



SKRIPSI - ME184841

**PENILAIAN RISIKO POTENSI KEBAKARAN DAN LEDAKAN PADA
*FLOATING STORAGE REGASIFICATION UNIT (FSRU)***

Dionisius Hugo Baskoro

NRP. 04211540000076

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc.

A.A.Bagus Dinariyana Dwi P., ST., MES., Ph.D

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



SKRIPSI - ME184841

**PENILAIAN RISIKO POTENSI KEBAKARAN DAN LEDAKAN PADA
*FLOATING STORAGE REGASIFICATION UNIT (FSRU)***

Dionisius Hugo Baskoro

NRP. 04211540000076

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc.

A.A.Bagus Dinariyana Dwi P., ST., MES., Ph.D

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BACHELOR THESIS - ME184841

FIRE AND EXPLOSION RISK ASSESSMENT IN *FLOATING STORAGE REGASIFICATION UNIT (FSRU)*

Dionisius Hugo Baskoro
NRP. 04211540000076

Supervisors

Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc.

A.A.Bagus Dinariyana Dwi P., ST., MES., Ph.D

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

“This page intentionally left blank”

LEMBAR PENGESAHAN

**PENILAIAN RISIKO POTENSI KEBAKARAN DAN LEDAKAN PADA
FLOATING STORAGE REGASIFICATION UNIT (FSRU)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Reliability, Availability, Management and Safety (RAMS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

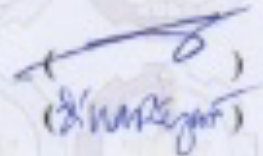
Oleh :

Dionisius Hugo Baskoro
NRP. 0421154000076

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc.

A.A.Bagus Dinariyana Dwi P., ST., MES., Ph.D


(A.A. Bagus Dinariyana Dwi P.)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**PENILAIAN RISIKO POTENSI KEBAKARAN DAN LEDAKAN PADA
FLOATING STORAGE REGASIFICATION UNIT (FSRU)**

TUGAS AKHIR

Dijukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Reliability, Availability, Management and Safety (RAMS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Dionisius Hugo Baskoro
NRP. 0421154000076

Disetujui oleh Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. M. Badruz Zaman., ST., MT
NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

Nama Mahasiswa : Dionisius Hugo Baskoro
NRP : 0421154000076
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc.
Dosen Pembimbing 2 : A.A.Bagus Dinariyana Dwi P., ST., MES., Ph.D

Dalam memenuhi kebutuhan pasokan listrik di Indonesia, pemerintah Indonesia berupaya dengan memanfaatkan sektor minyak dan gas bumi (migas). Laporan Dirjen Migas tahun 2017 menyebutkan bahwa cadangan gas bumi status per Januari 2017 mencapai 142.72 *Ton Standard Cubic Feet* (TSCF), sehingga terdapat potensi untuk memanfaatkan sektor Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada subbagian gas dengan baik. Salah satu jenis gas yang menjadi terobosan masa kini adalah *Liquefied Natural Gas* (LNG). Karakteristik utama pada LNG adalah dapat ditransfer dengan volume yang lebih banyak dengan ketentuan suhu dan tekanan tertentu. Untuk menunjang proses kegiatan pada LNG dibutuhkan fasilitas tertentu. Salah satu fasilitas penunjang kegiatan LNG adalah *Floating Storage Regasification Unit* (FSRU). Saat FSRU melakukan kegiatan operasional terdapat beberapa potensi bahaya yang dapat mengancam kerusakan terhadap peralatan, lingkungan dan manusia. Salah satu potensi bahaya yang ada adalah kebakaran dan ledakan. Untuk mengetahui potensi ledakan dan kebakaran pada FSRU diperlukan penilaian risiko. Tugas akhir ini membahas tentang penilaian risiko pada FSRU sistem *loading arms & crossover* dan *gas export & metering*. Penilaian risiko dilakukan dalam beberapa tahapan, diawali dengan melakukan identifikasi bahaya menggunakan *Hazard and Operability* (HAZOP) dilanjutkan dengan melakukan analisa frekuensi kejadian bahaya dari sistem yang dianalisa menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Event Tree Analysis* (ETA) untuk mengetahui jenis potensi bahaya dan frekuensinya. Selanjutnya adalah melakukan analisa konsekuensi dengan menggunakan *fire modelling software*, sehingga hasil dari penilaian risiko dapat dilakukan pemetaan tingkat risiko menggunakan *f-N Curve* standar UK *Offshore* untuk mengetahui jumlah konsekuensi manusia yang terdampak akibat bahaya yang terjadi. Apabila pemetaan risiko menunjukkan kondisi *unacceptable* maka perlu dilakukan tindakan mitigasi dengan metode *Layers of Protection Analysis* (LOPA). Hasil penilaian risiko menunjukan bahwa potensi bahaya kebakaran yang terjadi pada FSRU sistem *loading arms & crossover* dan *gas export & metering* adalah *jet fire, flash fire* dan *gas dispersion* dengan masing-masing skenario kebocoran *small bore* (10-50mm), *medium bore* (50-150mm) dan *full bore* (>150mm). Hasil analisa konsekuensi menggunakan *fire modelling software* menunjukkan hasil permodelan berbagai bentuk api dan daerah yang terkena dampaknya. Berdasarkan pemetaan risiko pada setiap bahaya yang terjadi, hasil menunjukan bahwa penilaian risiko yang dilakukan berada pada kondisi *acceptable* dan *As Low As Reasonably Practicable* (ALARP). Dari hasil pemetaan risiko yang dilakukan, mitigasi tidak diperlukan dalam penelitian ini.

Kata Kunci : FSRU, *Fire Assessment*, Penilaian Risiko, HAZOP, FTA, ETA, *Fire Modelling*, *f-N Curve*, LOPA.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRACT

Student Name : Dionisius Hugo Baskoro
Registration Number : 0421154000076
Department : Marine Engineering
1st Supervisor : Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc.
2nd Supervisor : A.A.Bagus Dinariyana Dwi P., ST., MES., Ph.D

In meeting the electricity supply needs in Indonesia, the Indonesian government seeks to utilize the oil and gas sector. The 2017 Director General of Oil and Gas reports that natural gas reserves as of January 2017 reached 142.72 tons of Standard Cubic Feet (TSCF), so there is the potential to utilize the Ministry of Energy and Mineral Resources sector in the gas subsection well. One type of gas that has become a breakthrough nowadays is Liquefied Natural Gas (LNG). The main characteristic of LNG is that it can be transferred with more volume with certain conditions of temperature and pressure. To support the activity process for LNG certain facilities are needed. One of the supporting facilities for LNG activities is the Floating Storage Regasification Unit (FSRU). When the FSRU conducts operational activities there are several potential hazards that can threaten damage to equipment, the environment and humans. One potential hazard is fire and explosion. To find out the potential for an explosion and fire at the FSRU a risk assessment is needed. This final project discusses the risk assessment of the FSRU loading arms & crossover system and gas export & metering. Risk assessment is carried out in several stages, beginning with identifying hazards using Hazard and Operability (HAZOP) followed by analyzing the frequency of hazard events from the system analyzed using the Fault Tree Analysis (FTA) and Event Tree Analysis (ETA) methods to determine the types of potential hazards and frequency. Next is to do a consequence analysis using fire modeling software, so that the results of the risk assessment can be carried out risk level mapping using UK Offshore f-N Curve standards to determine the number of human consequences affected by the danger that occurs. If the risk mapping shows an unacceptable condition, it is necessary to carry out mitigation actions using the Layers of Protection Analysis (LOPA) method. The results of the risk assessment indicate that the potential fire hazard that occurs in the FSRU loading arms & crossover system and gas export & metering are jet fire, flash fire and gas dispersion with each small bore (10-50mm) leakage scenario, medium bore (50- 150mm) and full bore (> 150mm). The results of the consequence analysis using fire modeling software show the results of modeling various forms of fire and the area affected. Based on the risk mapping at each hazard that occurs, the results show that the risk assessment carried out is in acceptable conditions and as Low As Reasonably Practicable (ALARP). From the results of the risk mapping carried out, mitigation is not needed in this study.

Key Word : LNG, FSRU, Fire Assesment, Risk Assessment, HAZOP, FTA, ETA, Fire Modelling, f-N Curve, LOPA.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya lah, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Penilaian Risiko dan Kebakaran pada *Floating Storage Regasification Unit (FSRU)***” dengan hasil yang baik dan tepat waktu. Penulisan skripsi ini disusun dengan tujuan untuk menyelesaikan mata kuliah “**Skripsi (ME184841)**” yang merupakan salah satu mata kuliah dalam menempuh studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan-Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Isi pada skripsi ini adalah melakukan penilaian risiko potensi kebakaran dan ledakan pada fasilitas terapung untuk *Liquefied Natural Gas* (LNG). Penulisan skripsi ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis Johannes Chrisotomus Sudjatmoko dan Irene Akasia Oktariana serta kedua adik penulis Benedicta Dyah Sriwijayanti dan Benedictus Ardhito Hendrosaputro yang selalu memberi dukungan kepada penulis melalui moral, material dan doa untuk selalu lulus tepat waktu dengan hasil yang baik. Serta seluruh pihak keluarga penulis yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu yang selalu memberi dukungan berupa doa.
2. Sindy Suanto El Diva yang selalu setia mendampingi penulis dalam suka dan duka. Terimakasih atas semua motivasi serta doa yang selalu diberikan kepada penulis selama pembuatan tugas akhir.
3. Prof Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc. selaku dosen wali penulis yang selalu membimbing penulis selama masa perkuliahan baik dalam kegiatan akademik dan non akademik serta nasihat terhadap *life value*. Beliau juga sebagai dosen pembimbing pertama penulis yang selalu membantu penulis dalam memberikan kritik dan saran yang membangun dalam pembuatan tugas akhir.
4. Bapak A. A. Bagus Dinariyana Dwi P., ST., MES., Ph.D selaku dosen pembimbing dua penulis dan kepala laboratorium RAMS yang selalu memberikan bimbingan terbaik kepada saya baik dalam pengerjaan tugas akhir dan dukungan moral selama menjadi anggota laboratorium RAMS.
5. Dosen RAMS lainnya yaitu Bapak Raja Oloan Saut Gurning, ST., M.Sc., Ph.D , Bapak Dhimas Widhi Handani, ST., M.Sc. dan Ibu Fadilla Indrayuni Prastyasari, ST., M.Sc.
6. Seluruh dosen, tenaga kependidikan, serta manajemen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
7. Seluruh anggota RAMS 2015 yang sedang melaksanakan tugas akhir Sarjana Strata Satu yaitu Nindio, Satrio, Tyas, Dhanang, Widhi, Dian, Radifan, Widya, Dheo, Elfri, Geraldy, Akhbar, Almer, Ronald dan Ezra.
8. Alumni anggota RAMS yang membantu pengerjaan tugas akhir dari angkatan 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 serta Ayudhia Pangestu Gusti, Emmy Pratiwi, Putri Dyah S. dan Thariq Akhbar yang selalu meramaikan RAMS dan membantu pengerjaan tugas akhir penulis dengan diskusi.
9. Albertus Ferdy Darmawan dan Catharina Dara Gryelda sebagai keluarga penulis yang selalu mendukung penulis melalui doa dan moral.

10. Alvin Saputra, Albertus Ferdy, Pamela Anggita, Alysha S. dan Nia Christy yang selalu memberi dukungan secara doa dan penghiburan langsung.
11. Teman-teman Arbinyol Andryan Herjanto, Ignatius Timothy, Gerald H., Agra Satya, Ramirez P, Gianiti C., Albertus Ferdy dan Efrem Surbakti yang selalu meramaikan dengan canda dan tawa terhadap penulis selama perkuliahan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
12. Seluruh anggota Keluarga Mahasiswa Katholik St. Ignatius Loyola, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang selalu memberikan dukungan melalui doa agar lulus tepat waktu.
13. Teman-teman angkatan SALVAGE 2015 yang selalu memberikan motivasi kepada penulis agar selalu menyelesaikan pengerjaan tugas akhir tepat waktu.
14. Seluruh teman-teman angkatan VOYAGE 2016, BADRIKARA 2017 dan angkatan 2018 yang selalu memberikan semangat agar selalu lulus tepat waktu dengan hasil yang memuaskan.
15. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu-tetapi selalu memberikan dukungan berupa motivasi semangat dan doa.

Penulis menyadari bahwa penulisan dan pembuatan tugas akhir yang dilakukan masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu penulis berharap pembaca dapat memberikan saran dan kritik yang bersifat membangun dalam upaya perbaikan dan menjadikan tugas akhir yang lebih baik. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, 5 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	4
BAB II	6
2.1 Industri Minyak dan Gas Indonesia	6
2.2 <i>Liquefied Natural Gas</i> (LNG).....	8
2.3 <i>Floating Storage Regasification Unit</i> (FSRU)	9
2.4 <i>Floating Storage Regasification Unit</i> (FSRU) Jawa Barat.....	10
2.5 Kebakaran	11
2.6 <i>Hazard and Operability Study</i> (HAZOP)	12
2.7 Fault Tree Analysis (FTA).....	14
2.8 Event Tree Analysis (ETA)	15
2.9 Fire Modelling Software.....	16
2.10 f-N Curves.....	17
2.11 Layers of Protection Analysis (LOPA)	18
BAB III.....	19
3.1 Metodologi.....	19
3.2 Perumusan Masalah	20
3.3 Studi Literatur	20
3.4 Pengumpulan Data	20
3.5 Identifikasi Bahaya	20
3.6 Analisa Frekuensi.....	20
3.7 Analisa Konsekuensi.....	21
3.8 Pemetaan Risiko.....	21
3.9 Langkah Mitigasi	21
BAB IV	23
4.1 Penjelasan Umum	23
4.2 Deskripsi Sistem FSRU	23
BAB V	29
5.1 Penjelasan Umum	29
5.2 Hazard and Operability Study (HAZOPS)	29
5.3 Node.....	30
5.3 Lembar kerja HAZOP.....	35

BAB VI	41
6.1 Penjelasan Umum	41
6.4 Frekuensi Kebocoran <i>Indicator & Safeguard</i>	49
6.5 Kegagalan Fungsi Komponen.....	52
6.6 Kegagalan Fungsi <i>Indicator & Safeguard</i>	56
6.7 Analisa Diagram Pohon Kegagalan (FTA).....	58
6.8 Analisa Diagram Pohon Kejadian (ETA)	60
BAB VII	63
7.1 Penjelasan Umum	63
7.2 Analisa Konsekuensi.....	63
7.3 Jet Fire.....	64
7.4 Flash Fire	67
7.5 Gas Dispersion.....	71
BAB VIII	75
8.1 Penjelasan Umum	75
8.2 Pemetaan Risiko <i>Jet Fire</i>	75
8.3 Pemetaan Risiko <i>Flash Fire</i>	77
8.4 Pemetaan Risiko <i>Gas Dispersion</i>	79
8.5 Mitigasi Risiko.....	81
BAB IX	83
9.1 Kesimpulan	83
9.2 Saran	84
REFERENSI	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pemboran sumur Eksploitasi di Indonesia	1
Gambar 1.2 Proses Bisnis Sub Sektor Migas.....	2
Gambar 2.1 Peta Cadangan Minyak Bumi Indonesia.....	6
Gambar 2.2 Peta Cadangan Gas Bumi Indonesia	6
Gambar 2.3 FSRU Jawa Barat	10
Gambar 2.4 <i>Tetrahedron of Fire</i>	11
Gambar 2.5 Langkah Utama Pengerjaan HAZOP BS IEC 61882.....	13
Gambar 2.6 Lembar Kerja HAZOP BS IEC 61882.....	14
Gambar 2.7 Contoh Pengerjaan FTA.....	15
Gambar 2.8 Contoh Pengerjaan ETA	15
Gambar 2.9 Tampilan Shell FRED 4.0	16
Gambar 2.10 <i>f-N Curve UK Offshore</i>	17
Gambar 4.1. <i>Layout Terminal</i> FSRU Jawa Barat	27
Gambar 5.1. Node 1,2 &3 sistem <i>loading arms & crossover</i>	33
Gambar 5.2 Node 4&5 pada sistem <i>gas export & metering</i>	34
Gambar 6.1 Analisa FTA node 4 skenario 50-150mm	59
Gambar 6.2 Analisa ETA node 1 skenario 10-50mm.....	61
Gambar 6.3 Analisa ETA node 3 skenario 10-50mm.....	61
Gambar 7.1 Analisa Konsekuensi <i>Jet Fire</i> node 1 skenario 10-50mm	65
Gambar 7.2 <i>Jet Fire</i> node 1 skenario 10-50mm <i>Top View</i>	66
Gambar 7.3 Analisa Konsekuensi <i>Flash Fire</i> node 1 skenario 10-50mm.....	69
Gambar 7.4 <i>Flash Fire</i> node 1 skenario 10-50mm <i>Top View</i>	70
Gambar 7.5 Analisa Konsekuensi <i>Gas Dispersion</i> node 1 skenario 10-50mm.....	72
Gambar 7.6 <i>Gas Dispersion</i> node 1 skenario 10-50mm <i>Top View</i>	73
Gambar 8.1 <i>f-N Curve jetfire – daytime</i> skenario 10-50mm	75
Gambar 8.2 <i>f-N Curve flash fire – daytime</i> skenario 50-150mm.....	77
Gambar 8.3 <i>f-N Curve Gas dispersion – daytime</i> skenario 50-150mm.....	79

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

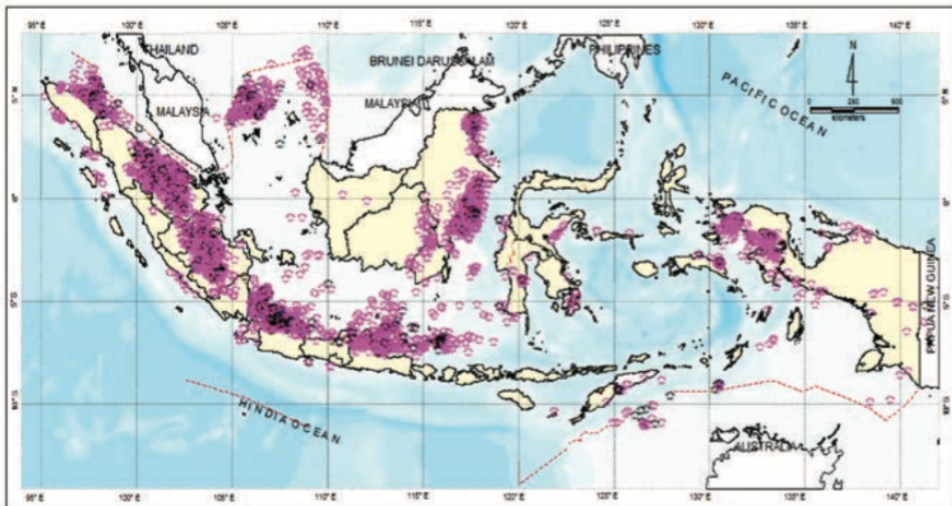
Tabel 2.1 Fasilitas Bangunan Terapung.....	7
Tabel 2.2 Kandungan LNG.....	8
Tabel 2.3 Teknikal Spesifikasi Kapal LNG Khannur.....	10
Tabel 2.4 Teknikal Spesifikasi FSRU Jawa Barat.....	11
Tabel 4.1 Peralatan FSRU.....	23
Tabel 4.2 Komposisi Regasifikasi LNG FSRU.....	25
Tabel 4.3 Daftar singkatan FSRU.....	26
Tabel 5.1 Guide Word HAZOP.....	29
Tabel 5.2 Deviasi HAZOP.....	30
Tabel 6.1 Skenario Variabel Kebocoran Komponen.....	42
Tabel 6.2 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Komponen Node 1.....	42
Tabel 6.3 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Komponen Node 2.....	43
Tabel 6.4 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Komponen Node 3.....	44
Tabel 6.5 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Komponen Node 4.....	45
Tabel 6.6 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Komponen Node 5.....	46
Tabel 6.7 Skenario Variabel Kebocoran Pipa.....	47
Tabel 6.8 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Pipa Node 1.....	47
Tabel 6.9 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Pipa Node 2.....	48
Tabel 6.10 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Pipa Node 3.....	48
Tabel 6.11 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Pipa Node 4.....	48
Tabel 6.12 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Pipa Node 5.....	49
Tabel 6.13 Skenario Variabel Kebocoran <i>Indicator & Safeguard</i>	50
Tabel 6.14 Tabel Data Frekuensi Kebocoran <i>Indicator & Safeguard</i> Node 1.....	50
Tabel 6.15 Tabel Data Frekuensi Kebocoran <i>Indicator & Safeguard</i> Node 2.....	50
Tabel 6.16 Tabel Data Frekuensi Kebocoran <i>Indicator & Safeguard</i> Node 3.....	51
Tabel 6.17 Tabel Data Frekuensi Kebocoran <i>Indicator & Safeguard</i> Node 4.....	51
Tabel 6.18 Tabel Data Frekuensi Kebocoran <i>Indicator & Safeguard</i> Node 5.....	52
Tabel 6.19 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi Komponen Node 1.....	52
Tabel 6.20 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi Komponen Node 2.....	53
Tabel 6.21 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi Komponen Node 1.....	54
Tabel 6.22 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi Komponen Node 4.....	55
Tabel 6.23 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi Komponen Node 5.....	55
Tabel 6.24 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi <i>Indicator & Safeguards</i> Node 1.....	56
Tabel 6.25 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi <i>Indicator & Safeguards</i> Node 2.....	56
Tabel 6.26 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi <i>Indicator & Safeguards</i> Node 3.....	56
Tabel 6.27 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi <i>Indicator & Safeguards</i> Node 4.....	57
Tabel 6.28 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi <i>Indicator & Safeguards</i> Node 5.....	58
Tabel 6.29 Rekapitulasi Analisa FTA.....	60
Tabel 6.30 Probabilitas Bahaya ETA.....	60
Tabel 6.31 Rekapitulasi Analisa ETA.....	62
Tabel 7.1 Nilai Fluks Panas.....	63
Tabel 7.2 Dampak ppm gas terhadap manusia.....	64
Tabel 7.3 Jumlah <i>Crew</i> FSRU.....	64
Tabel 7.4 Input Data Jet Fire.....	64

Tabel 7.5 Analisa Frekuensi <i>Jet Fire</i>	66
Tabel 7.6 Input Data <i>Jet Fire</i>	67
Tabel 7.7 Initial Gas Release	68
Tabel 7.8 Hasil Perhitungan Diameter	69
Tabel 7.9 Analisa Konsekuensi <i>Flash Fire</i>	71
Tabel 7.10 Variabel <i>Gas Dispersion</i>	71
Tabel 7.11 Input Data <i>Gas Dispersion</i>	72
Tabel 7.12 Analisa Konsekuensi <i>Gas Dispersion</i>	73
Tabel 8.1 Pemetaan Risiko <i>Jet Fire</i> skenario <i>Day Time</i>	76
Tabel 8.2 Pemetaan Risiko <i>Jet Fire</i> skenario <i>Night Time</i>	76
Tabel 8.3 Pemetaan Risiko <i>Flash Fire</i> skenario <i>Day Time</i>	78
Tabel 8.4 Pemetaan Risiko <i>Flash Fire</i> skenario <i>Night Time</i>	78
Tabel 8.5 Pemetaan Risiko <i>Gas Dispersion</i> skenario <i>Day Time</i>	80
Tabel 8.6 Pemetaan Risiko <i>Gas Dispersion</i> skenario <i>Day Time</i>	80

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) selalu menjadi polemik kontroversial di Indonesia setiap tahunnya, dikarenakan hasil produksi yang dihasilkan dari sektor ESDM memberikan dampak yang besar bagi perekonomian Indonesia. Tidak heran apabila masyarakat di Indonesia memiliki asumsi awal bahwa saat bergelut karir dalam sektor ESDM akan menjamin kehidupan yang baik. Dibalik semua kekayaan ESDM yang ada di Indonesia masyarakat tidak tahu pasti terkait jumlah produksi dan potensi yang masih dapat dikembangkan dari sektor ESDM. Jumlah kekayaan ESDM yang ada di Indonesia membuat pemerintah harus memanfaatkan dan mengembangkannya semaksimal mungkin. Hasil produksi ESDM memberikan dampak yang besar bagi masyarakat dalam melakukan kegiatan sehari-hari.



Gambar 1.1 Pemboran sumur Eksploitasi di Indonesia
(Sumber : Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2017)

Gambar 1.1 menjelaskan lokasi pemboran sumur eksploitasi di Indonesia pada tahun 2017 berdasarkan laporan tahunan migas ESDM tahun 2017. Dari gambar 1.1 dapat diambil sebuah hipotesa bahwa Indonesia sudah melakukan eksploitasi sumur dengan jumlah yang relatif banyak sehingga sudah banyak pemasukan ekonomi dari hasil ESDM untuk Indonesia. Salah satu sektor ESDM yang menarik perhatian publik setiap periode adalah sektor minyak dan gas bumi (migas). Menurut kementerian ESDM, minyak dan gas bumi merupakan hasil dari makhluk hidup yang mati dan terkubur selama jutaan tahun di dalam kerak bumi. Jasad-jasad makhluk hidup tersebut mendapatkan tekanan dan pemanasan suhu tinggi dan berproses menjadi mineral kompleks campuran antara hidrogen dan karbon. Untuk membawa minyak dan gas bumi sampai ke permukaan dibutuhkan proses yang panjang dan mahal dikarenakan kebutuhan penunjang infrastruktur.



