



SKRIPSI – ME 091329

**DESAIN DASAR TERMINAL PENERIMA LNG
BERBASIS RISIKO DENGAN METODE FUZZY:
STUDI KASUS TERMINAL PENERIMA LNG
DI CELUKAN BAWANG, BALI**

SIMON ROBIANTO WIJAYA
NRP. 4210 100 080

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. M. Badruz Zaman, S.T., M.T.
Prof. DR. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014





FINAL PROJECT – ME 091329

**RISK BASED DESIGN FOR A LNG RECEIVING
TERMINAL USING FUZZY METHOD
CASE STUDY: A LNG RECEIVING TERMINAL
IN CELUKAN BAWANG, BALI**

SIMON ROBIANTO WIJAYA
NRP. 4210 100 080

Supervisors :
Dr. Eng. M. Badruz Zaman, S.T., M.T.
Prof. DR. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.

Department of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



**DESAIN DASAR TERMINAL PENERIMA LNG
BERBASIS RISIKO DENGAN METODE FUZZY
STUDI KASUS: TERMINAL PENERIMA LNG
DI CELUKAN BAWANG, BALI**

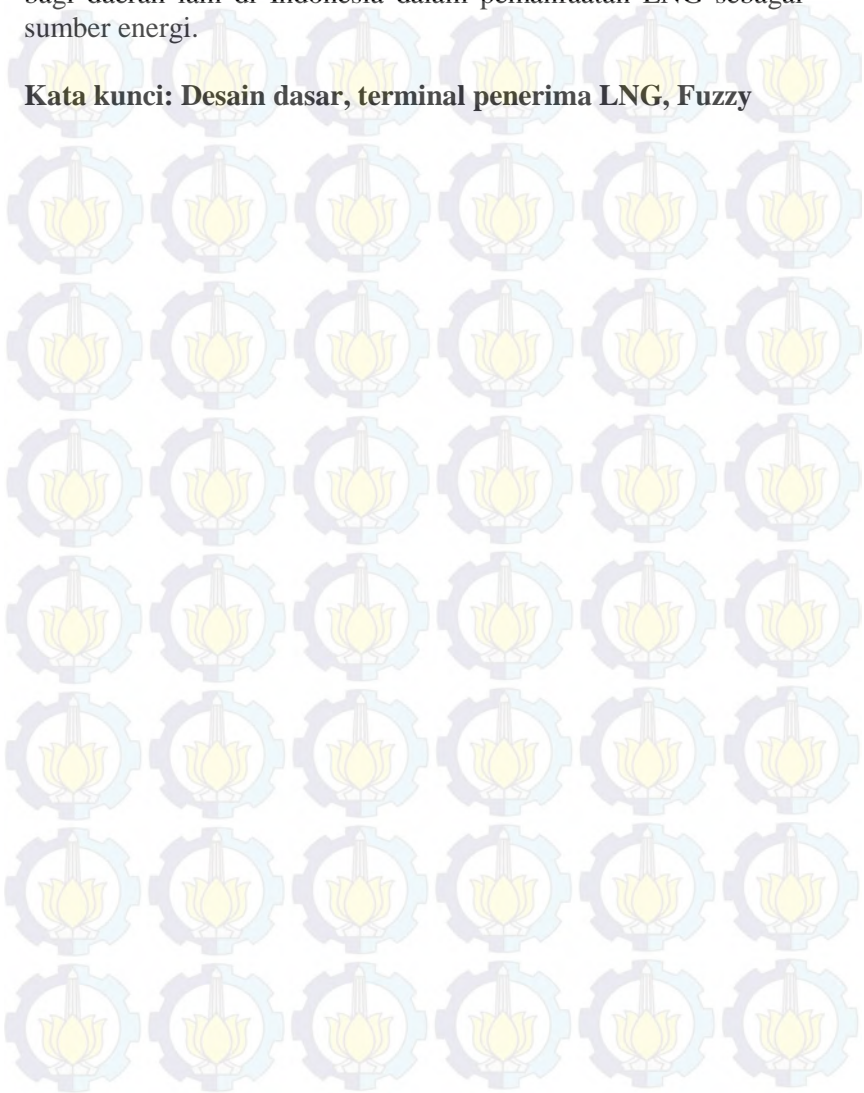
Nama Mahasiswa : Simon Robianto Wijaya
NRP : 4210 100 080
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : 1.Dr. Eng. M. Badruz Zaman, S.T., M.T.
2.Prof. DR. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.

Abstrak

Perkembangan industri, infrastruktur dan pariwisata di Pulau Bali mengakibatkan kebutuhan akan energi listrik meningkat. Batubara dan solar yang digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik dinilai tidak cocok lagi karena harganya yang mahal dan polusi yang besar. LNG adalah bahan bakar yang tepat untuk pembangkit listrik di Bali. Untuk mempermudah rantai pasok LNG ke Bali, maka akan dibangun sebuah terminal penerima LNG yang berada di Celukan Bawang, Bali. Terminal penerima LNG ini akan mensuplai LNG ke pembangkit listrik di Gilimanuk, Pamaron dan Pesanggaran. Process flow diagram (PFD) dari terminal penerima LNG ini telah dibuat. Dalam penelitian ini akan dibuat Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) terminal penerima LNG tersebut. Kemudian dari desain P&ID tersebut akan dilakukan analisis risiko melalui analisis bahaya-bahaya yang mungkin terjadi dengan menggunakan metode HAZOP, perhitungan frekuensi dengan data dari DNV, konsekuensi dengan menggunakan perangkat lunak ALOHA dan tingkat risiko akan diketahui dengan metode Fuzzy. Jika tingkat risiko yang ada berada pada tingkat yang berbahaya maka perlu dilakukan mitigasi. Risiko yang mungkin terjadi dari desain dasar ini berdasarkan pemetaan Fuzzy, berada pada daerah yang aman, sehingga tidak perlu dilakukan mitigasi. Dengan dibangunnya

terminal penerima LNG ini, diharapkan Bali akan menjadi contoh bagi daerah lain di Indonesia dalam pemanfaatan LNG sebagai sumber energi.

Kata kunci: Desain dasar, terminal penerima LNG, Fuzzy



**RISK BASED DESIGN FOR A LNG RECEIVING
TERMINAL USING FUZZY METHOD
CASE STUDY: A LNG RECEIVING TERMINAL
IN CELUKAN BAWANG, BALI**

Name : Simon Robianto Wijaya
NRP : 4210 100 080
Department : Marine Engineering FTK - ITS
Supervisors : 1.Dr. Eng. M. Badruz Zaman, S.T., M.T.
2.Prof. DR. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.

Abstract

Industrial, infrastructure and tourism development in Bali cause increase the demand for electrical energy. Diesel oil and coal are less suitable for power plant considering the price of diesel oil and pollutant of the coal. LNG is one of best fuels since it is cheaper than diesel oil and produce less pollutant compared to coal. To establish LNG distribution to power plant in Bali, therefore, it is required to build some supporting facilities, and one of them is an LNG receiving terminal in Celukan Bawang, Bali. The LNG receiving terminal will supply LNG to three power plants: Gilimanuk, Pemaron and Pesanggaran. The process flow diagram (PFD) of the LNG receiving terminal was initially developed, and then Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) of the LNG receiving terminal was then further designed. Hazard that may occur in the facility was examined based on the P&ID using HAZOP (Hazard and Operability), and consecutively the frequency of each identified hazard was then calculated by referring to DNV data. ALOHA, an open source fire modelling software was then used to simulate the consequence of each potential hazard, and finally, the 3-D risk was then evaluated and represented by means of Fuzzy method. This study found that all risks are considered to be acceptable according to the Fuzzy surface.

Keyword: Risk based design, LNG receiving terminal, Fuzzy



LEMBAR PENGESAHAN

**DESAIN DASAR TERMINAL PENERIMA LNG
BERBASIS RISIKO DENGAN METODE FUZZY:
STUDI KASUS TERMINAL PENERIMA LNG
DI CELUKAN BAWANG, BALI**

SKRIPSI

Dijukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Marine Reliability, Availability, Maintainability,
and Safety (RAMS)

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

SIMON ROBIANTO WIJAYA

NRP 4210 100 080

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :

1. Dr. Eng. M. Badruz Zaman, S.T., M.T. (

2. Prof. DR. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc. (

SURABAYA
JULI, 2014



LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN DASAR TERMINAL PENERIMA LNG BERBASIS RISIKO DENGAN METODE FUZZY: STUDI KASUS TERMINAL PENERIMA LNG DI CELUKAN BAWANG, BALI

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Marine Reliability, Availability, Maintainability,
and Safety (RAMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

SIMON ROBIANTO WIJAYA

NRP 4210 100 080

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan/FTK-ITS

Dr. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng.

SURABAYA
JULI, 2014



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yesus Kristus, karena kasih dan anugrah-Nya, skripsi yang berjudul “Desain Dasar Terminal Penerima LNG Berbasis Risiko dengan Metode Fuzzy: Studi Kasus Terminal Penerima LNG di Celukan Bawang, Bali” dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan pada skripsi ini. Maka dari itu, penulis menerima kritik dan saran dari pembaca untuk penelitian yang lebih baik.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis selama menyelesaikan skripsi ini. Secara khusus, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang selalu menyertai dan memberi hikmat dan kasih dari lahir hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Keluarga yang selalu mengasihi, Mama (Marta Kristiana), Cece Elisabet Purnama Sari dan Adikku Yohanes Hadianto Wijaya. Terima kasih telah menjadi keluarga yang luar biasa bagi penulis.
3. Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Bapak Dr. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng dan Bapak I Made Ariana, S.T., M.T., Dr. MarSc. Yang telah banyak membantu dalam memimpin kegiatan akademik di jurusan yang sangat berkualitas ini.
4. Dosen pembimbing, Bapak Dr. Eng. M. Badruz Zaman, S.T., M.T., yang membimbing dalam penulisan skripsi ini.
5. Dosen pembimbing, Bapak Prof. DR. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc. yang banyak membimbing penulis dalam penyelesaian skripsi ini. Terima kasih telah menjadi Bapak yang memberikan banyak didikan di Lab Safety.

6. Kepala Lab dan Dosen Penguji, Bapak A.A.B. Dinariyana D.P., S.T., MES., Ph.D. yang memberikan banyak masukan dan pelajaran selama mengerjakan skripsi dan berada di Lab Safety.
7. Dosen Penguji, Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc., Bapak Ir. Dwi Priyanta, M.SE dan Bapak R.O. Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D. yang memberi banyak pengetahuan dan saran selama sidang skripsi.
8. Kekasihku, Lydia Trifena yang selalu mendukung dan memberi semangat selama pengerjaan skripsi ini.
9. Teman-teman pejuang wisuda RAMS 110 ITS, Yolanda, Adit, Dilla, Himawan, mas Guntur, Viko, Gafur, mas Kepel, Fajar, Astri, Ludfi dan Dhika.
10. Teman-teman Pinisi '10 yang berjuang bersama selama 4 tahun ini
11. Teman-teman Pemasa Kepenilikan Kak Dian, khususnya Pemasa F 33: Kak Yola, Didi, Ozy, Bela, Rahmat, Andrew, Melly, Stevanus, Dimas dan Kevin.
12. Bapak Budhi Santoso yang banyak mengajari penulis dalam metode Fuzzy.
13. Perusahaan tempat kerja praktek dan studi skripsi yang mengizinkan penulis untuk melakukan pengumpulan data di perusahaan: Bapak Budi Indiarto, Bapak Bayu Sukma, Bapak Khairil Anwar, Bapak Hadi, Bapak Imam dan Bapak Kekes
14. Bapak dan Ibu Suwela yang dengan iklas memberikan penginapan kepada penulis selama pengumpulan data.
15. Semua pihak yang membantu penulisan skripsi ini

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca maupun penulis sendiri untuk bahan penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juli 2014

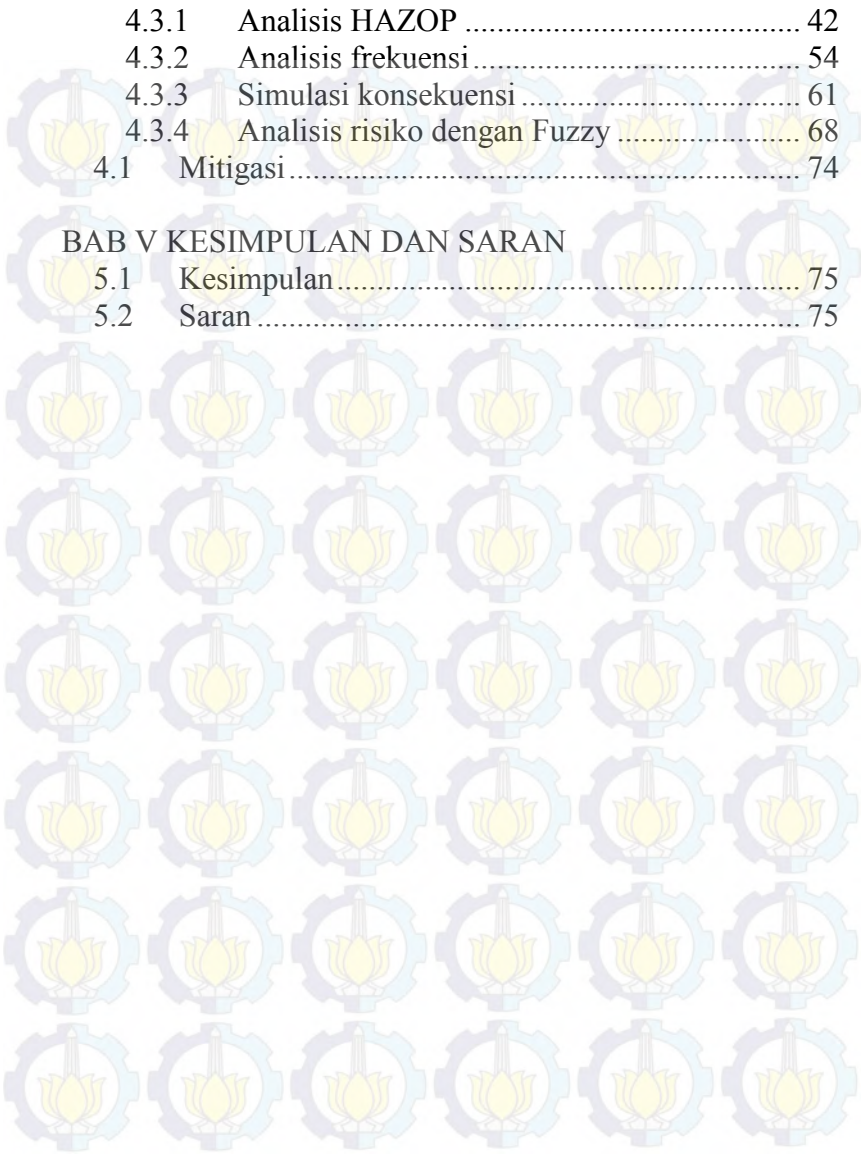
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACK.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Skripsi.....	6
1.5 Manfaat.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Umum.....	9
2.3 Terminal Penerima LNG.....	12
2.4 Metode Fuzzy.....	14
2.5 Batasan Variabel <i>Probability</i>	16
2.6 Batasan Variabel Konsekuensi.....	17
2.7 Identifikasi bahaya (<i>Hazard identification</i>).....	17
2.7.1 HAZOP.....	18
2.8 <i>Relex 2009</i>	19
2.9 Kajian risiko (<i>Risk assessment</i>).....	20
2.10 Matlab.....	21
2.11 ALOHA.....	22
2.12 Jenis-Jenis Bahaya.....	23

2.12.1	<i>Jet fire</i>	23
2.12.2	<i>Pool Fire</i>	24
2.13	<i>Layer of Protection Analysis (LOPA)</i>	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Perumusan Masalah.....	28
3.2	Deskripsi Sistem.....	28
3.3	Pengumpulan Data dan Studi Literatur	28
3.4	Desain P&ID	29
3.5	Analisis HAZOP	29
3.6	Penentuan Frekuensi	29
3.7	Penentuan Konsekuensi.....	30
3.8	Penilaian Risiko dengan Fuzzy	30
3.9	Klasifikasi Risiko	30
3.10	Mitigasi dengan LOPA	31
3.11	Kesimpulan dan Saran	31
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		
4.1	Pengumpulan data	33
4.1.1	<i>LNG Loading Arm</i>	33
4.1.2	<i>LNG Return Arm</i>	34
4.1.3	<i>Floating Storage Unit</i>	34
4.1.4	<i>LNG Transfer Pump</i>	34
4.1.5	<i>LNG Holding Storage Tank</i>	34
4.1.6	<i>LNG Loading Pump</i>	34
4.1.7	<i>LNG Filling Package</i>	35
4.1.8	<i>LNG truck tank</i>	35
4.1.9	<i>LNG barge ship</i>	35
4.2	Analisis <i>piping and instrument diagram</i>	35
4.2.1	Penjelasan <i>Piping and instrument diagram</i> ..	37
4.2.2	Perhitungan diameter pipa	38
4.3	Analisis Risiko	40

4.3.1	Analisis HAZOP	42
4.3.2	Analisis frekuensi	54
4.3.3	Simulasi konsekuensi	61
4.3.4	Analisis risiko dengan Fuzzy	68
4.1	Mitigasi	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran	75





