuai dengan data yang ada (Khalil, dkk., 2011). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar blok diagram berikut:



Gambar 3.1 Tahapan Pengerjaan Fuzzy

### 3.5.3.1 Tahap *Severity Rate*

Pengerjaan *Severity Rate* ini dibuat dengan 4 masukan dan 1 keluaran. Sistem ini dibuat untuk mengetahui tingkat keparahan dari potensi bahaya dilihat dari 4 dampak yaitu segi manusia (*injury*), segi lingkungan, segi aset, dan reputasi. Sistem fuzzy yang digunakan adalah mamdani karena variabel inputnya adalah variabel linguistik dan putputnya numerik, selain itu tipe ini lebih sesuai dengan keadaan fisik dari objek yang diteliti.

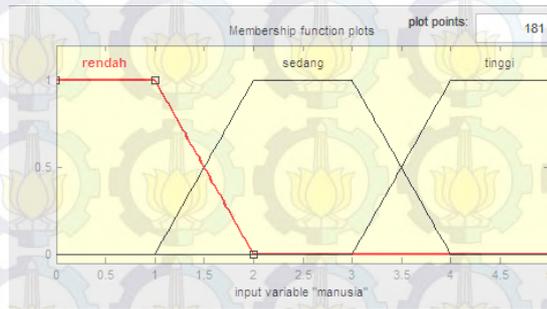


Gambar 3.2 Sistem Fuzzy *Severity Rate*

Fungsi keanggotaan yang digunakan pada masing-masing variabel input berjumlah 3, yaitu rendah, sedang dan tinggi. Hal ini disesuaikan dengan kondisi fisik yang ada dan hasil wawancara dengan pihak perusahaan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:

- a. Fungsi keanggotaan untuk dampak terhadap manusia

Fungsi keanggotaan untuk dampak terhadap manusia dibagi menjadi 3, rendah, sedang dan tinggi dengan range 0-5.



Gambar 3.3 Fungsi keanggotaan Dampak Manusia

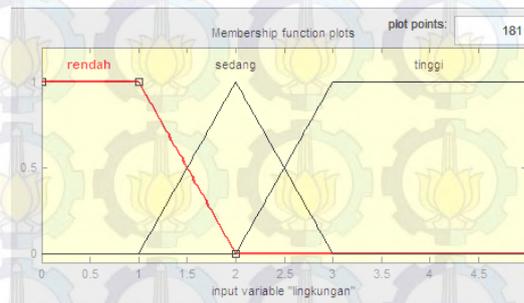
Hal ini didasarkan pada data perusahaan yang ada, penjelasannya ada pada tabel sebagai berikut:

Tabel 3.2 Dampak terhadap Manusia

Rating	Keterangan
Rendah	Tanpa cedera, cedera ringan tanpa menghilangkan hari kerja
Sedang	Cidera sedang, menyebabkan hari hilang, maksimum 7 hari
Tinggi	Cidera berat, fatal, menyebabkan hari hilang lebih dari 7 hari sampai menimbulkan 1/lebih korban meninggal

b. Fungsi keanggotaan untuk dampak terhadap lingkungan

Pada input ini terdapat 3 fungsi keanggotaan; rendah, sedang dan tinggi dengan range 0-5. Berikut tampilannya:



Gambar 3.4 Fungsi keanggotaan Dampak Lingkungan

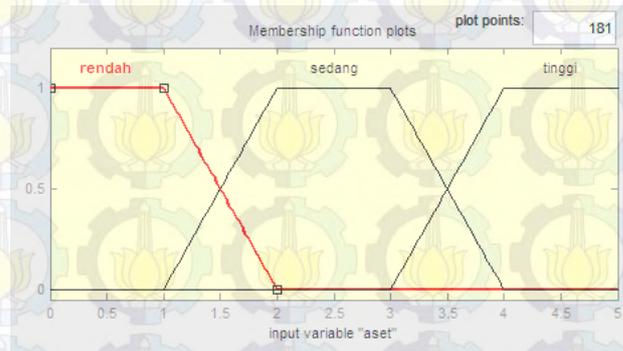
Penyusunan fungsi keanggotaan didasarkan data perusahaan dengan penjelasan pada tabel berikut:

Tabel 3.3 Dampak terhadap Lingkungan

Rating	Keterangan
Rendah	Tidak ada dampak terhadap lingkungan, atau sangat kecil sehingga dapat diabaikan
Sedang	Dapat menimbulkan kerusakan pada wilayah setempat (wilayah kejadian)
Tinggi	Menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan (melebihi baku mutu lingkungan), dampaknya bersifat jangka panjang atau bahkan permanen. Menimbulkan dampak langsung terhadap masyarakat.

c. Fungsi keanggotaan untuk dampak terhadap Aset

Dampak terhadap aset perusahaan dimasukkan dalam tahapan ini karena memiliki peranan penting dalam proses kinerja perusahaan. Seperti halnya pada penyusunan sistem fuzzy dampak terhadap manusia dan lingkungan, dampak terhadap aset juga memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan range 0-5.



Gambar 3.5 Fungsi keanggotaan Dampak terhadap Aset

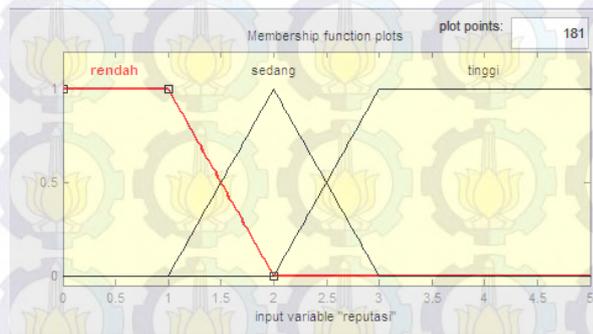
Penjelasannya sebagai berikut:

Tabel 3.4 Dampak terhadap Aset

Rating	Keterangan
Rendah	Tanpa kerusakan, kerusakan kecil tanpa gangguan operasi Biaya perbaikan $\leq$ US \$ 1000
Sedang	Menimbulkan gangguan operasi ringan sampai cukup besar US \$ 1000 < Biaya perbaikan $\leq$ US \$ 100.000
Tinggi	Menimbulkan gangguan operasi cukup besar (operasi berhenti) Biaya perbaikan $\geq$ US \$ 100.000

d. Fungsi keanggotaan untuk dampak terhadap Reputasi

Untuk membuat fungsi keanggotaan dampak terhadap reputasi didasarkan pada seberapa besar efek yang timbul akibat kejadian kecelakaan yang terjadi. Efek yang ditimbulkan ini dihitung dengan seberapa besar dampak yang timbul terhadap masyarakat (sosial) dan kerugian materi yang dikeluarkan perusahaan. Range yang digunakan pada tahap ini 0-5.



Gambar 3.6 Fungsi keanggotaan Dampak terhadap Reputasi

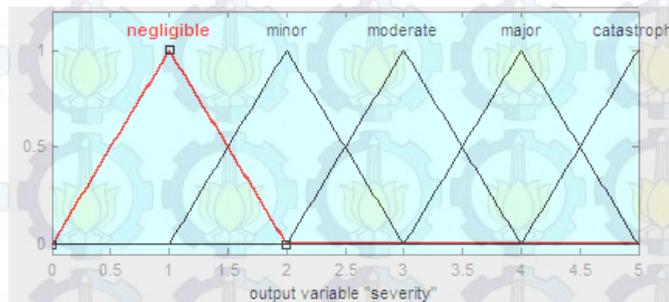
Penjelasannya adalah sebagai berikut:

Tabel 3.5 Dampak terhadap Reputasi

Rating	Keterangan
Rendah	Tidak ada dampak Dampak kecil, tidak menjadi perhatian masyarakat, bisa diabaikan
Sedang	Sedikit perhatian media massa dan masyarakat setempat
Tinggi	Menjadi perhatian luas di berbagai pihak di daerah perusahaan Menjadi perhatian media massa setempat dan nasional Mobilisasi aksi-aksi (demo) nasional Peninjauan ulang atau pencabutan ijin operasi Mengganggu kebijakan negara

e. Fungsi keanggotaan *Severity*

*Severity* rate dibagi menjadi 5 tingkatan, negligible, minor, moderate, major dan catastrophic. Kelima tingkatan ini dilihat dari segi ekonomi, yang artinya tingkat kerugian yang dialami perusahaan apabila suatu kecelakaan atau kejadian yang tidak diinginkan terjadi. Tingkatan ini dibuat berdasarkan kombinasi dari data perusahaan, standar AS/NZS 2004 dan penelitian yang dilakukan oleh Khalil, dkk, 2011. Range yang digunakan adalah 0-5, disesuaikan dengan data matriks yang ada.