Gambar 1.2 Proses Bisnis Sub Sektor Migas
(Sumber : ESDM, 2015)

Gambar 1.2 menjelaskan proses bisnis sub sektor migas yang ada di Indonesia. Proses bisnis dalam sub sektor minyak dan gas bumi secara umum dimulai ketika persiapan wilayah kerja minyak dan gas bumi mulai dilakukan. Wilayah kerja dalam hal ini adalah sebagaimana ketentuan dalam Undang Undang nomor 22 tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi, yaitu daerah tertentu di dalam wilayah hukum pertambangan Indonesia untuk pelaksanaan eksploitasi dan eksploitasi. Kegiatan eksploitasi dimaksudkan untuk menemukan cadangan migas, sedangkan kegiatan produksi bertujuan untuk mengangkatnya ke permukaan. Dalam melakukan pengolahan ESDM yang ada di Indonesia pemerintah berupaya melakukan kerja sama dengan perusahaan atau kontraktor yang bergelut dalam bidang ESDM.

Salah satu jenis migas yang masih dikembangkan dan sudah banyak digunakan di beberapa tempat di Indonesia adalah jenis gas alam yang dicairkan atau dikenal dengan *Liquefaction Natural Gas* (LNG). LNG merupakan gas alam yang mempunyai kandungan dominan gas metana (CH_4) yang didinginkan sampai suhu -160°C pada kondisi tekanan 1 atmosphere (atm). Skema rantai pasokan LNG dapat dilakukan menggunakan fasilitas darat maupun fasilitas terapung. Untuk skema rantai pasokan di darat dimulai dengan eksploitasi gas alam yang ada di bumi menggunakan fasilitas seperti *well head platform* yang disalurkan menuju fasilitas likuifaksi untuk dicairkan menjadi LNG. Setelah dicairkan, LNG dikirim menggunakan kapal LNG menuju fasilitas terminal tujuan untuk dilakukan regasifikasi. Jika LNG sudah berubah menjadi fasa gas maka dapat langsung disalurkan menuju pembangkit untuk nantinya digunakan untuk kebutuhan masyarakat.

Untuk skema rantai pasokan LNG dengan kondisi lepas pantai umumnya dimulai dengan eksploitasi gas alam menggunakan *offshore well head platform*. Gas alam dengan kandungan gas metana terbesar akan disalurkan menuju fasilitas floating liquefaction natural gas (FLNG) yaitu mengubah gas alam menjadi LNG. LNG disimpan dalam tangki penyimpanan yang akan siap ditransfer menuju LNG carrier. LNG carrier bertugas untuk mengantar LNG menuju tempat tujuan. Sesampainya di tempat tujuan LNG carrier akan melakukan transfer LNG kepada Floating Storage Regasification Unit (FSRU). Pada fasilitas FSRU akan dilakukan proses regasifikasi untuk mengubah LNG menjadi fasa gas. Jika sudah menjadi fasa gas, maka gas akan disalurkan menggunakan pipa bawah laut menuju pembangkit yang nantinya energi gas alam siap digunakan sebagai pasokan listrik untuk memenuhi kebutuhan masyarakat.

Di Indonesia ada empat FSRU yang beroperasi, salah satu FSRU tersebut berlokasi di Jawa Barat. Hal yang membuat FSRU unik adalah adanya sistem regasifikasi, sehingga proses regasifikasi dapat dilakukan pada lokasi lepas pantai. Umumnya FSRU merupakan hasil konversi dari kapal LNG. Karena FSRU banyak menjadi terobosan sebagai teknologi yang digunakan, sangat penting untuk memperhatikan keamanan dan keandalan dari FSRU. Salah satu potensi terbesar kecelakaan pada FSRU adalah ledakan dan kebakaran. Jika sampai terjadi kebakaran dan ledakan pada FSRU maka akan menimbulkan kerugian yang besar terhadap manusia, lingkungan dan biaya.

Dalam tugas akhir ini objek yang akan dianalisa adalah fasilitas submodule topside FSRU. Dengan menggunakan FSRU sebagai objek utama, tugas akhir ini akan membahas tentang penilaian risiko potensi kebakaran dan ledakan. Metode yang ditawarkan dalam tugas akhir ini adalah dimulai dengan melakukan identifikasi masalah pada FSRU. Penilaian risiko sendiri merupakan gabungan dari penilaian frekuensi dan penilaian konsekuensi, dengan demikian setelah melakukan identifikasi masalah metode yang akan dilanjutkan dengan melakukan analisa frekuensi dengan menggunakan metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Event Tree Analysis (ETA). Analisa konsekuensi sendiri akan dilakukan menggunakan fire modelling software. Setelah dilakukan analisa frekuensi dan konsekuensi maka akan dilakukan pemetaan risiko menggunakan f-N Curve dengan konsekuensi utama *society risk*. Jika kondisi tidak dapat diterima berdasarkan peta risiko maka harus dilakukan langkah mitigasi menggunakan standar *Layers of Protection Analysis* (LOPA). Penilaian risiko sendiri sangat penting dilakukan untuk menjamin keamanan dan keselamatan saat melakukan kegiatan operasional.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian, yaitu :

1. Bagaimana proses identifikasi bahaya pada fasilitas *submodule topside Floating Storage Regasification Unit* (FSRU) dengan menggunakan standard HAZOP BS IEC 61882?
2. Bagaimana proses analisa frekuensi dari proses kegagalan pada sistem pada *submodule topside Floating Storage Regasification Unit* (FSRU) menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Event Tree Analysis* (ETA)?

3. Bagaimana analisa konsekuensi kebakaran dan ledakan pada fasilitas *submodule topside Floating Storage Regasification Unit* (FSRU) dengan menggunakan *fire modelling software*?
4. Bagaimana hasil analisa tingkat risiko berdasarkan hasil analisa matriks frekuensi dan konsekuensi menggunakan standar *f-N Curve UK Offshore*?
5. Bagaimana langkah mitigasi yang harus dilakukan dengan menggunakan metode *Layers of Protection Analysis* (LOPA) ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang akan dibahas dalam penelitian, yaitu :

1. Melakukan identifikasi bahaya pada fasilitas submodule topside *Floating Storage Regasification Unit* (FSRU) dengan menggunakan standard HAZOP BS IEC 61882.
2. Melakukan analisa frekuensi pada sistem untuk mengetahui kegagalan pada submodule topside *Floating Storage Regasification Unit* (FSRU) menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Event Tree Analysis* (ETA).
3. Melakukan analisa konsekuensi kebakaran dan ledakan pada *submodule topside Floating Storage Regasification Unit* (FSRU) dengan menggunakan *fire modelling software*.
4. Melakukan analisa tingkat risiko berdasarkan hasil analisa matriks frekuensi dan konsekuensi menggunakan standar *f-N Curve UK Offshore*.
5. Menentukan langkah mitigasi yang tepat menggunakan menggunakan metode *Layers of Protection Analysis* (LOPA).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditentukan dalam lingkup penelitian sehingga penelitian yang dilakukan lebih fokus, yaitu :

1. Penilaian risiko yang dilakukan hanya pada fasilitas *submodule topside Floating Storage Regasification Unit* (FSRU) Jawa Barat.

1.5 Manfaat

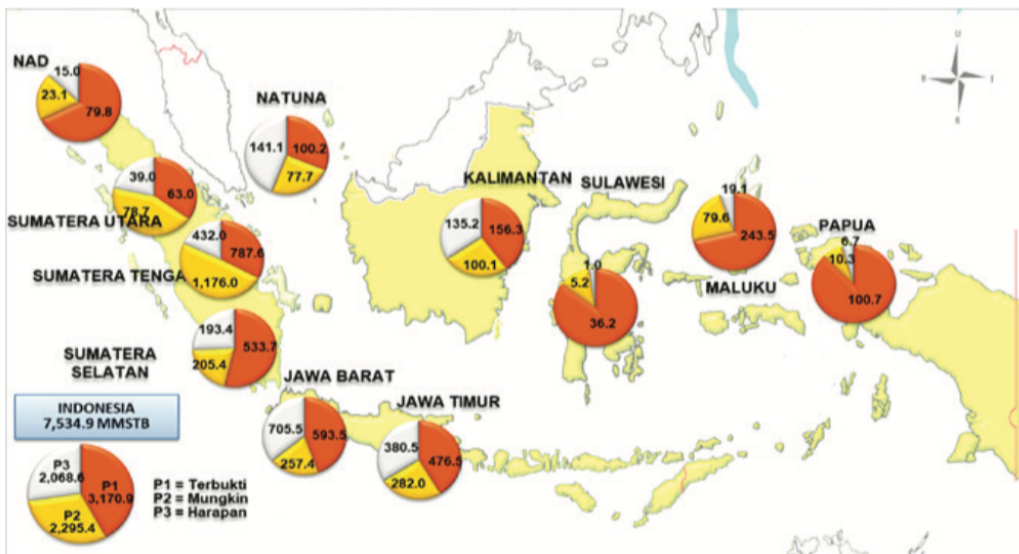
Manfaat yang ingin diberikan penulis dalam penelitian, yaitu :

1. Memberikan rekomendasi langkah mitigasi yang tepat untuk *Floating Storage Regasification Unit* (FSRU).
2. Hasil dari penelitian dapat dijadikan referensi sebagai langkah keputusan yang akan dilakukan terkait topik penelitian yang dilakukan .
3. Dapat menjadi referensi dalam bidang manajemen risiko bagi kepentingan riset perguruan tinggi.

BAB II DASAR TEORI

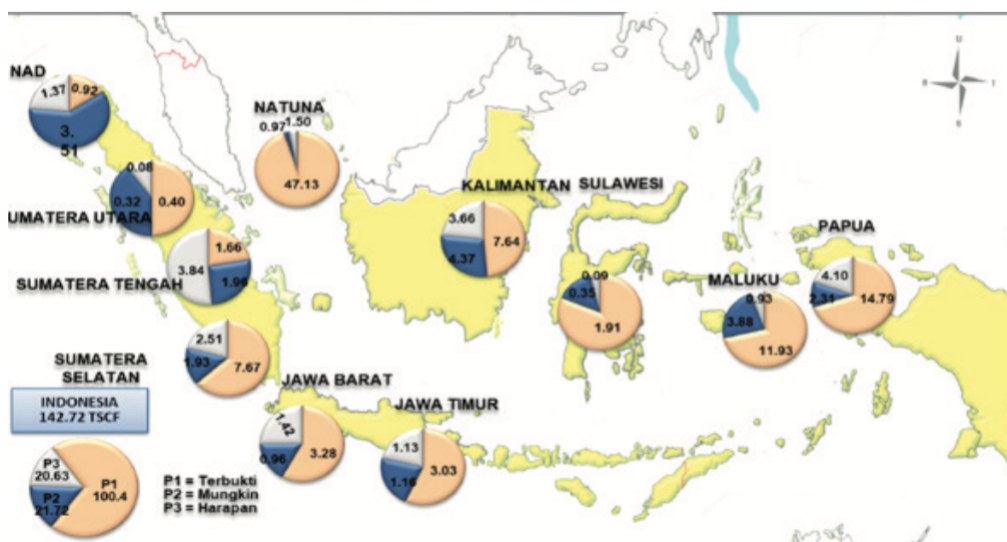
2.1 Industri Minyak dan Gas Indonesia

Indonesia yang dikenal dengan kekayaan sumber daya alamnya yang sangat besar memberikan daya tarik untuk pemerintah untuk memanfaatkan seluruh sumber daya alam yang ada untuk menunjang keberlangsungan hidup dan roda ekonomi yang ada di Indonesia. Salah satu sektor yang menarik perhatian yang paling besar adalah sektor minyak dan gas bumi yang dikelola oleh Kementerian Energi Sumber Daya dan Mineral (ESDM) pemerintahan Indonesia. Minyak dan gas banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia salah satunya sebagai bahan bakar yang dapat digunakan untuk transportasi, pembangkit listrik dan kebutuhan lainnya.



Gambar 2.1 Peta Cadangan Minyak Bumi Indonesia
(Sumber : Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2017)

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa masih banyak jumlah cadangan minyak bumi yang ada di Indonesia, terlebih masih ada beberapa lokasi yang belum dilakukan eksplorasi lebih lanjut. Dari jumlah cadangan minyak bumi terbukti tersebut, sebesar 2186,62 *Million Stock Tank Barrels* (MMSTB) (atau 68,96%) berada di lapangan daratan dan sisanya sebesar 984,26 MMSTB (31,04%) berada di lautan. Oleh sebab itu pemanfaatan minyak di Indonesia masih dapat dikembangkan secara maksimal. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan kegiatan eksploitasi secara berkala untuk melakukan *lifting* potensi sumber minyak yang nantinya dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang ada di Indonesia ataupun untuk kegiatan ekspor menuju luar negeri.



Gambar 2.2 Peta Cadangan Gas Bumi Indonesia
(Sumber : Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2017)

Gambar 2.2 juga menunjukkan cadangan gas bumi yang ada di Indonesia. Dari laporan capaian pembangunan 2017, Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, dijelaskan bahwa dari jumlah cadangan gas bumi terbukti tersebut, sebesar 4098,51 *Ton Standard Cubic Feet* (TSCF) adalah berupa *Associated Gas* dan 96266,43 TSCF *Non Associated Gas*. Total cadangan minyak dan gas bumi pada tahun 2017 dipengaruhi oleh adanya penambahan cadangan dari 13 lapangan baru sebesar 52,17 juta barel untuk minyak bumi dan 541,91 BCF untuk gas bumi. Dalam mengolah sumber migas yang ada Indonesia mendirikan banyak badan usaha guna memanfaatkan dalam pengolahan migas yang ada di Indonesia. Selain itu Indonesia juga melakukan kerjasama dengan banyak kontraktor dari luar negara yang bergerak pada bidang migas. Berikut merupakan beberapa wilayah kerja yang beroperasi diantaranya :

1. 25 WK disetujui terminasinya: East Sepanjang, Cakalang, Terumbu, Palangkaraya, Seinangka-Senipah, Air Komerling, Batu Gajah, East Muriah, North Kangean, Semai IV, West Papua III, Kuningan, Cendrawasih Bay III, Cendrawasih Bay II, Barito, Bukit Batu, West Sangata, South Sageri, Halmahera-Ko au, South East Mahakam, GMB Barito Banjar II, GMB Muara Enim III, GMB Kutai Timur, GMB Suban I, dan GMB Melak Mendung III
2. 2 WK Eksplorasi menjadi WK Eksploitasi: Pasir dan West Salawati
3. 3 WK Pengembangan menjadi Produksi: Karang Agung (Lapangan Ridho), Muara Bakau (Lapangan Jangkrik), dan Madura Strait (Lapangan BD)

Dalam melakukan kegiatan pertambangan migas dibutuhkan banyak pihak yang dilibatkan sehingga kegiatan pertambangan migas membutuhkan biaya yang sangat besar. Di Indonesia kegiatan pertambangan migas diatur pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 17 Tahun 1974 tentang Pengawasan Pelaksanaan Eksplorasi dan

Eksplorasi Minyak dan Gas Bumi di Daerah Lepas Pantai. Adapun beberapa peraturan penunjang lainnya seperti UU 22/2001 Pasal 11, UU 22/2001 Pasal 14, UU 22/2001 Pasal 15, PERATURAN PEMERINTAH 35/2004. Secara umum kegiatan pertambangan migas dibagi menjadi tiga tahapan utama yaitu eksplorasi, eksploitasi dan decommissioning .

- Eksplorasi adalah tahapan awal yang dilakukan pada kegiatan pertambangan migas yaitu para peneliti melakukan pencarian atau survey terkait daerah yang memiliki potensi sumber migas. Dalam melakukan kegiatan eksplorasi para peneliti dibantu oleh teknologi penunjang seperti satelit, seismik, *microprocessor*, dan bahan peledak. Dalam melakukan kegiatan ekplorasi pada kondisi lepas pantai atau *offshore* peneliti dibantu berbagai jenis kapal seperti kapal survei seismik, *drilling ship*, *drilling rigs*, kapal suplai dan kapal Penunjang lainnya (*crew boat*).
- Eksploitasi adalah kegiatan yang dilakukan dengan melakukan produksi berdasarkan sumber migas yang ada. Setelah ditemukannya sumber potensi migas dan dipastikan keberadaannya para kontraktor migas yang akan melakukan bisnis melakukan pembangunan fasilitas penunjang produksi. Contoh fasilitas yang menunjang kegiatan eksploitasi seperti *wellhead platform*, FPSO, FSO, dan *receiving terminal*.
- Decommissioning adalah tahapan terakhir dalam kegiatan migas yaitu saat kontrak pihak kontraktor dengan negara terkait bisnis migas sudah berakhir maka dilakukan kegiatan penonaktifkan perusahaan bersamaan dengan fasilitas yang dimiliki.

Kegiatan migas di Indonesia terjadi di darat dan dilaut. Pada kegiatan migas di laut atau lepas pantai atau di laut membutuhkan banyak fasilitas dalam menunjang kegiatan operasional yang dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Fasilitas Bangunan Terapung

No	Fasilitas	Fungsi
1.	<i>Drilling Barges</i>	Memiliki fungsi untuk melakukan pemboran di laut dangkal. Tidak mempunyai penggerak sendiri, sehingga bergerak dengan <i>tugboat</i> . <i>Drilling Barges</i> umumnya dilengkapi dengan akomodasi dan flat top hulls untuk penyimpanan peralatan.
2.	<i>Submersible Rigs</i>	Memiliki fungsi untuk pemboran di laut dangkal, merupakan <i>flat platform</i> yang ditopang oleh dua lambung untuk memberikan <i>buoyancy</i> (gaya angkat). Keuntungan pada fasilitas ini, pada posisi terbenam memberikan kondisi yang stabil pada saat pemboran.
3.	<i>Semi submersible Rigs</i>	Digunakan pada laut dangkal, yang disangga menggunakan rantai jangkar, dan dapat dengan mudah dipindahkan ke lokasi lain.
4.	<i>Drilling Ships</i>	Banyak digunakan untuk pemboran di laut dalam. Pada saat beroperasi, posisi dipertahankan dengan teknologi <i>dynamic positioning</i> menggunakan satelit.

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

No	Fasilitas	Fungsi
5.	<i>Tension Leg Platforms</i>	Fasilitas ini digunakan pada pemboran di laut dalam, merupakan <i>platform</i> terapung yang disangga oleh baja hollow dan terpancang di dasar laut sebagai tendon. Hal ini dapat menjaga stabilitas kapal konstan dari gaya pasang surut dan gelombang air laut.

Terkait fasilitas yang ada pada tabel 2.1, kegiatan eksploitasi migas membutuhkan keberadaan kapal-kapal pendukung untuk menjamin kelancaran dan keamanan operasi di lapangan, termasuk dukungan peralatan logistik. Sistem pendukung ini akan diperlukan semenjak kegiatan eksplorasi sampai kegiatan *decommissioning* dilakukan. Beberapa kapal pendukung dalam kegiatan pertambangan migas diantaranya kapal *Anchor Handling, Tug, and Supply* (AHTS), *crew boat*, kapal pemadam kebakaran, kapal pandu.

2.2 Liquefied Natural Gas (LNG)

Liquefied Natural Gas yang dikenal dengan LNG merupakan gas alam dengan komponen dominan CH₄ atau gas metana yang telah didinginkan sampai suhu -160°C dengan tekanan atmosfer agar berubah menjadi fasa cair sehingga memudahkan dalam pendistribusian dan penyimpanan dari LNG. Untuk LNG sendiri merupakan gas alam yang sudah dicairkan sehingga volumenya akan berkurang sampai dengan 600 kalinya. Dengan pengurangan volume yang besar, LNG dapat ditransportasikan secara ekonomis menggunakan fasilitas penunjang LNG yang terisolasi.

LNG dapat didistribusikan dengan menggunakan kapal, pipa, atau truk. Akan tetapi sarana transportasi LNG dengan menggunakan kapal masih diakui menjadi sarana transportasi yang paling efisien apabila dibandingkan dengan menggunakan truk ataupun pipa, khususnya untuk rute yang cukup jauh. Pada tabel 2.2 dapat dilihat komponen kandungan kimia yang terdapat pada LNG.

Tabel 2.2 Kandungan LNG

Komponen	Analisis Tipikal (mol%)	Kisaran (mol%)
Methane	94,9	87,0 – 96,0
Ethane	2,5	1,8 – 5,1
Propane	0,2	0,1 – 5,1
Iso – Butane	0,03	0,01 – 0,3
Normal – Butane	0,03	0,01 – 0,3
Iso – Pentane	0,01	Trace – 0,14
Normal – Pentane	0,01	Trace – 0,04
Hexanes plus	0,01	Trace – 0,06
Nitrogen	1,6	1,3 – 5,6
Carbon Dioxide	0,7	0,1 -1,0
Oxygen	0,02	0,01 – 0,1
Hydrogen	trace	Trace – 0,02

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Komponen	Analisis Tipikal (mol%)	Kisaran (mol%)
Specific Gravity	0,585	0,57 – 0,62
Gross Heating Value (MJ/m ³), dry basis	37,8	36,0 – 40,2

(Sumber : Budi,2014)

Berdasarkan tabel 2.2, LNG mempunyai komposisi kandungna kimia sebanyak 87% - 96% methane. Gas methane pada LNG mempunyai sifat tidak berbau, tidak berwarna, *non-corrosive* dan *non-toxic*. LNG pada dasarnya dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk mengirim gas dari produsen ke konsumen. LNG juga dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti diesel serta sifat alaminya yang tidak mudah terbakar.

2.3 Floating Storage Regasification Unit (FSRU)

Floating Storage Regasification Unit (FSRU) merupakan bangunan terapung yang digunakan sebagai terminal penerima untuk menampung hasil produksi LNG dan juga berfungsi sebagai fasilitas proses regasifikasi pada LNG untuk mengubah dari fase cair menjadi fase gas. FSRU digunakan sebagai pengganti terminal penerima yang ada di darat. FSRU umumnya merupakan hasil konversi dari kapal LNG dengan penampahan beberapa fasilitas terutama proses regasifikasi. Oleh sebab itu FSRU dapat dipindahkan sesuai kebutuh operasi dari FSRU itu sendiri. Beberapa komponen atau peralatan penting yang harus ada di FSRU.

1. Pipa bongkar muat yang digunakan oleh FSRU untuk menerima muatan LNG dari kapal pembawa LNG. Umumnya transfer LNG dilakukan menggunakan *ship to ship transfer*.
2. Tangki penyimpanan LNG yang berfungsi untuk menyimpan LNG dari proses *loading* dari kapal pembawa LNG. Bentuk tangki penyimpanan FSRU umumnya berbentuk bola dan membrane, jenis tangki ini banyak digunakan tergantung dari kebutuhan operasional dari FSRU.
3. Sistem proses regasifikasi yang berfungsi sebagai fasilitas tambahan untuk melakukan proses regasifikasi yaitu mengubah LNG dari fasa cair menjadi gas yang nantinya siap untuk di ekspor dari FSRU menuju terminal penerima.

Umumnya kegiatan operasional yang dilakukan oleh FSRU adalah diawali dengan transfer LNG dari LNG *carrier* menuju FSRU yang nantinya akan disimpan pada tangki penyimpanan FSRU. Dilanjutkan dengan melakukan proses regasifikasi untuk mengubah LNG menjadi fasa gas yang akan siap untuk dilakukan transfer menuju *onshore* terminal yang nantinya akan dilakukan pengolahan lebih lanjut. Peralatan yang digunakan FSRU dalam melakukan pemeliharaan LNG dalam menjaga temperature yang sudah ditentukan memiliki standart dan keandalan yang sudah teruji, akan tetapi tidak menutup kemungkinan masih ada proses insulasi yang tidak sempurna sehingga menyebabkan proses pemanasan yang menghasilkan *boil off gas* (BOG), oleh sebab itu penting sekali untuk diperhatikan dalam pengelolaan BOG pada LNG. BOG pada LNG yang berlebih akan mengakibatkan berlebihnya tekanan pada tangki penyimpanan maupun pada terminal LNG, hal yang dapat dilakukan terhadap BOG adalah digunakan

untuk bahan bakar pada FSRU maupun dilakukan proses pendinginan kembali untuk diubah menjadi menjadi fasa cair menjadi LNG.

2.4 *Floating Storage Regasification Unit (FSRU) Jawa Barat*

FSRU Jawa Barat merupakan kapal LNG yang dikonversikan menjadi FSRU. FSRU Jawa Barat akan digunakan sebagai objek penilaian risiko dari tugas akhir. Saat ini FSRU tersebut beroperasi di teluk Jakarta, Indonesia dengan sistem tambat. FSRU Jawa Barat merupakan bangunan terapung yang dikonversi dari kapal LNG “Khannur”. Kapal LNG Khannur dibangun menggunakan regulasi atau peraturan dengan standart internasional. Pada kapal LNG Khannur ini digunakan klas notasi Det Norske Veritas (DNV). Beberapa informasi terkait teknikal spesifikasi kapal LNG Khannur.

Tabel 2.3 Teknikal Spesifikasi Kapal LNG Khannur

KAPAL LNG Khannur	
Tahun Pembuatan	1977
Jenis Kapal	LNG Carrier
IMO	7382744
Call Sign	VSWO7
LNG Storage Capacity	125.000 m ³
Bendera	UK

Konversi Kapal LNG menjadi FSRU dilakukan di Singapore tepatnya di galangan Jurong. Saat ini FSRU Jawa Barat didesain agar dapat beroperasi selama 20 tahun dengan kondisi permanen mooring dengan laut kedalaman 23 meter. Secara ringkas kerja yang dilakukan pada FSRU Jawa Barat adalah FSRU menerima LNG dalam fase cair dari kapal LNG (*ship to ship transfer*) melalui dua buah *loading arm* yang lang disalurkan menuju tangki pada FSRU. Selanjutnya dilakukan proses regasifikasi yaitu mengubah LNG dari fasa cair menjadi fasa gas. Proses akhir selanjutnya adalah melakukan transfer gas LNG menuju terminal penerima yang ada di darat.