DAFTAR TABEL

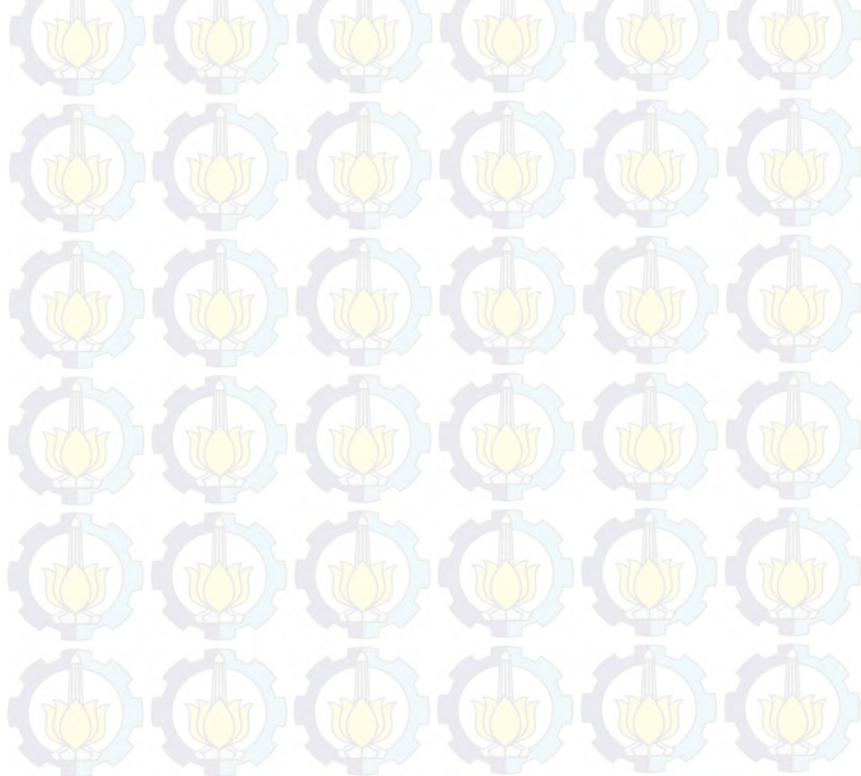
Tabel 2.1 Batasan frekuensi	17
Tabel 2.2 Batasan konsekuensi.....	17
Tabel 2.3 Contoh lembar kerja HAZOP.....	19
Tabel 4.1 Tabel diameter pipa.....	40
Tabel 4.2 Lembar kerja HAZOP	42
Tabel 4.3 Tabel pembagian <i>node</i>	42
Tabel 4.4 Contoh nilai frekuensi kegagalan katup	54
Tabel 4.5 Nilai frekuensi pada <i>node 1</i>	55
Tabel 4.6 Nilai frekuensi pada <i>node 2</i>	55
Tabel 4.7 Nilai frekuensi pada <i>node 3</i>	55
Tabel 4.8 Nilai frekuensi pada <i>node 4</i>	56
Tabel 4.9 Nilai frekuensi pada <i>node 5</i>	56
Tabel 4.10 Nilai frekuensi pada masing-masing <i>node</i>	61
Tabel 4.11 Waktu perbaikan tangki menurut API 653.....	63
Table 4.12 Nilai konsekuensi pada setiap <i>node</i>	68
Tabel 4.13 Batasan frekuensi	69
Tabel 4.14 Batasan konsekuensi.....	70
Tabel 4.15 Nilai risiko pada masing-masing <i>node</i>	74



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta letak terminal LNG di Celukan Bawang	3
Gambar 1.2	Diagram blok terminal penerima LNG	4
Gambar 2.1	Produsen dan konsumen LNG di Indonesia.....	10
Gambar 2.2	Rantai pasok LNG.....	12
Gambar 2.3	Diagram skematik terminal penerima LNG.....	13
Gambar 2.4	<i>Process Flow Diagram</i> terminal penerima LNG ...	13
Gambar 2.5	Skema metode Fuzzy untuk <i>Risk Assessment</i>	14
Gambar 2.6	Contoh penentuan batasan dari variabel	15
Gambar 2.7	Contoh <i>input variabel Fuzzy</i> pada Matlab	16
Gambar 2.8	Tampilan <i>Relex 2009</i>	20
Gambar 2.9	Contoh <i>output</i> untuk 2 <i>Fuzzy input</i>	22
Gambar 2.10.	Contoh hasil ALOHA akibat jet fire	23
Gambar 2.11	Analisis LOPA.....	25
Gambar 3.1	<i>Flow chart</i> pengerjaan skripsi.....	27
Gambar 4.1	<i>Process flow diagram</i> terminal penerima LNG	33
Gambar 4.2	<i>P&id</i> terminal penerima LNG.....	36
Gambar 4.3	Skema terjadinya kebocoran gas.....	40
Gambar 4.4	Pembagian <i>node</i> terminal penerima LNG.....	43
Gambar 4.5	Contoh perhitungan FTA	54
Gambar 4.6	<i>Input data</i> frekuensi Relex pada <i>node 1</i>	56
Gambar 4.7	<i>Input data</i> frekuensi Relex pada <i>node 2</i>	57
Gambar 4.8	<i>Input data</i> frekuensi Relex pada <i>node 3</i>	57
Gambar 4.9	<i>Input data</i> frekuensi Relex pada <i>node 4</i>	58
Gambar 4.10	<i>Input data</i> frekuensi Relex pada <i>node 5</i>	58
Gambar 4.11	Hasil kalkulasi frekuensi Relex pada <i>node 1</i>	59
Gambar 4.12	Hasil kalkulasi frekuensi Relex pada <i>node 2</i>	59
Gambar 4.13	Hasil kalkulasi frekuensi Relex pada <i>node 3</i>	60
Gambar 4.14	Hasil kalkulasi frekuensi Relex pada <i>node 4</i>	60
Gambar 4.15	Hasil kalkulasi frekuensi Relex pada <i>node 5</i>	61
Gambar 4.16	Skema terjadinya <i>jet fire</i> dan <i>pool fire</i>	62
Gambar 4.17	Hasil simulasi ALOHA pada <i>node 1</i>	64
Gambar 4.18	Hasil simulasi ALOHA pada <i>node 2</i>	65
Gambar 4.19	Hasil simulasi ALOHA pada <i>node 3</i>	66

Gambar 4.20	Hasil simulasi ALOHA pada <i>node</i> 4.....	67
Gambar 4.21	Hasil simulasi ALOHA pada <i>node</i> 5.....	68
Gambar 4.22	Skema Fuzzy	69
Gambar 4.23	Gambar pengelompokan nilai <i>probability</i> , <i>consequence</i> dan <i>risk</i>	70
Gambar 4.24	Gambar proses pembuatan <i>rules</i>	71
Gambar 4.25	Gambar distribusi nilai <i>probability</i> , <i>consequence</i> dan <i>risk</i>	71
Gambar 4.26	Gambar hasil pemetaan yang dihasilkan Fuzzy. ..	72
Gambar 4.27	Grafik Frekuensi terhadap Risiko	73
Gambar 4.28	Grafik Konsekuensi terhadap Risiko.....	73



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkembang pesatnya pembangunan dalam sektor industri, infrastruktur dan pariwisata di Bali mengakibatkan kebutuhan akan energi listrik meningkat. Pada tahun 2008, beban puncak di provinsi ini mencapai 486 MW. Selama ini, energi listrik di Bali bergantung dengan Pembangkit Jawa Bali yang ada di Jawa. Untuk menciptakan Bali yang mandiri akan energi listrik, Pemerintah Bali yang telah membangun Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) untuk mengatasi kebutuhan energi listrik di Bali. Pembangkit yang ada saat ini yaitu PLTG Gilimanuk (133,8 MW), PLTG Pemaron (97,6 MW), PLTG Pesanggaran (75,82 MW) dan saat ini sedang dibangun PLTU Celukan Bawang (250 MW).

Saat ini, tiga PLTG yang ada di Bali ini menggunakan bahan bakar solar. Penggunaan solar ini tentu membutuhkan biaya yang tinggi karena harga minyak dunia yang terus naik. Disamping itu, polusi yang ditimbulkan dari pemakaian solar sangatlah besar. Hal ini bertentangan dengan Rencana Jangka Menengah Daerah (RJMD) Provinsi Bali.

Gas alam (*natural gas*) adalah bahan bakar yang paling cocok untuk digunakan pada tiga pembangkit listrik ini seperti yang telah diterapkan di negara-negara maju Eropa, Amerika dan Asia. Menurut sebuah perhitungan sederhana (Lee Wang Tui, 2012) harga yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 KWh listrik dibutuhkan solar dengan harga Rp 2.500,00. Sedangkan untuk menghasilkan 1 KWh listrik dibutuhkan gas alam dengan harga Rp 350,00. Hal ini menunjukkan harga produksi listrik jika menggunakan gas alam 7 kali lebih murah jika dibandingkan dengan menggunakan solar. Dari sisi emisi yang dihasilkan, gas alam membuang emisi yang paling sedikit jika dibandingkan

dengan menggunakan solar, minyak tanah maupun batubara. (Wendy Aritenang Ph.D, 2011)

Gas alam adalah bahan bakar fosil yang komposisi utamanya terdiri dari metana (CH_4). Zat lain pembentuk gas alam adalah etana (C_2H_6), propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}). Semakin tinggi kandungan metana, maka kualitas dari gas alam akan semakin baik. Dalam penggunaannya, gas alam dibawa dalam bentuk cair (*liquefied natural gas*) karena perbandingan volume gas alam dalam bentuk cair dan gas adalah 1:600. Dengan mengubah gas alam dari fase gas ke fase cair tentu memudahkan dalam proses transportasinya. Setelah sampai di tempat tujuan, gas alam yang dicairkan ini diubah kembali bentuknya ke dalam bentuk gas dengan menggunakan *regasification unit*.

LNG (*liquefied natural gas*) yang akan digunakan untuk bahan bakar pembangkit listrik di Bali bisa berasal dari daerah penghasil LNG seperti: Tangguh (Papua), Bontang (Kalimantan), maupun Blok Kangean (Madura). Gas alam yang diambil dari perut bumi, diproses untuk menghilangkan zat lainnya, penambahan bau-bauan (odorisasi) dan melalui proses pencairan dengan menurunkan suhunya hingga $-160\text{ }^\circ\text{C}$. Kemudian LNG dibawa ke Bali dengan menggunakan kapal LNG ke Bali.

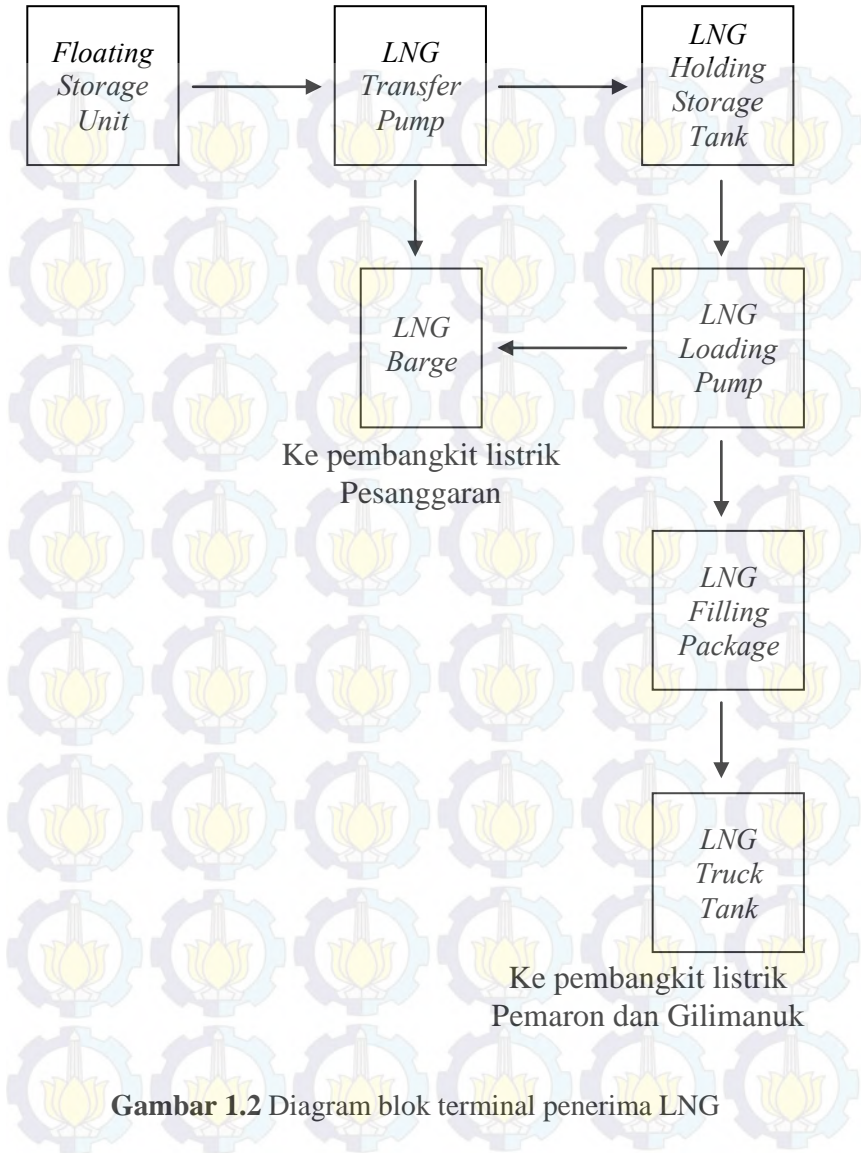
Untuk mempermudah dalam memasok LNG ke pembangkit listrik yang ada di Bali, diperlukan sebuah terminal penerima LNG. Terminal LNG ini berfungsi untuk menampung LNG dari daerah penghasil LNG dan kemudian mendistribusikan LNG ke pembangkit listrik di Pemaron dan Gilimanuk dengan truk dan ke pembangkit listrik Pesanggaran dengan menggunakan kapal *barge*. Di masing-masing pembangkit listrik, LNG diubah menjadi bentuk gas kembali untuk digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik tersebut. Berdasarkan pemilihan letak yang tepat dari sisi teknis, jarak dengan masing-masing pembangkit listrik dan faktor budaya, maka terminal penerima LNG ini akan dibangun di Celukan Bawang, Buleleng, Bali. Letak terminal LNG ini akan berada di sebelah timur pelabuhan Pelindo III di Celukan Bawang.



Gambar 1.1 Peta letak terminal LNG di Celukan Bawang, Buleleng, Bali

Sumber: <https://www.google.com/maps/@-8.2944862,115.0931224,162892m/data=!3m1!1e3>

Terminal penerima LNG ini akan memiliki *gas demand* 1.427,4 *ton per day* (TPD) dengan *safety stock* selama 7 hari (Aldrin Dewabrata, 2014). Komponen-komponen utama yang ada di terminal LNG yang akan dibangun adalah LNG *loading arm*, LNG *return arm*, FSU (*floating storage unit*), LNG *transfer pump*, LNG *holding storage tank*, LNG *loading pump filling*, LNG *filling package* dan LNG *Truck Tank*. Berikut adalah diagram blok dari terminal LNG yang berada di Celukan Bawang, Bali.



Kapal LNG yang datang ke terminal LNG Celukan Bawang, Bali akan melakukan bongkar muat melalui *LNG Loading Arm* ke tanki yang ada pada *Floating Storage Unit (FSU)*. Dalam waktu yang bersamaan, BOG (*Boil off Gas*) yang ada di *Floating Storage Unit tank* dialirkan ke kapal LNG untuk digunakan sebagai bahan bakar kapal LNG tersebut melalui *LNG Return Arm*. LNG yang berada di *Floating Storage Unit* dialirkan oleh *LNG transfer pump* ke *LNG Holding Storage Tank*. Kemudian LNG dialirkan ke *LNG Truck Tank* melalui *LNG Filling Package* yang berfungsi untuk mengetahui volume yang dimasukkan ke dalam truk. Truk ini kemudian mengirim LNG ke Pembangkit Listrik Gilimanuk dan Pamaron. Dari FSU juga dapat langsung dialirkan ke *LNG Barge* untuk dikirim ke Pembangkit Listrik Pesanggaran.

Dalam skripsi ini akan dibuat desain awal yang berupa *piping and instrument diagram* dari terminal penerima LNG yang akan dibangun di Celukan Bawang, Bali. Setelah desain awal itu selesai, maka akan dianalisis bahaya-bahaya yang mungkin terjadi pada desain terminal penerima LNG. Jika risiko yang mungkin ditimbulkan tergolong dalam tingkat yang bahaya, maka perlu dilakukan upaya mitigasi agar risiko yang mungkin terjadi bisa diterima atau berada dalam tingkat yang rendah.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang muncul dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah desain awal terminal penerima LNG di Celukan Bawang, Bali?
2. Apa saja bahaya-bahaya yang mungkin terjadi dari konsep desain tersebut?
3. Bagaimana tingkat risiko dari masing-masing bahaya menurut metode Fuzzy?
4. Apa saja upaya mitigasi yang dilakukan jika risiko yang ada berada pada daerah yang tidak dapat diterima?