Gambar 3.7 Fungsi keanggotaan *Severity* Rate

Penjelasannya adalah sebagai berikut:

Tabel 3.6 Severity

Rating	Keterangan
Negligible	Kerugian < US \$ 1000
Minor	US \$ 1000 < Kerugian < US \$ 10.000
Moderate	US \$ 10.000 < Kerugian < US \$ 100.000
Major	US \$ 100.000 < Kerugian < US \$ 1000.000
Catastrophic	Kerugian > US \$ 1000.000

Catatan: Kurs mata uang US \$ ke Rupiah = Rp 11.743,00  
(sumber: Bank Mandiri, 2 Juli 2014)

f. Rulebase

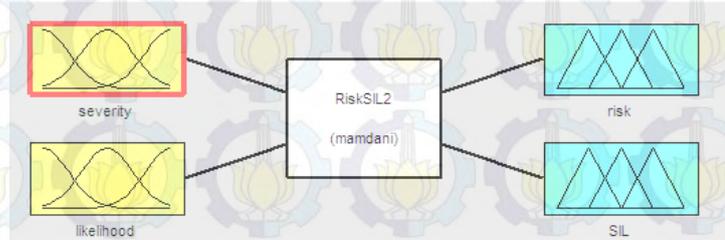
Dalam penyusunan sistem fuzzy ini, terdapat 81 rulebase yang didasarkan pada data yang ada. Berikut tampilan rulebase-nya:

Tabel 3.7 Rulebase Severity Rate

manusia	lingkungan	aset	citra		
			rendah	sedang	tinggi
rendah	rendah	rendah	negligible	minor	major
		sedang	negligible	minor	major
		tinggi	major	major	major
	sedang	rendah	minor	moderate	major
		sedang	moderate	moderate	major
		tinggi	major	major	major
	tinggi	rendah	major	major	major
		sedang	major	major	major
		tinggi	major	major	catastrophic
sedang	rendah	rendah	minor	moderate	major
		sedang	minor	moderate	major
		tinggi	major	major	major
	sedang	rendah	moderate	moderate	major
		sedang	minor	moderate	major
		tinggi	major	major	major
	tinggi	rendah	major	major	major
		sedang	major	major	major
		tinggi	major	major	catastrophic
tinggi	rendah	rendah	major	major	major
		sedang	major	major	major
		tinggi	major	major	catastrophic
	sedang	rendah	major	major	major
		sedang	major	major	major
		tinggi	major	major	catastrophic
	tinggi	rendah	major	major	catastrophic
		sedang	major	major	catastrophic
		tinggi	catastrophic	catastrophic	catastrophic

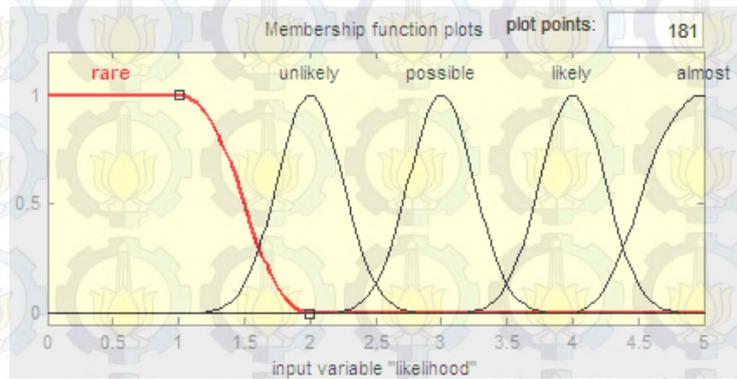
### 3.5.3.2 Tahap Risk Rating dan SIL

Nilai SIL dapat dicari dengan menggabungkan inputan *severity* dan *likelihood* (Khalil dkk, 2011). Sistem fuzzy yang digunakan adalah mimo (*multi input-multi output*). Inputnya berupa *severity* dan *likelihood*, sedangkan outputnya adalah *risk rating* dan *SIL*.



Gambar 3.8 Sistem Fuzzy MIMO

Fungsi keanggotaan untuk *likelihood* didasarkan pada matriks perusahaan, yaitu 5 tingkatan; *rare*, *unlikely*, *possible*, *likely*, dan *almost*.



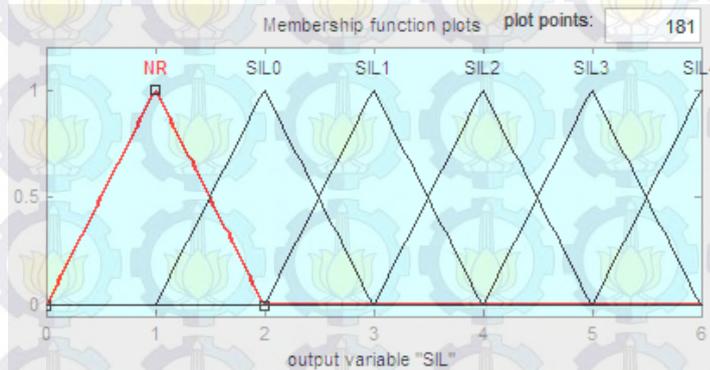
Gambar 3.9 Fungsi keanggotaan Likelihood

Penjelasannya pada tabel berikut:

Tabel 3.8 Likelihood

Rating	Keterangan
Rare	Tidak pernah terdengar di industri Migas Indonesia 1 kali dalam 100 tahun
Unlikely	Pernah terdengar di industri Migas di Indonesia 1 kali dalam 30 tahun
Possible	Pernah terjadi di industri Migas Indonesia 1 kali dalam 10 tahun
Likely	Terjadi beberapa kali di industri Migas Indonesia 1 kali dalam 3 tahun
Almost	Terjadi beberapa kali di Pertamina 1 kali dalam setahun atau lebih

Fungsi keanggotaan untuk nilai SIL adalah sebagai berikut:



Gambar 3.10 Fungsi keanggotaan SIL

Pembuatan rule base didasarkan pada data laporan kejadian (LKP) yang ada selama kurun waktu 3 tahun terakhir.

Tabel 3.9 Rulebase Fuzzy Risk-SIL

Severity	Likelihood				
	rare	unlikely	possible	likely	almost
<b>negligible</b>	rendah-NSSR	rendah-NSSR	rendah-SIL0	rendah-SIL0	rendah-SIL1
<b>minor</b>	rendah-NSSR	rendah-NSSR	rendah-SIL0	rendah-SIL0	rendah-SIL1
<b>moderate</b>	rendah-SIL0	rendah-SIL1	sedang-SIL1	sedang-SIL1	tinggi-SIL1
<b>major</b>	rendah-SIL1	sedang-SIL1	sedang-SIL1	tinggi-SIL2	tinggi-SIL2
<b>catastrophic</b>	sedang-SIL0	sedang-SIL0	tinggi-SIL0	tinggi-SIL1	tinggi-SIL2

### 3.6 Tahap Analisis Data

Pada tahap ini akan dilaksanakan analisis dari hasil penggolongan data secara kuantitatif maupun kualitatif. Analisis ini meliputi identifikasi bahaya proses dari metode HAZOP yang telah direview dan direvisi. setelah itu penilaian kecukupan dari IPL berdasarkan LOPA serta penambahan IPL baik berupa SIF yang akan dilani tingkat integritas keselamatannya dengan menggunakan SIL maupun IPL Non-SIF.

### 3.7 Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap akhir yang dilakukan untuk memberikan rekomendasi dari hasil estimasi nilai SIL. Kesimpulan yang diperoleh akan

menjawab dari tujuan dan menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam topik penelitian.

### **3.8 Penyusunan Laporan**

Laporan disusun sesuai dengan hasil yang telah dikerjakan pada tahap awal hingga tahap akhir penelitian

### 3.9 Diagram alir penelitian



Gambar 3.12 Metodologi penelitian

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Deskripsi Proses Distribusi

Objek yang diteliti pada penelitian ini yaitu unit distribusi BBM yang ada di ISG Pertamina Tanjung Perak, dimulai dari penerimaan minyak kapal tanker dermaga gopier dan pipa transmisi wilayah Tuban hingga proses *loading* mobil distributor keluar dari *gatekeeper*. Pada penelitian ini, proses distribusi dibagi menjadi 3 tahapan proses, yaitu sebagai berikut:

##### 4.1.1. Tahapan Proses Penerimaan

Proses penerimaan BBM di ISG Pertamina Tanjung Perak dilakukan dua jalur, yaitu darat dan laut. Jalur laut, BBM diterima dari kapal tanker, sedangkan jalur darat ISG Pertamina Tanjung Perak menerima pasokan BBM dari Tuban melalui *pipeline*. Proses penerimaan bahan bakar dioperasikan secara manual. Proses ini dimulai dari kapal sandar di dermaga, kemudian dilakukan proses pengecekan spesifikasi muatan. Ketika semua persiapan *pre-discharge* telah dilakukan, seperti tersedianya tangki timbun yang kosong (*ullage*), BBM dari kapal tanker akan dipompa bisa melalui selang (*hose connection*) dan MLA (*Marine Loading Arm*) yang menghubungkan antara manifold kapal dengan manifold demaga. Pompa yang terdapat di kapal dihubungkan ke SBM (*single bouy mooring*) yaitu suatu alat *connector* yang digunakan untuk pembongkaran BBM di tanker untuk dipompakan ke tangki timbun darat, yang mengapung di tengah laut sekitar 6 km lepas pantai.

Selama proses penerimaan, proses pengecekan terhadap *visual check density* dan warna serta kualitas dan kuantitas BBM tetap harus dilakukan. Selain itu petugas juga mengawasi selang, dan peralatan lainnya yang berhubungan dengan proses pemompaan, sehingga ketika terjadi gangguan pemompaan yang mengakibatkan keterlambatan, kontaminasi dan lain-lain akan dapat segera diatasi. Selesai pembongkaran akan dilakukan perhitungan kembali antara *After Discharge Ex- Tanker* dan *Actual receipt* Tanki Timbun di darat meliputi pengukuran density, tinggi minyak serta

suhu tangki darat yang dikonversikan pada suhu standar (liter 15 ° C atau bbl , 60° F).