Gambar 2.3 FSRU Jawa Barat
(Sumber : Nusantara Regas, 2012)

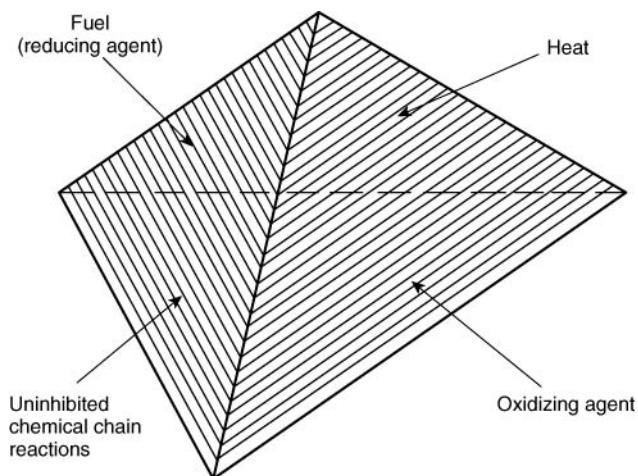
FSRU Jawa Barat beroperasi tahun 2012 sebagai FSRU pertama yang beroperasi di Asia Tenggara. FSRU Jawa Barat mampu memasok gas sebesar maksimum 500 juta kaki kubik per hari (MMCFD). Hasil gas tersebut berfungsi untuk memasok 3 (tiga) pembangkit listrik yang ada yaitu PJB Muara Karang, IP Tanjung Priuk dan PJB Muara Tawar. Tabel 2.3 merupakan teknikal spesifikasi pada FSRU Jawa Barat.

Tabel 2.4 Teknikal Spesifikasi FSRU Jawa Barat

FSRU Jawa Barat	
Length overall	293.0 m
Beam	41.6 m
Depth	25.0 m
Design draft	11.5 m
Scantling draft	12.5 m
Tonage at design draft	68.300 ton

2.5 Kebakaran

Fenomena yang terjadi ketika suatu bahan mencapai temperatur kritis dan melakukan reaksi kimia dengan oksigen dan menghasilkan panas, nyala api, cahaya, asap, uap air, karbon monoksida, karbondioksida, atau produk dan efek lain disebut dengan kebakaran (Standar Nasional Indonesia). Kebakaran sendiri merupakan api yang tidak terkendali dan termasuk dalam keadaan darurat yang menimbulkan berbagai macam kerugian seperti manusia, produktivitas dan kerugian sosial. Penjelasan terdahulu menjelaskan bahwa munculnya api ditimbulkan karena tiga faktor yang dikenal dengan segitiga api. Segitiga api diketahui sebagai penyebab munculnya api, elemen yang ada di segitia api adalah bahan bakar, sumber panas dan oksigen. Masa ini telah terjadi penambahan faktor sehingga penyebab api diketahui bernama bidang empat api (*tetrahedron of fire*) dengan penambahan faktor reaksi berantai tanpa hambatan.



Gambar 2.4 *Tetrahedron of Fire*
(Sumber : National Fire and Protection Association Journal)

Kebakaran dimulai dengan tahap penyalan dimana pada tahapan ini dimulai dengan munculnya api dalam ruangan. Proses munculnya disebabkan oleh energi panas. Munculnya api juga disebabkan oleh komponen dari tetrahedron api bergabung bersama membentuk suatu reaksi. Setelah ada nyala api dan tidak ada tindak lanjut dari tahap penyalan maka akan memasuki tahap pertumbuhan dimana peningkatan dari nyala api. Proses pertumbuhan nyala api dapat menyebar dengan cepat dengan proses konduksi, konveksi dan radiasi. Memasuki tahap pembakaran penuh dimana kalor yang dilepaskan oleh api memasuki tahap yang paling besar sehingga dapat menyebabkan suatu kerusakan. Jika kebakaran sudah terjadi dan material terbakar sudah mulai habis maka akan memasuki tahap surut dimana api perlahan lenyap. Berikut merupakan jenis kebakaran yang mungkin timbul.

1. Jet Fire

Jenis kebarakan jet fire disebabkan oleh kebocoran pada gas disertai dengan penyalan api secara langsung. Kemungkinan terjadinya jet fire adalah saat gas dalam fase cair dan tekanan rendah. Kebakaran jenis jet fire umumnya dapat terjadi pada proses transfer gas yang sudah menjadi fase liquid. Umumnya kebakaran jet fire memiliki laju perpindahan panas diatas 200 kW/m^2 . Kerusakan yang ditimbulkan akibat jet fire mempunyai tingkat kerusakan yang serius.

2. Flash Fire

Kebocoran gas yang tidak disertai dengan penyalan api secara langsung merupakan penyebab utama dari flash fire. Karakteristik terjadinya flash fire umumnya memiliki suhu yang tinggi dan durasi waktu yang pendek.

3. Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE)

Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE) merupakan salah satu jenis ledakan yang terjadi akibat tekanan pada suatu bejana pecah atau bocor karena dampak panas dari luar bejana. Kecelakaan ini juga dapat terjadi apabila suatu bejana yang berisi cairan melewati titik didih cairnya. Dampak terbesar yang dapat diakibatkan oleh BLEVE adalah radiasi yang dihasilkan.

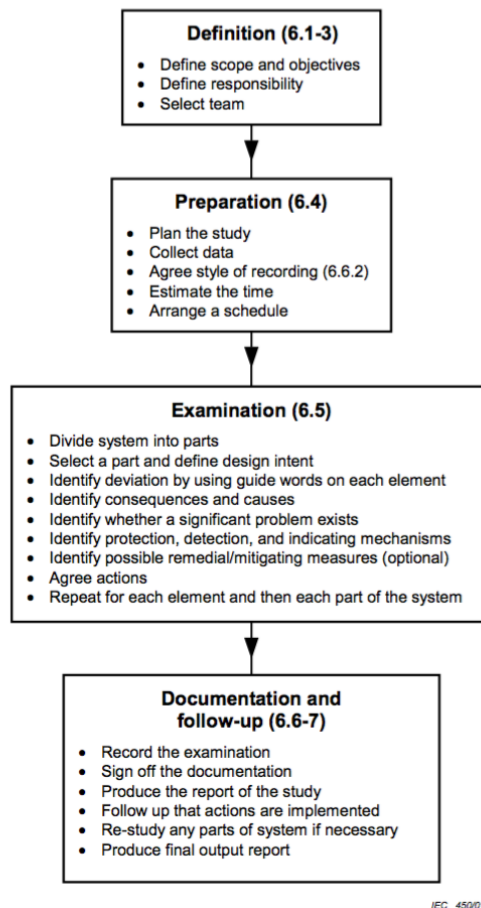
4. Gas Dispersion

Gas Dispersion dapat disebabkan oleh kebocoran gas pada pipa atau komponen lainnya. Kecelakaan kerja ini mungkin terjadi jika kondisi gas yang mengalir dalam kondisi tekanan tinggi. Kerusakan yang ditimbulkan dari *gas dispersion* umumnya berdampak pada kesehatan manusia karena kandungan oksigen yang ada terkontaminasi dengan kebocoran gas yang terjadi.

2.6 Hazard and Operability Study (HAZOP)

Hazard and operability (HAZOP) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan dan sistem proses yang dapat mempengaruhi efisiensi produk dan keselamatan. Secara ringkas HAZOP merupakan metode identifikasi masalah pada sistem yang berlangsung. Fungsi dari HAZOP adalah sebagai media untuk mengidentifikasi risiko. Selain itu, HAZOP juga digunakan untuk merekomendasikan beberapa point guna meningkatkan tingkat safety pada proses tersebut. Penggunaan HAZOP sendiri memiliki berbagai macam standar. Pada tugas akhir ini standar HAZOP yang digunakan adalah BS IEC 61882 yang digunakan dalam mengetahui analisa bahaya dalam proses sebuah sistem yang digunakan.

Langkah-langkah utama dalam pengerjaan HAZOP BS IEC 61882 dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Langkah Utama Pengerjaan HAZOP BS IEC 61882
(Sumber : HAZOP BS IEC 61882)

Hasil utama dari HAZOP adalah berubah draft laporan sesuai dengan draft yang sudah ditentukan. Adapun draft akhir dari HAZOP adalah :

- Ringkasan
- Kesimpulan
- Ruang lingkup dan tujuan
- Output dari penelitian
- Lembar kerja HAZOP
- Daftar gambar dan dokumentasi yang digunakan dalam penelitian
- Referensi dari studi sebelumnya

Gambar 2.6 pada halaman selanjutnya adalah salah satu contoh lembar kerja HAZOP BS IEC 61882 yang menjadi acuan pembuatan HAZOP pada tugas akhir ini.

Table B.1 – Example HAZOP worksheet for introductory example

STUDY TITLE: PROCESS EXAMPLE							SHEET: 1 of 4		
Drawing No.:			REV. No.:				DATE: December 17, 1998		
TEAM COMPOSITION:			LB, DH, EK, NE, MG, JK				MEETING DATE: December 15, 1998		
PART CONSIDERED:			Transfer line from supply tank A to reactor						
DESIGN INTENT:			Material: A Activity: Transfer continuously at a rate greater than B Source: Tank for A Destination: Reactor						
No.	Guide word	Element	Deviation	Possible causes	Consequences	Safeguards	Comments	Actions required	Action allocated to
1	NO	Material A	No Material A	Supply Tank A is empty	No flow of A into reactor Explosion	None shown	Situation not acceptable	Consider installation on tank A of a low-level alarm plus a low/low-level trip to stop pump B	MG
2	NO	Transfer A (at a rate >B)	No transfer of A takes place	Pump A stopped, line blocked	Explosion	None shown	Situation not acceptable	Measurement of flow rate for material A plus a low flow alarm and a low flow which trips pump B	JK
3	MORE	Material A	More material A: supply tank over full	Filling of tank from tanker when insufficient capacity exists	Tank will overflow into bounded area	None shown	Remark: This would have been identified during examination of the tank	Consider high-level alarm if not previously identified	EK

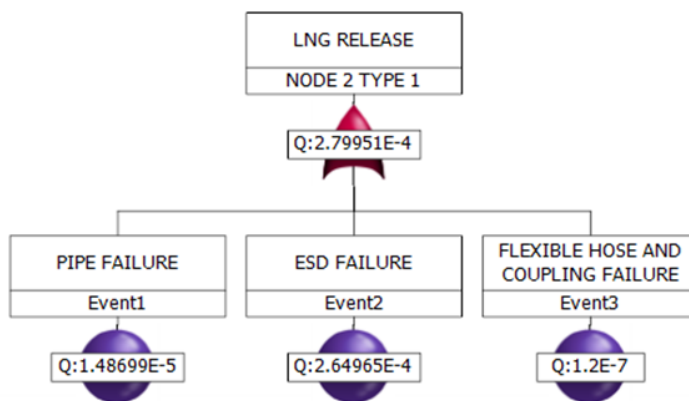
Gambar 2.6 Lembar Kerja HAZOP BS IEC 61882
(Sumber : HAZOP BS IEC 61882)

2.7 Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Trees adalah salah satu metode evaluasi keandalan sistem yang umum digunakan, khususnya pada sistem keselamatan atau *safety oriented system* (Artana & D. P., 2013). Metode ini awalnya dikembangkan sebagai salah satu cara untuk melakukan evaluasi proses kegagalan sistem secara kualitatif. Metode ini dapat digunakan untuk melakukan evaluasi keandalan secara kuantitatif. Berikut beberapa istilah dalam FTA (Akagamis, 1999).

1. Event adalah penyimpangan yang tidak digunakan dari suatu keadaan normal pada suatu komponen dari system.
2. Top event adalah kejadian yang tidak dikehendaki pada “puncak” yang akan diteliti lebih lanjut kearah kejadian dasar lainnya dengan menggunakan gerbang-gerbang logika untuk menentukan penyebab dan kekerapannya.
3. Logic gate adalah hubungan secara logika antara input (kejadian yang dibawah). Hubungan logika ini dinyatakan dengan gerbang AND (dan) atau gerbang OR (atau).
4. Transferred event adalah segitiga yang digunakan transfer. Symbol ini menunjukkan bahwa uraian lanjutan kejadian berada dihalaman lain.
5. Undeveloped event adalah kejadian dasar (basic event) yang tidak akan dikembangkan lebi jauh karena sudah tersedianya informasi.
6. Basic event adalah kejadian yang tidak diharapkan yang dianggap

Gambar 2.7 pada halaman selanjutnya merupakan contoh diagram FTA yang digunakan dalam melakukan analisis kebocoran LNG.



Gambar 2.7 Contoh Pengerjaan FTA
(Sumber: Akbar, 2017)

2.8 Event Tree Analysis (ETA)

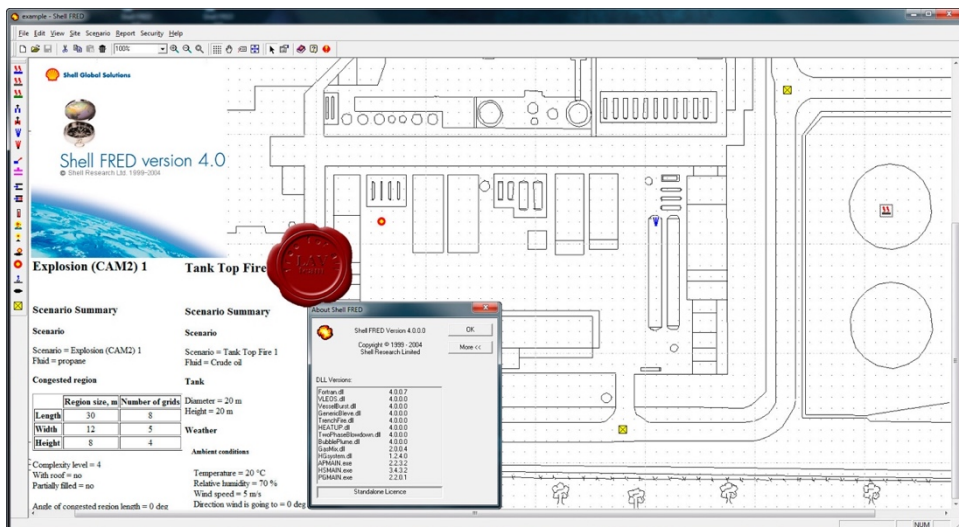
Event Tree adalah diagram yang menunjukkan semua kejadian yang mungkin terjadi di dalam sistem (Artana & D. P., 2013). Diagram ini diperoleh dengan mengidentifikasi semua komponen di dalam sistem dan selanjutnya secara berturut-turut dianalisis setiap cabang dari diagram dengan memasukkan peluang sukses dan gagal dari masing-masing komponen. Metode ini digunakan untuk melakukan analisis keandalan pada sistem dimana semua komponen yang beroperasi secara kontinu maupun pada sistem yang berada di posisi *standby*. Gambar 2.8 merupakan salah satu contoh pengerjaan ETA dalam mencari kejadian kebakaran yang terjadi pada suatu sistem disertai dengan nilai probabilitasnya.

		Immediate Ignition	Jet Fire
	Ignition	0.7	3.524E-07
Gas Release	0.0050	Delayed Ignition	Flash Fire
1.003E-04		0.3	1.510E-07
	No Ignition		Gas Dispersion
	0.9950		9.975E-05

Gambar 2.8 Contoh Pengerjaan ETA
(Sumber: Suriasih, 2018)

2.9 Fire Modelling Software

Salah satu metode yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah *fire modelling software*. Penggunaan *fire modelling software* adalah untuk melakukan analisa konsekuensi pada tugas akhir. Analisa konsekuensi bertujuan untuk mengetahui permodelan dari besaran api saat kecelakaan terjadi. *Shell Fire, Release, Explosion, Dispersion Hazard consequence modelling software* atau yang dikenal dengan Shell FRED merupakan salah satu *software* yang didesain untuk melakukan permodelan konsekuensi dari pelepasan produk, baik disengaja dan disengaja. Sehingga dapat membantu para desainer agar melakukan kegiatan produksi dengan aman. Shell FRED sendiri terus dikembangkan dan divalidasi oleh Shell semenjak tahun 1980 dan telah digunakan secara luas oleh berbagai macam perusahaan yang beroperasi di bidang minyak, gas, petrokimia, kontraktor teknik, perusahaan asuransi, dan regulator di seluruh dunia.

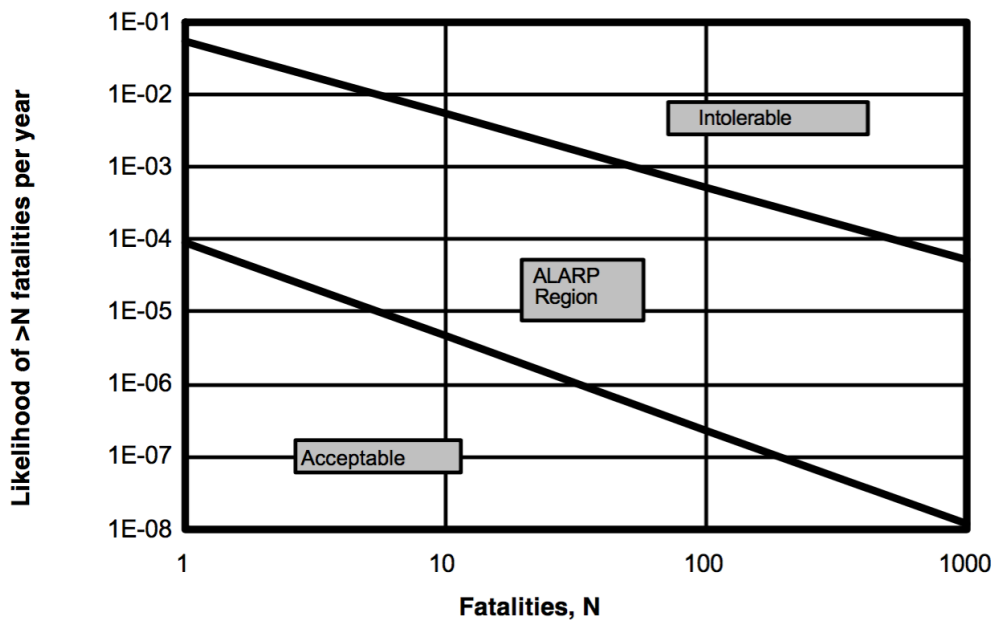


Gambar 2.9 Tampilan Shell FRED 4.0
(Sumber : Shell Research Ltd., 2014))

Beberapa fitur Shell FRED yang dapat digunakan adalah persiapan dan pembaruan kasus keselamatan, pembenaran untuk desain dan operasi baru, pata letak fasilitas dan optimisasi peralatan, studi perencanaan pra-insiden dan tanggap darurat, efek domino / studi manajemen eskalasi, investigasi kecelakaan, analisis risiko kuantitatif (QRA) dengan hasil yang langsung diintegrasikan ke dalam alat QRA Shell, Shepherd. Shell FRED juga dapat digunakan untuk permodelan kebakaran berdasarkan data yang ada. Untuk permodelan kebakaran sendiri Shell FRED dapat digunakan untuk gas dispersi dan ledakan api. Pada tugas akhir ini penggunaan *fire modelling software* bertujuan untuk mengetahui sebaran kejadian kebakaran yang terjadi pada sistem yang akan dianalisa

2.10 f-N Curves

Dalam melakukan penilaian risiko, hal yang terakhir harus dilakukan adalah melakukan pemetaan risiko. Oleh sebab itu umumnya dalam melakukan penilaian risiko harus ditentukan jenis pemetaan risiko yang akan dilakukan. Umumnya jenis pemetaan risiko berupa *risk matrix* dan *f-N Curve*. Pemetaan risiko *f-N curve* merupakan kurva representasi hasil dari hubungan antara dimana (f) merupakan nilai dari frekuensi yang didapatkan dari hasil analisa frekuensi dan untuk nilai N adalah nilai konsekuensi yang harus ditanggung akibat dari bahaya yang dihasilkan. Nilai f dan nilai N akan dimasukkan kedalam grafik sesuai dengan standar yang digunakan, dalam tugas akhir ini standar yang digunakan yaitu *United Kingdom Offshore* yang dapat dilihat pada gambar 2.10 . Dari pemetaan risiko menggunakan *f-N curve* dapat diketahui tingkat risiko dari suatu kejadian jumlah korban manusia yang terdampak oleh kejadian tersebut.



Gambar 2.10 *f-N Curve UK Offshore*
(Sumber : Risk Criteria)

Dalam menggunakan pemetaan risiko standar *f-N curve* ada beberapa hal yang harus diketahui terkait tingkat risiko pada *f-N curve*.

1. *Acceptable*

Risiko yang dimana semua orang yang terkena dampak siap untuk menerima. Tindakan untuk mengurangi risiko semacam itu biasanya tidak diperlukan kecuali tindakan praktis yang wajar tersedia dengan biaya rendah dalam hal uang, waktu dan upaya.

2. ALARP

As Low As Reasonably Practicable merupakan prinsip yang menyatakan bahwa risiko, lebih rendah dari batas tolerabilitas, dapat ditoleransi hanya jika

pengurangan risiko tidak praktis atau jika biayanya sangat tidak proporsional (tergantung pada tingkat risiko) terhadap peningkatan yang diperoleh.

3. *Intolerable*

Kondisi risiko tidak dapat diterima sehingga perlu dilakukan pencegahan guna mengurangi terjadi risiko tersebut

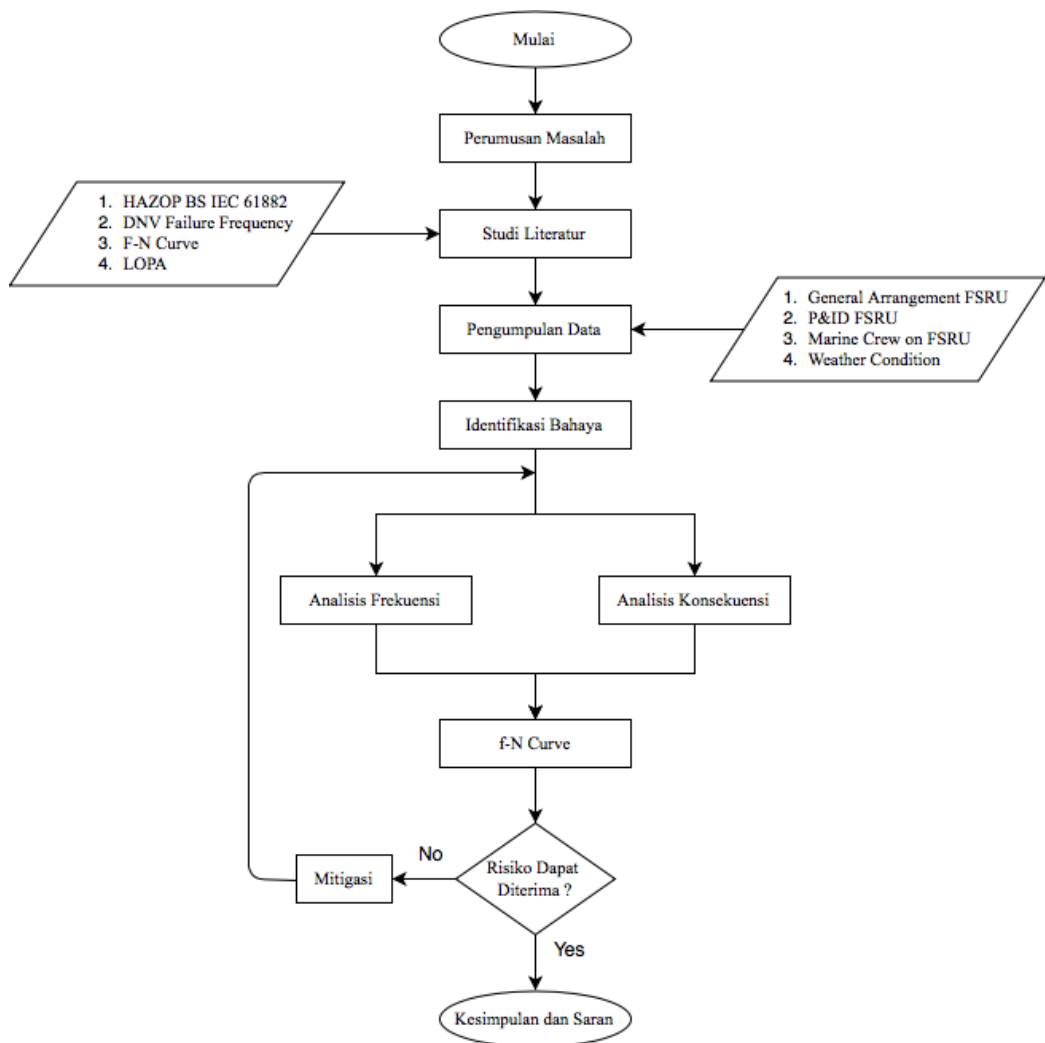
2.11 Layer of Protection Analysis (LOPA)

Layer Of Protection Analysis (LOPA) adalah metodologi untuk mengevaluasi bahaya dan penilaian risiko. Setelah mendapatkan representasi tentang analisa frekuensi dan analisa konsekuensi menggunakan pemetaan risiko, terdapat kemungkinan risiko tidak dapat diterima sesuai dengan pemetaan risiko menggunakan peta risiko (dalam tugas akhir ini menggunakan *f-N Curve*). Jika risiko tersebut tidak dapat ditolerir, maka upaya mitigasi harus dilakukan. Dengan menggunakan metode LOPA, konsekuensi dari bahaya dan risiko dapat dievaluasi serta memberikan perlindungan dari risiko yang tidak dapat diterima. Tujuan LOPA adalah memastikan lapisan perlindungan untuk mengantisipasi risiko dari bahaya yang muncul.