1.3 Batasan Masalah

Batasan untuk penelitian pada kasus ini adalah sebagai berikut:

1. Objek yang dianalisis adalah desain terminal penerima LNG di Celukan Bawang, Bali.
2. Metode penilaian risiko yang digunakan dalam analisis adalah Metode *Fuzzy* dengan standar UK HSE.
3. Bahaya yang disimulasikan adalah *jet fire dan pool fire*.
4. Bahaya yang diakibatkan oleh manusia (*human error*) tidak dimasukkan dalam analisis.

1.4 Tujuan Skripsi

Adapun tujuan dari skripsi ini adalah untuk:

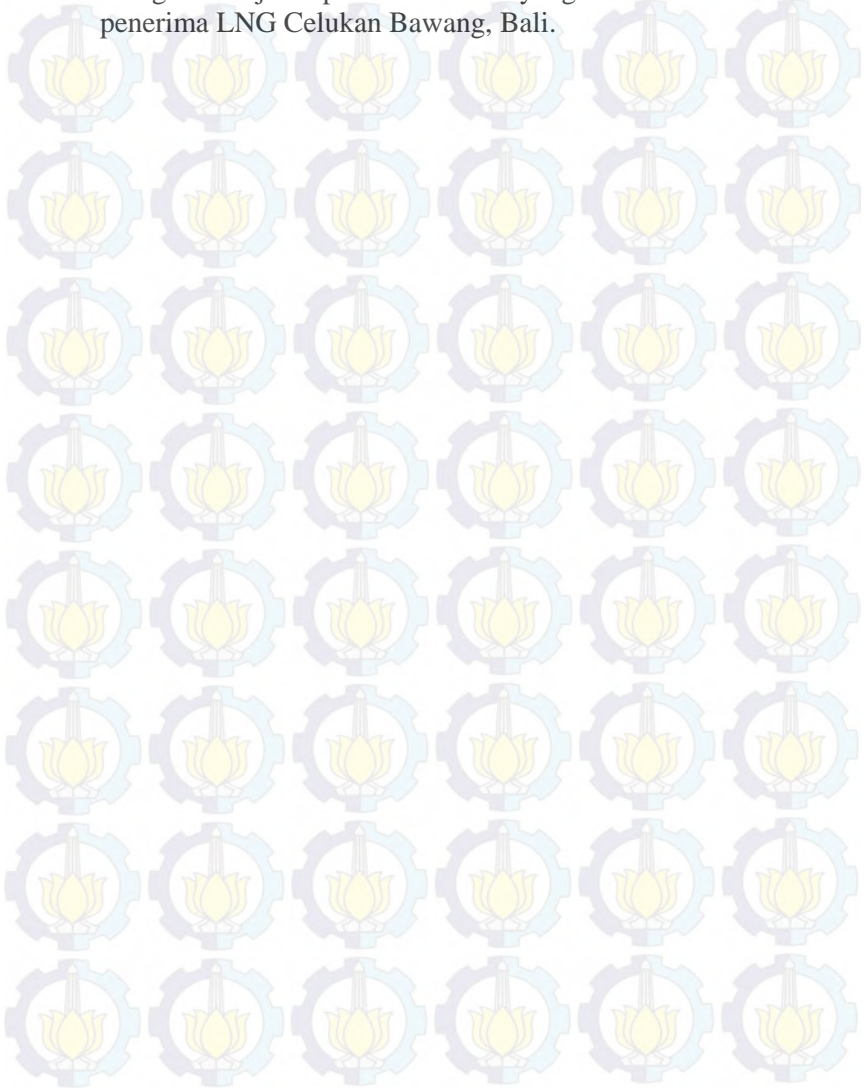
1. Membuat desain awal *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID) dari terminal penerima LNG di Celukan Bawang, Bali.
2. Mengidentifikasi bahaya-bahaya yang mungkin terjadi saat operasional sehari-hari di terminal penerima LNG Celukan Bawang, Bali.
3. Menentukan tingkat risiko dari masing-masing bahaya di terminal penerima LNG Celukan Bawang, Bali dengan metode *Fuzzy*.
4. Menentukan upaya mitigasi untuk bahaya yang tidak dapat diterima.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penulisan skripsi ini adalah:

1. Mengetahui desain awal *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID) dari terminal penerima LNG di Celukan Bawang, Bali.
2. Mengetahui bahaya-bahaya dan risikonya terhadap manusia yang berada di terminal penerima LNG Celukan Bawang, Bali.
3. Mengetahui tingkat bahaya dari masing-masing risiko yang mungkin terjadi dengan metode *Fuzzy*.

4. Mengetahui rekomendasi untuk mengurangi risiko yang mungkin terjadi pada manusia yang berada di terminal penerima LNG Celukan Bawang, Bali.





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Liquefied Natural Gas (LNG) adalah gas alam yang dicairkan untuk mempermudah dalam proses penyimpanan dan transportasinya. Sebagian besar gas yang terkandung dalam LNG adalah Metana (CH_4). Sifat dari LNG adalah tidak berwarna, tidak berbau dan non korosif. Massa jenis LNG berkisar antara $450\text{-}500 \text{ kg/m}^3$ dengan suhu $-160 \text{ }^\circ\text{C}$. Pada saat ini LNG banyak digunakan karena harganya lebih murah dan emisinya yang rendah jika dibandingkan dengan solar dan batubara.

Dalam proses produksi LNG hingga sampai pada pengguna, ada suatu rantai pasok LNG (*LNG supply chain*) yang terdiri dari *Gas platform* yaitu tempat pengambilan gas alam dari sumur-sumur gas yang kemudian disalurkan ke *LNG Plant* untuk dipisahkan antara gas alam (*natural gas*) dan gas minyak bumi (*petroleum gas*). Di *LNG Plant* ini juga dilakukan proses kondensasi agar gas alam dapat berubah fase menjadi cair untuk mempermudah proses penyimpanan dan transportasinya. Selanjutnya LNG dibawa dengan Kapal LNG menuju *Receiving Terminal* untuk disimpan dan didistribusikan. Di *Receiving Terminal*, LNG dibuat menjadi gas kembali dengan proses yang disebut regasifikasi. Kemudian didistribusikan ke *End User* (Industri, pembangkit dan lain-lain) melalui pipa, truk atau kapal LNG kecil (jika menggunakan truk, gas alam biasanya dikompresi menjadi CNG. Jika menggunakan kapal kecil maka tidak perlu dilakukan proses regasifikasi).

Pada saat ini, LNG banyak digunakan karena memiliki banyak keuntungan jika dibandingkan dengan solar maupun batubara. Kelebihan LNG dari solar dan batubara adalah lebih ramah lingkungan (polusi yang dihasilkan sedikit), harganya relatif lebih murah dan cadangan LNG jauh lebih banyak.

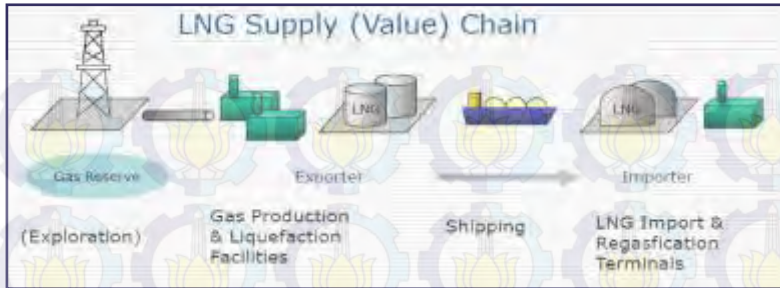
2.2 LNG Supply Chain

Rantai pasok LNG adalah suatu rantai dari LNG diperoleh dari perut bumi sampai LNG dimanfaatkan oleh *end user* (baik industri, maupun rumah tangga). Awalnya gas alam diperoleh dari perut bumi melalui pengeboran. Pengeboran ini ada yang dilakukan di darat, ada pula yang dilakukan di laut. Setelah gas alam diperoleh, gas alam diproses pemurnian, odorisasi dan *liquefaction*.

Setelah gas alam diproses dan dicairkan maka LNG siap untuk didistribusikan ke pengguna. Jika jaraknya jauh atau antar pulau biasanya ditransportasikan dengan menggunakan kapal LNG atau menggunakan tangki yang dibawa dengan kapal tongkang. Jika masih dalam 1 pulau biasanya digunakan pipa bawah tanah atau menggunakan truk. Pemilihan alat transportasi ini tentu diperhitungkan dengan pertimbangan kemudahan, biaya awal, biaya operasional, biaya perawatan, dan faktor lainnya. Gas alam ditransportasikan dalam bentuk cair karena dapat menghemat volume ruang muat. Karena 1 m^3 LNG sama dengan 600 m^3 gas alam.

Setelah sampai di tujuan, LNG akan diubah fasenya menjadi gas kembali untuk digunakan oleh pengguna. Proses ini dilakukan di *regasification unit*. Akhirnya gas alam siap digunakan baik oleh pembangkit listrik, industri, perhotelan, kereta api, bus, dan perumahan.

Biasanya untuk transportasi LNG ini dibicarakan antara penjual dan pembeli LNG mengenai siapa yang mengantar LNG atau siapa yang menjemput LNG. Kontrak yang dilakukan biasa dalam jangka waktu yang panjang, yaitu sekitar 20 tahun karena investasinya yang sangat besar. Jika hanya dilakukan dalam waktu beberapa tahun saja, maka akan rugi karena biaya pembangunan yang sangat besar.



Gambar 2.2 Rantai pasok LNG

Sumber: Materi Teknologi LNG, Ketut Buda Artana, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS

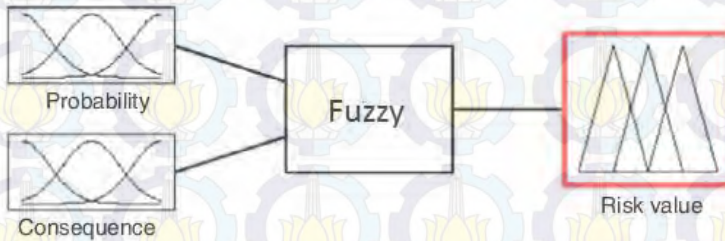
2.3 Terminal Penerima LNG (*LNG Receiving Terminal*)

Terminal penerima LNG berfungsi sebagai tempat penyimpanan, regasifikasi dan pendistribusian LNG ke pengguna. Pada umumnya, terminal penerima LNG memiliki *safety stock* selama 7 hari. Tanki penyimpanan yang ada di terminal penerima LNG ada yang berada di atas tanah dan ada juga yang berada di bawah tanah dengan dimensi yang sudah standar. Pompa yang digunakan untuk memindah LNG adalah pompa *cryogenic*.

Proses yang ada pada terminal penerima LNG cukup sederhana. Kapal yang mengangkut LNG menyalurkan LNG yang diangkutnya ke tanki-tanki yang berada pada terminal penerima LNG. Kemudian LNG diubah menjadi gas kembali gas oleh *vaporizer* dan dilakukan proses odorisasi (penambahan bau-bauan agar terdeteksi saat terjadi kebocoran). Kemudian gas alam siap didistribusikan ke pengguna.

2.4 Metode Fuzzy

Metode *Fuzzy* adalah pengembangan dari logika biner. Saat logika biner dapat mengidentifikasi menjadi 0 dan 1, *Fuzzy* dapat membagi tingkatan-tingkatan menjadi beberapa bagian misalnya sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Kemudian dari klasifikasi ini, *Fuzzy* menggabungkan dari beberapa variabel yang ditentukan untuk dapat mengukur bahaya dari suatu peristiwa.

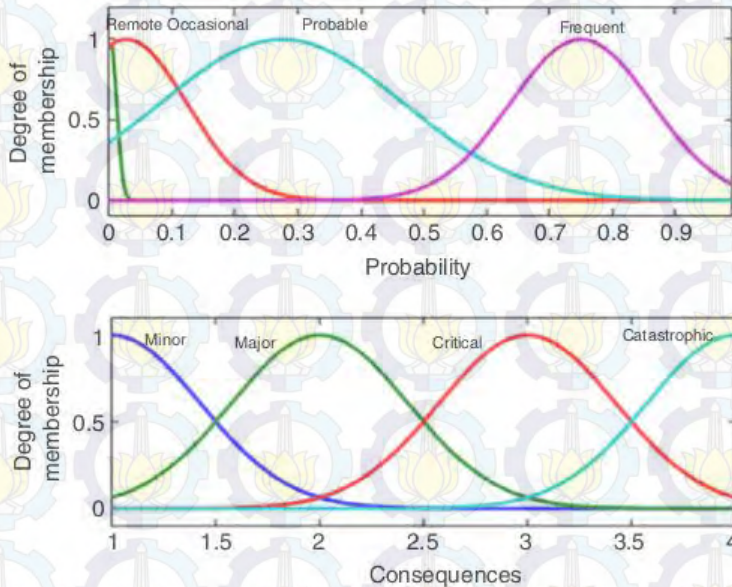


Gambar 2.5 Skema metode Fuzzy untuk *Risk Assessment*

Sumber: Tarek Elsayed.2010.Risk Assessment of Marine LNG Operations.Arab Academy for Science and Technology and Maritime Transport Alexandria, Egypt

Awalnya ditentukan batasan dari variabel yang akan dimasukkan ke dalam persamaan *Fuzzy*. Batasan ini bisa diperoleh dari standar atau aturan yang berlaku. Dalam skripsi ini, digunakan standart dari UK HSE untuk *probability* dan *consequence*. Batasan-batasan tersebut berbeda-beda. Umumnya dibagi menjadi 3 atau 4 bagian. Setelah ditentukan batasan yang ada, maka diklasifikasi kejadian-kejadian yang mungkin terjadi dan mengkombinasi masing-masing tingkatan pada *rules* sehingga kita tahu bagaimana risiko yang mungkin terjadi pada masing-masing kejadian tersebut. Setelah *rules* yang ada dimasukkan dalam perangkat lunak Matlab, maka akan diperoleh hasil pemetaan dari tingkat risiko yang mungkin terjadi. Dari pemetaan tersebut, dapat menentukan apakah bahaya tersebut

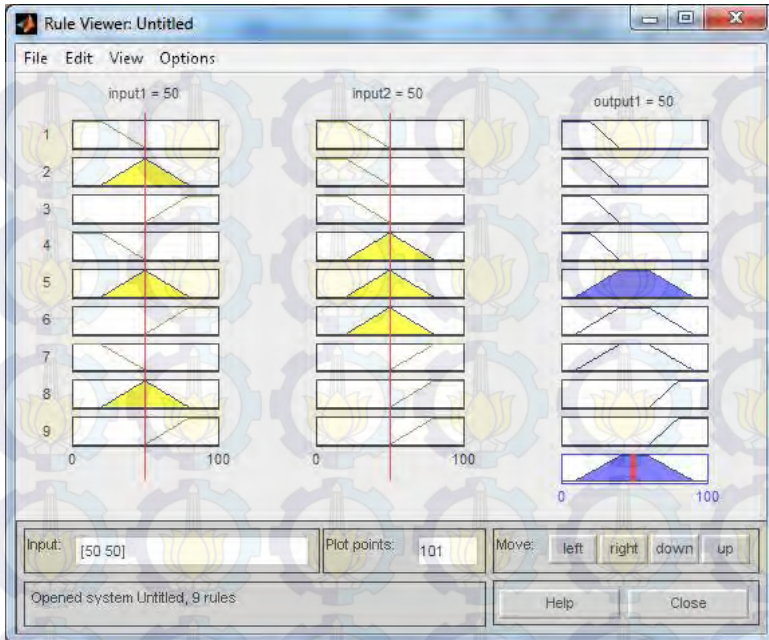
dapat diterima atau tidak. Jika tidak dapat diterima maka harus dilakukan upaya mitigasi.



Gambar 2.6 Contoh penentuan batasan dari variabel

Sumber: Tarek Elsayed.2010.Risk Assessment of Marine LNG Operations.Arab Academy for Science and Technology and Maritime Transport Alexandria, Egypt

Setelah mengetahui batasan-batasan yang ada, batasan tersebut dimasukkan ke dalam *rules* yang berada di perangkat lunak Matlab. Berikut adalah contoh dari *rules* yang dimasukkan dengan *input* 2 variabel dengan sebuah *output* yang dihasilkan.



Gambar 2.7 Contoh input variabel Fuzzy pada Matlab

Sumber: <http://digitronways.blogspot.com/2013/02/aplikasi-fuzzy-dengan-matlab-toolbox.html>

2.5 Batasan Variabel *Probability*

Dalam skripsi ini digunakan 5 level untuk *probability* berdasarkan UK HSE, Marine Risk Assessment, Offshore Technology Report. Batasan ini digunakan untuk melihat seberapa bahaya dari suatu kejadian yang mungkin terjadi. Berikut adalah 5 level dan penjelasannya yang akan digunakan dalam metode *Fuzzy*, yaitu:

Tabel 2.1 Batasan *probability* yang akan digunakan dalam Matlab

Level	Description	Indicative frequency	Definition
A	Frequent	> 0.5	Will occur frequently
B	Probable	$0.5 - 0.05$	May occur several times
C	Occasional	$0.05 - 0.005$	Likely to occur during lifetime
D	Remote	$0.005 - 0.0005$	Unlikely to occur during lifetime
E	Improbable	< 0.0005	So unlikely event, it may not be experienced

Sumber: UK HSE

2.6 Batasan Variabel Konsekuensi

Ada 4 klasifikasi terhadap *probability* berdasarkan UK HSE, Marine Risk Assessment, Offshore Technology Report yang digunakan dalam metode *Fuzzy*, yaitu:

Tabel 2.2 Batasan konsekuensi yang akan digunakan dalam Matlab

Level	Description	Indicative consequence
1	Minor	Negligible
2	Major	One day
3	Critical	One week
4	Catastropic	More than one week

Sumber: UK HSE

2.7 Identifikasi bahaya (*Hazard identification*)

Bahaya (Hazard) adalah suatu keadaan yang memungkinkan terjadinya suatu kejadian yang dapat menimbulkan kerugian. *Hazard identification* atau identifikasi bahaya dapat diartikan

sebagai proses dalam mengenali bahaya yang mungkin terjadi tanpa memelihat hal yang dapat diterima maupun yang tidak dapat diterima dari suatu bahaya yang mungkin terjadi.