#### 4.1.2. Tahapan Proses Penimbunan

BBM yang telah diterima, selanjutnya ditimbun dalam tangki timbun. Proses penimbunan dilakukan untuk menjaga stok BBM agar dapat memenuhi permintaan pasar selama minimal 10 hari. Tangki timbun didesain dengan tekanan operasi dari vakum hingga 15 psig (1.024 bar gauge). ISG memiliki 8 jenis tangki timbun dengan beberapa kapasitas yang berbeda dimana sesuai dengan kebutuhan. Tangki diberi *tag number* dan pewarnaan yang berbeda agar mudah dalam proses inspeksi secara visual. Produk yang ditimbun dalam tangki meliputi premium, kerosin, solar, MDF, MFO, MK, AVG, AVT. Namun tidak menutup kemungkinan tangki timbun ini memiliki perubahan jenis minyak yang disimpan dimana disesuaikan dengan permintaan pasar.

#### 4.1.3. Tahapan Proses Penyaluran

Tahapan proses selanjutnya yaitu penyaluran. BBM yang berada di tangki timbun disalurkan melalui *pipeline* menuju *filling shed* untuk kemudian disalurkan ke mobil tangki distributor. Pada proses ini alat yang digunakan yaitu meter arus dan *loading arm*. *Loading arm* merupakan sistem pipa fleksibel yang menjadi lengan pengisi untuk menghubungkan pipa penyaluran dengan mobil tangki menggunakan *quick coupling*.

## 4.2 Hazop (*Hazard and Operability Study*)

Tahap awal penelitian ini adalah identifikasi bahaya. Identifikasi bahaya dilakukan dengan menggunakan HAZOP yang dapat mengidentifikasi dan menginvestigasi secara terstruktur pada potensi deviasi operasi-operasi dari suatu sistem yang dapat menimbulkan permasalahan-permasalahan operasi proses dan bahaya-bahaya.

### 4.2.1 Penentuan Node HAZOP

Penentuan Node dilakukan berdasarkan *the concept of node* (Vincoli, 2006) yang menjelaskan bahwa terdapat tiga *basic criteria* untuk mengidentifikasi node-node yang akan direview, yaitu dengan membagi

fasilitas kedalam sistem proses dan subsistem, mengikuti aliran proses dari sistem, mengisolasi subsistem kedalam komponen mayor yang mencapai sebuah objek tunggal. Penentuan node yang akan menjadi bahan kajian dalam penelitian ini terinci pada tabel berikut:

Tabel 4.1. Daftar Studi Node HAZOP pada Distribusi BBM ISG Pertamina Tanjung Perak

<b>Node</b>	<b>Section of Facility</b>	<b>Design Intent</b>
1	Tanker <i>loading-pipeline-pig receiver</i>	BBM masuk dari kapal menuju <i>pipeline</i> kemudian masuk ke <i>pig receiver</i> (penerimaan)
2	<i>Pig receiver-storage tank</i>	BBM dari <i>pig receiver</i> dialirkan ke <i>storage tank</i> (tangki timbun)
3	<i>Storage tank-pipeline-filling shed-mobil tangki distribusi</i>	BBM dari <i>storage tank</i> (tangki timbun) menuju <i>filling shed</i> kemudian disalurkan ke mobil tangki distribusi (penyaluran)

#### 4.2.2 Guide Word dan Parameter

*Guide word* dan parameter yang digunakan dalam pengerjaan HAZOP ini berbeda dengan yang digunakan pada penelitian yang lainnya. Parameter yang digunakan yaitu *information*, *action*, *operation*, *contaminant*, dan *corrosion* yang cenderung lebih ke *human error*. (Kotek, Tabas, 2012). Parameter ini dipilih karena berdasarkan data perusahaan, kecelakaan atau kejadian yang tidak diinginkan sering terjadi karena *human error* (LKP, 2011-2013). Lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 4.2 Guide word dan parameter

<b>Parameter</b>	<b>Guide word</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Referensi</b>
Information	missing	Salah paham (tidak mengerti) dengan instruksi yang diberikan	CCPS, 2008

Lanjutan Tabel 4.2 Guide word dan parameter

Parameter	Guide word	Keterangan	Referensi
Action	Wrong	Salah melakukan pekerjaan	Kotek, L. dan Tabas, M. (2012)
	Part of	Hanya sebagian tahapan dalam pekerjaan yang dikerjakan	
	Earlier	Melakukan pekerjaan lebih cepat dari seharusnya	Kotek, L. dan Tabas, M. (2012)
	Later	Melakukan pekerjaan lebih lama dari seharusnya (terlambat)	
Operation	Other	Operasi yang tidak normal (misal: maintenance)	Nolan, 1994
Contaminate	High	Peningkatan kuantitas	Nolan, 1994
Corrosion	High	Peningkatan kuantitas	Nolan, 1994

Kombinasi antara *guide word* parameter di atas nantinya merupakan *deviation* atau penyimpangan di dalam pengerjaan HAZOP.

#### 4.2.3 Pengerjaan HAZOP

##### 4.2.3.1 Node satu

Node satu pada HAZOP ini yaitu *tanker loading by pipeline to pig receiver* dengan *design intent* BBM masuk dari kapal menuju *pipeline* kemudian masuk ke *pig receiver*. Pada node ini, terdapat 18 *deviation* dengan berbagai macam penyebab (*cause*).

Node : 1  
 Project/Facility : Fasilitas distribusi ISG PT Pertamina Tanjung Perak  
 Section of Facility : Tanker loading-pipeline-pig receiver  
 Design Intent : Discharge BBM dari kapal menuju *pipeline* kemudian masuk ke *pig receiver*

No.	Parameter	Guideword	Deviation	Cause	Possible Consequence	Existing Safeguard (Indication/Protection)	S	L	R	M
1	Information	Missing	Miss of information	Kurangnya koordinasi antara awak kapal dengan bagian <i>receiving</i> dan <i>storage</i> di ISG	-Antrian kapal -Tabrakan antar kapal -Kerusakan kapal dan aset -Tumpahan minyak -Cidera	-SOP -radio komunikasi, HT - <i>signalman</i> - <i>warning sign</i> - <i>oil spill combat</i>	2	B	R	M
							3	B	M	A
							3	B	R	L
							3	B	M	C
						3	B	R	Σ	
2	Action	Earlier	The operator carries out the task earlier	Awak kapal membuka valve di kapal sebelum <i>hose connection</i> dipasang dengan benar saat pompa sudah running	-Tumpahan minyak -Pencemaran lingkungan -Potensi kebakaran -Kerugian material	-SOP -Pengawasan - <i>Signal man</i> - <i>oil spill combat</i>	3	B	R	M
							3	B	R	A
							4	B	M	L
							3	B	R	C
						4	B	R	Σ	

##### 4.2.3.2 Node dua

Untuk node dua yaitu *pig receiver to storage tank* dengan *design intent* BBM dari *pig receiver* dialirkan ke *storage tank* (tangki

timbun). Pada node ini, terdapat 15 *deviation* dengan berbagai macam penyebab (*cause*).

Node : 2  
 Project/Facility : Fasilitas distribusi ISG PT Pertamina Tanjung Perak  
 Section of Facility : Pig receiver - storage tank  
 Design Intent : BBM dari pig receiver dialirkan ke storage tank (tangki timbun)

No.	Parameter	Guideword	Deviation	Cause	Possible Consequence	Existing Safeguard (Indication/Protection)	S	L	R	
1	Information	Missing	Miss of information	Kurangnya koordinasi antar petugas penerimaan di tangki dengan bagian di dermaga atau dr Tuhan	-Over pressure -Tumpahan minyak -Potensi kebakaran	-SOP -Pemasangan Surge Relief Valve (SRV)	3	B	R	M
							4	B	M	A
							3	B	R	L
							4	B	M	C
							4	B	M	Σ
2	Action		Wrong action	Operator kurang memahami area tangki timbun saat sounding dan pengambilan sampel	-Terjatuh -Digitigit ular -Cidera -Emisi uap bahan bakar	-SOP -Pemakaian APD	2	B	R	M
							1	B	R	A
							1	B	R	L
							1	B	R	C
							1	B	R	Σ
3	Action	Part of	Part of action	Operator tidak memantau level indicator	-Over fill -Tumpahan minyak -Potensi kebakaran	-SOP -Training petugas -Safety induction -Pemakaian APD	3	C	M	M
							4	C	M	A
							4	C	M	L
							4	C	M	C
							4	C	M	Σ
4	Action	Later	The operator carries out the task later	Operator tidak membuka manifold saat proses transfer BBM (pompa running)	-Tumpahan minyak -Kerugian material -Potensi kebakaran	-SOP -Return cargo -Oil spill Combat -Radio Komunikasi	3	C	M	M
							4	C	M	A
							5	C	T	L
							3	C	M	C
							5	C	T	Σ

#### 4.2.3.3 Node tiga

Node tiga atau node yang terakhir yaitu *Storage tank by pipeline to filling shed* dengan *design intent* BBM dari *storage tank* (tangki timbun) menuju *filling shed* kemudian disalurkan ke mobil tangki distribusi. Pada node ini, terdapat 19 *deviation* dengan berbagai macam penyebab (*cause*).