BAB III METODOLOGI

3.1 Metodologi

Tugas akhir ini akan membahas tentang analisa potensi kebakaran dan ledakan pada *Floating Storage Regasification Unit* (FSRU). FSRU yang digunakan mengambil lokasi di Jawa Barat. Metodologi yang akan digunakan pada pengerjaan tugas akhir dapat dilihat pada *flowchart* dibawah.



3.2 Perumusan Masalah

Pada skripsi ini akan membahas mengenai penilaian risiko potensi kebakaran dan ledakan pada fasilitas *submodule topside Floating Storage Regasification Unit* (FSRU).

3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sehingga teori dasar dan standar secara umum maupun khusus dapat dirangkum menjadi satu. Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan berbagai informasi yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini. Studi literatur umumnya dilakukan dengan membaca buku, jurnal, standar atau penelitian sebelumnya, ditambah dengan literatur internet. Adapun beberapa literatur yang menjadi acuan dalam pembuatan tugas akhir ini adalah :

- a. Hazard and Operability Study (HAZOP) BS IEC 61882 :2001 .
- b. Det Norske Veritas Process Equipment Failure Frequency.
- c. Chemical Process Quantitative Risk Analysis 2nd Edition.
- d. Offshore Reliability Data Handbook (OREDA) : 2002
- e. Shell Fire Release Explosion, Dispersion (FRED) User Guide.
- f. United Kingdom Offshore for f-N Curve.
- g. Events and Independent Protection Laves in Layers of Protection Analysis (LOPA)

3.4 Pengumpulan Data

Dalam pembuatan tugas akhir ini ada beberapa data yang harus dikumpulkan guna menunjang kelancaran pembuatan skripsi, adapun data yang dibutuhkan untuk proses pengerjaan adalah :

- a. General Arrangement topside *Floating Storage Regasification Unit* (FSRU) Jawa Barat.
- b. P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) *submodule topside facilities* FSRU.
- c. Jumlah *crew* yang bekerja pada setiap *subsystem topside facilities* FSRU.
- d. *Weather condition & wind rose* in Jakarta Bay.

3.5 Identifikasi Bahaya

Pada tugas akhir ini setelah dilakukan pengumpulan data maka dilanjutkan dengan penentuan tingkat bahaya dari unit proses yang ada di FSRU sehingga dapat ditentukan unit proses yang memiliki tingkat bahaya kebakaran paling tinggi dengan dilakukan identifikasi bahaya menggunakan HAZOP. Pada penelitian ini diaplikasikan metode HAZOP dengan menggunakan panduan identifikasi bahaya dengan standar BS IEC 61882 : 2001

3.6 Analisa Frekuensi

Melakukan penghitungan analisa frekuensi dengan metode *fault tree analysis* (FTA) untuk menghitung probabilitas kegagalan dari suatu sistem berdasarkan referensi HAZOP. Dilanjutkan dengan menggunakan *event tree analysis* (ETA) untuk mengetahui tingkat frekuensi penyebab kejadian.

3.7 Analisa Konsekuensi

Analisa Konsekuensi berfungsi untuk mengetahui kejadian atau bahaya yang mungkin terjadi yang disebabkan oleh *hazard* atau potensi bahaya yang ada. Dalam tugas akhir ini analisa konsekuensi akan dimodelkan dengan menggunakan *fire modelling software*. Konsekuensi yang akan di simulasikan berupa *jet fire, flash fire, dan gas dispersion*.

3.8 Pemetaan Risiko

Analisa frekuensi dan analisa konsekuensi yang telah dilakukan harus dihubungkan satu dengan yang lain. Maka representasi penggabungan dilakukan dengan membuat risk matrix. Pada tugas akhir kali ini diguna risk matrix menggunakan standar *f-N Curve UK Offshore*.

3.9 Langkah Mitigasi

Dalam melakukan penanganan risiko yang sudah dianalisa, maka dilanjutkan dengan menentukan langkah mitigasi yang tepat guna mencegah potensi kebakaran dan ledakan pada FSRU Jawa Barat. Langkah mitigasi yang dilakukan menggunakan standar *Layers of Protection Analysis (LOPA)*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV DATA PENELITIAN

4.1 Penjelasan Umum

Tugas akhir ini akan membahas penilaian risiko terkait potensi kebakaran dan ledakan pada objek FSRU Jawa Barat. Dalam melakukan penilaian risiko harus dilakukan analisa frekuensi dan analisa konsekuensi. Penilaian risiko yang dilakukan pada FSRU membahas proses *loading arms & crossover* dan *gas export & metering*. Dalam melakukan penilaian risiko dibutuhkan beberapa data pendukung diantaranya layout terminal, diagram sistem perpipaan dan instrument terminal (P & ID), kondisi cuaca pada lokasi FSRU dan jumlah *crew* pada FSRU.

4.2 Deskripsi Sistem FSRU

Diagram alur sistem pada FSRU Jawa Barat yang diperlukan untuk dianalisa pada tugas akhir ini diantaranya layout terminal, diagram sistem perpipaan dan instrument terminal (P & ID), kondisi cuaca pada lokasi FSRU dan jumlah crew pada FSRU. Berikut penjelasan data yang dibutuhkan.

1. Desain operasional FSRU

Table 4.1 merupakan beberapa peralatan *cargo handling* dan *machinery* pada FSRU Jawa Barat.

Tabel 4.1 Peralatan FSRU

DESKRIPSI	JUMLAH	UNIT
Cargo Handling Equipment		
Main LNG Discharge Pump (12 off; 2 in each cargo tank)	900	m ³ /hr
	120	mlc
Spray LNG Pump (2 off; 1 in each cargo tank 3 & 4)	25	m ³ /hr
	120	mlc
LNG Vaporiser, shell & tube, steam heated	8800	kg/hr LNG
Inert gas generator	5000	Nm ³ /hr
High Duty Compressor	17000	m ³ /hr
Low Duty Compressor	4500	m ³ /hr
Boil of gas heater, shell & tube, steam heated	7000	kg/hr
Cargo tank safety valve set point	0.25	bar.g
Machinery Equipment		
Main Boiler Capacity (normal) Pressure Temperature	64	tonnes/hr
	61.4	bar.g
	513	°C
Main Propulsion Turbine		
Steam turbo generators (2 off), 60 Hz/440V	2000	kW
Diesel generator (1 off), 60 Hz/440V	1200	kW
Emergency generator (1 off), 60 Hz/440V	250	kW

2. Diagram sistem perpipaan dan instrument terminal (P & ID)

Pada sistem perpipaan dan instrument terminal (P&ID) ini akan dijelaskan sistem yang akan dianalisa dalam pengerjaan tugas akhir.

A. Loading Arms and Crossover

Sistem membahas tentang proses masuknya LNG menuju FSRU Jawa Barat. LNG awalnya dibawa menggunakan kapal LNG yang nantinya akan bersandar pada area *posrtside* pada FSRU Jawa Barat. Saat kapal sudah bersandar maka akan dilakukan transfer LNG menggunakan *side-by-side mode*. LNG ditransfer menggunakan media *loading arms* yang sudah terpasang pada *manifold* bongkar muat FSRU. Jumlah *loading arms* pada FSRU adalah tiga. Dua *loading arms* digunakan untuk melakukan transfer LNG sedangkan sisanya digunakan untuk pengembalian uap. Jika salah satu *loading arms* tidak beroperasi atau mengalami masalah, semua *loading arms* dapat dikonfigurasi untuk digunakan baik dengan transfer LNG atau pengembalian uap. Laju maksimum transfer LNG adalah 10.000 m³LNG/h. Pengaturan selang antar FSRU dan LNG *carrier* diperlukan untuk mentransfer pengembalian uap dari FSRU terhadap LNG *carrier* jika laju transfer maksimum harus dipertahankan apabila pipa transfer LNG tidak beroperasi. Sebagian uap FSRU yang dipindahkan selama operasi pemuatan akan dikirim kembali ke LNG *carrier*, biasanya melalui pipa pengembalian uap khusus. Total penghasil uap dan gas pendidih di FSRU selama pemuatan akan dikurangi dengan menerima tekanan yang lebih tinggi pada tangki FSRU. Tekanan uap dalam sistem pembawa LNG dijaga tetap stabil dan pada tekanan yang lebih rendah dengan menggunakan katup pengurang tekanan pada jalur kembalu uap dari FSRU menuju LNG *carrier*. Set point untuk katup kontrol ini adalah 1,10 - 1,17 bar.

B. Gas Export & Metering

Laju aliran gas ekspor dan kontrol suhu dijalankan oleh fungsi kontrol di dalam modul Regasifikasi. Kontrol laju aliran gas akan diukur menggunakan *gas metering*. Proses regasifikasi pada FSRU adalah untuk mengubah LNG menjadi fasa gas. Setelah dari proses regasifikasi gas akan ditransfer menuju *gas metering* dan akan diakhiri dengan transfer menuju pipa *export*.

3. Data Lingkungan

FSRU Jawa Barat dirancang untuk kondisi lingkungan berikut di lokasi tambat operasi (05° 58.275' LS 108° 47.966' BT) dengan kondisi sebagai berikut.

- Suhu air laut minimum : 25°C
- Suhu air laut maksimum : 32°C
- Tinggi gelombang signifikan maksimum: 1.8 m
- Kecepatan arus maksimum : 1.1 m/s
- Kecepatan angin maksimum : 26 m/s
- Kecepatan angin maksimum (Badai) : 40 m /s

4. Kandungan LNG :

Proses regasifikasi pada FSRU dirancang untuk menangani komposisi LNG sebagai berikut (tabel 4.2):

Tabel 4.2 Komposisi Regasifikasi LNG FSRU

Composition	PTA	PTB		Tangguh
	% mol	With LPG Extraction % mol	Without LPG Extraction % mol	% mol
CH ₄	92.37	91.49	89.32	96.93
C ₂ H ₆	5.31	4.98	5.28	2.32
C ₃ H ₈	1.43	2.41	3.75	0.38
i-C ₄ H ₁₀	0.34	0.55	0.80	0.07
n-C ₄ H ₁₀	0.36	0.53	0.83	0.05
i-C ₅ H ₁₂	0.02	0.01	0.00	0.01
n-C ₅ H ₁₂	0.00	0.00	0.00	0.00
C ₆ +	0.00	0.00	0.00	0.00
N ₂	0.17	0.03	0.02	0.24
CO ₂	0	0	0	0
Total	100	100	100	100

5. *Marine Crew* FSRU

Pada FSRU Jawa Barat, *crew change* dilakukan selama 3 bulan sekali. Dalam kegiatan operasional jumlah total *crew* dilakukan pembagian 3x *shift*, dimana setiap *shift* kerja adalah 8 jam. Pada tabel 4.3 merupakan jumlah anak buah kapal (ABK) pada FSRU Jawa Barat.

Tabel 4.3 Marine Crew FSRU

Job Description	Number of Crew
Terminal Manager / Captain	1
Process Manager	2
Assistant Process Manager	3
BOSUN	1
AB	3
O/S	8
Technical Manager	1
Assistant Technical Manager	2
E/R Operator	3
Cargo Mechanic	2
Electrical Technician	2
Filter	4
Donkey Man	1

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Job Description	Number of Crew
Fireman / Oiler	3
Wiper	2
Gallyer Crew	4
TOTAL	42

6. *General Abbreviation* FSRU Jawa Barat

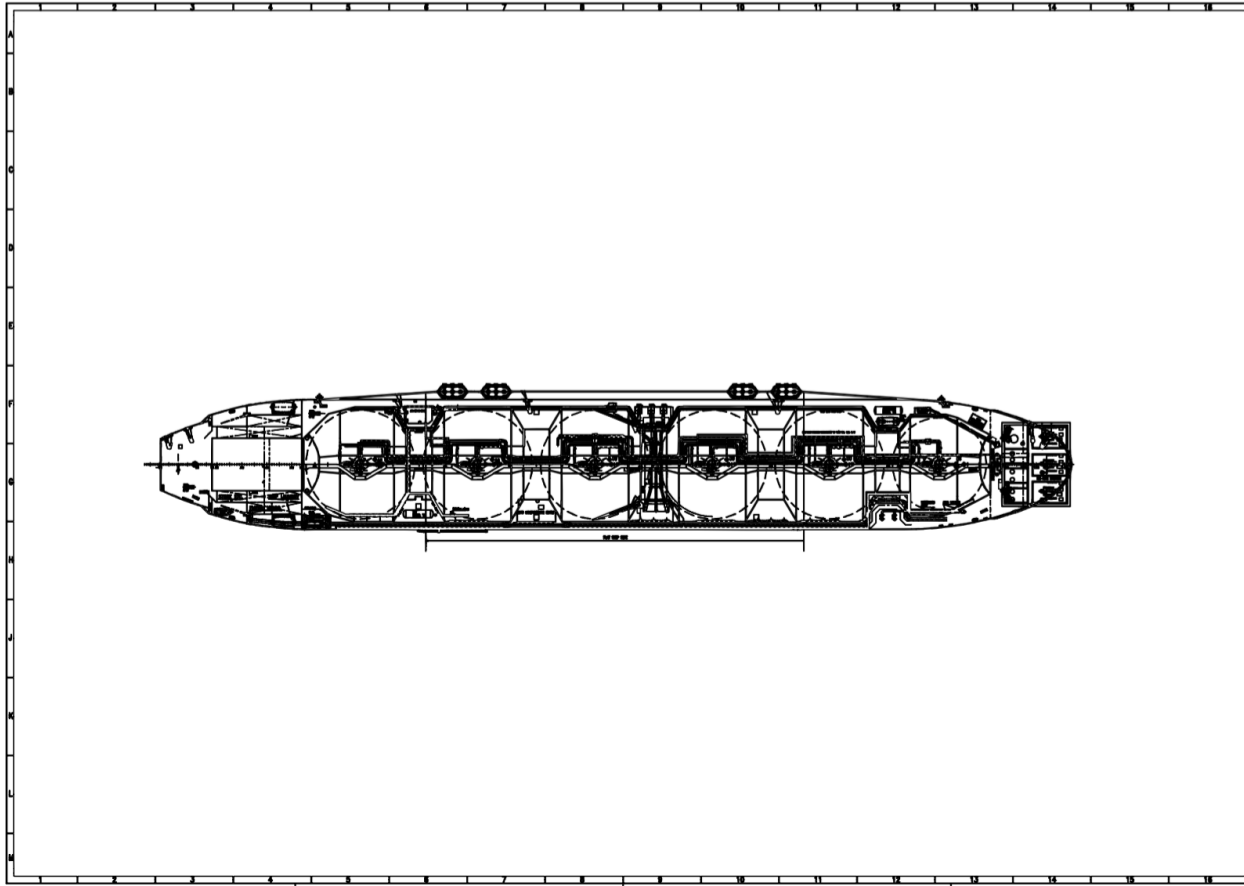
Berikut merupakan daftar singkatan pada P&ID FSRU, daftar dapat dilihat pada tabel 4.4 .

Tabel 4.4 Daftar singkatan FSRU

F	Flange
BU	Butterfly Valve
GT	Gate Valve
CH	Check Valve
BL	Ball Valve

7. *Layout Terminal* FSRU Jawa Barat

Layout terminal digunakan untuk mengetahui lokasi serta sistem proses yang ada pada FSRU Jawa Barat. *Layout* terminal digunakan untuk mengetahui jumlah dan letak anak buah kapal yang melakukan kegiatan operasional pada setiap sistem proses yang ada. Dari *layout* terminal ini dapat dilakukan permodelan kebakaran untuk mengetahui besarnya sebaran api terhadap sistem yang akan dilakukan penilaian risiko. Gambar 4.1 pada halaman selanjutnya adalah *layout terminal* dari FSRU Jawa Barat



Gambar 4.1. *Layout Terminal FSRU Jawa Barat*
(Sumber : *Arsip Pribadi*)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V IDENTIFIKASI BAHAYA

5.1 Penjelasan Umum

Dalam melakukan tugas akhir, penilaian risiko dimulai dengan melakukan identifikasi bahaya pada sistem proses yang akan analisa. Proses identifikasi bahaya akan dibahas pada bab berikut.

5.2 Hazard and Operability Study (HAZOPS)

Hazard and Operability (HAZOP) adalah suatu metode awal dalam penilaian risiko untuk melakukan identifikasi masalah. Identifikasi masalah HAZOP banyak digunakan pada sistem proses. HAZOP dapat digunakan untuk menentukan, mengklasifikasikan dan melakukan identifikasi masalah pada suatu proses. Penilaian risiko harus menggunakan standar yang ada. Untuk HAZOP digunakan standar British HAZOP BS IEC 61882 : 2001 . Berdasarkan standar HAZOP yang digunakan hal yang harus dilakukan adalah membagi sistem proses menjadi kedalam sebuah bagian atau *node*. Setelah dilakukan pembagian node maka dapat dianalisa potensi kegagalan serta konsekuensi dari kegagalan suatu proses yang akan dianalisa. HAZOP akan dikemas dalam bentuk laporan atau form. Isi dari HAZOP adalah *guideword, deviation, possible causes, consequences, safeguard, comment* dan *action required* . Berikut penjelasan masing-masing dari isi HAZOP.

1. Guide Word

Guide word merupakan sebuah kata kunci dimana mengandung pernyataan penyebab dari sebuah deviasi. Pada HAZOP BS IEC 61882 :2001 *guide word* yang digunakan adalah *no, more, less, as well as, part of, reverse, other than*. Deskripsi setiap *guide word* dapat dilihat pada tabel 5.1 .

Tabel 5.1 Guide Word HAZOP

KATA PANDUAN	DESKRIPSI
NO OR NOT	Negasi penuh dari sebuah sistem pada desain
MORE	Peningkatan kuantitatif
LESS	Penurunan kuantitatif
AS WELL AS	Peningkatan kuantitatif yang dimodifikasi
PART OF	Penurunan kuantitatif yang dimodifikasi
REVERSE	Logika yang berlawanan dari sistem pada desain
OTHER THAN	Penggantian penuh

(Sumber : HAZOP BS IEC 61882,2001)

2. Deviation

Deviation merupakan hasil kombinasi dari *guide word* dan parameter pada sistem yang sedang diidentifikasi. Parameter sendiri merupakan tolak pengukur pada sistem yang mengacu pada *guide word* . Deviasi yang dapat digunakan pada

HAZOP adalah *flow, temperature, pressure* dan *level*. Penggunaan masing-masing deviasi mengacu pada HAZOP BS IEC 61882 : 2001 pada *appendix E*. Pembagian deviasi dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Deviasi HAZOP

	Flow	Temperature	Pressure	Level
More	High Flow	High Temperature	High Pressure	High Level
Less	Low Flow	Low Temperature	High Temperature	Low Level
No	Now Flow	-	-	No Level
Reverse	Back Flow	-	-	-
Part Of	Wrong Concertation	-	-	-
As Well As	Contaminants	-	-	-
Other	Wrong Material	-	-	-

(Sumber : HAZOP BS IEC 61882,2001)

3. Possible causes

Possible causes menjelaskan kemungkinan penyebab terjadinya suatu deviasi. Kemungkinan penyebab suatu kejadian dapat dianalisa dari proses yang terjadi pada node yang telah ditentukan.

4. Consequences

Consequences atau konsekuensi merupakan pernyataan akibat terjadinya suatu peristiwa. Setelah mengetahui kegagalan deviasi pada komponen suatu peralatan.

5. Safeguard

Safeguard merupakan sebuah alat instrumen atau komponen yang menunjukkan bahwa suatu sistem berfungsi dengan baik. *Safeguard* dapat berupa sebuah indikator yang memberikan indikasi pada sebuah alarm pengingat.

6. Comment

Comment merupakan suatu respon yang menanyakan apakah kejadian pada konsekuensi masih dapat diterima atau tidak dapat diterima.

7. Action Required

Action required merupakan tindakan yang harus dilakukan untuk pada suatu kejadian. Tindakan yang dilakukan dapat berupa tindakan preventif.

5.3 Node

Sistem proses yang akan dilakukan identifikasi harus dilakukan pembagian menjadi sebuah *node*. Pembagian sebuah node ditentukan berdasarkan besarnya sistem, fungsi sistem, tingkat kompleksnya sistem dan keparahan bahaya pada sistem tersebut (BS IEC 61882, 2001). Pada tugas akhir ini sistem yang akan diidentifikasi telah dibagi menjadi beberapa node. Adapun pembagian node yang dilakukan berdasarkan fungsi sistem tersebut. Sistem yang akan dianalisa ada sistem *loading arms & crossover* dan

sisem *gas export & metering*. Berikut merupakan pembagian node pada sistem yang akan dilakukan analisa.

1. Node 1 LNG Carrier – FSRU LNG Tank

Pada node 1 menjelaskan tentang sistem *loading arms & crossover* pada FSRU. Fungsi utama dan hasil akhir pada node satu adalah LNG carrier melakukan transfer LNG menuju tanki pada FSRU. Node 1 menggunakan jalur pipa nomor satu. Apabila bila jalur pipa satu tidak dapat digunakan maka dapat menggunakan jalur pipa tiga. Dalam melakukan transfer LNG terdapat beberap komponen yang menunjang yaitu *gate valve, globe valve, flange, globe valve, check valv* dan *butterfly valve* . Terdapat beberapa *safeguard* seperti *temperature gauge, pressure gauge* dan *pressure transmitter* . Dimulai dengan kapal LNG bersandar pada *portside loading arms* FSRU. Dilanjutkan dengan melakukan transfer LNG menuju tangki FSRU. Selama proses berlangsung tekanan dan suhu selalu dijaga guna menjaga keamanan operasional.

2. Node 2 LNG Carrier – FSRU LNG Tank

Pada node 2 menjelaskan tentang sistem *loading arms & crossover* pada FSRU. Fungsi utama dan hasil akhir pada node satu adalah LNG carrier melakukan transfer LNG menuju tanki pada FSRU. Apabila bila jalur pipa nomor tiga tidak dapat digunakan maka dapat menggunakan jalur pipa satu. Dalam melakukan transfer LNG terdapat beberap komponen yang menunjang yaitu *gate valve, globe valve, flange, globe valve, check valve* dan *butterfly valve* . Terdapat beberapa *safeguard* seperti *temperature gauge, pressure gauge* dan *pressure transmitter*. Dimulai dengan kapal LNG bersandar pada *portside loading arms* FSRU sehingga dapat dilakukan transfer menuju tangki LNG pada FSRU.

3. Node 3 FSRU – LNG Carrier

Pada node 3 sistem *loading arms & crossover* pada *line 2*. Pada jalur ini , sistem memiliki fungsi untuk mengembalikan jumlah uap yang dihasilkan selama proses transfer LNG berlangsung. Jumlah uap yang dikembalikan berasal dari *vapour header*. Selama proses transfer berlangsung suhu dan tekanan selalu dijaga guna keamanan operasional. Dalam melakukan transfer uap terdapat beberap komponen yang menunjang yaitu *gate valve, globe valve, flange, globe valve, check valve* dan *butterfly valve* . Terdapat beberapa *safeguard* seperti *temperature gauge, pressure gauge* dan *pressure transmitter*. Proses transfer dilakukan dari *vapour header* menuju LNG carrier .

4. Node 4 Regasification – Gas Metering

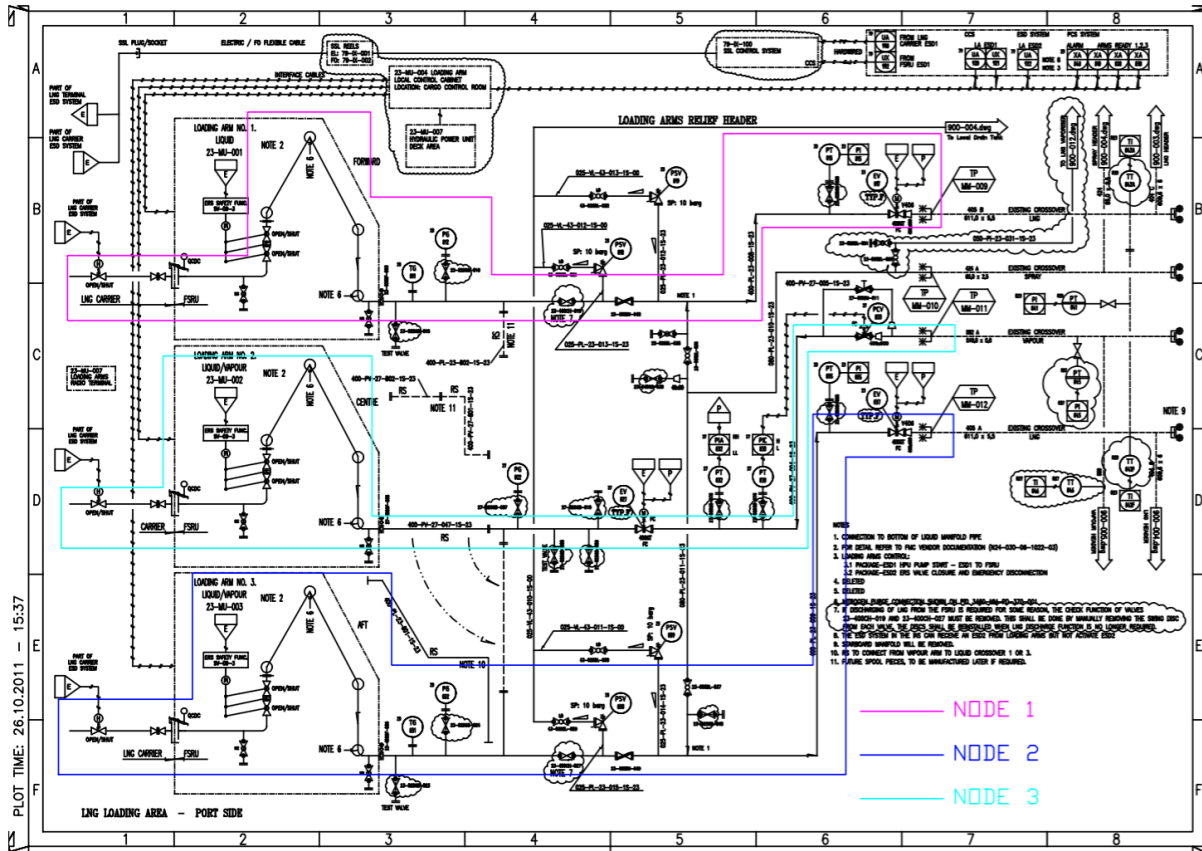
Pada node 4 menjelaskan proses tentang sistem *gas export & metering* FSRU. Node 4 menjelaskan sistem proses dari regasification menuju *gas metering* . Pad sistem gas yang akan disalurkan akan melewati indikator penting yaitu indikator suhu dan tekanan yang berfungsi Indikator suhu dan tekanan akan mengirim sinyal transmitter kepada komputer terkait jumlah satu gas yang keluar dari sistem regasifikasi. Pada node ini juga terdapat *equipment* seperti *globe valve, temeperature transmitter, temperature indicator, pressure transmitter, pressure indicator* dan *flow element* . Hasil akhir dari sistem *gas metering* adalah

mengetahui jumlah gas yang mengalir dari sistem regasifikasi dengan data yang terinput pada *metering control cabinet* pada *cargo control room*.