Dalam melakukan penilaian risiko, identifikasi bahaya ini sangat penting sebelum menentukan besarnya konsekuensi yang diakibatkan oleh bahaya tersebut. Pada skripsi ini, metode yang digunakan untuk identifikasi bahaya adalah *Hazard and Operability Study* (HAZOP).

2.7.1 HAZOP

HAZOP atau *Hazard and Operability Study* adalah salah satu cara untuk mengidentifikasi bahaya yang terdapat pada fasilitas proses kimia. Pendekatan HAZOP meliputi pemeriksaan yang dilakukan pada tiap sub-sistem pada tiap proses yang terjadi pada suatu pabrik atau fasilitas dan mengevaluasi penyimpangan-penyimpangan yang dapat terjadi pada tiap sub-sistem tersebut secara subjektif. Penyimpangan-penyimpangan ini didasarkan pada sejumlah kata kunci yang telah ditentukan sebelumnya. Melalui pemeriksaan penyimpangan tersebut, bahaya-bahaya potensial yang mungkin terjadi pada suatu terminal penerima LNG dapat diidentifikasi dan rekomendasi terkait bahaya-bahaya tersebut dapat diajukan. Ada 6 langkah dalam melakukan analisis HAZOP, yaitu:

1. Mengidentifikasi bagian terminal penerima LNG pada P&ID.
2. Menentukan tujuan dari bagian tersebut sesuai dengan desain dan kondisi operasi normalnya.
3. Menentukan penyimpangan dari tujuan kerja bagian tersebut atau kondisi operasi normalnya sesuai dengan kata kunci yang telah ditentukan.
4. Mengidentifikasi sebab-sebab yang mungkin bagi penyimpangan tersebut serta konsekuensinya. Sebuah penyimpangan dapat dikatakan “berarti” bila penyimpangan tersebut memiliki sebab yang valid

dan dapat menyebabkan konsekuensi yang merugikan.

5. Menentukan perlu atau tidaknya tindakan khusus (mitigasi) untuk penyimpangan-penyimpangan “berarti”.
6. Mencatat semua informasi dan dokumentasi yang diperoleh.

Selanjutnya, langkah 3 – 6 diulangi hingga semua kata kunci telah digunakan dan semua penyimpangan “berarti” telah masuk ke dalam pertimbangan. Setelah itu, langkah 1 kembali dilakukan untuk bagian terminal penerima LNG yang lain.

Tabel 2.3 Contoh lembar kerja HAZOP

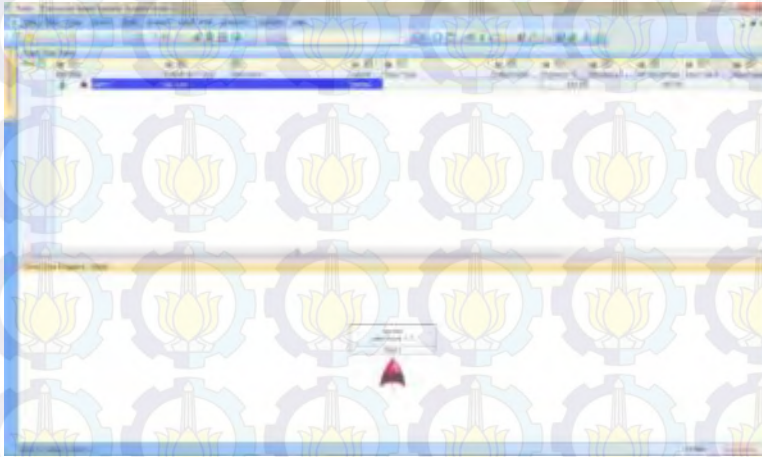
HAZOP Review of Large Filling Operations at a Typical Small Fueling Terminal					
2.8 Large Transfer System Panel					
No.	Deviasi	Consequences	Safeguards	Recommendations	
1.	Flow down	Flow down into the receiver may cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow down may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow down may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation.	Flow down into the receiver may cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow down may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow down may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation.	Flow down into the receiver may cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow down may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow down may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation.	Flow down into the receiver may cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow down may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow down may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation.
2.	Flow up	Flow up into the receiver may cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow up may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow up may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation.	Flow up into the receiver may cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow up may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow up may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation.	Flow up into the receiver may cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow up may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow up may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation.	Flow up into the receiver may cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow up may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation. Flow up may also cause damage to the receiver and to the piping, valves, and instrumentation.

Sumber: <http://www.oshatrain.org/images/hazop4.gif>

2.8 Relex 2009

Relex 2009 adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk menghitung kemungkinan (*probability*) terjadinya suatu kejadian. Perangkat lunak ini dapat menghitung berbagai

persamaan seperti *Event Tree*, *Fault Tree*, *FMEA*, *FRACAS*, *Human Factor*, *Life Cycle Cost*, *Maintainability*, *Markov*, *OpSim*, *Prediction* dan *Weibull*. Dalam skripsi ini, untuk perhitungan nilai frekuensi digunakan dengan *fault tree analysis* (FTA). Dengan memasukkan nilai dari *failure rate* pada *basic event* maka kita akan mendapat nilai *failure rate* pada masing-masing node.



Gambar 2.8 Tampilan *Relx 2009*

2.9 Kajian risiko (*Risk assessment*)

Risk Assessment atau kajian risiko merupakan suatu langkah dalam manajemen risiko. *Risk assessment* merupakan identifikasi bahaya-bahaya yang mungkin terjadi pada suatu objek dan risiko yang ditimbulkan oleh bahaya-bahaya potensial tersebut. Tingkat risiko diperoleh melalui perhitungan kemungkinan terjadinya suatu bahaya dan akibat yang ditimbulkan seandainya bahaya tersebut terjadi. Dari identifikasi konsekuensi dan perhitungan frekuensi, dapat diplotkan sebuah *Risk Matrix* yang menunjukkan tingkat risiko yang dimiliki oleh objek tersebut, apakah tingkat risiko yang ada dapat diterima atau tidak.

Dalam konteks kajian risiko, seringkali dijumpai atau digunakan kriteria ALARP untuk menentukan apakah tingkat

risiko suatu objek dapat diterima atau tidak. ALARP merupakan akronim dari *As Low As Reasonably Practicable* atau dapat diartikan “serendah mungkin dalam batas yang wajar”. Istilah ini umum digunakan dalam konteks kajian keselamatan untuk mengartikan bahwa pertimbangan yang memadai akan diambil terhadap sebuah risiko terkait dengan tingkatan risiko itu sendiri dan langkah-langkah mitigasinya. Secara praktis, untuk risiko-risiko yang berada pada daerah ALARP, perlu dilakukan pertimbangan antara tingkat risiko tersebut dan sumber daya yang diperlukan untuk menguranginya. Karena itulah, pertimbangan yang dilakukan terkait dengan daerah ALARP menjadi amat subjektif.

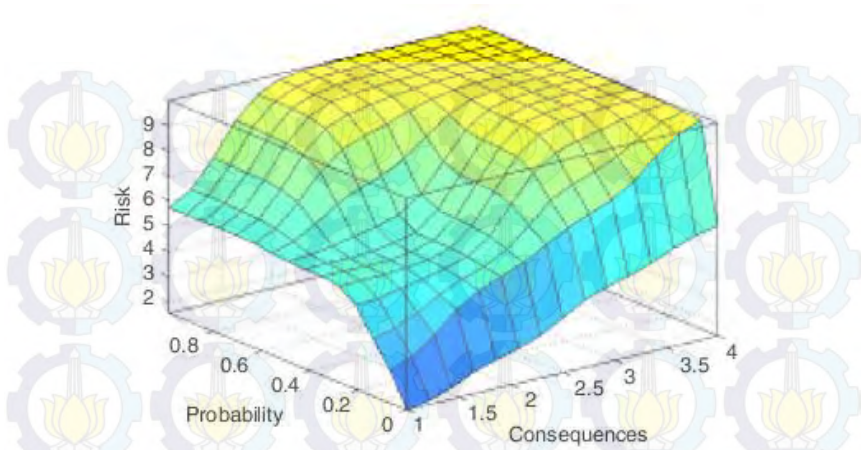
Jika risiko yang berada pada daerah tidak dapat diterima/ALARP, ada beberapa langkah untuk mengurangi tingkat risiko:

1. Mengurangi tingkat frekuensi.
2. Mengurangi tingkat konsekuensi.
3. Mengurangi konsekuensi dan frekuensi.

2.10 Matlab

Matlab (*matrix laboratory*) adalah sebuah perangkat lunak komputasi dan bahasa pemrograman generasi keempat yang dikembangkan oleh The MathWorks. Matlab memiliki fungsi untuk manipulasi matriks, pemplot-an fungsi dan data, implementasi algoritma, dengan program dalam bahasa lainnya. Meskipun hanya bernuansa nari, sebuah *toolbox* yang menggunakan mesin simbolik MuPAD, memungkinkan akses terhadap kemampuan aljabar.

Dalam skripsi ini, Matlab digunakan untuk menghitung persamaan *Fuzzy* yang terdiri dari berbagai macam *rules* yang dibuat. Banyaknya *rules* yang dimasukkan tergantung dari variabel yang dibuat.



Gambar 2.9 Contoh *output* untuk 2 Fuzzy input, yaitu *Probability* dan *Consequences*

Sumber: Tarek Elsayed.2010.Risk Assessment of Marine LNG Operations.Arab Academy for Science and Technology and Maritime Transport Alexandria, Egypt

2.11 ALOHA

Perangkat lunak ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar konsekuensi yang akan terjadi dari ledakan dan kebakaran. Hasil ledakan dan kebakaran yang terjadi dibagi menjadi 3 area, yaitu: area merah (tekanan 8 psi), area oranye (tekanan 3,5 psi) dan area kuning (tekanan 1 psi). Berikut adalah contoh hasil simulasi perangkat lunak ALOHA yang menunjukkan area merah, aranye dan kuning yang akan digunakan sebagai tingkat konsekuensi dalam skripsi ini.

Input yang dimasukkan dalam perangkat lunak ini adalah P&ID dari terminal penerima LNG yang akan digunakan untuk simulasi dan jenis kebakaran atau ledakan yang mungkin terjadi. Dalam skripsi ini simulasi yang

Pada tangki atau pipa LNG kemungkinan terjadinya *jet fire* hanya mungkin terjadi saat bongkat muat atau saat pemindahan LNG dari tangki karena dipompa.

2.12.2 *Pool Fire*

Pool fire terjadi karena kebocoran gas yang lama sehingga gas tersebut menggenang di atas permukaan tanah. Gas tersebut otomatis bercampur dengan oksigen. Saat ada sumber panas yang bercampur dengan gas dan oksigen tersebut maka terjadilah kebakaran yang besar. *Pool fire* terjadi lama hingga gas yang ada habis. Kebakaran ini sulit dikontrol karena banyaknya gas yang telah menggenang di permukaan tanah.

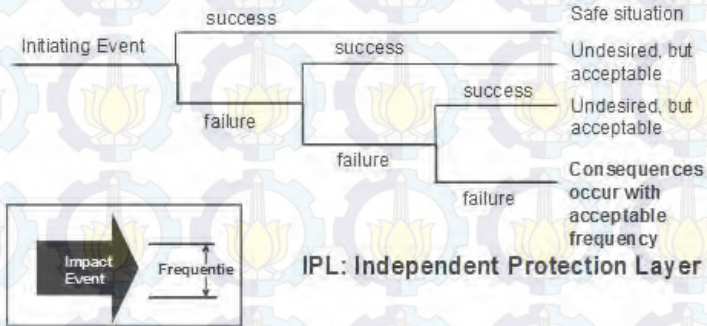
2.13 *Layer of Protection Analysis (LOPA)*

LOPA merupakan suatu metodologi untuk mengevaluasi bahaya dan risiko. Penggunaan metode LOPA dapat digunakan untuk menganalisis suatu risiko, dan apakah perlindungan yang terdapat pada penyebab risiko tersebut telah memadai. Pada metode ini, akan dilakukan identifikasi potensi bahaya dan identifikasi lapisan perlindungan. Dari sinilah dapat diketahui kekuatan perlindungan yang telah ada untuk mengatasi risiko yang terjadi. Pada skripsi ini, analisis LOPA akan dilakukan dengan mengacu pada standar IEC 61511 – Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector.

LOPA mengevaluasi risiko dalam urutan besarnya dari skenario kecelakaan yang dipilih. Terdapat lima langkah dasar dalam LOPA:

1. Identifikasi skenario.
2. Memilih skenario kecelakaan.
3. Mengidentifikasi kejadian awal dari skenario dan menentukan frekuensi kejadian awal (kejadian per tahun).

4. Identifikasi Lapisan Perlindungan Independen (IPL) dan memperkirakan kemungkinan kegagalan pada permintaan masing-masing IPL.
5. Memperkirakan risiko dari skenario.



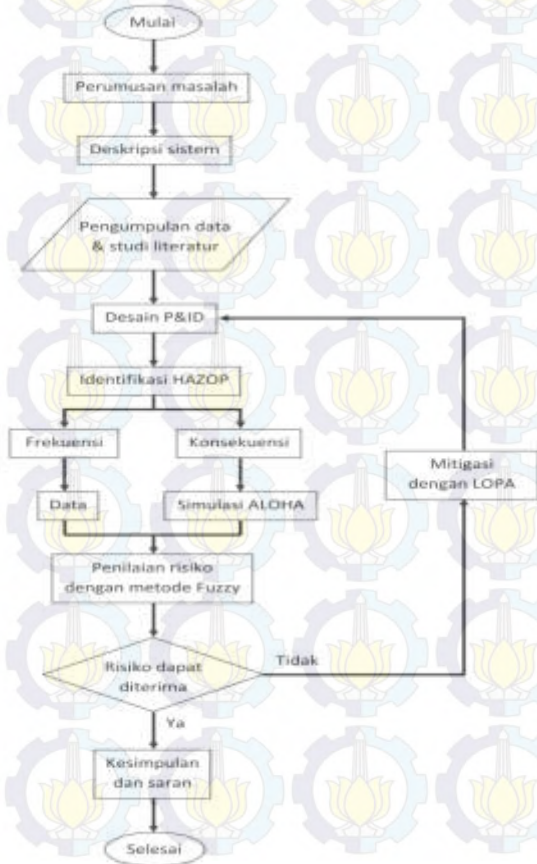
Gambar 2.4 Analisis LOPA

Sumber: <http://www.safety-sc.com/en/risicoanalyse/lopa/>



BAB III METODOLOGI

Metodologi penelitian pada skripsi ini merupakan langkah-langkah yang dilakukan untuk menentukan proses pengerjaan yang dilakukan dari awal sampai akhir. Adapun metodologi penelitian yang digunakan pada skripsi ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Flow chart* pengerjaan skripsi

Berdasarkan *flow chart* pengerjaan skripsi pada gambar 3.1, maka berikut adalah penjelasan dari masing-masing langkah pengerjaan skripsi yang dilakukan.

3.1 Perumusan Masalah

Langkah pertama yang akan dilakukan adalah merumuskan masalah yang ada. Perumusan masalah ini diawali dengan latar belakang permasalahan yang ada, kemudian memaparkan permasalahan yang ada. Dari perumusan masalah ini, maka dapat ditentukan tujuan, manfaat dan batasan dari skripsi ini. Permasalahan utama pada skripsi ini adalah bagaimana desain dasar dari terminal LNG yang akan dibangun di Celukan Bawang, Bali dan bagaimana risiko yang mungkin terjadi di terminal penerima LNG tersebut. Perumusan masalah ini penting karena untuk menentukan apa saja yang akan dilakukan dalam skripsi ini.

3.2 Deskripsi Sistem

Pada tahap ini, sistem terminal penerima LNG yang akan dibangun di Celukan Bawang, Bali akan dijelaskan secara terperinci melalui *process flow diagram* sehingga dapat dimengerti mengenai proses yang ada mulai dari bongkar muat, penyimpanan dan distribusi LNG. Dengan mengetahui proses yang ada maka akan memudahkan dalam pembuatan desain dasar dari terminal penerima LNG. Selain itu, deskripsi sistem ini juga dapat menjelaskan secara singkat kepada orang awam yang masih belum mengetahui sistem-sistem yang ada pada terminal penerima LNG.

3.3 Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Pengumpulan data digunakan sebagai dasar dari proses desain dan identifikasi risiko bahaya yang mungkin terjadi. Dalam skripsi ini dibutuhkan data-data yang berhubungan dengan pembahasan masalah yang ada. Data-data tersebut antara lain: PFD (*process flow diagram*) dari terminal penerima LNG, denah lokasi terminal penerima LNG dan

kondisi lingkungan (angin, kelembaban udara) di area terminal penerima LNG.