Node : 3  
 Project/Facility : Fasilitas distribusi ISG PT Pertamina Tanjung Perak  
 Section of Facility : Pipeline-filling shed  
 Design Intent : BBM dari storage tank (tangki timbun) dipompa filling shed kemudian disalurkan ke mobil tangki distribusi

No.	Parameter	Guideword	Deviation	Cause	Possible Consequence	Existing Safeguard (Indication/Protection)	S	L	R	
1	Information	Missing	Miss of information	Kurangnya koordinasi antar operator	-Antrian mobil tangki -Tabrakan antar mobil tangki	-Penjadwalan yang jelas -warning sign	3	A	R	M
							4	A	R	A
							3	A	R	L
							4	A	R	C
							3	A	R	Σ
2	Action		Wrong action	Sopir tidak menguasai area filling shed	-tabrakan antar mobil tangki -sopir menabrak fasilitas perusahaan	-SOP -warning sign	3	B	R	M
							3	B	R	A
							2	B	R	L
							2	B	R	C
							3	B	R	Σ
3	Action		Wrong action	Sopir salah menekan tombol filling	-Tumpahan minyak -Potensi kebakaran	-SOP -Over fill sensor -Alat pemadam kebakaran	2	D	R	M
							4	D	T	A
							4	D	T	L
							2	D	M	C
							4	D	T	Σ
4	Action		Wrong action	Sopir lalai tidak melepas loading arm, dan langsung menjalankan mobil	-Loading arm rusak, putus -Tumpahan minyak -Potensi kebakaran	-SOP -Alat pemadam kebakaran	2	D	R	M
							4	D	T	A
							4	D	T	L
							2	D	M	C
							4	D	T	Σ
5	Action		Wrong action	Sopir lalai tidak menutup bottom loader dengan rapat	-Luberan -Potensi kebakaran	-SOP -Alat pemadam kebakaran	2	D	R	M
							2	D	R	A
							4	D	T	L
							2	D	M	C
							4	D	T	Σ

### 4.3 HAZOP Integration

Dalam penentuan nilai SIL yang dibutuhkan dilakukan dengan cara mengintegrasikan antara HAZOP dan LOPA. Pengerjaan LOPA dimulai dari kiri ke kanan dalam *worksheets* (Mefredy, 2007) dan mendapatkan input dari HAZOP selama proses analisis. Dampak potensi bahaya yang terdapat pada *worksheet* HAZOP menjadi *impact event* dalam *worksheet* LOPA. Kemudian nilai *severity level* pada LOPA merupakan nilai *severity* yang ada di HAZOP *worksheet*. Begitu pula dengan *initiating cause* pada LOPA merupakan faktor penyebab pada *worksheet* HAZOP.

Pengendalian yang telah dilakukan terhadap risiko yang ada diidentifikasi didalam HAZOP yang ditunjukkan didalam PLs (*protection layers*) dalam LOPA. Pengendalian yang dilakukan dapat berupa pemasangan *safeguards*, pemberian SOP yang jelas pada masing-masing pekerjaan, alat proteksi kebakaran maupun penggunaan Alat pelindung Diri (APD). Catatan bahwa semua IPLs adalah *safeguards*, tapi tidak semua *safeguards* adalah IPLs (CCPS, 2001). Semua IPLs yang termasuk didalam kolom didalam *worksheet* LOPA, harus diimplementasikan dan membutuhkan evaluasi.

Konsekuensi HAZOP *severity ranking* (S), dan konsekuensi HAZOP *likelihood* (L) dapat ditransformasikan kedalam LOPA, dan *impact events severity level* dan *initiating cause frequency* adalah syarat yang dapat dipakai didalam LOPA dengan kolom yang terkait (Dowell, 2005), namun apabila *risk matrix* yang digunakan adanya perbedaan antara HAZOP dan LOPA dalam penentuan *severity* dapat disesuaikan, hanya *severity* yang berwarna merah atau tergolong sebagai kategori risiko tinggi yang dapat integrasikan kedalam LOPA (Lassen, CA, 2008).

### 4.4 Pengerjaan Layer of Protection Analysis (LOPA)

Sebagai alat semikuantitatif yang bertujuan untuk menganalisa dan menilai risiko, LOPA dapat digunakan untuk menilai kecukupan lapisan pelindung dalam memitigasi risiko proses (CCPS, 2001). Untuk menentukan target SIL yang dibutuhkan terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan yaitu sebagai berikut:

#### 4.4.1 Identifikasi skenario dari HAZOP ke LOPA

Identifikasi skenario dimulai berdasarkan informasi yang disediakan oleh HAZOP dan data lain yang mendukung pengembangan skenario, seperti data P&ID. Dalam LOPA, skenario adalah penyebab awal yang merupakan dampak potensi bahaya yang terdapat pada HAZOP yang memiliki nilai dari *risk rank* tinggi (Lassen, CA, 2008). Pada penelitian ini, terdapat 4 skenario yang merupakan transformasi dari HAZOP yaitu:

- a. Tumpahan minyak, kerugian material yang diakibatkan oleh operator yang tidak membuka gate valve manifold saat proses transfer BBM (pompa running)
- b. Overfill yang disebabkan sopir salah menekan tombol filling
- c. Loading arm rusak yang disebabkan sopir lalai tidak melepas loading arm dan langsung menjalankan mobil
- d. Terjadi luberan akibat sopir lalai tidak menutup bottom loader dengan rapat.

#### 4.4.2 Evaluasi *Severity & Consequences* dan Identifikasi TMEL (*Target Mitigated Event Likelihood*)

Dalam proses LOPA, peneliti mengidentifikasi kemungkinan bahwa kejadian harus termitigasi dari segi keselamatan untuk setiap skenario yang ada. Dari keempat skenario LOPA nilai *severity level* disesuaikan dengan HAZOP, sedangkan untuk nilai TMEL adalah  $3 \times 10^{-2}$  dilihat dari tingkat keparahan suatu kecelakaan terjadi yaitu 100 tahun.

#### 4.4.3 *Initiating Cause & Likelihood* (ICL)

Kemungkinan terjadinya *initiating cause* dapat didefinisikan berdasarkan data tingkat kegagalan aktual, penilaian dari tim atau merujuk dari tabel. Pada penelitian ini pendekatan nilai ICL dilakukan dengan merujuk pada table dari CCPS tahun 2001. Pendekatan ini mengikuti pada kedua penelitian sebelumnya yaitu Anniken Reusch Berg tahun 2007 dan Christopher A. Lassen tahun 2008 mengenai penentuan SIL dengan menggunakan metode LOPA. Nilai ICL untuk masing-masing *cause* dapat dilihat di lampiran.

#### 4.4.4 Identifikasi IPLs (*Independent Protection Layers*)

Semua IPLs merupakan *safeguards*, tapi tidak semua *safeguards* merupakan IPLs (CCPS, 2001). Karakteristik dari lapisan pelindung adalah mencegah terjadinya konsekuensi. Setiap IPL harus berfungsi sedemikian rupa sehingga konsekuensi tidak akan terjadi. Setiap lapisan pelindung yang diperhitungkan harus independen dari lapisan pelindung lainnya. Artinya, tidak boleh ada kegagalan yang dapat menonaktifkan dua atau lebih lapisan pelindung. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat di lampiran.

#### 4.4.5 *Conditional Modifier*

Selain mempertimbangkan *initiating likelihood*, di dalam pelaksanaan LOPA harus mempertimbangkan *conditional modifier* atau bisa disebut juga dengan perubahan frekuensi potensial seperti *probability of fatal injury* ( $P_{tr}$ ), *probability of personal in affected area* ( $P_p$ ) dan *probability of ignition* ( $P_i$ ). Nilai dari *probability of ignition* ( $P_i$ ) merujuk pada HSL/2005/50 mengenai *offshore ignition probability arguments* tercatat 3-16% pelepasan material yang menjadi penyalaan. Pendekatan yang diambil berdasarkan data dari perusahaan dalam menentukan skenario dari *probability of ignition* telah disederhanakan sebagai berikut:

- a. *Probability of ignition* dari pelepasan cairan/minyak mentah = 0,01
- b. *Probability of ignition* dari pelepasan gas/kondensat yang berjumlah kecil = 0,1
- c. *Probability of ignition* dari pelepasan gas/kondensat berjumlah besar = 0,5
- d. *Probability of ignition* jika terjadi pecah (ledakan) = 1

### 4.5 Perhitungan LOPA

#### 4.5.1 Perhitungan IEL (*Intermediate Event Likelihood*)

Perhitungan dari IEL (*Intermediate Event Likelihood*) digunakan untuk mengetahui perbandingan antara TMEL (*target mitigated event likelihood*) yang telah ditetapkan yaitu sebesar  $3 \times 10^{-2}$  dengan nilai dari  $IEL_t$ . Apabila nilai dari  $IEL_t \leq TMEL$  maka pengurangan risiko tidak perlu dilakukan, karena telah melampaui LOPA atau rasio dari LOPA yaitu  $\geq 1$ .