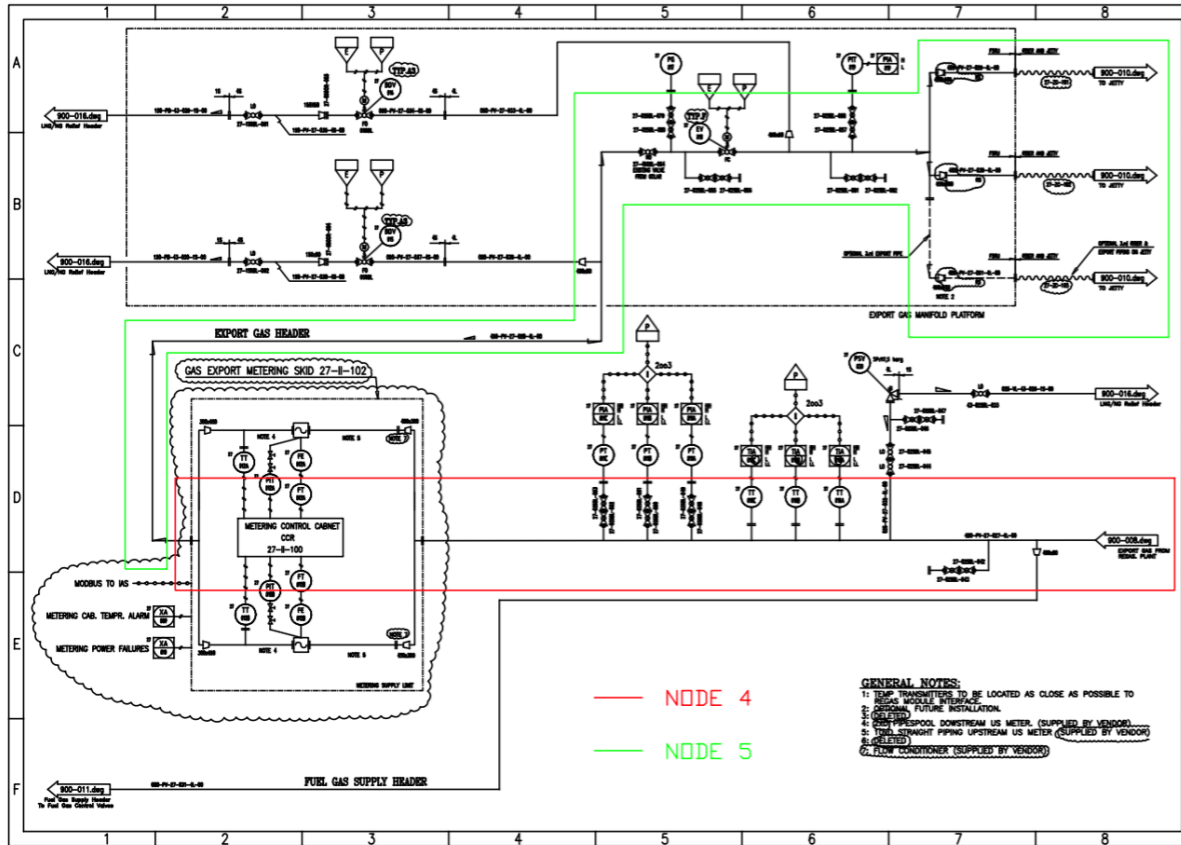
5. Node 5 Gas Metering – Jetty

Pada node 5 menjelaskan kelanjutan dari node 4. Pada node ini gas yang sudah melewati *gas metering* langsung ditransfer menuju *export gas manifold*. Selama proses berlangsung pengawasan temperatur dan tekanan selalu dijaga. Pada node lima terdapat peralatan pendukung seperti *ball valve*, *globe valve*, *pressure gauge*, *pressure transmitter* dan *pressure indicator*. Jumlah *export gas manifold* adalah tiga jalur. Selanjutnya transfer gas akan dilanjutkan pada sistem *jetty*.

Gambar 5.1 dan 5.2 merupakan gambar *node* yang dapat dilihat pada gambar P&ID pada sistem yang sudah ditentukan. Gambar *node* pada P&ID dapat dilihat pada halaman selanjutnya.



Gambar 5.1. Node 1,2 & 3 sistem loading arms & crossover
 (Sumber : Arsip Pribadi)



Gambar 5.2 Node 4&5 pada sistem gas export & metering
 (Sumber : Arsip Pribadi)

5.3 Lembar kerja HAZOP

Hasil dari identifikasi bahaya menggunakan metode HAZOP direpresentasikan menggunakan lembar kerja yang ada. Lembar kerja mengacu pada standar BS IEC 6188: 2001 *Annex B*. Pada lampiran dapat dilihat hasil kerja dari analisa menggunakan lembar kerja HAZOP pada setiap node yang telah ditentukan. Contoh identifikasi bahaya yang dilakukan pada salah satu bagian unit proses yaitu node 1 direpresentasikan pada tabel di halaman selanjutnya.

Study Title		NODE 1					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
1	No	No Flow	Valve Closed	No LNG Supply from LNG Carrier to FSRU LNG Storage Tank	Add Flowmeter	Situation is acceptable	Check Valve Condition before operate the system
			Gate Valve is Blocked			Situation is not acceptable	
			Ball Valve 1 & 2 are Blocked				
			Specange Flange is Closed (27-400SF-003)				
			Check Valve is Blocked				
			Butterfly Valve is Blocked				

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

Study Title		NODE 1					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
			Gate Valve is Blocked	System Leakage which to fire & explosion <i>(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)</i>	None		Periodically monitor condition of the pipe line
			Pipe Line is Cracked (400-PL-23-008-1S-23)				
		No Pressure	System Leakage & No LNG transfer from LNG Carrier	No LNG transfer and LNG release which can lead to fire & explosion	Pressure Gauge (PG-012)	Situation is not acceptable	Periodical check and maintenance the equipment and recheck the operation condition
		No Level	<i>No issue regarded this deviation</i>				
2	Less	Less Flow	Ball Valve is open	Less LNG flow to FSRU and gas release	None		

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

Study Title		NODE 1					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
			Ball Valve is open	which lead to fire & explosion		Situation is not acceptable	Check Valve Condition before operate the system
			Test Valve (23-025GB-015) is open				
			Globe Valve (23-025BL-038) & Valve (23-025BL-039) are opened				
			Ball Valve (23-080BL-036) is Cracked	Gas Release which lead to fire & Explosion			

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

Study Title		NODE 1					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
			Valve (23-025GB-016 & 23-025GB-020) are cracked	Gas Release which lead to fire & Explosion and cannot transmit information to Pressure Indicator	Pressure Gauge & Pressure Transmitter	Situation is acceptable	Periodical check and maintenance the equipment
3	More	More Temperature	External Heat	BOG Generate are increased	Temperature Gauge (TG-011)		Periodical check and maintenance the equipment and recheck the operation condition

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

Study Title		NODE 1					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
		More Pressure	Valves are Blocked	Overpressure lead to fire and explosion.	Pressure Gauge (PG-012) & Pressure Transmitter (PT-015)	Situation is not acceptable	Periodical check equipment and maintain the condition of the equipment
4	As Well as	As well as Corrosion	Environment condition & age of the pipe (080-PL-23-008-1S-23)	Pipe leakage & gas release	None	Situation is acceptable	Periodical check and maintenance the equipment
5	Reverse	Reverse Flow	<i>No issue regarded this deviation</i>				
6	Other Than	Other than destination	Cracked Valves	Gas Release which lead to fire & Explosion	None	Situation is not acceptable	Check the equipment condition before operation

BAB VI ANALISA FREKUENSI

6.1 Penjelasan Umum

Salah satu metode yang harus dilakukan dalam penilaian risiko adalah melakukan analisa frekuensi. Analisa frekuensi dilakukan untuk mengetahui besarnya peluang kegagalan berfungsinya suatu komponen pada sebuah sistem yang dapat menginisiasi terjadinya kegagalan sistem. Jika terjadi sebuah kegagalan sistem maka dapat menginisiasi terjadinya kejadian bahaya. Standar yang digunakan dalam analisa frekuensi adalah *Det Norske Veritas (DNV) Failure Frequencies Guidelines Process Equipment Leak Frequency Data for Use in Quantiry Risk Assessment (QRA)* . Metode analisa frekuensi yang digunakan adalah *fault tree analysis (FTA)* dan *event tree analysis (ETA)*. Metode ini menggunakan pendekatan *bottom-up* dimana analisa dimulai dengan peluang kegagalan dari suatu komponen yang menginisiasi kegagalan sistem dan berlanjut dengan kejadian suatu bahaya. Analisa frekuensi pada tugas akhir ini bertujuan untuk menghitung frekuensi kegagalan dari suatu sistem. Pada metode FTA hasil akhir berupa frekuensi *gas release* dari setiap node dan untuk metode ETA hasil akhir berupa frekuensi *hazard* yang ditimbulkan sistem pada setiap node. Untuk melakukan analisa frekuensi dibutuhkan data kegagalan dari sebuah sistem. Oleh sebab itu perlu dilakukan perhitungan data kegagalan sebuah sistem berupa kebocoran dan *system failure* .

6.2 Frekuensi Kebocoran Komponen

Analisa frekuensi dimulai dengan mengetahui peluang kegagalan dalam komponen yang bekerja pada suatu sistem. Sistem yang dianalisa pada tugas akhir berdasarkan pembagian *node* saat melakukan identifikasi bahaya. Pada tabel dibawah dapat dilihat peluang frekuensi kegagalan komponen berdasarkan pembagian *node* sistem yang di analisa. Hasil Frequency dari setiap *equipment* yang ada menggunakan referensi *DNV Failure Frequencies Guidelines Process Equipment Lea q Frequency Data for Use in QRA* . Saat melakukan analisa *leakage* pada komponen digunakan perhitungan dengan rumus sebagai berikut.

$$F(d) = C(1 + aD^n) d^m + F_{rup}$$

Dimana :

F : frequency of leaks (per valve year) exceeding size d

C, m : constants representing hole size distribution

a, n : constants representing equipment size dependency

F_{rup} : additional rupture frequency (per valve year)

D : valve diameter (mm)

d : hole diameter (mm)

Dalam penggunaan rumus frekuensi kebocoran komponen ada ketentuan yang harus diperhatikan yaitu skenario kebocoran yang akan dianalisa. Rumus data kebocoran komponen memiliki skenario masing-masing. Adapun ketentuan skenario yang harus

diperhatikan dapat dilihat pada tabel 6.1 dimana rumus dapat digunakan untuk mencari frekuensi kebocoran dengan skenario *total leaks*, *full leaks* dan *zero pressure*.

Tabel 6.1 Skenario Variabel Kebocoran Komponen

SCENARIO	C	a	N	m	F _{rup}
Total leaks	1.0E-05	3.4E-05	2.0	-0.76	1.0E-05
Full leaks	6.0E-06	3.8E-03	1.5	-1.17	0.0E+00
Zero pressure	1.0E-08	6.8	1.0	-0.15	0.0E+00

Dalam tugas akhir ini skenario yang digunakan adalah *total leaks*. Rumus yang digunakan dalam menghitung kebocoran hanya berlaku pada komponen *manual valves*. Sehingga untuk komponen lain seperti *actuated valves*, *flanges* memiliki rumus perhitungan lainnya. Hasil perhitungan *leakage* pada komponen *manual valves* setiap node dapat dilihat pada tabel 6.1 s/d 6.5 dibawah ini.

Tabel 6.2 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Komponen Node 1

Node 1 : LNG Carrier - FSRU LNG Tank						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecnny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Gate Valve	-	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
2	Ball Valve	-	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
3	Ball Valve	-	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
4	Ball Valve	-	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
5	Ball Valve	-	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
6	Spectange Flange	23-400SF-003	400 mm	2.00E-05	4.30E-06	6.00E-07
7	Test Globe Valve	23-025GB-015	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
8	Globe Valve	23-025GB-016	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
9	Check Valve	23-400CH-019	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
10	Butterfly Valve	23-400BU-048	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
11	Ball Valve	23-025BL-038	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
12	Ball Valve	23-080BL-036	80 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Node 1 : LNG Carrier - FSRU LNG Tank						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
13	Globe Valve	23-040GB-039	40 mm	9.10E-06	2.10E-06	3.20E-07
14	Globe Valve	23-025GB-020	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
15	Emergency Shutdown Gate Valve	23-EV-017	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
TOTAL				4.21E-04	9.91E-05	1.51E-05

Tabel 6.3 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Komponen Node 2

Node 2 : LNG Carrier - FSRU LNG Tank						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Gate Valve	-	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
2	Ball Valve	-	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
3	Ball Valve	-	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
4	Ball Valve	-	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
5	Ball Valve	-	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
6	Spectange Flange	23-400SF-006	400 mm	2.00E-05	4.30E-06	6.00E-07
7	Test Globe Valve	23-025GB-023	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
8	Globe Valve	23-025GB-024	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
9	Check Valve	23-400CH-027	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
10	Butterfly Valve	23-400BU-049	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Node 2 : LNG Carrier - FSRU LNG Tank						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
11	Ball Valve	23-080BL-037	80 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
12	Globe Valve	23-025GB-040	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
13	Globe Valve	23-040GB-028	40 mm	9.10E-06	2.10E-06	3.20E-07
14	Emergency Shutdown Gate Valve	23-EV-037	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
TOTAL				0.0004119	0.000097	0.00001478

Tabel 6.4 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Komponen Node 3

Node 3 : FSRU - LNG Carrier						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Pressure Control Valve	27-PCV-033	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
2	Butterfly Valve	27-400BU-011	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
3	Globe Valve	27-025GB-076	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
4	Globe Valve	27-025GB-075	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
5	Emergency Shut Down Gate Valve	27-EV-027	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
6	Globe Valve	27-025GB-010	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
7	Globe Valve	27-025GB-009	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Node 3 : FSRU - LNG Carrier						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
8	Globe Valve	27-025GB-008	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
9	Globe Valve	27-025GB-007	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
10	Spectange Flange	27-400SF-005	400 mm	2.00E-05	4.30E-06	6.00E-07
11	Ball Valve	-	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
12	Ball Valve	-	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
13	Ball Valve	-	400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
14	Ball Valve	-	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
15	Gate Valve		400 mm	5.50E-05	1.30E-05	2.00E-06
TOTAL				0.0004204	0.0000991	0.00001508

Tabel 6.5 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Komponen Node 4

Node 4 : Regasification - Gas Metering						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Ball Valve	27-025BL-042	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
2	Ball Valve	27-025BL-043	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
3	Ball Valve	27-025BL-048	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
4	Ball Valve	27-025BL-049	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
5	Ball Valve	27-025BL-050	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
6	Ball Valve	27-025BL-051	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
7	Ball Valve	27-025BL-052	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Node 4 : Regasification - Gas Metering						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
8	Ball Valve	27-025BL-053	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
TOTAL				7.04E-05	1.68E-05	2.48E-06

Tabel 6.6 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Komponen Node 5

Node 5 : Gas Metering to Jetty						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Ball Valve	27-450BL-054	450 mm	6.80E-05	1.60E-05	2.40E-06
2	Ball Valve	27-025BL-079	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
3	Ball Valve	27-025BL-080	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
4	Ball Valve	27-025BL-055	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
5	Ball Valve	27-025BL-056	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
6	Emergency Shut Down Ball Valve	-	450 mm	6.80E-05	1.60E-05	2.40E-06
7	Ball Valve	27-025BL-057	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
8	Ball Valve	27-025BL-058	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
9	Ball Valve	27-025BL-081	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
10	Ball Valve	27-025BL-082	25 mm	8.80E-06	2.10E-06	3.10E-07
TOTAL				2.06E-04	4.88E-05	7.28E-06

6.3 Frekuensi Kebocoran Pipa

Selain melakukan analisa frekuensi terhadap komponen sebuah sistem, dilakukan pula analisa untuk mengetahui peluang kebocoran pada pipa yang berfungsi sebagai media utama untuk melakukan transfer fluida. Fluida yang ditransfer pada sistem ini berupa LNG, uap LNG dan NG tergantung dari setiap node. Pada tabel dibawah dapat dilihat peluang frekuensi kebocoran pipa berdasarkan pembagian *node* sistem yang di analisa. Hasil Frequency dari setiap *equipment* yang ada menggunakan referensi *DNV*

Failure Frequencies Guidelines Process Equipment Leak Frequency Data for Use in QRA. Saat melakukan analisa *leakage* pada pipa digunakan perhitungan dengan rumus sebagai berikut.

$$F(d) = C(1 + aD^n) d^m + F_{rup}$$

Dimana :

- F : frequency of leaks (per metre year) exceeding size d
 C, m : constants representing hole size distribution
 a, n : constants representing equipment size dependency
 F_{rup} : additional rupture frequency (per metre year)
 D : pipe diameter (mm)
 d : hole diameter (mm)

Dalam penggunaan rumus frekuensi kebocoran pipaada ketentuan yang harus diperhatikan yaitu skenario kebocoran yang akan dianalisa. Rumus data kebocoran komponen memiliki skenario masing-masing. Adapun ketentuan skenario yang harus diperhatikan dapat dilihat pada tabel 6. dimana rumus dapat digunakan untuk mencari frekuensi kebocoran dengan skenario *total leaks*, *full leaks* dan *zero pressure*.

Tabel 6.7 Skenario Variabel Kebocoran Pipa

SCENARIO	C	a	N	m	F _{rup}
Total leaks	3.7E-05	1000	-1.5	-0.74	3.0E-06
Full leaks	8.0E-06	1000	-1.3	-1.42	0.0E+00
Zero pressure	9.0E-06	0	0.0	-0.50	1.0E-06

Rumus yang digunakan dalam menghitung kebocoran hanya berlaku pada pipa. Hasil kebocoran pada pipa nantinya harus dilakukan perkalian dengan panjang pipa. Hasil perhitungan *leakage* pada pipa setiap node dapat dilihat pada tabel 6.8 s/d. 6.12 dibawah.

Tabel 6.8 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Pipa Node 1

Node 1 : LNG Carrier - FSRU LNG Tank							
No.	Equipment	Code	Size	Length (m)	Leak Frequecny/Hole Diameter		
					10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Pipe Line	400-PL-23-008-1S-23	400 mm	30	1.59E-04	3.90E-05	6.00E-06
2	Pipe Line	080-PL-23-008-1S-23	80 mm	8	8.80E-05	2.16E-05	3.36E-06

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Node 1 : LNG Carrier - FSRU LNG Tank							
No.	Equipment	Code	Size	Length (m)	Leak Frequecny/Hole Diameter		
					10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
TOTAL					2.47E-04	0.0000606	0.00000936

Tabel 6.9 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Pipa Node 2

Node 2 : LNG Carrier - FSRU LNG Tank							
No.	Equipment	Code	Size	Length (m)	Leak Frequecny/Hole Diameter		
					10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Pipe Line	400-PL-23-008-1S-23	400 mm	30	1.59E-04	3.90E-05	6.00E-06
2	Pipe Line	080-PL-23-008-1S-23	80 mm	8	8.80E-05	2.16E-05	3.36E-06
TOTAL					0.000247	0.0000606	0.00000936

Tabel 6.10 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Pipa Node 3

Node 3 : FSRU - LNG Carrier							
No.	Equipment	Code	Size	Length (m)	Leak Frequecny/Hole Diameter		
					10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Pipe Line	400-PV-27-047-1S-23	400 mm	30	1.59E-04	3.90E-05	6.00E-06
TOTAL					1.59E-04	0.000039	0.000006

Tabel 6.11 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Pipa Node 4

Node 4 : Regasification - Gas Metering							
No.	Equipment	Code	Size	Length (m)	Leak Frequecny/Hole Diameter		
					10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Pipe Line	450-PV-27-027-4L	450 mm	10	5.30E-05	1.30E-05	2.00E-06
TOTAL					5.30E-05	1.30E-05	2.00E-06

Tabel 6.12 Tabel Data Frekuensi Kebocoran Pipa Node 5

Node 5 : Gas Metering to Jetty							
No.	Equipment	Code	Size	Length (m)	Leak Frequecny/Hole Diameter		
					10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Pipe Line	450-PV-27-028-4L	450 mm	20	1.06E-04	2.60E-05	4.00E-06
2	Transfer Pipe Line	450-PV-29-028-4L	450 mm	5	2.65E-05	6.50E-06	1.00E-06
3	Transfer Pipe Line	450-PV-30-028-4L	450 mm	5	2.65E-05	6.50E-06	1.00E-06
4	Transfer Pipe Line	450-PV-61-028-4L	450 mm	5	2.65E-05	6.50E-06	1.00E-06
TOTAL					1.86E-04	4.55E-05	7.00E-06

6.4 Frekuensi Kebocoran *Indicator & Safeguard*

Salah satu peralatan yang terdapat pada sistem yang bekerja adalah *indicator* dan *safeguard*. Komponen ini berfungsi sebagai indikator pada aliran, tekanan dan suhu. Tabel dibawah dapat dilihat peluang frekuensi kebocoran pipa berdasarkan pembagian *node* sistem yang di analisa. Hasil Frequency dari setiap *equipment* yang ada menggunakan referensi *DNV Failure Frequencies Guidelines Process Equipment Leaq Frequency Data for Use in QRA* . Saat melakukan analisa *leakage* pada pipa digunakan perhitungan dengan rumus sebagai berikut.

$$F(d)=Cd^m +F_{rup}$$

Dimana :

- F : frequency of leaks (per instrument connection year)
- C, m : exceeding size d constants representing hole size distribution
- F_{rup} : additional rupture frequency (per instrument connection year)
- D : instrument connection diameter (mm)
- d : hole diameter (mm)

Dalam penggunaan rumus frekuensi kebocoran *indicator & safeguard* ketentuan yang harus diperhatikan yaitu skenario kebocoran yang akan dianalisa. Rumus data kebocoran komponen memiliki skenario masing-masing. Adapun ketentuan skenario yang harus diperhatikan dapat dilihat pada tabel 6.13 pada halaman selanjutnya dimana

rumus dapat digunakan untuk mencari frekuensi kebocoran dengan skenario *total leaks*, *full leaks* dan *zero pressure*.

Tabel 6.13 Skenario Variabel Kebocoran *Indicator & Safeguard*

SCENARIO	C	M	F _{rup}
Total leaks	6.1E-04	-0.80	0.0E+00
Full leaks	2.3E-04	-1.88	0.0E+00
Zero pressure	2.5E-05	-0.44	0.0E+00

Rumus yang digunakan dalam menghitung kebocoran hanya berlaku pada *instrument*. Hasil perhitungan *leakage* pada *indicator & safeguard* setiap node dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 6.14 Tabel Data Frekuensi Kebocoran *Indicator & Safeguard* Node 1

Node 1 : LNG Carrier - FSRU LNG Tank						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Temperature Gauge	23-TG-011	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
2	Pressure Gauge	23-PG-012	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
3	Pressure Indicator	23-PI-015	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
4	Temperature Indicator	23-TI-042A	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
TOTAL				2.80E-04	6.40E-05	9.20E-06

Tabel 6.15 Tabel Data Frekuensi Kebocoran *Indicator & Safeguard* Node 2

Node 2 : LNG Carrier - FSRU LNG Tank						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Temperature Gauge	23-TG-031	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
2	Pressure Gauge	23-PG-032	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
3	Pressure Indicator	23-PI-035	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
4	Temperature Indicator	23-TI-042F	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Node 2 : LNG Carrier - FSRU LNG Tank						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
TOTAL				2.80E-04	6.40E-05	9.20E-06

Tabel 6.16 Tabel Data Frekuensi Kebocoran *Indicator & Safeguard* Node 3

Node 3 : FSRU - LNG Carrier						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Temperature Indicator	27-TI-046	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
2	Pressure Indicator	27-PI-045	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
3	Pressure Indicator Controller	27-PIC-046	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
4	Pressure Gauge	27-PG-022	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
TOTAL				0.00028	0.000064	0.0000092

Tabel 6.17 Tabel Data Frekuensi Kebocoran *Indicator & Safeguard* Node 4

Node 4 : Regasification - Gas Metering						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Temperature Indicator	27-TIA-010A	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
2	Temperature Indicator	27-TIA-010B	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
3	Temperature Indicator	27-TIA-010C	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
4	Pressure Indicator	27-PIA-011A	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
5	Pressure Indicator	27-PIA-011B	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
6	Pressure Indicator	27-PIA-011C	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
7	Flow Element	27-FE-012A	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Node 4 : Regasification - Gas Metering						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
8	Flow Element	27-FE-012B	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
TOTAL				5.60E-04	1.28E-04	1.84E-05

Tabel 6.18 Tabel Data Frekuensi Kebocoran *Indicator & Safeguard Node 5*

Node 5 : Gas Metering to Jetty						
No.	Equipment	Code	Size	Leak Frequecny/Hole Diameter		
				10 - 50 mm	50 - 150 mm	> 150 mm
1	Pressure Gauge	27-PG-017	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
2	Pressure Indicator	27-PIA-019A	25 mm	7.00E-05	1.60E-05	2.30E-06
TOTAL				0.00014	0.000032	0.0000046

6.5 Kegagalan Fungsi Komponen

Salah satu penyebab terjadinya *gas release* yang dapat menimbulkan potensi kebakaran dan leadakan adalah kegagalan pada sebuah sistem dimana tidak berfungsinya sebuah sistem dengan baik. Oleh sebab itu harus dilakukan analisa frekuensi pada seluruh komponen yang ada untuk mengetahui kegagalan fungsi dari komponen pada sistem setiap node. Dalam menentukan frekuensi kegagalan fungsi komponen pada sebuah komponen setiap sistem digunakan referensi OREDA dan *Center for Chemical Process Safety Generic Failure Data Base*. Berikut merupakan daftar kegagalan fungsi komponen pada setiap node.