Sedangkan study literatur yang diperlukan berupa buku dan paper yang menjelaskan beberapa hal seperti sifat dan proses LNG, standart terminal penerima LNG, analisis risiko, frekuensi kegagalan pada terminal penerima LNG, *software* ALOHA, *software* Matlab, metode fuzzy dan upaya mitigasi.

3.4 Desain P&ID

Setelah mendapatkan *process flow diagram* (PFD) dari terminal penerima LNG di Celukan Bawang, Bali, maka dapat dibuat *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID). Standart yang digunakan dalam penyusunan P&ID ini adalah NORSOK. Dalam P&ID ini disusun tentang instrument-instrumen yang ada pada tanki, pompa, *loading* dan *return arm*. Selain itu juga ada *safety device* di *loading* dan *return arm*. P&ID ini dibagi menjadi beberapa *node* yang digunakan untuk identifikasi bahaya dengan menggunakan HAZOP (*Hazard and Operability Study*).

3.5 Analisis HAZOP

Setelah desain P&ID dibuat dan dibagi menjadi beberapa *node*, maka dapat menganalisis bahaya yang mungkin terjadi pada terminal penerima LNG. Isi dari lembar kerja HAZOP adalah *Facility, Node, Intention, Component, Function, Deviation, Causes, Consequences, Safetyguard* dan *Recommendation*. Dalam skripsi ini analisis HAZOP (*Hazard and Operability Study*) yang digunakan fokus pada risiko yang akan menyebabkan ledakan dan kebakaran. Dari data analisis ini akan digunakan untuk frekuensi dan konsekuensi.

3.6 Penentuan Frekuensi

Penentuan frekuensi didasarkan dari HAZOP yang telah dibuat. Nantinya nilai frekuensi yang dihitung digunakan dalam metode fuzzy diperoleh dari data DNV yang ada. Data

ini menunjukkan besarnya peluang suatu kecelakaan terjadi pada sebuah terminal penerima LNG. Nilai frekuensi dari masing-masing penyebab kegagalan, dihitung dengan mempertimbangkan kejadian tersebut terjadi jika salah satu komponen gagal akan menimbulkan kegagalan sistem (OR) atau ada beberapa kegagalan komponen yang menyebabkan kegagalan sistem (AND). Nilai dari frekuensi ini dimasukkan untuk besarnya pemetaan pada risiko yang ada.

3.7 Penentuan Konsekuensi

Pada tahap ini, digunakan standart dan peraturan yang ada yaitu UK HSE dan NPFA 59 untuk menentukan batasan dan tingkatan dari suatu bahaya. Dalam suatu bahaya misalnya dalam batasan maksimal 100. Angka 0-30 termasuk tingkat rendah, angka 31-70 termasuk tingkat menengah dan angka 71-100 termasuk tingkat tinggi. Konsekuensi yang didapatkan berdasarkan simulasi dari perangkat lunak ALOHA.

3.8 Penilaian Risiko dengan Fuzzy

Perangkat lunak Matlab digunakan dengan fungsi Fuzzy untuk menghasilkan *output* dari *rules* yang akan dimasukkan. Dari variabel yang dimasukkan maka Matlab akan melakukan fungsi fuzzy. Setiap tingkatan dari variabel akan dimasukkan (hal ini disebut *rule*) dan akan menghasilkan *output* yang berupa tingkatan risiko yang ada.

3.9 Klasifikasi Risiko

Setelah mendapatkan hasil dari Matlab, dapat diklasifikasi risiko tersebut apakah dapat diterima, ALARP (*as low as reasonably practical*), atau tidak dapat diterima. Hasil klasifikasi risiko ini akan digunakan untuk mitigasi dari suatu risiko jika risiko yang mungkin terjadi memiliki tingkatan yang tidak dapat diterima.

3.10 Mitigasi dengan LOPA

Analisis LOPA digunakan untuk menghasilkan rekomendasi terhadap tingkat perlindungan (*layer of protection*). Jika diketahui perlindungan yang ada belum memadai, maka dilakukan mitigasi yang lain agar tingkat risiko yang mungkin terjadi menjadi semakin rendah.

3.11 Kesimpulan dan Saran

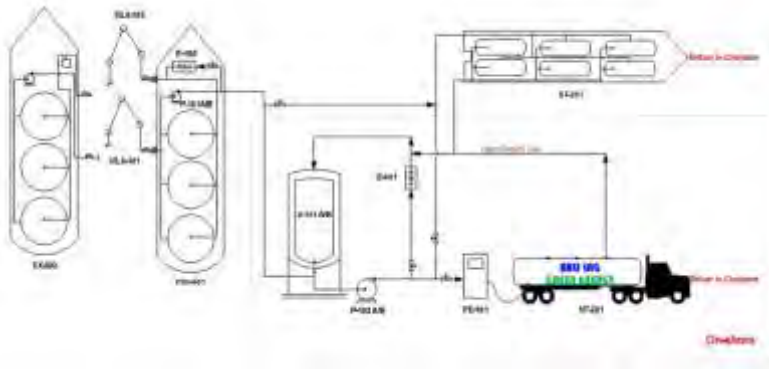
Setelah semua proses dilakukan, maka dibuat kesimpulan dari seluruh proses yang telah dilakukan dan menjawab perumusan masalah yang telah disusun. Kemudian dibuat juga saran dari proses yang telah dilakukan yang dapat digunakan bagi orang yang ingin melanjutkan penelitian ini kedepannya.



BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan data

Data yang diperoleh dari perusahaan berupa PFD (*Process and Flow Diagram*) dari terminal penerima LNG yang akan dibangun. Dalam *Process and Flow Diagram* tersebut juga ada perencanaan tentang spesifikasi peralatan yang akan digunakan di terminal penerima LNG nantinya. Berikut adalah *Process and Flow Diagram* dan spesifikasi peralatan yang ada di terminal penerima LNG.



Gambar 4.1 *Process flow diagram* terminal penerima LNG

Sumber: Data Perusahaan

4.1.1 LNG Loading Arm

LNG *Loading Arm* adalah bagian dari FSU yang berfungsi untuk menyalurkan LNG dari LNG *Ship tanker* ke tanki FSU. Kapasitasnya adalah 4000 m³/jam dan material SS-304.

4.1.2 LNG Return Arm

LNG Return Arm adalah bagian dari FSU yang berfungsi untuk mengembalikan LNG yang ada di FSU ke *LNG Ship tanker* untuk digunakan sebagai bahan bakar dari *LNG Ship tanker*. Material dalamnya terbuat dari SS-304 dan material luar CS +3 mm CA.

4.1.3 Floating Storage Unit

Floating Storage Unit (FSU) adalah suatu kapal yang digunakan untuk proses pemindahan LNG dari *LNG Ship tanker*. Pada FSU terdapat tanki untuk menampung LNG yang nantinya juga dikirim ke tanki di darat maupun dialirkan ke *LNG Ship barge*. Volume dari FSU di Celukan Bawang adalah 62500 m³ dengan material dalam SS-304 dan material luar CS +3 mm CA.

4.1.4 LNG Transfer Pump

LNG Transfer pump adalah pompa *cryogenic* yang digunakan untuk memindah LNG dari tanki FSU ke *Holding storage tank* yang ada di darat. Direncanakan 2 pompa dengan kapasitas masing-masing 350 m³/jam dan material SS-304.

4.1.5 LNG Holding Storage Tank

LNG Holding Storage Tank adalah tanki yang berada di darat yang memiliki fungsi untuk menyimpan LNG yang akan dikirim ke pembangkit listrik dengan menggunakan truk. Direncanakan 2 tanki dengan masing-masing volume 500 m³ dan material dalam SS-304 dan material luar CS +3 mm CA.

4.1.6 LNG Loading Pump

LNG Loading Pump adalah pompa *cryogenic* yang digunakan untuk memindah LNG dari *Holding storage tank* ke truk melalui *filling package*. Direncanakan 2

pompa dengan kapasitas masing-masing 50 m³/jam dan material SS-304.

4.1.7 LNG Filling Package

LNG Filling Package adalah alat yang digunakan untuk mengisi LNG ke truk atau mobil dengan indicator volume yang ada di dalamnya. Kapasitas masing-masing 50 m³/jam dan material SS-304.

4.1.8 LNG truck tank

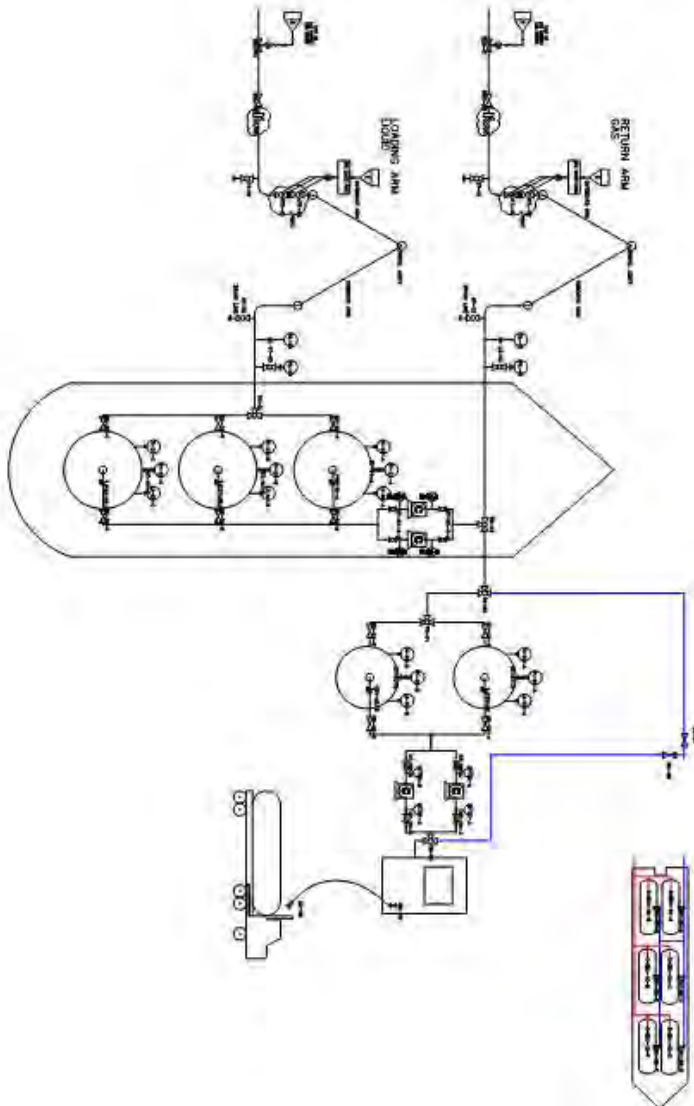
Dari terminal penerima LNG di Celukan Bawang menuju pembangkit listrik yang ada di Gilimanuk dan Pemaron, digunakan truk. Truk yang digunakan adalah LNG ISO *tank* yang bervolume 45 m³.

4.1.9 LNG barge ship

Dari terminal penerima LNG di Celukan Bawang menuju pembangkit listrik yang ada di Pesanggaran, digunakan *barge ship* dengan volume 460 m³.

4.2 Analisis *pipng and instrument diagram*

Dari *Process and Flow Diagram* yang ada maka dibuatlah *pipng and instrument diagram*. Pada *pipng and instrument diagram* yang telah dibuat, terdapat spesifikasi dari pipa dan peralatan yang akan dipakai nantinya di terminal penerima LNG. Berikut adalah *pipng and instrument diagram* dari terminal penerima LNG di Celukan Bawang, Bali.



Gambar 4.2 *Piping and instrument diagram* terminal penerima LNG

4.2.1 Penjelasan *Piping and instrument diagram*

Dalam penyusunan P&ID ini, kami mengacu pada NFPA 59. Mekanisme kerja dari handling unit di mini LNG adalah sebagai berikut. LNG *ship tanker* yang tiba di terminal penerima LNG diposisikan di dekat *handling unit* pada FSU. Dari ujung pipa tersebut ada butterfly valve yang terhubung langsung dengan submercible pump. Pompa ini berfungsi untuk menyedot LNG dari shuttle tanker atau truk kontainer yang akan digunakan. Quick Connect/Disconnect (QC/DC) bekerja pada suhu $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Saat suhu LNG berada diluar batas suhu ini, maka akan menutup otomatis. Kemudian ada 3 safety equipment, yaitu:

- a. *Distributed Control System* (DSB) yang bekerja untuk memantau proses distribusi LNG. DSB ini dapat menunjukkan aliran persebaran LNG ke tanki yang ada di FSU.
- b. *Emergency Shut Down* (ESD) yang berfungsi untuk menonaktifkan pompa dan kabel. ESD akan bekerja saat ada kebocoran yang terjadi saat proses bongkar muat LNG.
- c. *Quick Realist Hook* (QRH) yang berfungsi untuk melepas tali tambat sehingga shuttle tanker dapat menjauh dari dermaga. Jika kegagalan bongkar muat LNG fatal, maka langkah selanjutnya dari *safety system* yang ada adalah *Quick Realist Hook*. Sistem ini digunakan agar tidak terjadi kegagalan yang lebih besar.
- d. *Mooring Marine Monitoring System* (MMS) yang berfungsi untuk memonitor gerakan kapal. Saat bongkar muat LNG, kapal rolling tidak lebih dari 15° dan tidak boleh ada kapal lain yang merapat.

LNG yang telah masuk ke tangki akan disimpan di tanki FSU. Di tangki, LNG dimonitoring dengan level indicator, temperature indicator dan pressure indicator.

LNG yang berada di tanki FSU kemudian dipindahkan oleh LNG *transfer pump* ke LNG *Holding storage tank* atau langsung ke LNG *ship barge*. Pada LNG *transfer pump* terdapat 2 *pressure indicator* pada masing-masing pompa yang berfungsi untuk menunjukkan kinerja pompa. Jika tekanan pada *inlet* dan *outlet* sama, maka dari sisi tekanannya pompa tersebut bekerja dengan baik. Jika tekanannya berbeda maka pompa tersebut mengalami penyumbatan.

Di *holding storage tank*, terdapat 3 indikator untuk memonitoring LNG yaitu *level indicator*, *pressure indicator* dan *temperature indicator*. Disamping itu juga *pressure safety valve* yang berfungsi untuk menurunkan tekanan jika tekanan dalam tanki melebihi batas tekanan kerja.

Dari *holding storage tank*, LNG dialirkan oleh LNG *Loading pump* ke LNG *Filling package* yang nantinya akan dialirkan ke dalam tanki truk untuk pengiriman LNG ke Gilimanuk dan Pamaron.

4.2.2 Perhitungan diameter pipa

Dengan menggunakan rumus berikut ini maka diameter pipa di masing-masing sistem dapat ditentukan.

$$Q = A \times v$$

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$\frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{Q}{v}$$

$$d^2 = \frac{4Q}{v\pi}$$

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{v\pi}}$$

Keterangan:

Q = Kapasitas (m³/jam)

A = Luas penampang pipa (m²)

V = Kecepatan aliran (m/s)

Menurut DNV 0-5 m/s, agar pipa yang digunakan tidak terlalu besar maka dipilih kecepatan yang maksimal yaitu 5 m/s.

d = Diameter (m)

π = Phi (3,14)

Contoh perhitungan Dari Loading Arm ke FSU tank.

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{v\Pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 4000}{5 \times 3,14}}$$

$$d = \sqrt{\frac{16000}{15,7}}$$

$$d = \sqrt{1019.1}$$

$$d = 0.53 \text{ m}$$

$$d = 20,94 \text{ inch}$$

maka dipilih pipa dengan diameter 22 inch

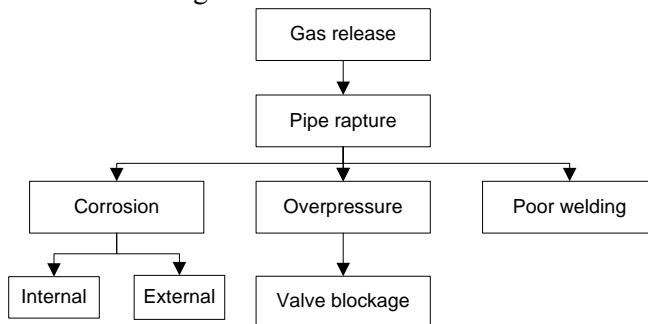
Berikut adalah tabel hasil perhitungan dengan cara yang sama:

Tabel 4.1 Tabel diameter pipa

No	Pipe	Qapacity	Flow velocity			Diameter	Plan
		(m^3/h)	(m/s)	(m/h)	(m)	($inch$)	($inch$)
1	Dari Loading Arm ke FSU tank	4,000	5	18,000	0.53	20.94	22
2	Dari FSU tank ke Storage tank	350	5	18,000	0.16	6.19	8
3	Dari FSU tank ke Ship barge tank	350	5	18,000	0.16	6.19	8
4	Dari Storage tank ke filling package	50	5	18,000	0.06	2.34	4
5	Dari Storage tank ke Ship barge tank	50	5	18,000	0.06	2.34	4

4.3 Analisis Risiko

Analisis risiko yang akan dikaji dalam skripsi ini adalah risiko yang dapan menyebabkan ledakan dan kebakaran. Penyebab utama dari ledakan dan kebakaran pada terminal LNG adalah kebocoran gas. Kebocoran gas ini terjadi karena kebocoran pipa. Kebocoran pipa ini disebabkan oleh korosi (luar atau dalam), kelebihan tekanan yang disebabkan oleh katup yang tersumbat dan pengelasan yang tidak sempurna. Berikut adalah diagram dari penyebab kebocoran gas.