Jika jumlah  $IEL_t > TMEL$  dan terdapat SIF (*Safety Instrumented Function*), maka rasio TMEL terhadap  $IEL_t$  harus dihitung untuk menentukan SIL (*Safety Integrity Level*) dari SIF tersebut. Jika hasil  $IEL_t > TMEL$  dan tidak ada SIF, maka lapisan pelindung dianggap tidak memadai untuk memitigasi risiko. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan ICL dengan semua PFD pada masing-masing *protection layer*.

## NODE 2

1. Skenario : tumpahan minyak

Penyebab : Operator tidak membuka gate valve manifold saat proses transfer BBM (*pompa running*)

Inisiasi Likelihood : 1, *human error once-per day opportunity* (CCPS 2001)

Lapisan perlindungan:

- a. Desain Proses : 1 (Tidak dipengaruhi kegagalan design)
- b. BPCS : 1 (Tidak dipengaruhi kegagalan BPCS)
- c. Alarm : 1 (Tidak dipengaruhi kegagalan alarm, mitigasi secara manual)
- d. *Human intervention*:

$$P_{\text{failure}} = 1 - (1 - \text{HEP})^n \text{ (Myers, 2013)}$$

Dimana: HEP = *human error probability* tiap tahapan pekerjaan (Myers, 2013)

n = jumlah tahapan pekerjaan (SOP perusahaan)

maka,

$$P_{\text{failure}} = 1 - (1 - 0,001)^6 \\ = 0,00598$$

e. *Additional mitigation* terdiri dari : (HSL/2005/50)

- Probability of Fatal Injury ( $P_{\text{tr}}$ ) = 1 (Operasi kontinyu)
- Probability of Personnel in Affected Area ( $P_p$ )

$$. = \frac{h}{60} = \frac{15}{60} = 0.25$$

Nilai 15 menit didapatkan dari data lapangan, dimana artinya yaitu setiap 1 jam proses transfer BBM berlangsung, operator berada di area tersebut selama 15 menit.

- Probability of Ignitation = 0.01 (Pelepasan minyak)

Perhitungan Inisiasi Likelihood :

$$\begin{aligned} &= \dots \dots \dots \\ \text{IEL} &= 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,00598 \times 1 \times 0,25 \times 0,01 \\ \text{IEL} &= 1,49 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Rasio LOPA : — dengan TMEL =  $3 \times 10^{-2}$

$$\text{Rasio LOPA} = 3 \times 10^{-2} / 1,49 \times 10^{-5} = 2 \times 10^3$$

Maka nilai SIL adalah NR.

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah NR, dimana artinya lapisan perlindungan telah cukup, namun untuk mencegah kejadian yang sama terulang kembali diperlukan *preventive action* yang lain.

Rekomendasi *preventive action* :

- a. Sosialisasi SOP pada operator
- b. Training secara rutin pada operator
- c. Menerapkan sistem checklist pada saat proses transfer, sehingga tahapan pekerjaan dapat diketahui secara jelas

### NODE 3

1. Skenario : *overflow*

Penyebab : Sopir salah menekan tombol filling

Inisiasi Likelihood : 1, *human error once-per day opportunity* (CCPS 2001)

Lapisan perlindungan:

- Desain Proses : 1 (Tidak dipengaruhi kegagalan design)
- BPCS : 1 (Tidak dipengaruhi kegagalan BPCS)
- Alarm dan *human action* : 0,1 (kegagalan *operator response* terhadap *sensor overflow*)
- *Additional mitigation* terdiri dari : (HSL/2005/50)

- Probability of Fatal Injury ( $P_{tr}$ ) = 1 (Operasi kontinyu)

- Probability of Personnal in Affected Area ( $P_p$ )

$$= \frac{h}{60} = \frac{10}{60} = 0.1667$$

Nilai 10 menit didapatkan dari data lapangan, dimana artinya yaitu setiap 1 jam proses *filling* mobil tangki distribusi, operator berada di area tersebut selama 10 menit.

- Probability of Ignitation = 0.01 (Pelepasan minyak)

Perhitungan Inisiasi Likelihood :

$$= \dots \dots \dots$$
$$IEL = 1 \times 1 \times 1 \times 0.1 \times 1 \times 0,1667 \times 0.01$$

$$IEL = 1.67 \times 10^{-4}$$

Rasio LOPA : — dengan TMEL =  $3 \times 10^{-2}$

$$\text{Rasio LOPA} = 3 \times 10^{-2} / 1.67 \times 10^{-4} = 1,8 \times 10^2$$

Maka nilai SIL adalah NR.

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah NR, dimana artinya lapisan perlindungan telah cukup, namun untuk mencegah kejadian yang sama terulang kembali diperlukan *preventive action* yang lain.

Rekomendasi *preventive action* :

- a. Sosialisasi SOP pada awak mobil tangki
- b. Training pada awak mobil tangki secara rutin
- c. Inspeksi rutin pada mobil tangki

2. Skenario : Loading arm rusak

Penyebab : Sopir lalai tidak melepas loading arm, dan langsung menjalankan mobil

Inisiasi Likelihood : 1, *human error once-per day opportunity* (CCPS 2001)

Lapisan perlindungan:

- Desain Proses : 1 (Tidak dipengaruhi kegagalan design)
- BPCS : 1 (Tidak dipengaruhi kegagalan BPCS)
- Alarm : 1 (Tidak dipengaruhi kegagalan alarm, mitigasi secara manual)
- *Additional mitigation* terdiri dari : (HSL/2005/50)
  - Probability of Fatal Injury ( $P_{tr}$ ) = 1 (Operasi kontinyu)
  - Probability of Personnal in Affected Area ( $P_p$ )

$$= \frac{h}{60} = \frac{10}{60} = 0.1667$$

Nilai 10 menit didapatkan dari data lapangan, dimana artinya yaitu setiap 1 jam proses *filling* mobil tangki distribusi, operator berada di area tersebut selama 10 menit.

- Probability of Ignitation = 0.1 (Pelepasan gas dalam jumlah kecil)

Perhitungan Inisiasi Likelihood :

$$= \dots \dots \dots$$

$$IEL = 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.1667 \times 0.1$$

$$IEL = 1.67 \times 10^{-4}$$

Rasio LOPA : — dengan TMEL =  $3 \times 10^{-2}$

$$\text{Rasio LOPA} = 3 \times 10^{-2} / 1.67 \times 10^{-4} = 1,8 \times 10^1$$

Maka nilai SIL adalah NR.

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah NR, dimana artinya lapisan perlindungan telah cukup, namun untuk mencegah kejadian yang sama terulang kembali diperlukan *preventive action* yang lain.

Rekomendasi *preventive action* :

- Sosialisasi SOP pada awak mobil tangki
- Training pada awak mobil tangki secara rutin
- Inspeksi rutin pada mobil tangki

### 3. Skenario : Luberan minyak

Penyebab : Sopir lalai tidak menutup bottom loader dengan rapat

Inisiasi Likelihood : 1, *human error once-per day opportunity* (CCPS 2001)

Lapisan perlindungan:

- Desain Proses : 1 (Tidak dipengaruhi kegagalan design)
- BPCS : 1 (Tidak dipengaruhi kegagalan BPCS)
- Alarm : 1 (Tidak dipengaruhi kegagalan alarm, mitigasi secara manual)
- *Additional mitigation* terdiri dari : (HSL/2005/50)

- Probability of Fatal Injury ( $P_{tr}$ ) = 1 (Operasi kontinyu)

- Probability of Personnal in Affected Area ( $P_p$ )

$$= \frac{h}{60} = \frac{10}{60} = 0.1667$$

Nilai 10 menit didapatkan dari data lapangan, dimana artinya yaitu setiap 1 jam proses *filling* mobil tangki distribusi, operator berada di area tersebut selama 10 menit.

- Probability of Ignitation = 0.01 (Pelepasan minyak)

Perhitungan Inisiasi Likelihood :

$$= \dots \dots \dots$$

$$IEL = 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,1667 \times 0.01$$

$$IEL = 1,67 \times 10^{-3}$$

Rasio LOPA : — dengan TMEL =  $3 \times 10^{-2}$

$$\text{Rasio LOPA} = 3 \times 10^{-2} / 1,67 \times 10^{-3} = 1,8$$

Maka nilai SIL adalah NR.

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah NR, dimana artinya lapisan perlindungan telah cukup, namun untuk mencegah kejadian yang sama terulang kembali diperlukan *preventive action* yang lain.