Tabel 6.19 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi Komponen Node 1

Node 1 Equipment Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
1	Gate Valve	-	Fail to open on demand	4.89E-10
2	Ball Valve	-	Fail to close on demand	6.68509E-10
3	Ball Valve	-	Spurious Operation	8.89824E-11
4	Ball Valve	-	Spurious Operation	8.89824E-11
5	Ball Valve	-	Fail to close on demand	6.68509E-10
6	Test Globe Valve	23-025GB-015	Fail to close on demand	5.90934E-10

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Node 1 Equipment Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
7	Globe Valve	23-025GB-016	Abnormal instrument reading	1.65416E-10
8	Check Valve	23-400CH-019	All modes	3.08016E-11
9	Butterfly Valve	23-400BU-048	All modes	2.852E-10
10	Ball Valve	23-025BL-038	Fail to close on demand	6.68509E-10
11	Ball Valve	23-080BL-036	Spurious Operation	8.89824E-11
12	Globe Valve	23-040GB-039	Fail to close on demand	5.90934E-10
13	Globe Valve	23-025GB-020	Abnormal instrument reading	1.65416E-10
14	Emergency Shutdown Gate Valve	23-EV-017	Fail to close on demand	6.50256E-10
TOTAL				5.24084E-09

Tabel 6.20 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi Komponen Node 2

Node 2 Equipment Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
1	Gate Valve	-	Fail to open on demand	4.89E-10
2	Ball Valve	-	Fail to close on demand	6.69E-10
3	Ball Valve	-	Spurious Operation	8.90E-11
4	Ball Valve	-	Spurious Operation	8.90E-11
5	Ball Valve	-	Fail to close on demand	6.69E-10
6	Test Globe Valve	23-025GB-023	Fail to close on demand	5.90934E-10
7	Globe Valve	23-025GB-024	Abnormal instrument reading	1.65416E-10
8	Check Valve	23-400CH-027	All modes	3.08016E-11

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Node 2 Equipment Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
9	Butterfly Valve	23-400BU-049	All modes	2.852E-10
10	Ball Valve	23-080BL-037	Spurious Operation	8.89824E-11
11	Globe Valve	23-025GB-040	Fail to close on demand	5.90934E-10
12	Globe Valve	23-040GB-028	Abnormal instrument reading	1.65416E-10
13	Emergency Shutdown Gate Valve	23-EV-037	Fail to close on demand	6.50256E-10
TOTAL				3.33114E-09

Tabel 6.21 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi Komponen Node 1

Node 3 Equipment Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
1	Pressure Control Valve	27-PCV-033	Fail to regulate	6.06906E-10
2	Butterfly Valve	27-400BU-011	All modes	2.852E-10
3	Globe Valve	27-025GB-076	Abnormal instrument reading	1.65416E-10
4	Globe Valve	27-025GB-075	Abnormal instrument reading	1.65416E-10
5	Emergency Shut Down Valve	27-EV-027	Fail to close on demand	6.50256E-10
6	Globe Valve	27-025GB-010	Fail to close on demand	5.90934E-10
7	Globe Valve	27-025GB-009	Fail to close on demand	5.90934E-10
8	Globe Valve	27-025GB-008	Fail to close on demand	5.90934E-10
9	Globe Valve	27-025GB-007	Abnormal instrument reading	1.65416E-10
10	Ball Valve	-	Fail to close on demand	6.69E-10
11	Ball Valve	-	Spurious Operation	8.90E-11

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Node 3 Equipment Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
12	Ball Valve	-	Spurious Operation	8.90E-11
13	Ball Valve	-	Fail to close on demand	6.69E-10
14	Gate Valve	-	Fail to open on demand	4.89E-10
TOTAL				5.8158E-09

Tabel 6.22 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi Komponen Node 4

Node 4 Equipment Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
1	Ball Valve	27-025BL-042	Fail to close on demand	6.68509E-10
2	Ball Valve	27-025BL-043	Fail to close on demand	6.68509E-10
3	Ball Valve	27-025BL-048	Spurious operation	8.89824E-11
4	Ball Valve	27-025BL-049	Spurious operation	8.89824E-11
5	Ball Valve	27-025BL-050	Spurious operation	8.89824E-11
6	Ball Valve	27-025BL-051	Spurious operation	8.89824E-11
7	Ball Valve	27-025BL-052	Spurious operation	8.89824E-11
8	Ball Valve	27-025BL-053	Spurious operation	8.89824E-11
TOTAL				1.87E-09

Tabel 6.23 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi Komponen Node 5

Node 5 Equipment Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
1	Ball Valve	27-450BL-054	Fail to open on demand	4.36926E-10
2	Ball Valve	27-025BL-079	Spurious operation	8.89824E-11
3	Ball Valve	27-025BL-080	Spurious operation	8.89824E-11
4	Ball Valve	27-025BL-055	Fail to close on demand	6.68509E-10
5	Ball Valve	27-025BL-056	Fail to close on demand	6.68509E-10
6	Emergency Shut Down Ball Valve	-	Fail to close on demand	2.74476E-09
7	Ball Valve	27-025BL-057	Fail to close on demand	6.68509E-10
8	Ball Valve	27-025BL-058	Fail to close on demand	6.68509E-10
9	Ball Valve	27-025BL-081	Spurious operation	8.89824E-11
10	Ball Valve	27-025BL-082	Spurious operation	8.89824E-11
TOTAL				6.21166E-09

6.6 Kegagalan Fungsi *Indicator & Safeguard*

Salah satu penyebab terjadinya *gas release* yang dapat menimbulkan potensi kebakaran dan ledakan adalah kegagalan pada sebuah sistem dimana tidak berfungsinya sebuah sistem dengan baik. Oleh sebab itu harus dilakukan analisa frekuensi pada seluruh komponen yang ada untuk mengetahui kegagalan fungsi dari komponen pada sistem setiap node. Dalam menentukan frekuensi kegagalan fungsi komponen pada sebuah komponen setiap sistem digunakan referensi OREDA dan *Center for Chemical Process Safety Generic Failure Data Base*. Berikut merupakan daftar keagal fungsi *indicator & safeguards* pada setiap node.

Tabel 6.24 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi *Indicator & Safeguards* Node 1

Node 1 Safeguards / Indicator Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
1	Temperature Gauge	23-TG-011	Catastrophic	2.82918E-08
2	Pressure Gauge	23-PG-012	Fail to operate	2.10E-10
3	Pressure Transmitter	23-PT-015	Catastrophic	1.34614E-08
4	Pressure Indicator	23-PI-015	Fail to operate	2.10E-10
5	Temperature Transmitter	23-TT-042A	Catastrophic	1.10658E-08
6	Temperature Indicator	23-TI-042A	Catastrophic	2.82918E-08
TOTAL				8.1531E-08

Tabel 6.25 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi *Indicator & Safeguards* Node 2

Node 2 Safeguards / Indicator Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
1	Temperature Gauge	23-TG-011	Fail to fuction on demand	2.54398E-10
2	Pressure Gauge	23-PG-012	Fail to operate	2.10E-10
3	Pressure Transmitter	23-PT-035	Sensor fail to operate	6.78081E-10
4	Pressure Indicator	23-PI-035	Fail to operate	2.10E-10
5	Temperature Transmitter	23-TT-042F	Spurious operation	2.54398E-10
6	Temperature Indicator	23-TI-042F	Fail to fuction on demand	2.54398E-10
TOTAL				1.86137E-09

Tabel 6.26 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi *Indicator & Safeguards* Node 3

Node 3 Safeguards / Indicator Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
1	Temprature Transmitter	27-TT-046	Spurious operation	2.54398E-10

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Node 3 Safeguards / Indicator Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
2	Temperature Indicator	27-TI-046	Fail to fuction on demand	2.54398E-10
3	Pressure Transmitter	27-PT-045	Fail to transmit data	1.04224E-08
4	Pressure Indicator	27-PI-045	Fail to operate	2.10E-10
5	Pressure Indicator Controller	27-PIC-046	Catastrophic	1.04155E-08
6	Pressure Transmitter	27-TT-046	Fail to transmit data	1.04224E-08
7	Pressure Indicator Actuator	27-PIA-032	Catastrophic	1.04155E-08
8	Pressure Transmitter	27-PT-032	Fail to transmit data	1.04224E-08
9	Pressure Gauge	27-PG-022	Fail to operate	2.10E-10
TOTAL				5.27726E-08

Tabel 6.27 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi *Indicator & Safeguards* Node 4

Node 4 Safeguards / Indicator Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
1	Temperature Transmitter	27-TT-010A	Spurious operation	2.54398E-10
2	Temperature Indicator	27-TIA-010A	Catastrophic	2.82918E-08
3	Temperature Transmitter	27-TT-010B	Spurious operation	2.54398E-10
4	Temperature Indicator	27-TIA-010B	Catastrophic	2.82918E-08
5	Temperature Transmitter	27-TT-010C	Spurious operation	2.54398E-10
6	Temperature Indicator	27-TIA-010C	Catastrophic	2.82918E-08
7	Pressure Transmitter	27-PT-011A	Fail to transmit data	1.04E-08
8	Pressure Indicator	27-PIA-011A	Fail to operate	2.10E-10
9	Pressure Transmitter	27-PT-011B	Fail to transmit data	1.04E-08
10	Pressure Indicator	27-PIA-011B	Fail to operate	2.10E-10

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Node 4 Safeguards / Indicator Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
11	Pressure Transmitter	27-PT-011C	Fail to transmit data	1.04E-08
12	Pressure Indicator	27-PIA-011C	Fail to operate	2.10E-10
13	Ultrasonic Meter	-	Erractic output	1.11E-09
14	Flow Element	27-FE-012A	Fail to fuction on demand	3.02312E-10
15	Flow Transmitter	27-FT-012A	Fail to fuction on demand	5.24768E-11
16	Pressure Indicator Transmitter	27-PIT-012A	Fail to transmit data	1.04E-08
17	Temperature Transmitter	27-TT-012A	Catastrophic	2.82918E-08
18	Ultrasonic Meter	-	Erractic output	1.11E-09
19	Flow Element	27-FE-012B	Fail to fuction on deman	3.02312E-10
20	Flow Transmitter	27-FT-012B	Fail to fuction on demand	5.24768E-11
21	Pressure Indicator Transmitter	27-PIT-012B	Fail to transmit data	1.04E-08
22	Temperature Transmitter	27-TT-012B	Catastrophic	2.82918E-08
TOTAL				1.98E-07

Tabel 6.28 Data Frekuensi Kegagalan Fungsi *Indicator & Safeguards* Node 5

Node 5 Indicator & Safeguard Failure Frequency				
No.	Equipment	Code	Failure Mode	Failure/year
1	Pressure Gauge	27-PG-017	Fail to operate	2.10E-10
2	Pressure Indicator Transmitter	27-PIT-019	Fail to transmit data	1.04224E-08
3	Pressure Indicator	27-PIA-019A	Fail to operate	2.10E-10
TOTAL				1.08424E-08

6.7 Analisa Diagram Pohon Kegagalan (FTA)

Diagram pohon kegagalan (FTA) dilakukan untuk melakukan identifikasi sebuah kegagalan pada suatu kejadian. FTA sendiri banyak digunakan pada studi yang berkaitan dengan analisa risiko dan keandalan pada suatu sistem. FTA memiliki orientasi pada fungsi atau banyak diketahui dengan istilah pendekatan “top down”. Analisa pada FTA berawal dari *system level* pada *top* dan diteruskan ke bawah (*basic event*). Analisa pada

FTA memiliki hasil utama *top event* berupa *gas release* pada setiap node. Dalam melakukan analisa FTA digunakan gerbang logika untuk membantu proses FTA.

6.7.1 Gerbang Logika AND

Analisa FTA yang menggunakan gerbang logika *AND* memiliki fungsi untuk menentukan *top event* pada FTA dengan ketentuan *input* pada *basic event* harus terjadi secara bersamaan. Persamaan matematis pada gerban logika *AND* adalah sebagai berikut.

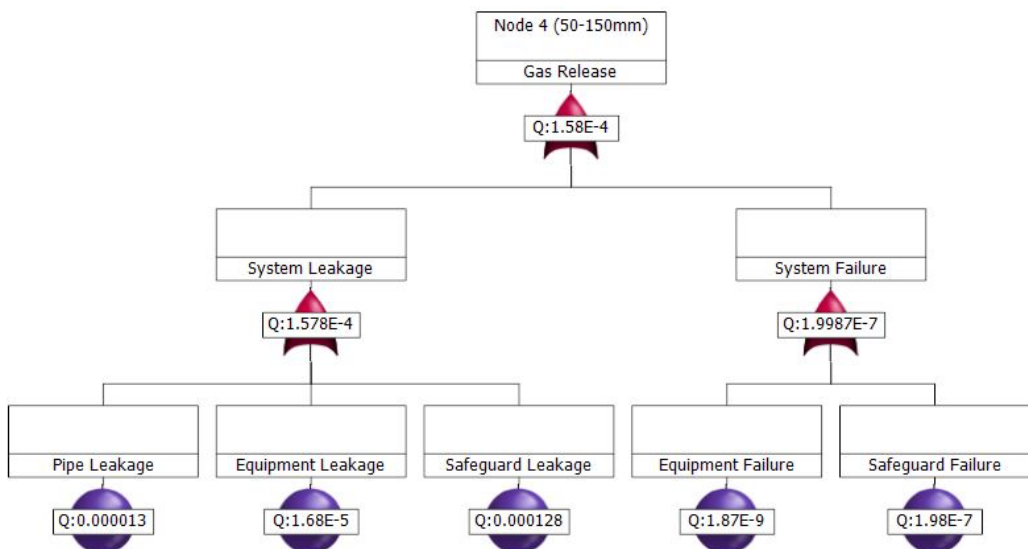
$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B)$$

6.7.1 Gerbang Logika OR

Analisa FTA yang menggunakan gerbang logika *OR* memiliki fungsi untuk menentukan *top event* pada FTA dengan ketentuan jika salah satu *input* pada *basic event* terjadi sebuah kegagalan. Persamaan matematis pada gerbang logika *OR* adalah sebagai berikut.

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

Pemodelan analisa FTA pada tugas akhir ini akan menggunakan *Relax Evaluation Software*. Analisa menggunakan FTA dilakukan dengan melakukan input frekuensi kegagalan dari data kegagalan berupa kebocoran peralatan sistem dan kegagalan fungsi peralatan sistem pada setiap node. Selanjutnya dilakukan pemodelan sesuai dengan notasi yang disediakan. Skenario yang digunakan untuk *gas release* adalah tiga skenario dengan macam-macam *bore scenario*. Analisa FTA dapat dilihat pada gambar 6.1 yang merupakan contoh pemodelan FTA node 4 menggunakan skenario 2.



Gambar 6.1 Analisa FTA node 4 skenario 50-150mm

Analisa FTA pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan tiga macam skenario dengan *bore scenario* yang berbeda. Tabel 6.29 merupakan hasil rekapitulasi dari analisa FTA pada setiap node.

Tabel 6.29 Rekapitulasi Analisa FTA

Node	Bore Scenario		
	10-50 mm	50-150 mm	>150mm
1	9.48E-04	2.24E-04	3.37E-05
2	9.39E-04	2.22E-04	3.33E-05
3	8.59E-04	2.02E-04	3.03E-05
4	6.83E-04	1.58E-04	2.29E-05
5	5.32E-04	1.26E-04	1.89E-05

6.8 Analisa Diagram Pohon Kejadian (ETA)

Event Tree Analysis (ETA) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengetahui peluang suatu kejadian pada suatu sistem. Penggunaan ETA pada tugas akhir untuk menghitung pemodelan dari kejadian yang menyebabkan kebakaran dan ledakan. Kebakaran dan ledakan sendiri dimulai dengan *ignition* (penyalaan) atau pada tugas akhir ini skema pemodelan ETA dimulai dengan kejadian *gas release* yang merupakan hasil akhir dari analisa FTA. Skenario yang digunakan sebagai konsekuensi akhir pada kebakaran dan ledakan pada tugas akhir ini adalah *flash fire, jet fire and gas dispersion*.

Untuk mengetahui frekuensi terjadinya penyalaan penyebab kebakaran dan ledakan digunakan data sekunder dari *Chemical Process Quantitative Risk Analysis 2nd Edition*. Adapun berdasarkan jenis bahaya yang sudah ditentukan maka dapat ditentukan frekuensinya berdasarkan data sekunder.

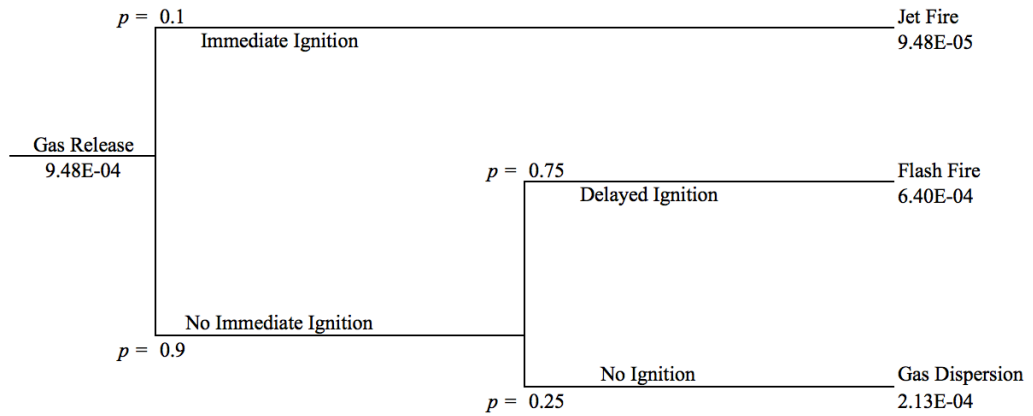
Tabel 6.30 Probabilitas Bahaya ETA

HAZARD FIRE PROBABILITY				
No.	Hazard	Ignition	Probability	Description
1	Jet Fire	Immediate Ignition	0.1	Api yang dihasilkan dari penyalaan gas yang mudah terbakar dari kebocoran peralatan proses
2	Flash Fire	Delayed Ignition	0.75	Api yang menyebar dengan cepat tanpa menghasilkan tekanan yang merusak.
3	Gas Release	No Ignition	0.25	Kebocoran gas yang tersebar dan tumpah pada sistem proses

(Sumber: (Center for Chemical Process Safety, 2001)

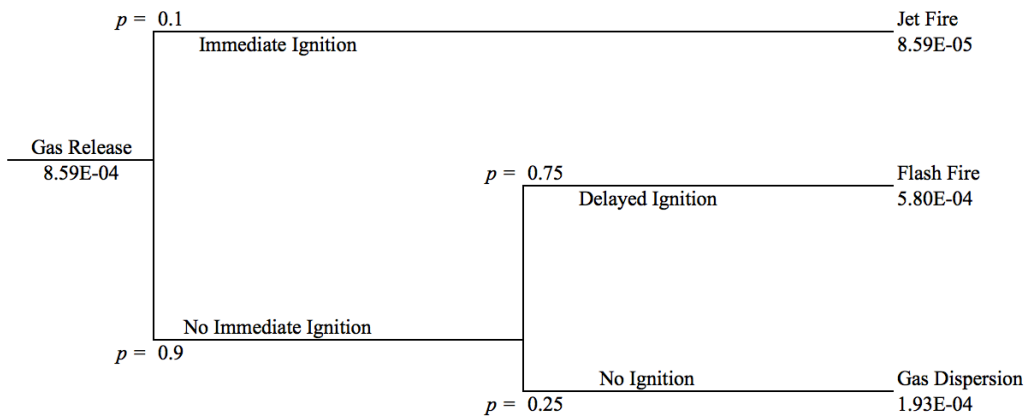
Analisa ETA dilakukan dengan menggunakan tiga skenario *hole diameter* kebocoran. Salah satu contoh analisa ETA dapat dilihat pada gambar 6.2 & gambar 6.3 di halaman selanjutnya

Node 1 Skenario 10-50mm



Gambar 6.2 Analisa ETA node 1 skenario 10-50mm

Node 3 Skenario 10-50mm



Gambar 6.3 Analisa ETA node 3 skenario 10-50mm

Berdasarkan hasil analisa ETA yang sudah dilakukan pada setiap node dengan tiga jenis bahaya dan tiga skenario maka dapat dilakukan rekapitulasi analisa pada tabel berikut.

Tabel 6.31 Rekapitulasi Analisa ETA

Node	FREQUENCY OF EVENT / HOLE DIAMETER								
	Jet Fire			Flash Fire			Gas Dispersion		
	10-50mm	50-150mm	>150mm	10-50mm	50-150mm	>150mm	10-50mm	50-150mm	>150mm
1	9.48E-05	2.24E-05	3.37E-06	6.40E-04	1.51E-04	2.28E-05	2.13E-04	5.04E-05	7.59E-06
2	9.39E-05	2.22E-05	3.33E-06	6.34E-04	1.50E-04	2.25E-05	2.11E-04	4.99E-05	7.50E-06
3	8.59E-05	2.02E-05	3.03E-06	5.80E-04	1.36E-04	2.05E-05	1.93E-04	4.55E-05	6.83E-06
4	6.83E-05	1.58E-05	2.29E-06	4.61E-04	1.07E-04	1.54E-05	1.54E-04	3.55E-05	5.15E-06
5	5.32E-05	1.26E-05	1.89E-06	3.59E-04	8.53E-05	1.28E-05	1.20E-04	2.84E-05	4.25E-06

BAB VII ANALISA KONSEKUENSI

7.1 Penjelasan Umum

Penilaian risiko merupakan hasil gabungan antara analisa frekuensi dan analisa konsekuensi. Oleh sebab itu langkah selanjutnya dalam penilaian risiko adalah melakukan analisa konsekuensi. Analisa konsekuensi pada tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui besarnya konsekuensi yang dihasilkan berupa kebakaran dan ledakan. Dalam melakukan analisa konsekuensi, digunakan sebuah *software fire modelling* yaitu *Shell Fire, Release, Explosion, Dispersion Hazard consequence modelling software* atau yang dikenal dengan Shell FRED. Kejadian yang akan dianalisa menggunakan analisa konsekuensi adalah kejadian akhir pada hasil analisa frekuensi ETA yaitu *jet fire, flash fire* dan *gas dispersion*.

7.2 Analisa Konsekuensi

Permodelan kebakaran yang dilakukan (*jet fire, flash fire* dan *gas dispersion*) dilakukan pada objek tugas akhir yaitu FSRU. Dimana FSRU umumnya beroperasi penuh selama 24 jam. Sehingga skenario yang digunakan dalam analisa adalah waktu operasi pada *day time* dan *night time*. Kondisi cuaca disesuaikan dengan lokasi operasional dari FSRU sendiri sedangkan untuk arah angin menggunakan skenario *wind rose* lokasi operasional FSRU.

Tujuan dilakukan permodelan kebakaran pada FSRU adalah untuk mengetahui besarnya dampak yang diakibatkan oleh kebarakan terhadap lingkungan sekitar FSRU, lebih spesifik pada tugas akhir ini adalah dampak kerugian terhadap manusia atau awak buah kapal pada FSRU. Pada permodelan kebakaran atau analisa konsekuensi tugas akhir ini penting untuk diketahui besarnya nilai fluks panas yang tersebar, adapun ketentuan nilai fluks sebagai berikut.

Tabel 7.1 Nilai Fluks Panas

Heat flux value [kW/m ²]	Effect
1.6	Will cause no discomfort for long exposure
4	Sufficient to cause pain to personnel if unable to reach cover within 20 seconds
4.7	Accepted value to represent injury
10	Pain threshold after 8 second; second degree burns after 25 second
12.5	Minimum energy required for piloted ignition of wood, melting plastic

(Sumber : *Disaster Management Institute, Bhopal, 2019*)

Nilai fluks panas pada tabel 7.1 digunakan untuk mengetahui besarnya radiasi panas yang terjadi saat melakukan analisa konsekuensi menggunakan *fire modelling software*. Nilai fluks panas lebih besar sama dengan (\geq) 10kW/m² dapat menyebabkan kematian terhadap manusia.

Pada kejadian *gas dispersion*, bahaya yang ditimbulkan untuk manusia berasal dari jumlah konsentrasi gas *part per million* (ppm). Secara umum kejadian *gas dispersion* dari LNG tidak memiliki dampak kematian terhadap manusia akan tetapi pada kadar tertentu dapat memiliki dampak yang tidak baik untuk fungsi pernafasan manusia. Berikut merupakan dampak jumlah ppm terhadap manusia.