**Gambar 4.3** Skema terjadinya kebocoran gas

Dalam skenario ini hal yang diskenariokan adalah penyebab pipa bocor karena tekanan yang berlebih yang diakibatkan oleh tersumbatnya katub. Faktor korosi digunakan hanya pada korosi eksternal. Korosi internal tidak digunakan karena sifat LNG yang tidak korosif. Sedangkan penyebab pipa bocor karena cacat las tidak diskenariokan karena sebelum digunakan, pipa LNG harus diinspeksi dengan sandart khusus LNG.

Analisis risiko pada terminal penerima LNG Celukan Bawang dilakukan dengan metode HAZOP (*Hazard and Operability Study*). Metode HAZOP dikembangkan untuk menganalisis proses kimia pada industri maupun pembangkit. Metode ini mengevaluasi peralatan yang ada pada *piping and instrument diagram*. Berikut adalah langkah-langkah dari metode HAZOP:

- a. Mengidentifikasi bagian terminal penerima LNG pada P&ID.
- b. Menentukan tujuan dari bagian tersebut sesuai dengan desain dan kondisi operasi normalnya.
- c. Menentukan penyimpangan dari tujuan kerja bagian tersebut atau kondisi operasi normalnya sesuai dengan kata kunci yang telah ditentukan.
- d. Mengidentifikasi sebab-sebab yang mungkin bagi penyimpangan tersebut serta konsekuensinya. Sebuah penyimpangan dapat dikatakan “berarti” bila penyimpangan tersebut memiliki sebab yang valid dan dapat menyebabkan konsekuensi yang merugikan.
- e. Menentukan perlu atau tidaknya tindakan khusus (mitigasi) untuk penyimpangan-penyimpangan “berarti”.
- f. Mencatat semua informasi dan dokumentasi yang diperoleh.

Kata kunci dari metode HAZOP yang digunakan misalnya *No or Not, More, Less, As Well As, Part of, Reverse, Other than, Early, Late, Before* dan *After* dengan indikator yang diperhatikan adalah Suhu, Tekanan, Getaran dan lain sebagainya. Berikut adalah lembar kerja yang digunakan untuk identifikasi HAZOP.

Tabel 4.2 Lembar kerja HAZOP

Facility :
 Node :
 Intention : Pages :

No.	Component	Function	Deviation	Causes	Consequences	Safety guard	Recom mendation

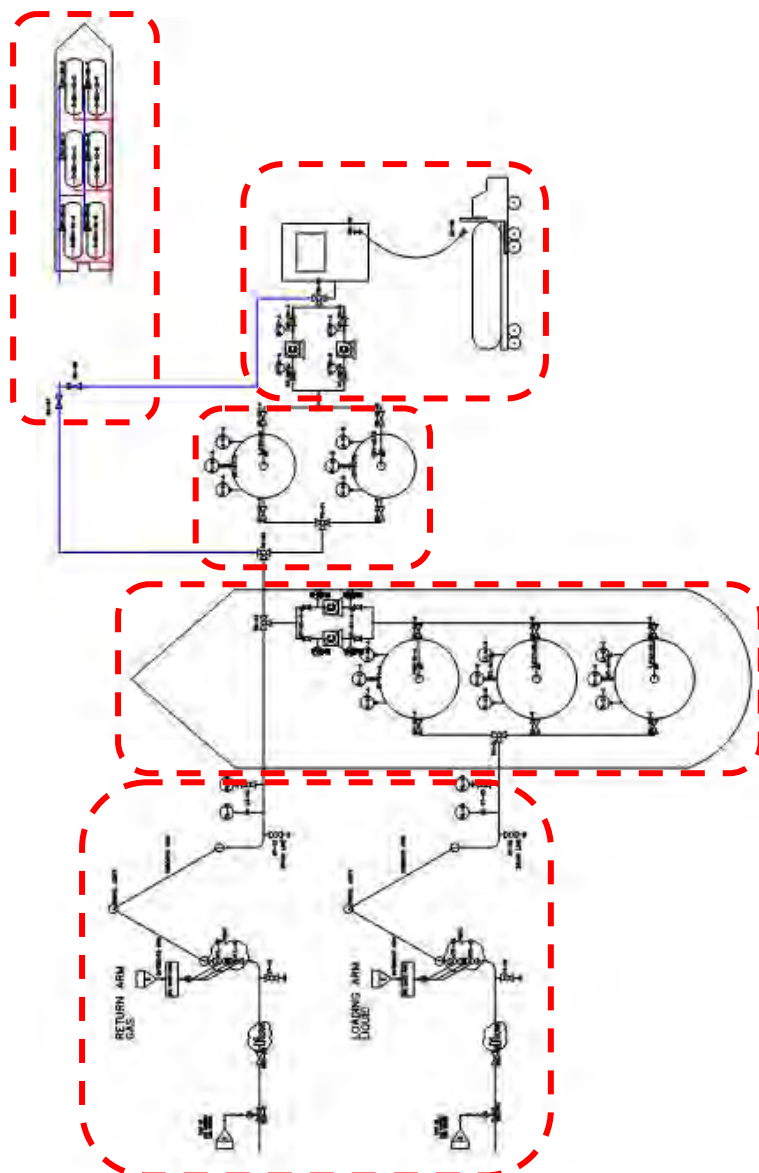
4.3.1 Analisis HAZOP

Dalam langkah pertama metode analisis HAZOP yaitu membagi sistem menjadi beberapa *node*. Sesuai dengan *pipng and instrument diagram* terminal penerima LNG di Celukan Bawang, Bali yang telah dibuat maka *pipng and instrument diagram* tersebut dibagi menjadi beberapa *node*, yaitu:

Tabel 4.3 Tabel pembagian *node*

<i>Node</i>	Sistem
1	<i>Loading and Return Arm</i>
2	<i>Floating Storage Unit</i>
3	<i>Storage tank</i>
4	<i>Filling package</i>
5	<i>LNG ship barge</i>

Setelah membagi menjadi 5 *node* tersebut maka kita bisa memulai untuk melakukan analisis HAZOP. Berikut adalah pembagian *node* untuk dianalisis dengan menggunakan metode HAZOP.



Gambar 4.4 Pembagian *node* terminal penerima LNG

Facility : Terminal penerima LNG

Node : Loading and Return Arm

Intention : Menerima LNG dari Shuttle tanker ke tanki FSU

No.	Component	Function	Deviation	Causes	Consequences	Safetyguard	Recommendation
1	BU - 01	Membuka dan menutup aliran yang dikontrol ESD dan QC/DC	<i>No Flow</i>	Sensor ESD rusak	Tekanan berlebih pada pipa LNG <i>shuttle tanker</i> , bisa menyebabkan <i>jet fire</i> dan BLEVE	Tidak ada	Memasang <i>flow meter</i> dan <i>pressure indicator</i>
2	BU - 02	Membuka dan menutup aliran yang dikontrol ESD dan QC/DC	<i>More Pressure</i>	Sensor QC/DC rusak	Tekanan berlebih pada pipa LNG <i>shuttle tanker</i> , bisa menyebabkan <i>jet fire</i> dan BLEVE	Tidak ada	Desain pipa harus dapat mengatasi tekanan berlebih dan pemasangan <i>pressure indicator</i>
	Katub BU - 02 tersumbat			Tidak ada			

No.	Component	Function	Deviation	Causes	Consequences	Safetyguard	Recommendation
3	BU - 02	Membuka dan menutup aliran yang dikontrol ESD dan QC/DC	<i>More Temperature</i>	Katub BU - 01 tersumbat	Menyebabkan munculnya api	Tidak ada	Memasang <i>temperature indicator</i>
	BU - 01			<i>Over pressure</i> dari BU - 02		Tidak ada	
4	BU - 02	Memutus arus listrik pada pompa	<i>Too late</i>	<i>Over pressure</i> dari BU - 01	Pipa rusak dan menimbulkan kebocoran gas	Tidak ada	Pengecekan rutin
	ESD			Sensor ESD rusak		Tidak ada	

Facility : Terminal penerima LNG

Node : Floating Storage Unit

Intention : Menyimpan LNG dari Shuttle tanker

No.	Component	Function	Deviation	Causes	Consequences	Safetyguard	Recommendation
1	TW-01	Mengatur arah aliran LNG	<i>No flow</i>	Katub BU-01/BU-02/GT-01/GT-02 tersumbat	Mengalami <i>overpressure</i> , yang dapat menyebabkan BLEVE atau <i>jet fire</i>	<i>Pressure indicator</i>	Pemasangan <i>pressure safety valve</i>
2	TW-01	Mengatur arah aliran LNG	<i>More pressure</i>	Tekanan dari <i>loading arm</i> yang besar	LNG mengalir tidak beraturan	Katup BU-03	Tidak ada
3	BU-03	Mengatur buka atau tutupnya LNG ke tanki	<i>No flow</i>	Katup TW-01 tersumbat	Mengalami <i>overpressure</i> , yang dapat menyebabkan BLEVE atau <i>jet fire</i>	Tidak ada	Tidak ada
4	LI-01	Mematikan pompa jika LNG dalam tanki penuh	<i>Too late</i>	Sensor rusak	Tanki mengalami <i>over pressure</i>	<i>pressure safety valve</i>	Pengecekan rutin

No.	Component	Function	Deviation	Causes	Consequences	Safetyguard	Recommendation
5	PSV-01	Mengurangi tekanan pada tanki jika <i>overpressure</i>	<i>More pressure</i>	BOG yang terlalu banyak, <i>level indicator</i> rusak	Tanki mengalami <i>over pressure</i>	Tidak ada	Tidak ada
6	GT-06	Menutup aliran saat perbaikan pompa	<i>No flow</i>	Korosi	Pompa mengalami <i>overpressure</i> , yang dapat menyebabkan BLEVE atau <i>jet fire</i>	<i>Pressure indicator</i>	Tidak ada
7	TW-02	Mengatur arah aliran LNG	<i>No flow</i>	Korosi	Pompa mengalami <i>overpressure</i> , yang dapat menyebabkan BLEVE atau <i>jet fire</i>	<i>Pressure indicator</i>	Tidak ada
8	TW-02	Mengatur arah aliran LNG	<i>More pressure</i>	Kondisi katup sudah lama	LNG mengalir ke <i>return arm</i>	BU-01 dan BU-02	Tidak ada

Facility : Terminal penerima LNG

Node : Storage tank

Intention : Menyimpan LNG dari FSU

No.	Component	Function	Deviation	Causes	Consequences	Safetyguard	Recommendation
1	TW-03	Mengatur arah aliran LNG	<i>No flow</i>	Katup TW-02 tersumbat	Pompa mengalami <i>overpressure</i> , yang dapat menyebabkan BLEVE atau <i>jet fire</i>	<i>Pressure indicator</i>	Memasang <i>temperature indicator</i>
	TW-04			Katup TW-03 tersumbat			
2	BU-04	Mengatur buka atau tutupnya LNG ke tanki	<i>More pressure</i>	Kedua pompa bekerja dan hanya 1 tanki yang diisi	Tanki mengalami <i>over pressure</i>	<i>Pressure indicator, pressure safety valve, temperature indicator, level indicator</i>	Tidak ada
3	BU-04	Mengatur buka atau tutupnya LNG ke tanki	<i>More temperature</i>	Akibat <i>overpressure</i>	Pipa bisa mengalami retak dan LNG keluar	Tidak ada	Memasang <i>temperature indicator</i>

No.	Component	Function	Deviation	Causes	Consequences	Safetyguard	Recommendation
4	LI-02	Mematikan pompa jika LNG dalam tanki penuh	<i>Too late</i>	Sensor rusak	Tanki mengalami <i>over pressure</i>	<i>pressure safety valve</i>	Pengecekan rutin
5	PSV-02	Mengurangi tekanan pada tanki jika <i>overpressure</i>	<i>More pressure</i>	BOG yang terlalu banyak, <i>level indicator</i> rusak	Tanki mengalami <i>over pressure</i>	Tidak ada	Tidak ada

Facility : Terminal penerima LNG

Node : Filling package

Intention : Menyalurkan LNG dari Storage tank ke truk

No.	Component	Function	Deviation	Causes	Consequences	Safetyguard	Recommendation
1	TW-05	Mengatur arah aliran LNG	<i>No flow</i>	Katup GT-09 tersumbat	Pompa mengalami <i>overpressure</i> , yang dapat menyebabkan BLEVE atau <i>jet fire</i>	<i>Pressure indicator</i>	Memasang <i>temperature indicator</i>
2	GT-09	Menutup aliran saat perbaikan pompa	<i>No flow</i>	Katup rusak karena korosi	Pompa mengalami <i>overpressure</i> , yang dapat menyebabkan BLEVE atau <i>jet fire</i>	<i>Pressure indicator</i>	
3	TW-05	Mengatur arah aliran LNG	<i>More pressure</i>	Kedua pompa bekerja dan kondisi katup sudah lama	LNG mengalir ke luar	<i>Tidak ada</i>	

No.	Component	Function	Deviation	Causes	Consequences	Safetyguard	Recommendation
4	Filling package	Mengetahui volume LNG	<i>Over flow</i>	Kebocoran sill	LNG mengalir ke luar	Tidak ada	Pengecekan rutin
5	BU-05	Membuka dan menutup katup ke truk	<i>No flow</i>	Katup GT-09/TW-05 tersumbat	Pompa mengalami <i>overpressure</i> , yang dapat menyebabkan BLEVE atau <i>jet fire</i>	<i>pressure safety valve</i>	
	BU-06						
6	BU-05	Membuka dan menutup katup ke truk	<i>More pressure</i>	Kedua pompa bekerja dan kondisi katup sudah lama	LNG mengalir ke luar	<i>Tidak ada</i>	
	BU-06						

Facility : Terminal penerima LNG

Node : LNG Ship barge

Intention : Menampung dan mengirim LNG ke pembangkit listrik Pesanggaran

No.	Component	Function	Deviation	Causes	Consequences	Safetyguard	Recommendation
1	BU-07	Menghambat aliran agar tidak ke FSU	<i>No flow</i>	Katup TW-03 tersumbat	Pompa mengalami <i>overpressure</i> , yang dapat menyebabkan BLEVE atau <i>jet fire</i>	<i>Tidak ada</i>	
2	BU-08	Menghambat aliran agar tidak ke <i>Storage tank/filling package</i>	<i>No flow</i>	Katup TW-03 tersumbat	Pompa mengalami <i>overpressure</i> , yang dapat menyebabkan BLEVE atau <i>jet fire</i>	<i>Tidak ada</i>	
3	BU-09	Mengatur ke tanki mana LNG akan diisi	<i>More pressure</i>	Keempat pompa bekerja	Pipa mengalami <i>overpressure</i> , yang dapat menyebabkan BLEVE atau <i>jet fire</i>	<i>Tidak ada</i>	Memasang <i>Pressure safety valve</i>

No.	Component	Function	Deviation	Causes	Consequences	Safetyguard	Recommendation
4	GT-11	Menutup <i>loading & return arms</i> aat terjadi kebocoran	<i>No Flow</i>	Katub BU - 01 tersumbat	Pipa mengalami tekanan berlebih	Tidak ada	Pengecekan rutin
5	GT-12	Memutus arus listrik pada pompa	<i>Too late</i>	Sensor ESD rusak	Pipa rusak dan menimbulkan kebocoran gas	Tidak ada	Pengecekan rutin

4.3.2 Analisis frekuensi

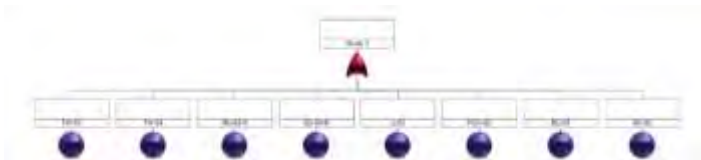
Setelah dilakukan identifikasi bahaya dengan menggunakan metode HAZOP, maka kita dapat menghitung frekuensi kegagalan dari masing-masing bahaya yang mungkin terjadi. Frekuensi ini diperoleh dari kumpulan data yang telah ada berdasarkan DNV

Tabel 4.4 Contoh nilai frekuensi kegagalan katup

Process Equipment Leak Frequencies		Rev:	3	
		Date:	26/9/2011	
Equipment Type:		Source:	HCDD 10/91 - 03/10	
Frequency Data:				
Equipment Size	Category	Total	Full Pressure	Zero Pressure
32 in	1 - 3 mm	5.843E-04	5.669E-04	1.801E-05
	3 - 10 mm	1.847E-04	1.759E-04	1.289E-05
	30 - 50 mm	5.629E-05	5.239E-05	8.891E-06
	50 - 150 mm	8.220E-06	7.462E-06	1.892E-06
	> 150 mm	1.339E-05	1.514E-05	8.053E-06
	Total	8.871E-04	8.317E-04	1.534E-05
34 in	1 - 3 mm	8.000E-04	7.821E-04	2.134E-05
	3 - 10 mm	1.897E-04	1.805E-04	1.478E-05
	30 - 50 mm	5.778E-05	5.378E-05	1.134E-05
	50 - 150 mm	8.440E-06	7.881E-06	4.469E-06
	> 150 mm	1.860E-05	1.513E-05	6.088E-06
	Total	8.890E-04	8.373E-04	6.103E-05

Sumber : DNV

Nilai dari masing-masing kegagalan telah ditentukan. Kemudian dihitunglah frekuensi dari masing-masing penyebab kegagalan pada setiap *node* dengan metode FTA (*Fault Tree Analysis*) dan dengan bantuan perangkat lunak Relx.