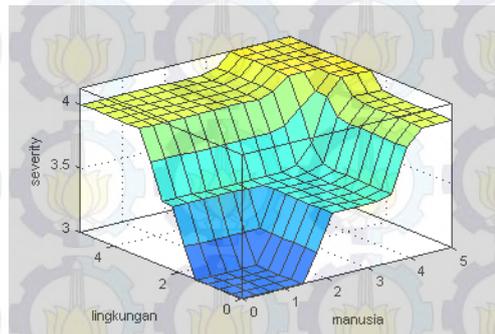
Rekomendasi *preventive action* :

- Sosialisasi SOP pada awak mobil tangki
- Training pada awak mobil tangki secara rutin
- Inspeksi rutin pada mobil tangki

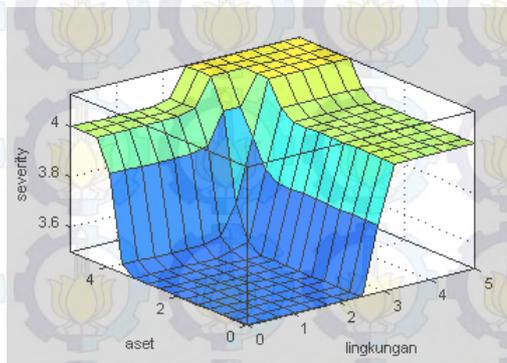
## 4.6 Hasil Sistem Fuzzy

### 4.6.1 Fuzzy-Severity rate

Hasil dari pembuatan sistem fuzzy *severity rate* atau yang terliat pada diagram blok gambar 3.2, adalah sebagai berikut:

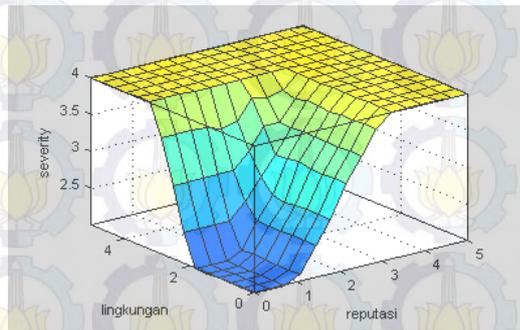


Gambar 4.1 Surface viewer lingkungan-manusia



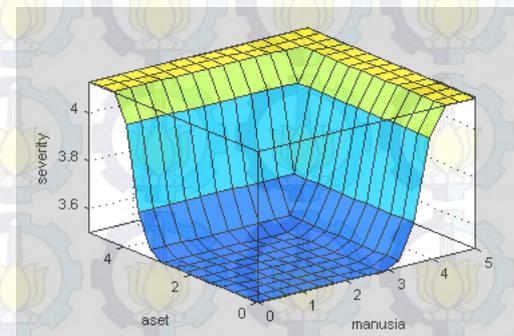
Gambar 4.2 Surface viewer lingkungan-aset

Dari hasil *surface viewer*, terlihat bahwa antara lingkungan-manusia dengan lingkungan dan aset memiliki tampilan yang berbeda. Pada *surface viewer* lingkungan-manusia nilai *severity* memberikan hasil yang tinggi hanya pada inputan kecil, sedangkan pada *Surface viewer* lingkungan-aset, *severity* bernilai tinggi ketika aset bernilai tinggi. Namun, apabila dibandingkan lagi dengan input lingkungan-reputasi, hasilnya juga akan berbeda, yaitu tampak pada gambar 4.3. *Severity* relatif tinggi meskipun reputasi dan lingkungan bernilai rendah. Hal ini sesuai dengan kondisi riil perusahaan, bahwa lingkungan dan reputasi memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap tingkat *severity* suatu kondisi bahaya.

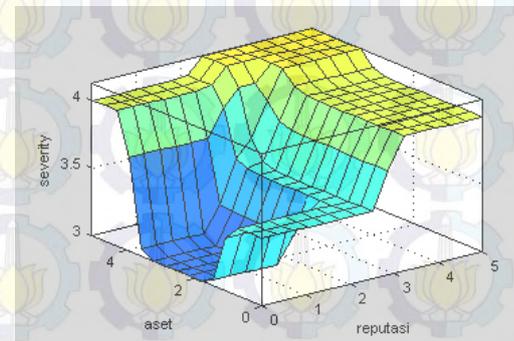


Gambar 4.3 Surface viewer lingkungan-reputasi

Begitu pula dengan aspek input yang lain, seperti gambar berikut:



Gambar 4.4 Surface viewer aset- manusia



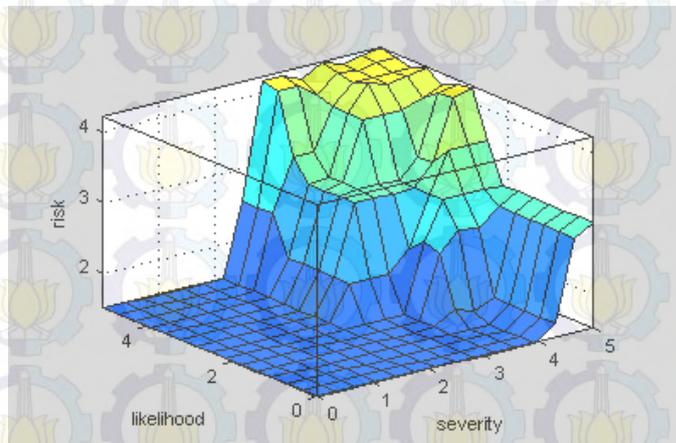
Gambar 4.5 Surface viewer aset-reputasi

Kedua gambar di atas, memiliki hasil output yang berbeda, dikarenakan aspek manusia lebih berpengaruh terhadap *severity rate* dibandingkan dengan reputasi. Aspek manusia dan aset cenderung memberikan hasil yang seimbang, dibandingkan dengan aspek aset dan reputasi.

#### 4.6.2 Fuzzy-LOPA (risk ranking dan SIL)

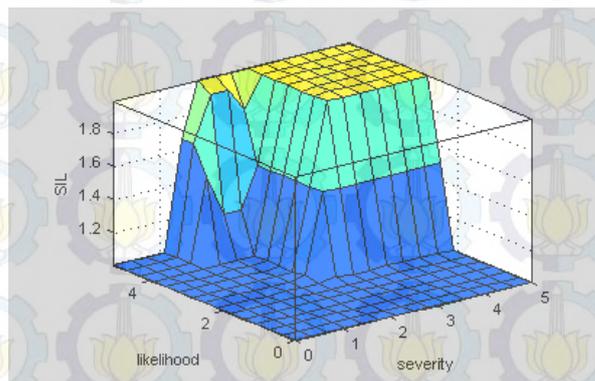
Fuzzy-LOPA pada tahap ini memiliki input 2, yaitu *severity* dan likelihood, serta memiliki keluaran 2 yaitu risk ranking dan SIL rating.

Sistem ini termasuk fuzzy multi input multi output (MIMO). Berdasarkan diagram blok pada tahap sebelumnya, maka hasilnya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.2 Surface viewer fuzzy risk ranking

Apabila nilai likelihood tinggi dan *severity* tinggi, maka risk ranking juga akan tinggi, hal ini dikarenakan risk ranking berbanding lurus dengan variable input. Akan tetapi, apabila dibandingkan antara likelihood dan severity, risiko cenderung lebih cepat tinggi ketika nilai severity tinggi, artinya risiko akan bernilai tinggi ketika tingkat keparahan (*severity*) dari suatu bahaya juga bernilai tinggi meskipun potensi bahaya tersebut jarang terjadi. Sedangkan untuk keluaran SIL adalah sebagai berikut:



Gambar 4.3 Surface viewer fuzzy SIL rating

#### 4.7 Analisis Severity Rate

Penilaian *severity* pada penelitian ini didasarkan pada empat aspek; aspek manusia, lingkungan, aset dan reputasi. Penilaian ini didasarkan pada kerugian

dari segi ekonomi. Penilaian ini dilakukan agar hasil dari nilai *severity* tidak hanya bergantung pada salah satu aspek saja, mengingat keempat aspek ini memiliki pengaruh terhadap hasil. Keempat aspek ini dinilai berdasarkan tingkatan tertentu seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya.

Dari hasil *surface viewer* fuzzy, dari keempat aspek input memiliki hasil yang berbeda satu sama lain. Hal ini dikarenakan fungsi keanggotaan untuk masing-masing input berbeda, disesuaikan dengan standar perusahaan yang ada.

Apabila hasil dari fuzzy dibandingkan dengan skenario LOPA yang ada, maka hasilnya sebagai berikut:

a. Skenario tumpahan minyak saat proses penerimaan

Dari hasil sistem fuzzy, untuk kasus tumpahan minyak *severity* bernilai 5 atau *catastrophic*. Apabila nilai ini dilihat dari fungsi keanggotaan *severity* maka nilai kerugiannya adalah termasuk  $> \text{US } \$ 1000.000$ .

b. Skenario *overflow*

Dari hasil sistem fuzzy, untuk kasus tumpahan minyak *severity* bernilai 4 atau *major*. Apabila nilai ini dilihat dari fungsi keanggotaan *severity* maka nilai kerugiannya adalah antara  $\text{US } \$ 100.000 - \text{US } \$ 1000.000$

c. Skenario *loading arm* rusak akibat tertarik mobil tangki

Dari hasil sistem fuzzy, untuk kasus tumpahan minyak *severity* bernilai 4 atau *major*. Apabila nilai ini dilihat dari fungsi keanggotaan *severity* maka nilai kerugiannya adalah antara  $\text{US } \$ 100.000 - \text{US } \$ 1000.000$

d. Skenario tumpahan minyak akibat *bottom loader* yang tidak rapat

Dari hasil sistem fuzzy, untuk kasus tumpahan minyak *severity* bernilai 4 atau *major*. Apabila nilai ini dilihat dari fungsi keanggotaan *severity* maka nilai kerugiannya adalah antara  $\text{US } \$ 100.000 - \text{US } \$ 1000.000$

Apabila hasil *severity rate* ini dibandingkan dengan data identifikasi bahaya perusahaan didapatkan hasil yang sama. Hasil *severity rate* dengan sistem

fuzzy lebih akurat dibandingkan dengan identifikasi perusahaan yang dilakukan secara manual.