Tabel 7.2 Dampak ppm gas terhadap manusia

Kadar (%)	ppm	Dampak Terhadap Manusia
<5	50000	Tidak beracun
14	140000	Gas Methane memiliki kemampuan mengurangi kadar oksigen di atmosfer
30	300000	Depresi system saraf pusat

(Sumber : Yoanda,2018)

Pada penjelasan awal dijelaskan bahwa dampak utama dari kejadian kebakaran adalah manusia disekitarnya. Oleh sebab itu perlu diketahui jumlah *crew* yang bekerja pada FSRU pada setiap lokasi kerja terutama pada sistem yang dianalisa untuk mengetahui dampak dari setiap kejadian bahaya yang terjadi sesuai dengan analisa konsekuensi. Pada tabel 7.3 merupakan jumlah *crew* yang bekerja pada FSRU.

Tabel 7.3 Receiver Crew FSRU

Node	Receiver	Jumlah Crew
1,2,3	Loading Arms & Crossover	3
4,5	Gas Export & Metering	2
-	Regasification System	2
	Engine Room Area	6
	Cargo Control Room	2
TOTAL		15

7.3 Jet Fire

Jet Fire merupakan salah satu konsekuensi yang dihasilkan pada sistem yang dianalisa. Dalam melakukan analisa konsekuensi menggunakan *fire modelling software* dibutuhkan input data kejadian sehingga hasil analisa konsekuensi yang dihasilkan lebih akurat. Skenario pada analisa konsekuensi Adapun contoh input data pada skenario *jet fire* dapat dilihat pada tabel 7.4.

Tabel 7.4 Input Data Jet Fire

Process Conditions		
Temperature	-162	°Celcius
Pressure	3	Bar
Hole & Release Geometry		
Hole Diameter	0.5	Metre
Pipe Length	30	Metre
Pipe Diameter	0.4	Metre
Release Height	25	Metre

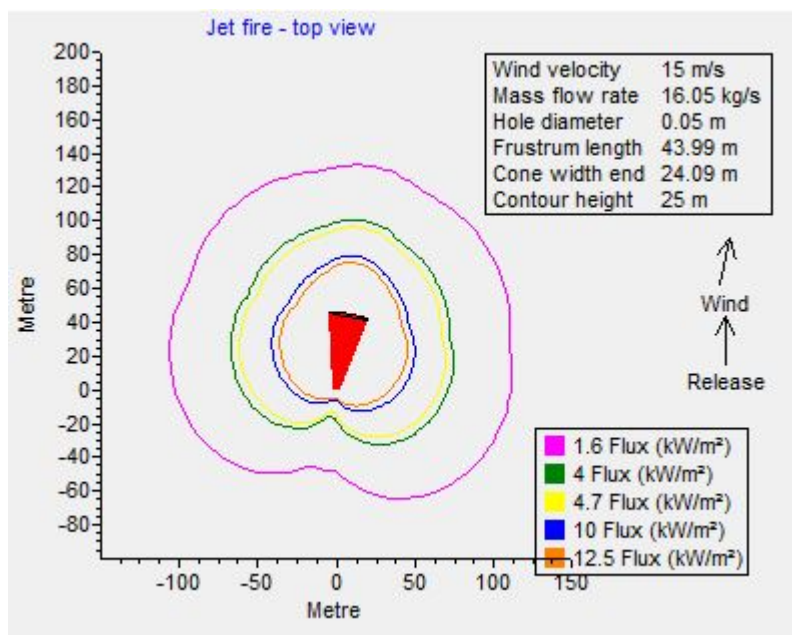
(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

Weather		
Weather	27	Celcius
Wind speed	15	Metre/second
Wind direction	11.25	Degrees
Relative humidity	77	%
Time of Day	Day Time	
Cloud conditions	Cloudy	

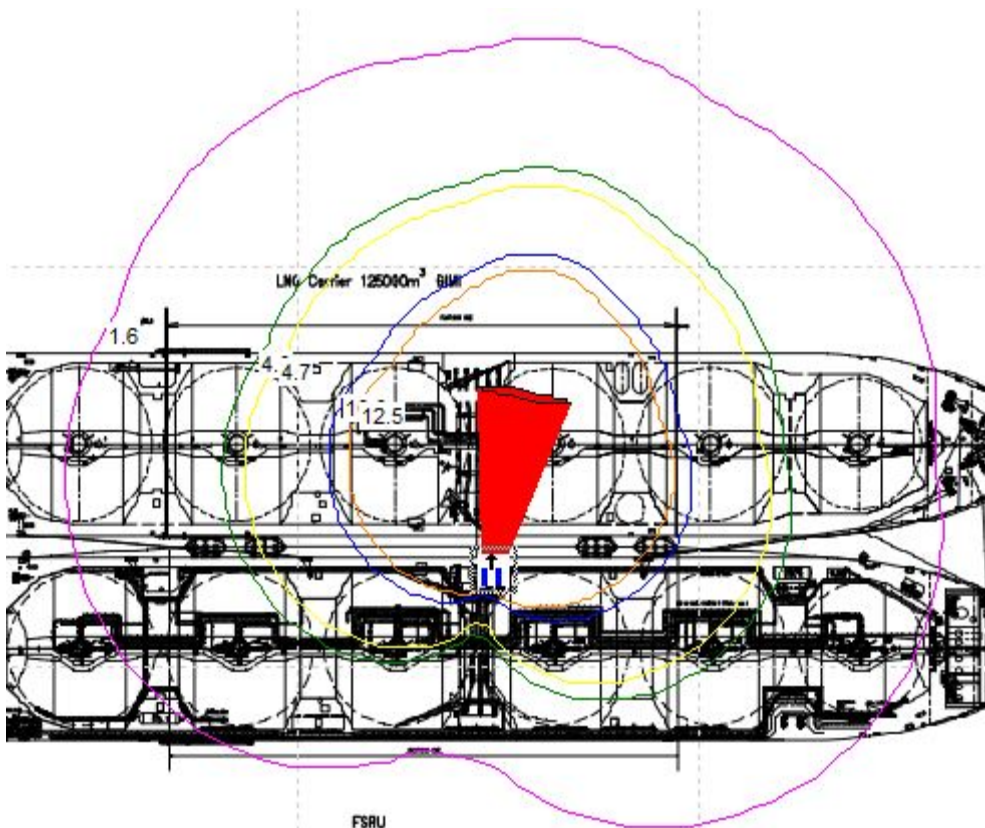
(Sumber : Fire Modelling Software)

Berdasarkan hasil input data dari tabel 7.4, kejadian *jetfire* terjadi pada node 1 kebocoran 50mm dengan skenario *day time* kondisi berawan dengan kecepatan angin 15 m/s menggunakan kondisi cuaca dengan suhu 27°C dengan arah angin 11.25° maka *fire modelling software* akan menampilkan hasil sebaran *jetfire* pada FSRU pada gambar 7.1 dengan nilai flux yang ada.



Gambar 7.1 Analisa Konsekuensi *Jet Fire* node 1 skenario 10-50mm

Gambar 7.1 merupakan hasil analisa konsekuensi menggunakan *fire modelling software* dengan tampilan *topview*. Area 10kW/m² dan 12.5kW/m² merupakan area yang dapat menyebabkan kematian manusia. Dengan demikian jika hasil analisa konsekuensi disambungkan dengan gambar pada lokasi kejadian pada FSRU, maka akan menghasilkan sebaran api tampilan *topview* pada node 1 dengan kebocoran 50mm dengan skenario *day time* kondisi berawan dengan kecepatan angin 15 m/s menggunakan kondisi cuaca dengan suhu 27°C dengan arah angin 11.25° yang dapat dilihat pada gambar 7.2 pada halaman selanjutnya.



Gambar 7.2 Jet Fire node 1 skenario 10-50mm Top View

Pada tabel 7.5 merupakan hasil rekapitulasi analisa konsekuensi *jetfire* pada setiap node dan skenario kebocoran yang sudah ditentukan dengan menggunakan kondisi *day time* dan *night time* menggunakan *fire modelling software* terhadap *societal risk* pada FSRU.

Tabel 7.5 Analisa Frekuensi Jet Fire

JET FIRE CONSEQUENCE				
Node	Bore Scenario	Jet Fire Frequency	Societal Consequence	
			Day Time	Night Time
Node 1	10-50mm	8.69E-05	6	6
	50-150mm	7.95E-04	8	8
	>150mm	3.34E-06	10	10
Node 2	10-50mm	8.60E-05	6	6
	50-150mm	7.94E-04	8	8
	>150mm	3.30E-06	10	10

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

JET FIRE CONSEQUENCE				
Node	Bore Scenario	Jet Fire Frequency	Societal Consequence	
			Day Time	Night Time
Node 3	10-50mm	8.59E-05	6	6
	50-150mm	7.92E-04	6	6
	>150mm	3.00E-06	6	6
Node 4	10-50mm	6.83E-05	2	2
	50-150mm	1.58E-05	6	6
	>150mm	2.29E-06	6	6
Node 5	10-50mm	5.32E-05	2	2
	50-150mm	1.26E-05	4	4
	>150mm	1.89E-06	4	4

7.4 Flash Fire

Flash Fire merupakan salah satu konsekuensi yang dihasilkan pada sistem yang dianalisa. Dalam melakukan analisa konsekuensi menggunakan *fire modelling software* dibutuhkan input data kejadian sehingga hasil analisa konsekuensi yang dihasilkan lebih akurat. Skenario pada analisa konsekuensi Adapun input data pada skenario *flash fire* dapat dilihat pada tabel 7.6 .

Tabel 7.6 Input Data Jet Fire

Basic Properties		
Scenario	Jet Fire Node 1 50mm	
Description	Node 1 Skenario 10-50mm	
Fluid	Natural Gas	
Pool Diameter	5.697878135	metre
Pool Depth	0.4	metre
Surface Elevation	25	metre
Weather		
Temperature	27	Celcius
Wind speed	15	m/s
Relative humidity	77	%
Wind Direction	11.25	degress
Time of Day	Day Time	
Cloud Conditions	Cloudy	

(Sumber : *Fire Modelling Software*)

Pada input data *flash fire* pada bagian *pool diameter* harus ditentukan dengan menggunakan perhitungan. Adapun perhitungan yang dilakukan adalah mencari jumlah *gas release* dilanjutkan dengan mencari *pool diameter*. Adapun rumus yang digunakan untuk mencari *gas release rate* dapat dilihat pada halaman selanjutnya.

Hal yang harus dilakukan adalah mencari jumlah *gas release rate* dengan menggunakan standar DNV. Jumlah *gas release* akan menuntun menuju besarnya diameter pada kejadian kebakaran *flash fire*.

$$Qg = 1,4 \times 10^{-4} \times d^2 \sqrt{\rho_g P_g}$$

Dimana :

- Q_g : initial gas release rate (kg/s)
- ρ_g : initial density of gas (kg/m³)
- P_g : initial pressure of gas (N/m²)
- d : diameter of the hole (mm)

Dengan demikian dapat dilakukan perhitungan pada setiap node dengan skenario kebocoran masing-masing. Adapun setiap node memiliki ketentuan yang berbeda. Untuk node 1 & 2 menggunakan densitas LNG sebesar 431,22 kg/m³ dengan *pressure* 3 bar. Untuk node 3 menggunakan densitas *natural gas* sebesar 0,816 kg/m³ dengan *pressure* 1,17 bar. Sedangkan pada node 4&5 menggunakan densitas *natural gas* sebesar 44,701 kg/m³ dengan *pressure* 57 bar. Sehingga menghasilkan perhitungan *initial gas release rate* yang dapat dilihat pada tabel 7.7 .

Tabel 7.7 Initial Gas Release

Initial Gas Release			
Node	Leak Bore		
	10-50mm	50-150mm	>150mm
1	12.58861986	113.2975787	201.4179178
2	12.58861986	113.2975787	201.4179178
3	0.34198421	3.077857891	5.471747363
4	17.66705217	159.0034696	282.6728348
5	17.66705217	159.0034696	282.6728348

Setelah melakukan perhitungan pada *initial gas release* dilakukan perhitungan diameter dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{11b}}$$

Dimana :

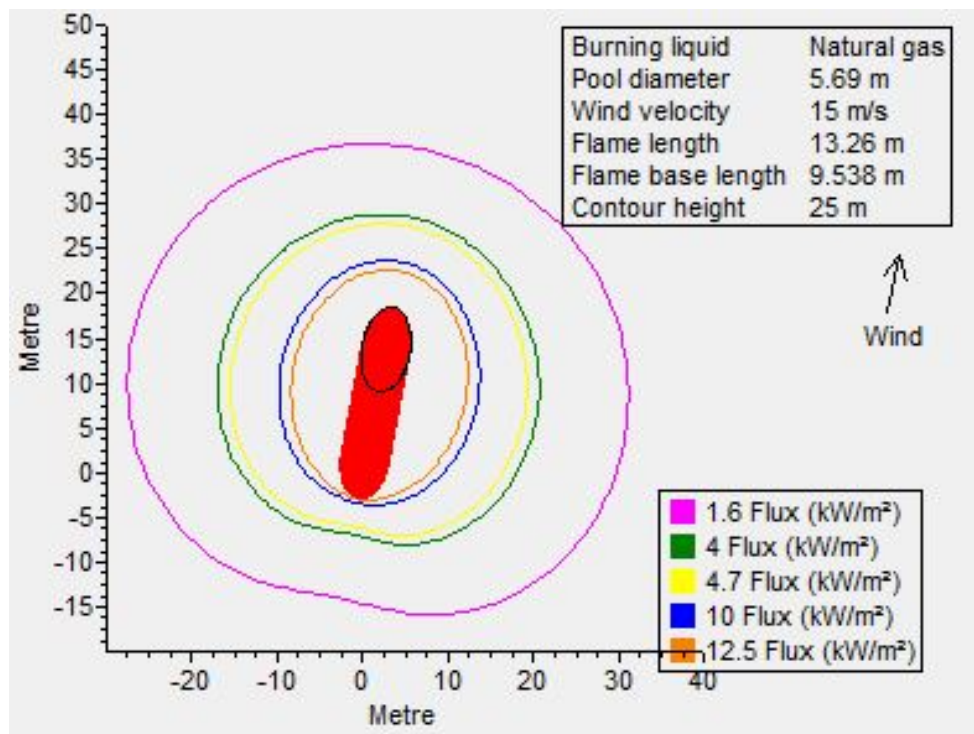
- D : Diameter (m)
- Q : initial gas release (kg/s)
- b : burn rate (kg/m² s) ; 0.141 for LNG

Dengan menggunakan rumus diameter pada halaman sebelumnya maka dapat dilakukan perhitungan sehingga mendapatkan hasil pada setiap node dengan ketentuan *leak bore* yang ada. Hasil perhitungan diameter dapat dilihat pada tabel 7.8 .

Tabel 7.8 Hasil Perhitungan Diameter

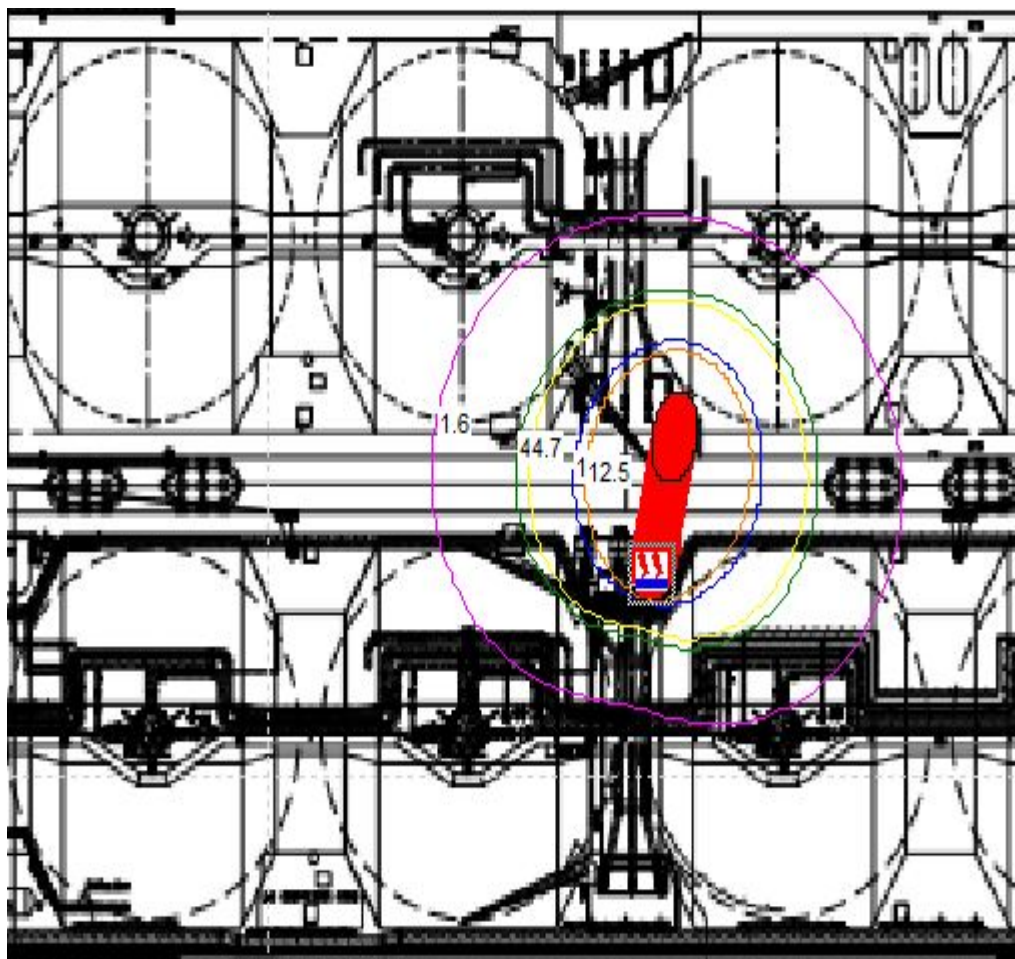
Node	Diameter		
	Leak Bore		
	10-50mm	50-150mm	>150mm
1	5.697878135	17.09363441	22.79151254
2	5.697878135	17.09363441	22.79151254
3	0.939133049	2.817399147	3.756532196
4	6.750036831	20.25011049	27.00014733
5	6.750036831	20.25011049	27.00014733

Selanjutnya, berdasarkan hasil input data dari tabel 7.6, kejadian *flash fire* yang terjadi pada node 1 kebocoran 50mm dengan skenario *day time* kondisi berawan dengan kecepatan angin 15 m/s menggunakan kondisi cuaca dengan suhu 27°C dengan arah angin 11.25° maka *fire modelling software* akan menampilkan hasil sebaran *flash fire* pada FSRU pada gambar 7.3 dengan nilai flux yang ada.



Gambar 7.3 Analisa Konsekuensi *Flash Fire* node 1 skenario 10-50mm

Gambar 7.3 merupakan hasil analisa konsekuensi *flash fire* menggunakan *fire modelling software* dengan tampilan *topview*. Area 10kW/m^2 dan 12.5kW/m^2 merupakan area yang dapat menyebabkan kematian manusia. Dengan demikian jika hasil analisa konsekuensi *flash fire* disambungkan dengan gambar pada lokasi kejadian pada FSRU, maka akan menghasilkan sebaran api tampilan *topview* pada node 1 dengan kebocoran 50mm dengan skenario *day time* kondisi berawan dengan kecepatan angin 15 m/s menggunakan kondisi cuaca dengan suhu 27°C dengan arah angin 11.25° yang dapat dilihat pada gambar 7.4.



Gambar 7.4 *Flash Fire* node 1 skenario 10-50mm *Top View*

Pada tabel 7.9 dihalaman selanjutnya, merupakan hasil rekapitulasi analisa konsekuensi *jetfire* pada setiap node dan skenario kebocoran yang sudah ditentukan dengan menggunakan kondisi *day time* dan *night time* menggunakan *fire modelling software* terhadap *societal risk* pada FSRU.

Tabel 7.9 Analisa Konsekuensi *Flash Fire*

FLASH FIRE CONSEQUENCE				
Node	Bore Scenario	Jet Fire Frequency	Societal Consequence	
			Day Time	Night Time
Node 1	10-50mm	5.86E-04	6	6
	50-150mm	5.36E-03	6	6
	>150mm	2.26E-05	6	6
Node 2	10-50mm	5.80E-04	6	6
	50-150mm	5.36E-03	6	6
	>150mm	3.30E-06	6	6
Node 3	10-50mm	5.80E-04	1	1
	50-150mm	5.35E-03	3	3
	>150mm	2.03E-05	6	6
Node 4	10-50mm	4.61E-04	2	2
	50-150mm	1.07E-04	6	6
	>150mm	1.54E-05	6	6
Node 5	10-50mm	3.59E-04	2	2
	50-150mm	8.53E-05	6	6
	>150mm	1.28E-05	6	6

7.5 Gas Dispersion

Gas Dispersion merupakan salah satu konsekuensi yang dihasilkan pada sistem yang dianalisa. Dalam melakukan analisa konsekuensi menggunakan *fire modelling software* dibutuhkan input data kejadian sehingga hasil analisa konsekuensi yang dihasilkan lebih akurat. Dalam melakukan input data pada *fire software* modelling ada variabel yang harus diperhatikan adapun variabel tersebut dapat dilihat pada tabel 7.10

Tabel 7.10 Variabel *Gas Dispersion*

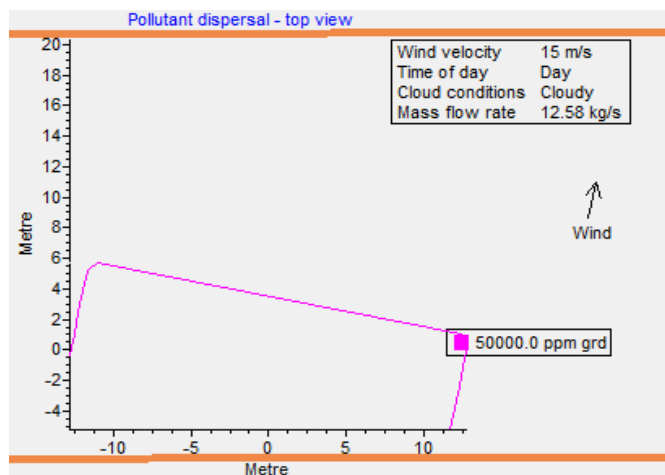
Node	Specific Heat (J/mol ^o C)	Molecular Weight (kg/mol)
1 & 2	16.99	55.76
3	18.23	37.41
4 & 5	18.23	45.82

Specific heat dan *molecular weight* pada tabel 7.10 dipengaruhi oleh jenis gas, suhu gas dan tekanan. Untuk input data *downwind length* dapat dilihat pada tabel 7.8 dan untuk input data *emission flux* dapat dilihat pada tabel 7.7. Pada tugas akhir ini kadar ppm yang dianalisa adalah 50000 ppm. Sebagai contoh, input data pada skenario *gas dispersion* node 1 skenario 10-50mm dapat dilihat pada tabel 7.11. pada halaman selanjutnya.

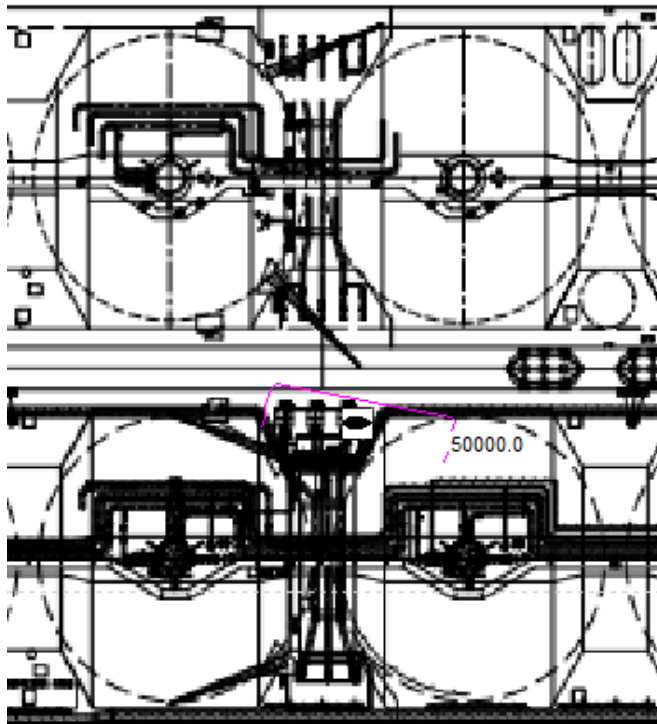
Tabel 7.11 Input Data *Gas Dispersion*

Basic Properties		
Scenario	Gas Dispersion node 1 (10mm)	
Description	Gas Dispersion node 1 (10mm) Day Time	
Source		
Downwind length	5.69	m
Crosswind with	25	m
Emission flux	12.58	kg/s
Temperature	-162	°Celcius
Specific Heat	16.99	J/mol/°C
Molecular weight	55	kg/mol
Weather		
Temperature	27	°Celcius
Windspeed	15	m/s
Wind direction	11.25	Degrees
Relative Humidity	77	%
Time of day	Day Time	
Cloud conditions	Cloudy	
Dispersion		
Contour to plot	50000	ppm

Berdasarkan hasil input data dari tabel 7.11, kejadian *gas dispersion* terjadi pada node 1 kebocoran 10-50mm dengan skenario *day time* kondisi berawan dengan kecepatan angin 15 m/s menggunakan kondisi cuaca dengan suhu 27°C dengan arah angin 11.25° maka *fire modelling software* akan menampilkan hasil sebaran *gas dispersion* pada FSRU pada gambar 7.5.