Gambar 4.5 Contoh perhitungan FTA dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Relx

Pada kasus ini, diambil nilai total dari *leak frequencies* dengan ukuran yang berbeda-beda dan

kategori kebocoran 10-50 mm. Berikut adalah nilai *leak frequencies* dari 5 *node* yang telah dibuat:

Tabel 4.5 Nilai frekuensi pada *node 1*

Equipment	Leak Frequencies
BUR-01	5.778 E-05
BUR-02	5.778 E-05
BUL-01	6.038 E-05
BUL-02	6.038 E-05
GT-01	9.852 E-05
GT-02	9.852 E-05
ESD-01	1.866 E-04

Tabel 4.6 Nilai frekuensi pada *node 2*

Equipment	Leak Frequencies
TW-01	1.826 E-05
BU-03	1.440 E-05
LI-01	1.652 E-04
PSV-01	5.778 E-05
GT-06	1.440 E-05
TW-02	1.826 E-05

Tabel 4.7 Nilai frekuensi pada *node 3*

Equipment	Leak Frequencies
TW-03	1.826 E-05
TW-04	1.826 E-05
BU-04	1.826 E-05
LI-02	1.652 E-04
PSV-02	5.628 E-05
PU-01	5.880 E-05

Tabel 4.8 Nilai frekuensi pada *node 4*

Equipment	Leak Frequencies
TW-05	1.826 E-05
GT-09	1.826 E-05
TW-06	1.826 E-05
FP-01	1.014 E-03
BU-05	1.826 E-05
BU-06	5.447 E-05

Tabel 4.9 Nilai frekuensi pada *node 5*

Equipment	Leak Frequencies
BU-07	5.447 E-05
BU-08	5.447 E-05
BU-09	5.447 E-05
GT-11	5.447 E-05
GT-12	5.447 E-05

Kemudian nilai-nilai tersebut kita masukkan ke dalam Relex sebagai nilai dari *basic event*. Berikut ini adalah nilai yang dimasukkan ke dalam Relex dari masing-masing *node*.

**Gambar 4.6** *Input data frekuensi Relex pada node 1*



Gambar 4.7 *Input data frekuensi Relex pada node 2*



Gambar 4.8 *Input data frekuensi Relex pada node 3*

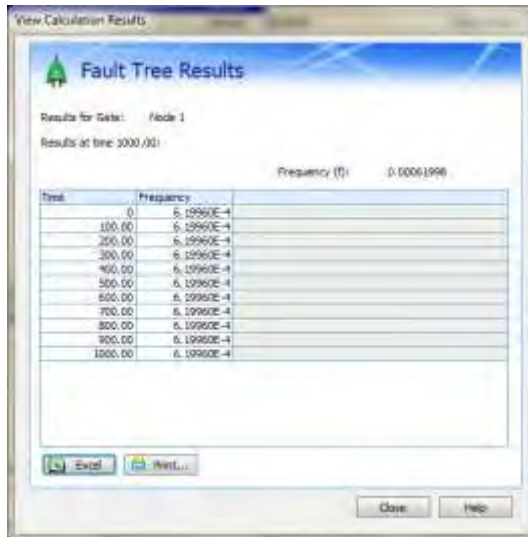


Gambar 4.9 *Input data frekuensi Relex pada node 4*

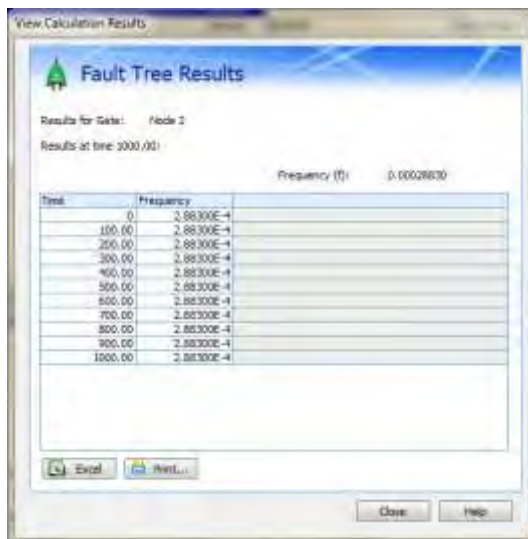


Gambar 4.10 *Input data frekuensi Relex pada node 5*

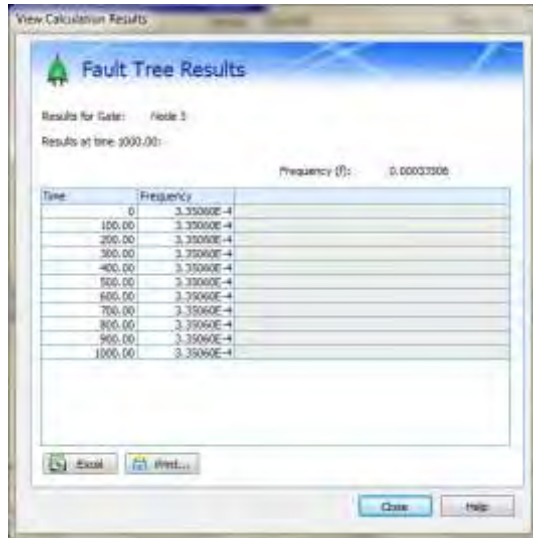
Setelah kita memasukkan nilai *leak frequencies* pada masing-masing *node*, maka kita lakukan perhitungan dengan menggunakan fungsi *calculate* yang ada pada perangkat lunak Relex. Kemudian Relex akan menghitung laju kegagalan pada *node* tersebut. Berikut adalah besarnya laju kegagalan pada masing-masing *node* berdasarkan hasil perhitungan Relex.



Gambar 4.11 Hasil kalkulasi frekuensi Relex pada *node 1*



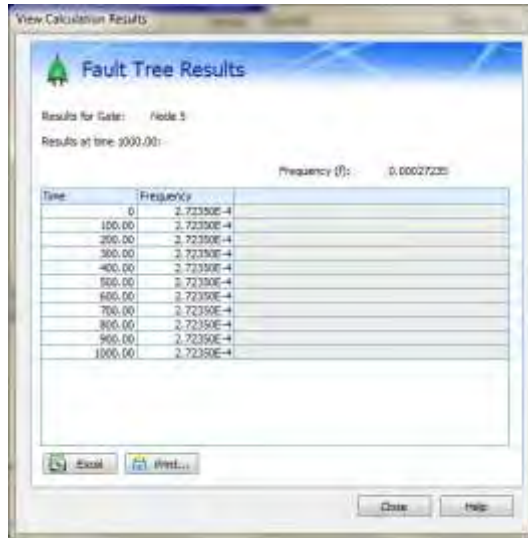
Gambar 4.12 Hasil kalkulasi frekuensi Relex pada *node 2*



Gambar 4.13 Hasil kalkulasi frekuensi Relex pada *node 3*



Gambar 4.14 Hasil kalkulasi frekuensi Relex pada *node 4*



Gambar 4.15 Hasil kalkulasi frekuensi Relex pada *node 5*

Jadi, laju kegagalan pada masing-masing *node* adalah sebagai berikut.

Tabel 4.10 Nilai frekuensi pada masing-masing *node*

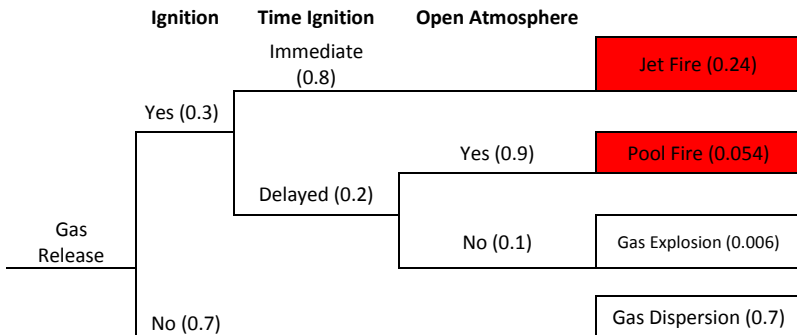
Node	Frequency	Level
1	6.1996 E-4	D
2	2.8830 E-4	E
3	3.3506 E-4	E
4	1.1415 E-3	D
5	2.7235 E-4	E

4.3.3 Simulasi konsekuensi

Dalam konsekuensi ini, akan dianalisis konsekuensi berupa lamanya operasional terminal penerima LNG tidak dapat beroperasi. Hal ini dapat dilihat dari permodelan dari

simulasi yang akan dilakukan oleh perangkat lunak Shell FRED 4.0.

Untuk permodelan konsekuensi, terlebih dahulu harus dibatasi kejadian apa saja yang mungkin terjadi. Dalam skripsi ini, dibatasi 3 bahaya yang mungkin terjadi jika suatu komponen mengalami kerusakan. Bahaya tersebut adalah *jet fire* dan *pool fire*. Ketiga kejadian ini kemungkinan besar terjadi pada suatu industri pengelola gas. Berikut adalah skema terjadinya *jet fire* dan *pool fire*. Saat ada gas yang bocor dan ada percikan api, maka akan terjadi *jet fire*. Kejadian kedua adalah *pool fire*. *Pool fire* terjadi saat terjadi kebocoran gas pada tempat yang terbuka, kemudian ada percikan api yang mengenai gas tersebut dengan adanya jeda waktu setelah gas tersebut bocor. Peluang terjadinya *jet fire* dan *pool fire* berturut-turut adalah 0.24 dan 0.054. *Gas dispersion* tidak dimasukkan ke dalam simulasi karena tidak akan mengganggu operasional pada peralatan di terminal penerima LNG. Sedangkan *Gas explosion* tidak akan terjadi karena peralatan di terminal penerima LNG ini berada di luar ruangan (*open atmosphere*).



Gambar 4.16 Skema terjadinya *jet fire* dan *pool fire*

Pada masing-masing *node* belum tentu terjadi ketiga kejadian ini. Dalam sub bab ini akan dianalisis bahaya apa saja yang mungkin terjadi pada masing-masing *node*. Dengan menggunakan permodelan ledakan dan kebakaran melalui simulasi perangkat lunak ALOHA maka dapat diketahui bagaimana ledakan dan kebakaran yang mungkin terjadi. Yang dibutuhkan dalam simulasi ini adalah peta dengan skala yang tepat, suhu lingkungan, arah angin, kecepatan angin, jenis fluida, dan lain-lain. Warna merah pada area ledakan dan kebakaran melambangkan daerah *first burn degree* dengan kalor lebih dari 10 kW/m^2 . Warna kuning melambangkan daerah *second burn degree* dengan kalor $5\text{-}10 \text{ kW/m}^2$. Warna hijau melambangkan daerah *third burn degree* dengan kalor $2\text{-}5 \text{ kW/m}^2$.

Berikut adalah standart waktu perbaikan pada sebuah tangki menurut API 653.

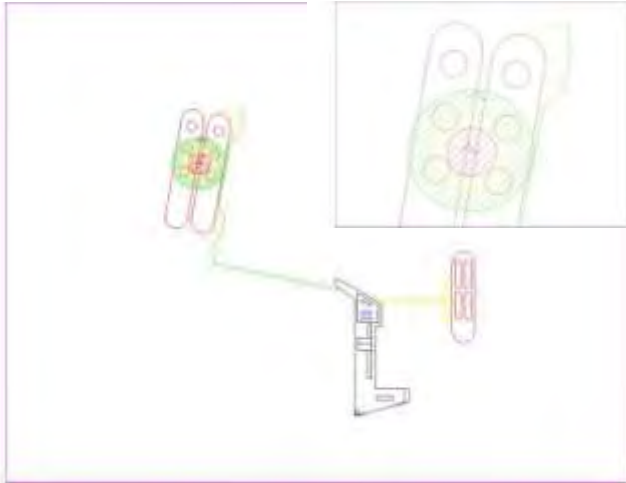
Tabel 4.11 Lama waktu perbaikan tangki menurut API 653

Temperature	5° C	10° C	15° C	20° C	25° C	30° C
Time to remove magnets	28 Hours	15 Hours	9 Hours	4 Hours	2 Hours	1 Hours
Fully curing time of product	10 Days	05 Days	03 Days	1 Days	1 Day	16 Hours

Paint Type	Over-coating Times		
	Temp. °C	Minimum	Maximum
Sigma cover Zinc Primer (Prime Coat)	10	8 hrs	As soon as Practical, within 14 days. Must be free of zinc salts.
	20	6 hrs	
	30	4 hrs	
	40	3 hrs	
Sigma cover CM Miscuan (Intermediate Coat)	10	4 hrs	Unlimited
	20	3 hrs	
	30	2 hrs	
	40	2 hrs	
Sigma dan Oltro (Finished Coat)	10	24 hrs	Unlimited
	20	12 hrs	
	30	6 hrs	
	40	3 hrs	

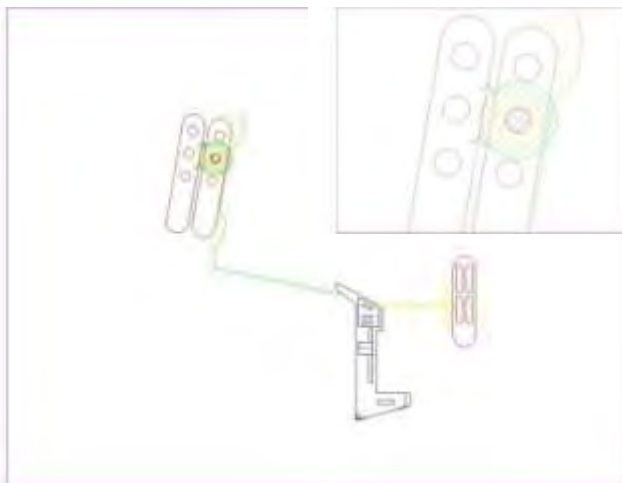
Sumber: LNG Plant 1 Sonatrach, Algeria

Berikut adalah hasil simulasi ledakan dan kebakaran hasil simulasi ALOHA.



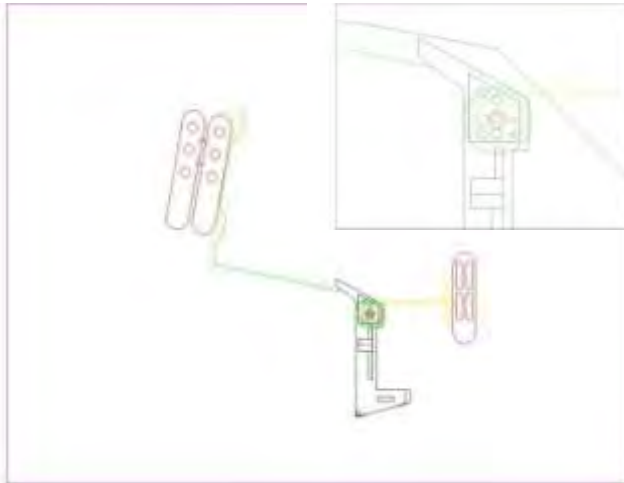
Gambar 4.17 Hasil simulasi ALOHA pada *node 1*

Pada *node 1* yaitu *Loading Arm* dan *Return Arm* mengalami ledakan yang cukup besar, yaitu dengan diameter 51 yard (56,04 m). Tangki pada FSU mengalami *second burn degree* namun *loading arm* akan hangus dan rusak. Perlu waktu lebih dari 1 Minggu untuk perbaikan *loading arm* ini. Jadi pada *node 1* mengalami konsekuensi pada level 4.



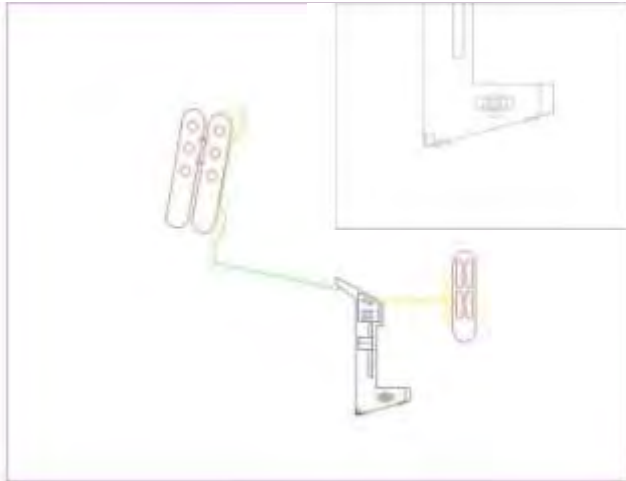
Gambar 4.18 Hasil simulasi ALOHA pada *node 2*

Pada *node 2* yaitu *Floating Storage Unit* mengalami ledakan dengan diameter 24 yard (26,37 m). Tangki pada FSU mengalami *first burn degree* dan pompa cryogenic juga pasti rusak. Perlu waktu minimal 30 jam untuk perbaikan tangki ini. Jadi pada *node 2* mengalami konsekuensi pada level 3.