#### 4.8 Analisis FLOPA (Risk ranking-SIL rating)

Risiko merupakan perkalian antara severity dan likelihood. Begitu pula pada sistem fuzzy yang telah dibuat, untuk mendapatkan output risiko diperlukan inputan berupa severity dan likelihood. Akan tetapi, pada perhitungan manual, nilai severity dari masing-masing skenario diambil dari nilai terbesar dari data yang ada, sedangkan sistem fuzzy menggunakan kombinasi dari keempat dampak; manusia, lingkungan, aset dan reputasi. Berikut merupakan perbandingan hasil risiko yang didapat baik secara manual maupun dengan sistem fuzzy:

Tabel 4.3 Perbandingan Risk perhitungan manual dengan fuzzy

Skenario	Risk dengan perhitungan manual	Risk Sistem Fuzzy
Node 2		
1	T	4,24 (T)
Node 3		
1	T	4,23 (T)
2	T	4,23 (T)
3	T	4,23 (T)

Dapat terlihat bahwa pada penelitian ini, perhitungan manual dan hasil dari fuzzy relatif sama. Hal ini dikarenakan dalam pembuatan *rulebase* disesuaikan dengan standar perusahaan. Akan tetapi sistem fuzzy-LOPA ini memiliki hasil yang lebih bagus, dikarenakan ditinjau dari 4 aspek dampak, yaitu manusia, lingkungan, aset dan reputasi.

Tabel 4.4 Perbandingan Nilai SIL perhitungan manual dengan fuzzy

Skenario	SIL manual	SIL Sistem Fuzzy
Node 2		
1	NR	SIL 0
Node 3		
1	NR	SIL 0
2	NR	SIL 0
3	NR	SIL 0

Dari tabel di atas, diketahui bahwa hasil dari perhitungan manual dan sistem fuzzy terdapat perbedaan, namun memiliki arti yang sama, karena baik NR maupun SIL 0, hal ini berarti bahwa lapisan perlindungan yang ada telah cukup.

Oleh karena itu, sistem ini dapat digunakan untuk kegiatan penilaian risiko selanjutnya. Selain itu, fLOPA yang telah dibangun memudahkan pengguna, karena dengan 2 inputan yaitu severity dan likelihood dapat menghasilkan 2 output yaitu risk ranking dan SIL.

## BAB 5

### KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Deviasi proses pada HAZOP didapatkan dengan menggabungkan antara parameter dengan guideword yang telah ditentukan sebelumnya. Pada penelitian ini terdapat 5 parameter, yaitu *information*, *action*, *operation*, *contaminate*, dan *corrosion*. Sedangkan guide word yang digunakan adalah *missing*, *wrong*, *part of*, *earlier*, *later*, *other*, dan *high*.
2. Dari 4 skenario yang ada, perhitungan SIL dengan LOPA secara manual menghasilkan nilai SIL yaitu NR. Hal ini berarti bahwa lapisan perlindungan yang ada telah mencukupi. Namun pada penelitian ini diberikan rekomendasi *preventive action* karena meskipun lapisan perlindungan telah cukup, kejadian tersebut masih terjadi. Sehingga diharapkan dengan melaksanakan *preventive action* yang diberikan, kejadian yang serupa tidak terulang kembali.
3. fLOPA dibuat dengan sistem mimo, dimana inputnya severity dan likelihood menghasilkan risk ranking dan SIL. Hasilnya sesuai dengan data perusahaan. Hal ini sesuai dengan tujuan dari penelitian ini yaitu membangun sistem fLOPA yang nantinya dapat digunakan untuk proses selanjutnya.

## LAMPIRAN 1

**Table 1** Target Mitigated Event Likelihood (TMEL) calculation based on *severity level*

[Ref: CCPS (Center for Chemical Process Safety), 2001]

Severity level	Safety Consequences	Target Mitigated Event Likelihood (TMEL)
C <sub>A</sub>	Single first aid injury	$3 \cdot 10^{-2}$ per tahun
C <sub>B</sub>	Multiple first aid injuries	$3 \cdot 10^{-3}$ per tahun
C <sub>C</sub>	Single disabling injury or multiple serious injuries	$3 \cdot 10^{-4}$ per tahun
C <sub>D</sub>	Single on-site fatality	$3 \cdot 10^{-5}$ per tahun
C <sub>E</sub>	More than one and up to three on-site fatalities	$1 \cdot 10^{-5}$ per tahun

## LAMPIRAN 2

**Table 2** PFD value of Initiating Likelihood at general processes [Ref: CCPS (Center for Chemical Process Safety), 2001]

No	Initial Causes and Failure Probability	Failure Probability per Year (PFD)
1	BPCS loop instrument failures (IEC 61511 prevents the probability of BPCS failures)	1,00E-01
2	Regulator failures	1,00E-01
3	Non-moving equipment failures (example: heat exchanger leakage)	1,00E-02
4	Pump and other moving equipments	1,00E-01
5	Cooling water failures (example: redundant cooling water pump)	1,00E-01
6	Power losses (redundant power supply)	1,00E-01
7	Human error (routine, once per day)	1,00E-01
8	Human error (routine, once per month)	1,00E-01
9	Human error (non routine, low stress)	1,00E-01
10	Human error (non routine, high stress)	1,00E+00
11	Residual pressurized failures	1,00E-03
12	Residual pipe failures-100 m-Full breach	1,00E-03
13	Pipe leakage (10% part)-100 m	1,00E-03
14	Atmospheric tank failures	1,00E-03
15	Gasket explosion/packing	1,00E-02
16	Turbine overspeed/diesel engine with unclear failures	1,00E-04
17	Third party intervention (external impact from backhoe, vehicles, etc.)	1,00E-02
18	Falling crane loads	0.0001 per loading
19	Lightning strikes	1,00E-03
20	Safety tube is spuriously opened	1,00E-02
21	Pump seal failures	1,00E-01
22	Loading/unloading chain failures	1,00E-01
23	External small fire (from many different causes)	1,00E-01
24	External large fire (from many different causes)	1,00E-02
25	LOTO Procedural failures (Lock out tag out): Overall failures from multi-element process	0.001 per chance
26	Operator failures (Routine operation procedure, suppose skilled workers, not stress and exhausted)	0.01 per chance
27	Other initial causes	Based on personel experiences

### LAMPIRAN 3

#### *Plant Area*



keterangan:

A = node dari *Pig receiver- storage tank*

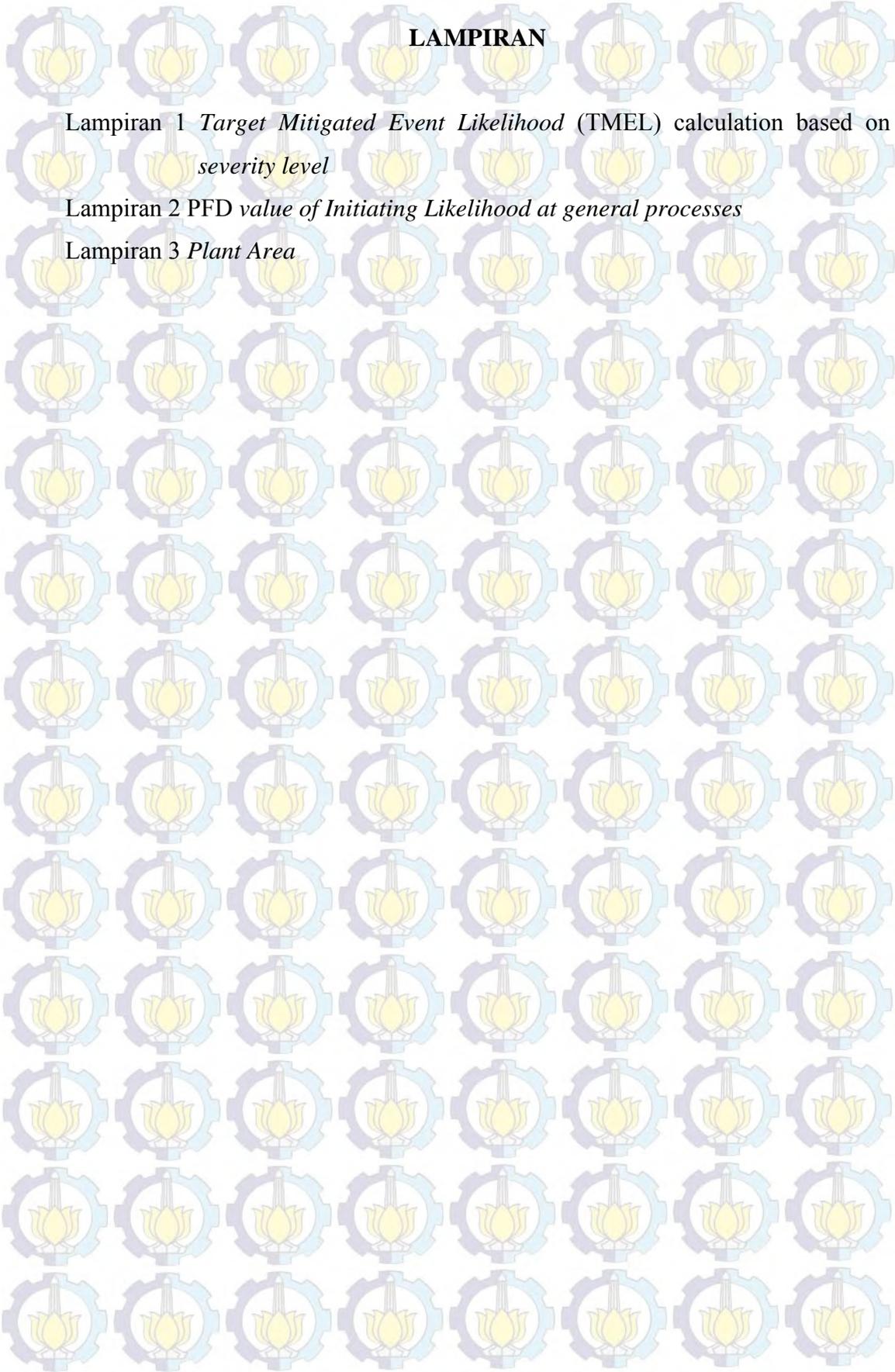
B = node dari *filling shed-mobil tangki distribusi*

A. Node dari *Pig receiver- storage tank*



B. Node dari *filling shed-mobil tangki distribusi*





**LAMPIRAN**

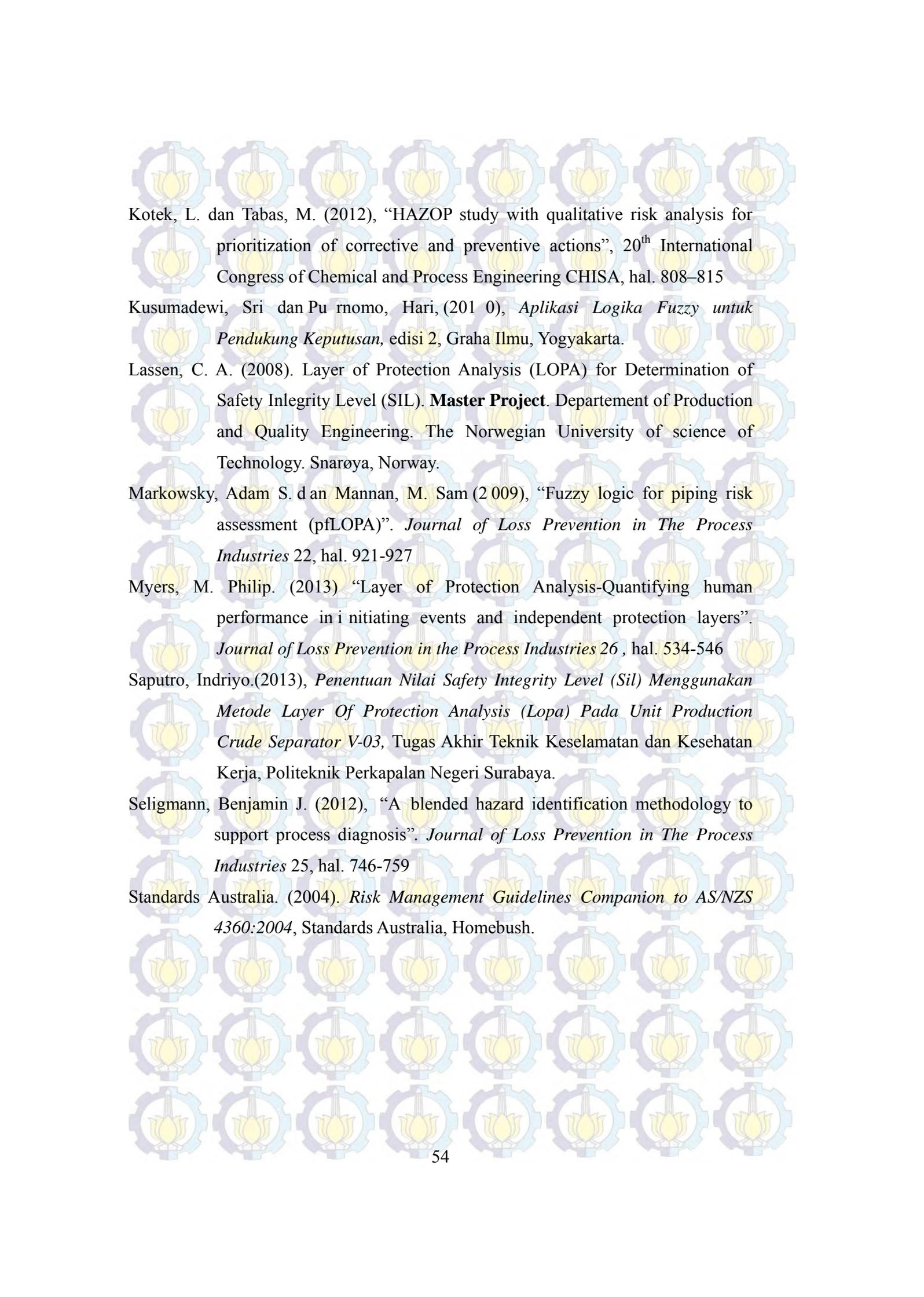
Lampiran 1 *Target Mitigated Event Likelihood (TMEL) calculation based on severity level*

Lampiran 2 *PFD value of Initiating Likelihood at general processes*

Lampiran 3 *Plant Area*

## DAFTAR PUSTAKA

- Bahn, Susanne, (2013). “Workplace hazard identification and management: The case of an underground mining operation”, *Safety Science* 57, hal. 129–137
- Berg, Anniken Reusch.(2007). *Applicability of Layer of Protection Analysis to determine Safety Integrity Levels in the Process Industry*. Master Project. Departement of Production and Quality Engineering. The Norwegian University of science of Technology. Norway.
- Center Chemical Process Safety.(1992). *Hazard Evaluation Procedure. Second Edition*. American Institut Of Chemical Engineering. New York
- Center for Chemical Process Safety, (2001). *Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment, Second Edition*, American Institut Of Chemical Engineering, New York.
- Dowell, Arthur M.(1998). “Layer of Protection Analysis for Determining Safety Integrity Level. ISA Transactions”, 37, 155-165. United State of America: Elsevier Science Ltd.
- First, Kenneth, (2010), “Scenario identification and evaluation for layers of protection analysis”. *Journal of Loss Prevention in The Process Industries* 23, hal. 705-718
- IEC 61508 (1998). *Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-Related Systems, parts 1-7*. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- IEC 61511 (2003). *Functional safety – safety instrumented systems for the process industry*. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- Khalil, M., Abdou M.A., Mansour, M.S., Farag, H.A., dan Ossman, M.E. (2011), “A cascaded fuzzy-LOPA risk assessment model applied in natural gas industry”. *Journal of Loss Prevention in The Process Industries* 25, hal. 877-882

- 
- Kotek, L. dan Tabas, M. (2012), “HAZOP study with qualitative risk analysis for prioritization of corrective and preventive actions”, 20<sup>th</sup> International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA, hal. 808–815
- Kusumadewi, Sri dan Pu rnomo, Hari, (201 0), *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*, edisi 2, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Lassen, C. A. (2008). Layer of Protection Analysis (LOPA) for Determination of Safety Integrity Level (SIL). **Master Project**. Departement of Production and Quality Engineering. The Norwegian University of science of Technology. Snarøya, Norway.
- Markowsky, Adam S. dan Mannan, M. Sam (2 009), “Fuzzy logic for piping risk assessment (pfLOPA)”. *Journal of Loss Prevention in The Process Industries* 22, hal. 921-927
- Myers, M. Philip. (2013) “Layer of Protection Analysis-Quantifying human performance in i nitiating events and independent protection layers”. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 26 , hal. 534-546
- Saputro, Indriyo.(2013), *Penentuan Nilai Safety Integrity Level (Sil) Menggunakan Metode Layer Of Protection Analysis (Lopa) Pada Unit Production Crude Separator V-03*, Tugas Akhir Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Seligmann, Benjamin J. (2012), “A blended hazard identification methodology to support process diagnosis”. *Journal of Loss Prevention in The Process Industries* 25, hal. 746-759
- Standards Australia. (2004). *Risk Management Guidelines Companion to AS/NZS 4360:2004*, Standards Australia, Homebush.

## BIOGRAFI PENULIS



Mey Rohma Dhani, lahir pada 2 Mei 1989 di Ponorogo-Jawa Timur. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Sutrisno, S.Pd. dan Sri Suparwati, serta menikah pada bulan April 2014 dengan Asep Muchamad Zulpikar, S.ST. Pendidikan formal yang ditempuh penulis dimulai dari SD Srandil, SMPN 4 Ponorogo, SMAN 2 Ponorogo, dan selanjutnya melanjutkan pendidikan tinggi di D4 Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Penulis menyelesaikan program D4 pada tahun 2011, dan kemudian melanjutkan studi Magister di S2 Teknik Fisika Institut Teknologi 10 Nopember Surabaya dengan mengambil bidang keahlian Rekayasa Instrumentasi.

Topik yang diambil penulis dalam penelitian yaitu *safety integrity level*, karena keselamatan merupakan faktor utama yang perlu diperhitungkan dalam semua hal. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan serta permulaan bagi penelitian lanjutan mengenai keselamatan.