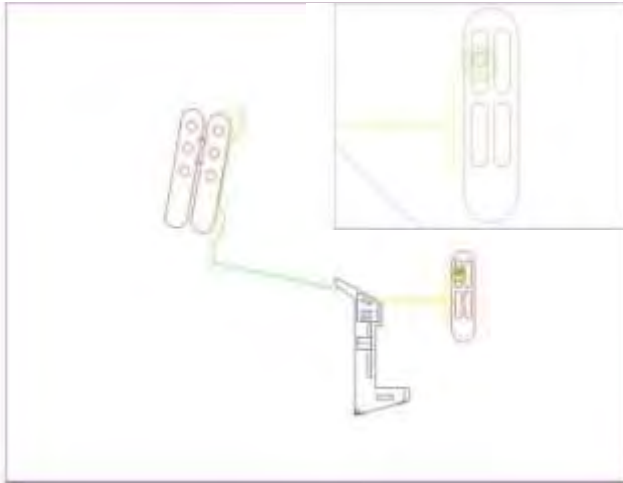
Gambar 4.19 Hasil simulasi ALOHA pada *node 3*

Pada *node 3* yaitu *Storage tank* mengalami ledakan dengan diameter 21 yard (23.07 m). Satu tangki penyimpanan mengalami *first burn degree* dan dua tangki penyimpanan mengalami *second burn degree*. Perlu waktu minimal 30 jam untuk perbaikan *storage tank* ini. Jadi pada *node 3* mengalami konsekuensi pada level 3.



Gambar 4.20 Hasil simulasi ALOHA pada *node 4*

Pada *node 4* yaitu *Filling Package* mengalami ledakan dengan diameter 12 yard (13.19 m). Beberapa *filling package* dan *truck* mengalami *first burn degree*. Perlu waktu lebih dari 1 Minggu untuk perbaikan ini yaitu dengan pemesanan *filling package* dan *truck* yang baru. Jadi pada *node 4* mengalami konsekuensi pada level 4.



Gambar 4.21 Hasil simulasi ALOHA pada *node 5*

Pada *node 5* yaitu *Ship barge* mengalami ledakan dengan diameter 11 yard (12.08 m). Tangki pada *ship barge* mengalami *first burn degree*. Perlu waktu minimal 30 jam untuk perbaikan tangki ini. Jadi pada *node 5* mengalami konsekuensi pada level 3.

Table 4.12 Nilai konsekuensi pada masing-masing *node*

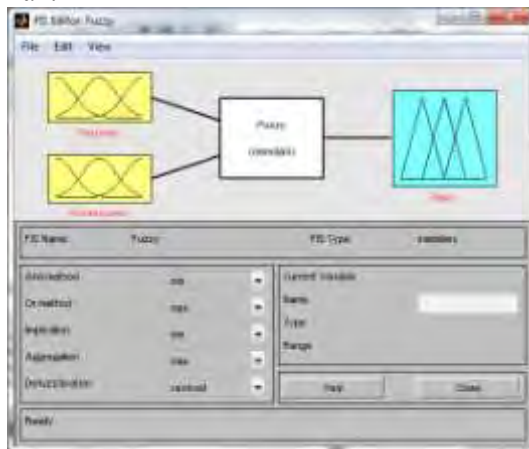
Node	Consequence
1	4
2	3
3	3
4	4
5	3

4.3.4 Analisis risiko dengan Fuzzy yang ada pada Matlab

Setelah nilai frekuensi dan konsekuensi diperoleh, maka tingkat risiko dapat ditentukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Matlab pada fungsi Fuzzy.

Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam penentuan risiko rang ada.

Pertama, dimasukkan 2 *input* yang dalam hal ini adalah nilai frekuensi dan konsekuensi untuk diproses dalam fungsi Fuzzy dengan metode Mamdani dengan *output* risiko. Berikut adalah gambar dari skema Fuzzy yang dimasukkan.



Gambar 4.22 Skema Fuzzy dengan Frekuensi dan Konsekuensi sebagai *input* dan *Risk* sebagai *output*.

Kedua, dimasukan nilai-nilai dari *probability*, *consequence* dan *risk* yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai-nilai yang digunakan sebagai batasan tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 4.13 Batasan *probability* yang akan digunakan dalam Matlab

Level	Description	Indicative frequency	Definition
A	Frequent	> 0.5	Will occur frequently
B	Probable	0.5 – 0.05	May occur several times

Level	Description	Indicative frequency	Definition
C	Occasional	0.05 – 0.005	Likely to occur during lifetime
D	Remote	0.005 – 0.0005	Unlikely to occur during lifetime
E	Improbable	< 0.0005	So unlikely event, it may not be experienced

Sumber: UK HSE

Tabel 4.14 Batasan konsekuensi yang akan digunakan dalam Matlab

Level	Description	Indicative consequence
1	Minor	Negligible
2	Major	One day
3	Critical	One week
4	Catastrophic	More than one week

Sumber: UK HSE



Gambar 4.23 Gambar pengelompokan nilai *probability*, *consequence* dan *risk*.

Ketiga, dimasukkan *rules* dari 5 *probability*, 4 *consequence* dan 3 *risk*. Satu *rule* berisi 1 *probability*, 1 *consequence* dan 1 *risk*. Jadi dalam model ini ada $5 \times 4 \times 3 = 60$ *rules*.

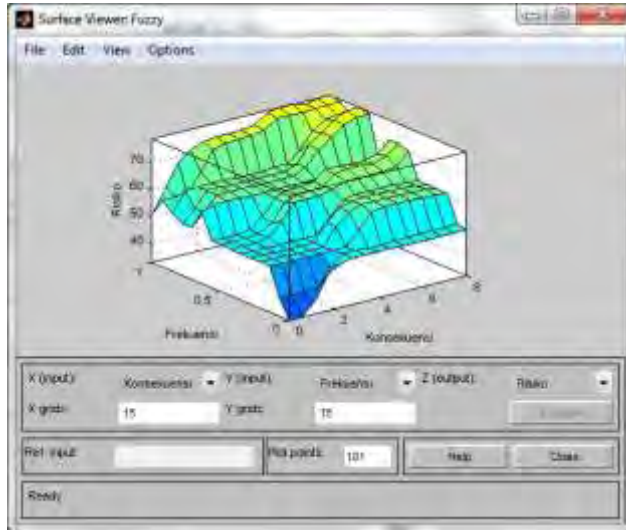


Gambar 4.24 Gambar proses pembuatan *rules*



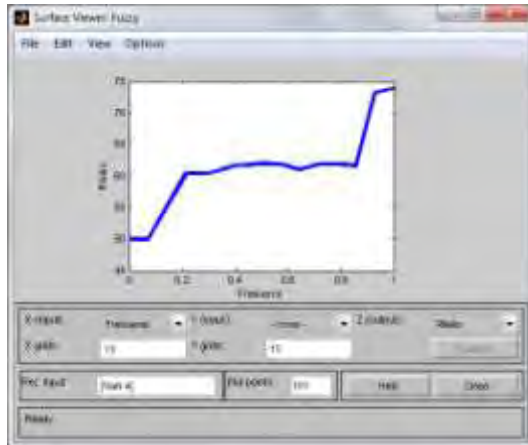
Gambar 4.25 Gambar distribusi nilai *probability*, *consequence* dan *risk*.

Keempat, setelah 60 *rules* dimasukkan maka Matlab siap melakukan pemetaan dari data-data yang telah dimasukkan. Berikut adalah pemetaan yang diperoleh dari Matlab.

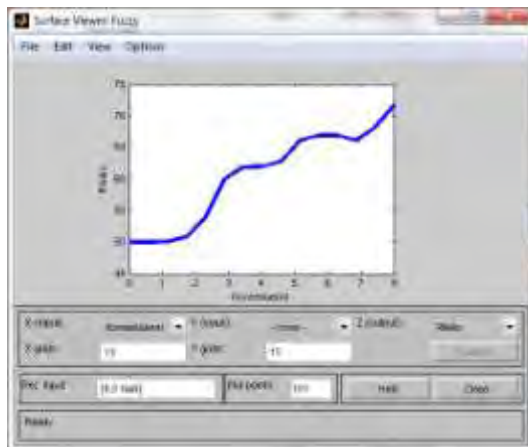


Gambar 4.26 Gambar hasil pemetaan yang dihasilkan Fuzzy pada perangkat lunak Matlab.

Setelah pemetaan dapat dilakukan maka kita dapat mengetahui tingkat risiko pada masing masing *node* dengan melihat grafik *probability* dan *consequence* kemudian menggabungkannya, yaitu dengan rata-rata kedua nilai tersebut. Berikut adalah grafik frekuensi dan konsekuensi yang dihasilkan Matlab.



Gambar 4.27 Grafik Frekuensi terhadap Risiko



Gambar 4.28 Grafik Konsekuensi terhadap Risiko

Tabel 4.15 Nilai risiko pada masing-masing *node*

Node	Probability	Consequence	Risk
1	D	4	52
2	E	3	50
3	E	3	51
4	D	4	53
5	E	3	50

Jadi, nilai risiko dari urutan *node* yang ada mulai dari yang paling berbahaya adalah sebagai berikut. Pertama, *node* 4 dengan tingkat bahaya 53. Kedua, *node* 1 dengan tingkat bahaya 52. Ketiga, *node* 3 dengan tingkat bahaya 51. Dan keempat, *node* 2 dan 5 dengan tingkat bahaya yang sama yaitu 50.

4.4 Mitigasi

Karena pada *node* 1, 2, 3, 4 dan 5 berada pada daerah yang aman (warna biru) maka tidak perlu dilakukan mitigasi untuk mengurangi risiko yang ada.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal dari perumusan masalah yang ada, yaitu:

1. Setelah desain *process and flow diagram* (PFD) dibuat oleh perusahaan, maka dapat dilakukan desain *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID) pada terminal penerima LNG di Celukan Bawang, Bali. Desain P&ID tersebut dibuat berdasarkan NPFA 59.
2. Bahaya yang mungkin terjadi pada terminal penerima LNG di Celukan Bawang, Bali adalah *jet fire* dan *pool fire* yang disebabkan oleh meledaknya tangki, *filling package* dan peralatan lainnya.
3. Tingkat risiko pada terminal penerima LNG di Celukan Bawang, Bali jika digunakan metode Fuzzy berkisar antara 50 sampai 53 dari skala 100 yang berada pada daerah yang aman.
4. Karena risiko yang mungkin terjadi masih bisa diterima dan dapat ditoleransi, maka tidak perlu dilakukan mitigasi pada risiko yang mungkin terjadi.

5.2 Saran

Berikut ini adalah beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan bagi perusahaan dalam pembangunan maupun operasional nantinya.

1. Spesifikasi dari tangki, pipa, katup, pompa, peralatan instrumentasi dan peralatan lainnya harus sesuai dengan NPFA 59.
2. *Standar Operasional Prosedur* (SOP) untuk operasional LNG harus dilakukan dengan ketat berdasarkan standart yang ada.

3. Alat pemadam kebakaran seperti *hydrant* dan tabung oksigen harus dipersiapkan di area terminal penerima LNG agar jika sewaktu-waktu ada kebakaran maupun ledakan, dapat segera dipadamkan.
4. Melakukan perjanjian dengan pihak kontraktor dalam hal perbaikan jika sewaktu-waktu ada kerusakan akibat ledakan atau kebakaran.
5. Setelah dilakukan penilaian risiko terminal penerima LNG di Celukan Bawang, Bali yang menghasilkan risiko yang aman, maka diharapkan daerah lainnya juga memanfaatkan LNG sebagai sumber energi untuk kemajuan energi di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Budhi Santoso.2014.Comparaison Approach of Kent Muhlbauerand Fuzzy Inference System in the Risk Assessment Process: A Case Study of Subsea Pipe 14” PHE-WMO.Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Health and Safety Executive.2001. UK HSE, Marine Risk Assessment, Offshore Technology Report.Health and Safety Executive: London, United Kingdom.

Hester dan Harrison.1998.Risk Assessment and Risk Management. Redwood Books: Manchester, United Kingdom

J. Ramesh Babu.Layer of Protection Analysis – An Effective Tool in PHA. Cholamandalam MS Risk Services Ltd., Chennai, India

National Fire Protection Association.2004.NFPA 59: Standart for the Storage and Handling of Liquefied Petroleum Gases at Utility Gas Plants.Washington, United States of America

Rubby Prasetya.2013. Societal Risk Assessment Akibat Kebakaran dan Ledakan dengan Metode LOPA: Studi Kasus Mini LNG Terminal PLN Batam.Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

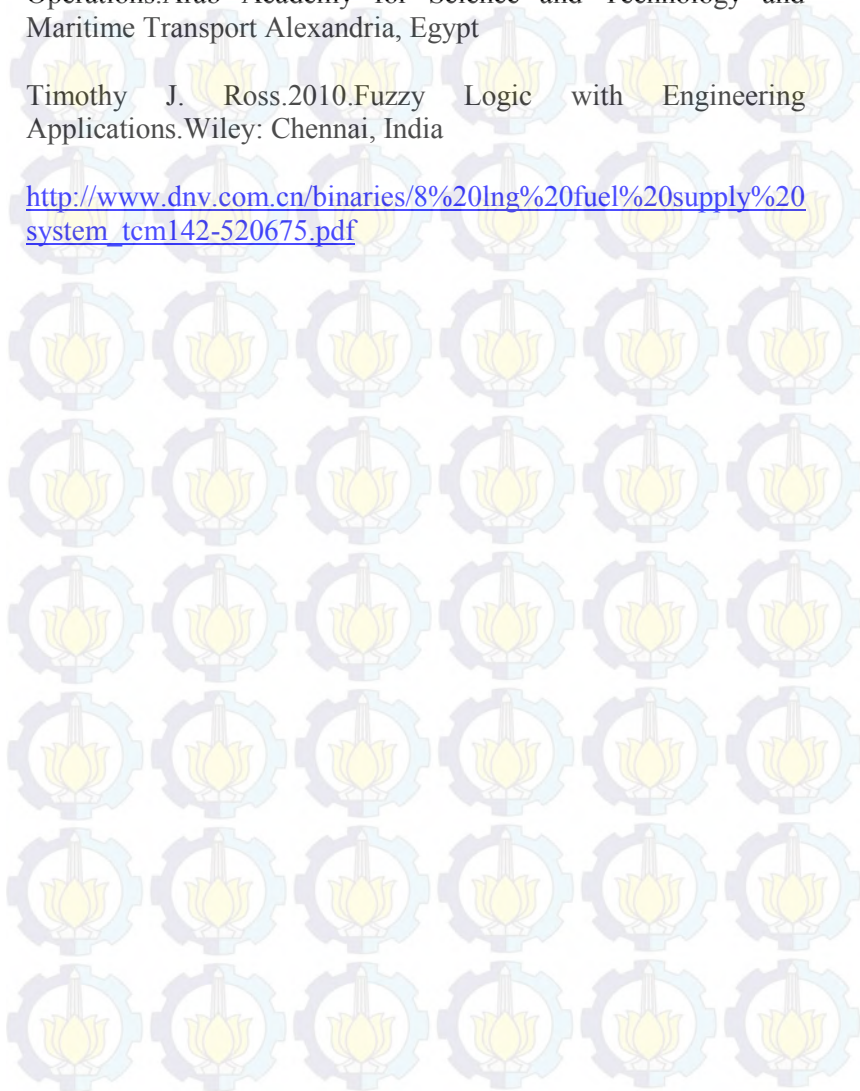
Sivanandam, Sumathi dan Deepa.2007.Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB.Springer: Heildelberg, German

Tarek Elsayed.2009. Fuzzy Inference System for the Risk Assessment of Liquefied Natural Gas Carriers During Loading/Offloading at Terminals.Arab Academy for Science and Technology and Maritime Transport Alexandria, Egypt

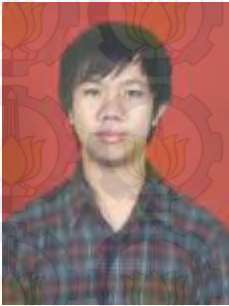
Tarek Elsayed.2010.Risk Assessment of Marine LNG Operations.Arab Academy for Science and Technology and Maritime Transport Alexandria, Egypt

Timothy J. Ross.2010.Fuzzy Logic with Engineering Applications.Wiley: Chennai, India

http://www.dnv.com.cn/binaries/8%20lng%20fuel%20supply%20system_tcm142-520675.pdf



BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Jember pada tanggal 1 November 1991 yang merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Selama ini, penulis telah menjalani pendidikan formal di TK Dharma Wanita Maesan, SDN Maesan 1 Bondowoso, SMPK Indra Prastha Bondowoso dan SMAN 2 Bondowoso. Pada tahun 2010, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS dengan NRP 4210100080 melalui jalur SNMPTN. Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ini penulis mengambil bidang Reliability, Availability, Maintainability, and Safety (RAMS). Selama menjalani pendidikan di perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi Panitia Kerohanian Mahasiswa Baru Kristen, Persekutuan Mahasiswa Kristen dan Dewan Perwakilan Angkatan Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan. Penulis menyelesaikan studi Strata 1 dalam waktu 8 semester dengan predikat *cumlaude*.

Simon Robianto Wijaya
Mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS Surabaya
simon.wijaya10@gmail.com