Gambar 7.5 Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* node 1 skenario 10-50mm

Gambar 7.5 merupakan hasil analisa konsekuensi *gas dispersion* menggunakan *fire modelling software* dengan tampilan *topview*. Area 90000 ppm merupakan area yang dapat menyebabkan gangguan pernafasan pada manusia. Dengan demikian jika hasil analisa konsekuensi *gas dispersion* disambungkan dengan gambar pada lokasi kejadian pada FSRU, maka akan menghasilkan sebaran fluida tampilan *topview* pada node 1 dengan kebocoran 50mm dengan skenario *day time* kondisi berawan dengan kecepatan angin 15 m/s menggunakan kondisi cuaca dengan suhu 27°C dengan arah angin 11.25° yang dapat dilihat pada gambar 7.6 .



Gambar 7.6 Gas Dispersion node 1 skenario 10-50mm Top View

Pada tabel 7.12, merupakan hasil rekapitulasi analisa konsekuensi *gas dispersion* pada setiap node dan skenario kebocoran yang sudah ditentukan dengan menggunakan kondisi *day time* dan *night time* menggunakan *fire modelling software* terhadap *societal risk* pada FSRU.

Tabel 7.12 Analisa Konsekuensi Gas Dispersion

GAS DISPERSION CONSEQUENCE				
Node	Bore Scenario	Jet Fire Frequency	Societal Consequence	
			Day Time	Night Time
Node 1	10-50mm	1.95E-04	3	3
	50-150mm	1.79E-03	6	6
	>150mm	7.52E-06	6	6

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

GAS DISPERSION CONSEQUENCE				
Node	Bore Scenario	Jet Fire Frequency	Societal Consequence	
			Day Time	Night Time
Node 2	10-50mm	1.93E-04	3	3
	50-150mm	1.79E-03	6	6
	>150mm	7.44E-06	6	6
Node 3	10-50mm	1.93E-04	3	3
	50-150mm	1.78E-03	6	6
	>150mm	6.76E-06	6	6
Node 4	10-50mm	1.54E-04	2	2
	50-150mm	3.55E-05	6	6
	>150mm	5.15E-06	6	6
Node 5	10-50mm	1.20E-04	2	2
	50-150mm	2.84E-05	4	4
	>150mm	4.25E-06	4	4

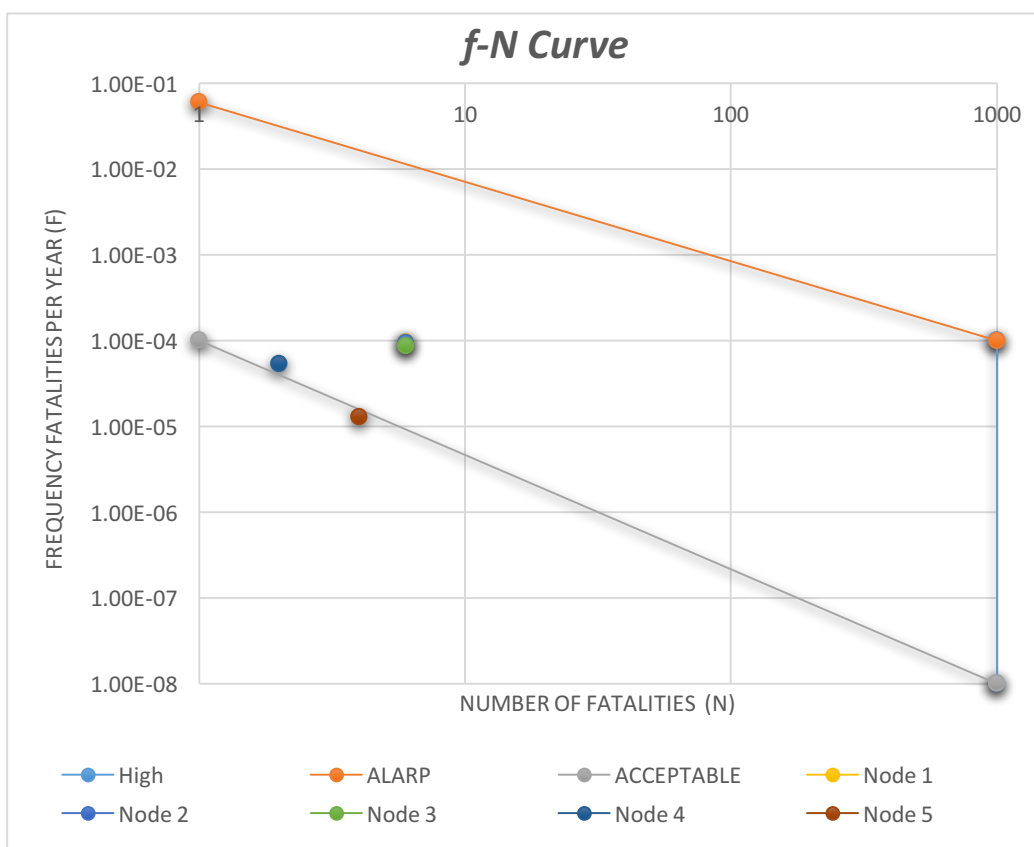
BAB VIII PEMETAAN RISIKO

8.1 Penjelasan Umum

Setelah dilakukan analisa frekuensi dan analisa konsekuensi pada suatu sistem, maka langkah yang dilakukan adalah melakukan pemetaan risiko. Pada tugas akhir ini pemetaan risiko yang dilakukan adalah menggunakan standar *f-N Curve UK Offshore*. Konsekuensi yang dihasilkan dari pemetaan risiko *f-N Curve* berupa konsekuensi nyawa manusia (societal risk). *f-N Curve* sendiri merupakan hasil dari hubungan antara frekuensi kejadian (f) dengan jumlah manusia (n) atau diketahui dengan *societal risk* yang merupakan dari dampak suatu kejadian.

8.2 Pemetaan Risiko Jet Fire

Kejadian *jet fire* merupakan salah satu kejadian bahaya yang ditimbulkan pada potensi ledakan dan kebakaran pada FSRU. Setelah melakukan analisa frekuensi dan analisa konsekuensi maka hasil setiap analisa dilanjutkan dengan pemetaan risiko menggunakan *f-N curve*. Pada gambar 8.1 merupakan salah satu pemetaan risiko *jet fire* dengan skenario *day time* dengan kebocoran 10-50mm pada setiap node.



Gambar 8.1 *f-N Curve jetfire – daytime* skenario 10-50mm

Berdasarkan gambar 8.1 pada halaman sebelumnya dapat dijelaskan bahwa setiap node kejadian *jet fire* dengan kebocoran 10-50mm pada kondisi ALARP, sehingga tidak perlu dilakukan mitigasi. Pada tabel 8.1 merupakan hasil rekapitulasi hasil pemetaan risiko pada skenario *daytime*.

Tabel 8.1 Pemetaan Risiko *Jet Fire* skenario *Day Time*

JET FIRE						
NODE	Leak Senario	Frequency	Fatalities	Heat Flux Value		
				Acceptable	ALARP	Unacceptable
1	10-50mm	9.48E-05	6	NO	YES	NO
	50-150mm	2.24E-05	8	NO	YES	NO
	>150mm	3.37E-06	10	YES	NO	NO
2	10-50mm	9.39E-05	6	NO	YES	NO
	50-150mm	2.22E-05	8	NO	YES	NO
	>150mm	3.33E-06	10	YES	NO	NO
3	10-50mm	8.59E-05	6	NO	YES	NO
	50-150mm	2.02E-05	6	NO	YES	NO
	>150mm	3.03E-06	6	YES	NO	NO
4	10-50mm	6.83E-05	2	NO	YES	NO
	50-150mm	1.58E-05	6	YES	YES	NO
	>150mm	2.29E-06	6	YES	NO	NO
5	10-50mm	5.32E-05	2	NO	YES	NO
	50-150mm	1.26E-05	4	YES	YES	NO
	>150mm	1.89E-06	4	YES	NO	NO

Selanjutnya pada tabel 8.2 merupakan hasil rekapitulasi pemetaan risiko *jet fire* dengan menggunakan skenario *night time*.

Tabel 8.2 Pemetaan Risiko *Jet Fire* skenario *Night Time*

JET FIRE						
NODE	Leak Senario	Frequency	Fatalities	Heat Flux Value		
				Acceptable	ALARP	Unacceptable
1	10-50mm	9.48E-05	6	NO	YES	NO
	50-150mm	2.24E-05	8	NO	YES	NO
	>150mm	3.37E-06	10	YES	NO	NO
2	10-50mm	9.39E-05	6	NO	YES	NO
	50-150mm	2.22E-05	8	NO	YES	NO
	>150mm	3.33E-06	10	YES	NO	NO
3	10-50mm	8.59E-05	6	NO	YES	NO
	50-150mm	2.02E-05	6	NO	YES	NO
	>150mm	3.03E-06	6	YES	NO	NO

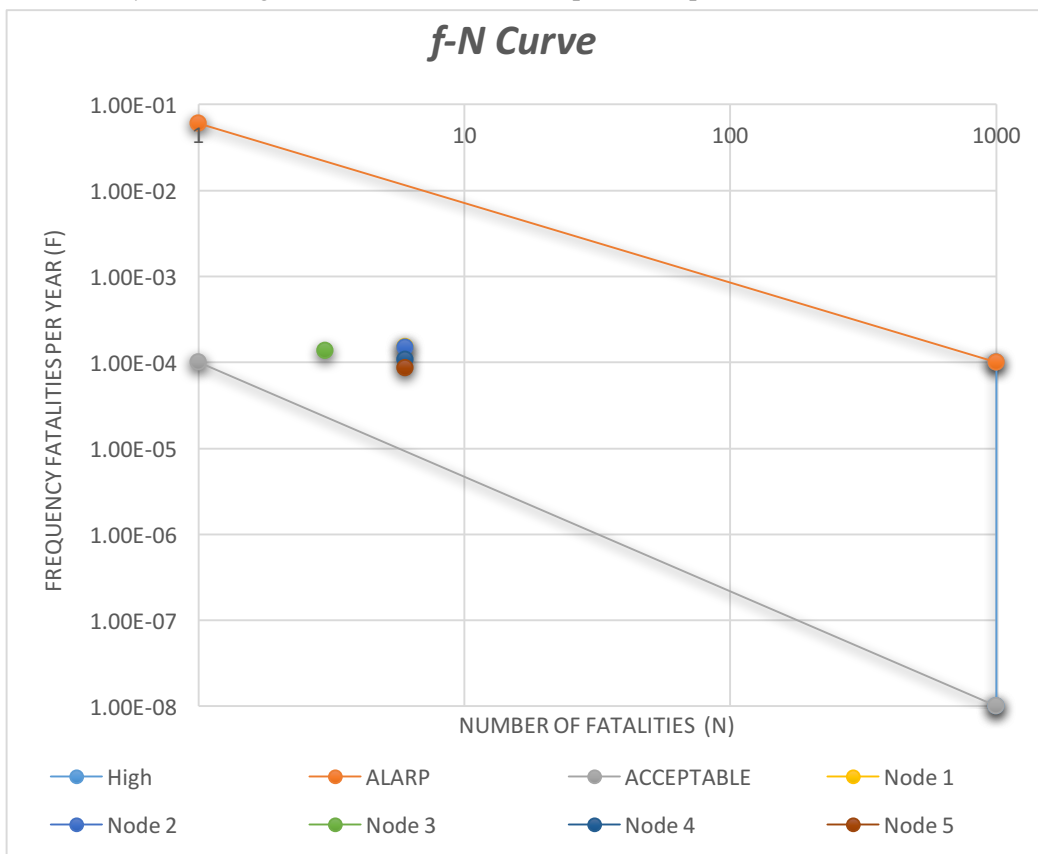
(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

JET FIRE						
NODE	Leak Senario	Frequency	Fatalities	Heat Flux Value		
				Acceptable	ALARP	Unacceptable
4	10-50mm	6.83E-05	2	NO	YES	NO
	50-150mm	1.58E-05	6	YES	YES	NO
	>150mm	2.29E-06	6	YES	NO	NO
5	10-50mm	5.32E-05	2	NO	YES	NO
	50-150mm	1.26E-05	4	YES	YES	NO
	>150mm	1.89E-06	4	YES	NO	NO

8.3 Pemetaan Risiko *Flash Fire*

Kejadian *flash fire* merupakan salah satu kejadian bahaya yang ditimbulkan pada potensi ledakan dan kebakaran pada FSRU. Setelah melakukan analisa frekuensi dan analisa konsekuensi maka hasil setiap analisa dilanjutkan dengan pemetaan risiko menggunakan *f-N curve*. Pada gambar 8.2 merupakan pemetaan risiko *flash fire* dengan skenario *day time* dengan kebocoran 50-150mm pada setiap node.



Gambar 8.2 *f-N Curve flash fire – daytime* skenario 50-150mm

Berdasarkan gambar 8.2 pada halaman sebelumnya dapat dijelaskan bahwa setiap node kejadian *flash fire* dengan kebocoran 50-150mm pada kondisi ALARP, sehingga tidak perlu dilakukan mitigasi. Pada tabel 8.3 merupakan hasil rekapitulasi hasil pemetaan risiko pada skenario *daytime*.

Tabel 8.3 Pemetaan Risiko *Flash Fire* skenario *Day Time*

FLASH FIRE						
NODE	Leak Senario	Frequency	Fatalities	Heat Flux Value		
				Acceptable	ALARP	Unacceptable
1	10-50mm	6.40E-04	6	NO	YES	NO
	50-150mm	1.51E-04	6	NO	YES	NO
	>150mm	2.28E-05	6	NO	YES	NO
2	10-50mm	6.34E-04	6	NO	YES	NO
	50-150mm	1.50E-04	6	NO	YES	NO
	>150mm	2.25E-05	6	NO	YES	NO
3	10-50mm	5.80E-04	1	NO	YES	NO
	50-150mm	1.36E-04	3	NO	YES	NO
	>150mm	2.05E-05	6	NO	YES	NO
4	10-50mm	4.61E-04	2	NO	YES	NO
	50-150mm	1.07E-04	6	NO	YES	NO
	>150mm	1.54E-05	6	NO	YES	NO
5	10-50mm	3.59E-04	2	NO	YES	NO
	50-150mm	8.53E-05	6	NO	YES	NO
	>150mm	1.28E-05	6	NO	YES	NO

Selanjutnya pada tabel 8.4 merupakan hasil rekapitulasi pemetaan risiko *flash fire* dengan menggunakan skenario *night time*.

Tabel 8.4 Pemetaan Risiko *Flash Fire* skenario *Night Time*

FLASH FIRE						
NODE	Leak Senario	Frequency	Fatalities	Heat Flux Value		
				Acceptable	ALARP	Unacceptable
1	10-50mm	6.40E-04	6	NO	YES	NO
	50-150mm	1.51E-04	6	NO	YES	NO
	>150mm	2.28E-05	6	NO	YES	NO
2	10-50mm	6.34E-04	6	NO	YES	NO
	50-150mm	1.50E-04	6	NO	YES	NO
	>150mm	2.25E-05	6	NO	YES	NO
3	10-50mm	5.80E-04	1	NO	YES	NO
	50-150mm	1.36E-04	3	NO	YES	NO
	>150mm	2.05E-05	6	NO	YES	NO

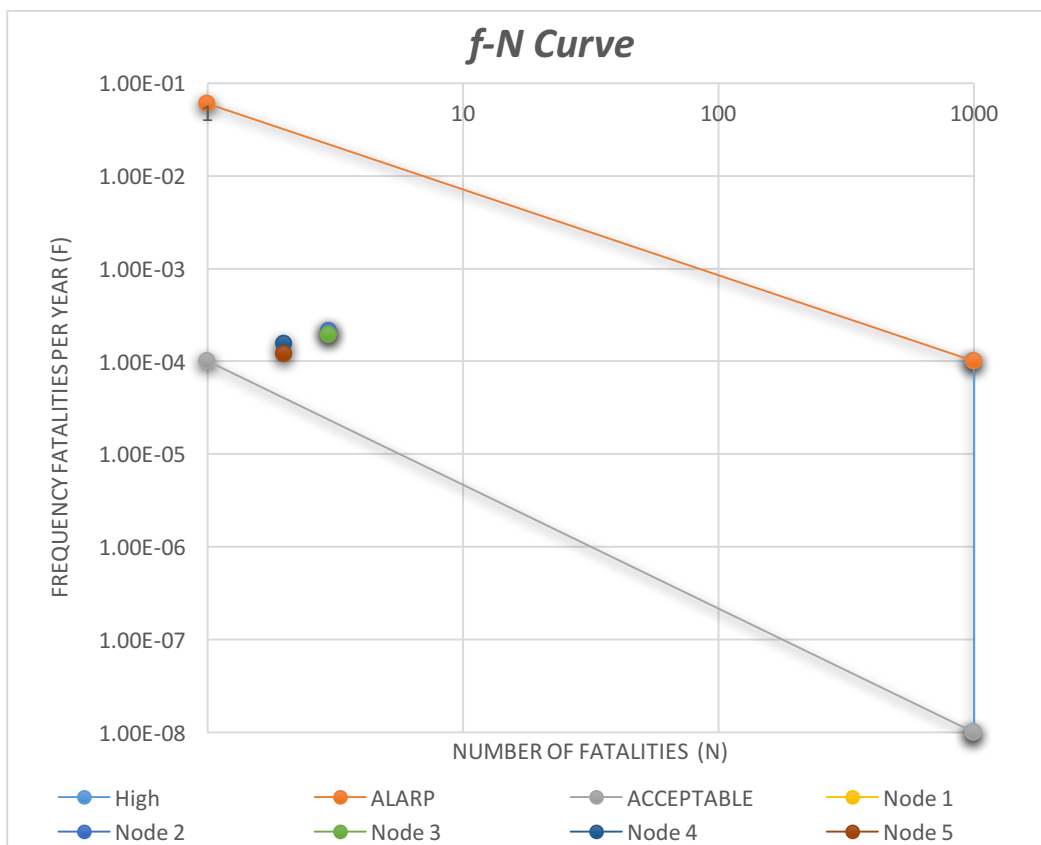
(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

FLASH FIRE						
NODE	Leak Senario	Frequency	Fatalities	Heat Flux Value		
				Acceptable	ALARP	Unacceptable
4	10-50mm	4.61E-04	2	NO	YES	NO
	50-150mm	1.07E-04	6	NO	YES	NO
	>150mm	1.54E-05	6	NO	YES	NO
5	10-50mm	3.59E-04	2	NO	YES	NO
	50-150mm	8.53E-05	6	NO	YES	NO
	>150mm	1.28E-05	6	NO	YES	NO

8.4 Pemetaan Risiko Gas Dispersion

Kejadian *gas dispersion* merupakan salah satu kejadian bahaya yang ditimbulkan pada potensi ledakan dan kebakaran pada FSRU. Setelah melakukan analisa frekuensi dan analisa konsekuensi maka hasil setiap analisa dilanjutkan dengan pemetaan risiko menggunakan *f-N curve*. Pada gambar 8.2 merupakan pemetaan risiko *gas dispersion* dengan skenario *day time* dengan kebocoran 10-50mm dengan kadar pada setiap node.



Gambar 8.3 *f-N Curve Gas dispersion – daytime skenario 50-150mm*

Berdasarkan gambar 8.3 pada halaman sebelumnya dapat dijelaskan bahwa setiap node kejadian *gas dispersion* dengan kebocoran 50-150mm pada kondisi ALARP, sehingga tidak perlu dilakukan mitigasi. Pada tabel 8.5 merupakan hasil rekapitulasi hasil pemetaan risiko *gas dispersion* pada skenario *daytime*.

Tabel 8.5 Pemetaan Risiko *Gas Dispersion* skenario *Day Time*

GAS DISPERSION						
NODE	Leak Senario	Frequency	Fatalities	Heat Flux Value		
				Acceptable	ALARP	Unacceptable
1	10-50mm	2.13E-04	3	NO	YES	NO
	50-150mm	5.04E-05	6	NO	YES	NO
	>150mm	7.59E-06	6	YES	NO	NO
2	10-50mm	2.11E-04	3	NO	YES	NO
	50-150mm	4.99E-05	6	NO	YES	NO
	>150mm	7.50E-06	6	YES	NO	NO
3	10-50mm	1.93E-04	3	NO	YES	NO
	50-150mm	4.55E-05	6	NO	YES	NO
	>150mm	6.83E-06	6	YES	NO	NO
4	10-50mm	1.54E-04	2	NO	YES	NO
	50-150mm	3.55E-05	6	NO	YES	NO
	>150mm	5.15E-06	6	YES	NO	NO
5	10-50mm	1.20E-04	2	NO	YES	NO
	50-150mm	2.84E-05	4	NO	YES	NO
	>150mm	4.25E-06	4	YES	NO	NO

Selanjutnya pada tabel 8.6 merupakan hasil rekapitulasi pemetaan risiko *gas dispersion* dengan menggunakan skenario *night time*.

Tabel 8.6 Pemetaan Risiko *Gas Dispersion* skenario *Day Time*

GAS DISPERSION						
NODE	Leak Senario	Frequency	Fatalities	Heat Flux Value		
				Acceptable	ALARP	Unacceptable
1	10-50mm	2.13E-04	3	NO	YES	NO
	50-150mm	5.04E-05	6	NO	YES	NO
	>150mm	7.59E-06	6	YES	NO	NO
2	10-50mm	2.11E-04	3	NO	YES	NO
	50-150mm	4.99E-05	6	NO	YES	NO
	>150mm	7.50E-06	6	YES	NO	NO
3	10-50mm	1.93E-04	3	NO	YES	NO
	50-150mm	4.55E-05	6	NO	YES	NO
	>150mm	6.83E-06	6	YES	NO	NO

(Tabel dilanjutkan pada halaman selanjutnya)

(Tabel lanjutan dari halaman sebelumnya)

GAS DISPERSION						
NODE	Leak Scenario	Frequency	Fatalities	Heat Flux Value		
				Acceptable	ALARP	Unacceptable
4	10-50mm	1.54E-04	2	NO	YES	NO
	50-150mm	3.55E-05	6	NO	YES	NO
	>150mm	5.15E-06	6	YES	NO	NO
5	10-50mm	1.20E-04	2	NO	YES	NO
	50-150mm	2.84E-05	4	NO	YES	NO
	>150mm	4.25E-06	4	YES	NO	NO

8.5 Mitigasi Risiko

Berdasarkan hasil pemetaan pada analisa konsekuensi yang menggunakan standar *f-N Curve* menunjukkan bahwa kondisi pemetaan risiko secara umum berada pada kondisi *acceptable* dan ALARP. Dengan demikian mitigasi risiko tidak harus dilakukan, sehingga pada tugas akhir tidak perlu dilakukan adanya mitigasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IX KESIMPULAN DAN SARAN

9.1 Kesimpulan

Berdasarkan penilaian risiko yang telah dilakukan pada potensi ledakan dan kebakaran pada *floating storage regasification unit* (FSRU) yang telah dilakukan maka dapat menghasilkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Identifikasi bahaya yang dilakukan pada sistem *loading arms & crossover* dan *gas export & metering* menggunakan metode *Hazard and Operability* (HAZOP) dibagi menjadi lima node sesuai dengan fungsi masing-masing. Deviasi yang paling sering terjadi adalah *NO FLOW & LESS FLOW*. Penyebab terjadinya deviasi tersebut adalah adanya kerusakan pada sistem seperti pipa, *valve* dan *safeguard*. Deviasi tersebut menyebabkan munculnya potensi kebakaran dan ledakan.
2. Analisa frekuensi yang dilakukan menggunakan metode *fault tree analysis* (FTA) dilakukan dengan tiga skenario kebocoran (10-50mm, 50-150mm dan >150mm). Frekuensi kebocoran yang memiliki nilai paling besar terjadi pada node 1 dengan diameter kebocoran 10-50mm dengan nilai 9.48×10^{-4} per tahun. Sedangkan frekuensi kebocoran yang memiliki nilai paling kecil terjadi pada node 5 dengan diameter kebocoran >150mm dengan nilai 1.89×10^{-5} per tahun.
3. Analisa frekuensi yang dilakukan dengan menggunakan metode *event tree analysis* (ETA) menghasilkan tiga kejadian bahaya yaitu *jet fire*, *flash fire* dan *gas dispersion*. Probabilitas terjadinya kejadian *jet fire* paling besar pada node 1 skenario 10-50mm dengan nilai 9.48×10^{-5} . Sedangkan probabilitas untuk kejadian *flash fire* paling besar terjadi pada node 1 skenario 10-50mm dengan nilai 6.40×10^{-5} . Untuk probabilitas untuk kejadian *gas dispersion* paling besar terjadi pada node 1 skenario 10-50mm dengan nilai 2.13×10^{-4} .
4. Analisa konsekuensi yang dilakukan dengan menggunakan *fire modelling software* dilakukan untuk mengetahui besaran setiap kejadian bahaya yang terjadi yang memiliki dampak kematian terhadap manusia. Kejadian *jet fire* yang memakan korban paling besar terjadi pada node 1 & 2 dengan skenario kebocoran >150mm yang memakan korban sebanyak 10 manusia. Untuk kejadian *flash fire* yang memakan korban paling besar terjadi pada node 1 & 2 dengan seluruh skenario kebocoran yang memakan korban sebanyak 6 manusia. Sedangkan untuk kejadian *gas dispersion* jumlah manusia yang terkena dampak sebesar 50000 ppm paling besar sebanyak 6 manusia.
5. Pemetaan Risiko menggunakan standar *f-N Curve UK Offshore* menunjukkan bahwa kejadian *jet fire* berada pada kondisi *acceptable* dan ALARP sedangkan kejadian *flash fire* menunjukkan pada kondisi ALARP dan untuk kondisi *gas dispersion* berada di kondisi *acceptable* dan ALARP.
6. Mitigasi pada tugas akhir ini tidak dibutuhkan disebabkan hasil pemetaan risiko menunjukkan kondisi *acceptable* dan ALARP. Dimana kondisi *acceptable* memiliki pengertian bahwa apabila risiko terjadi maka kejadian tersebut dapat diterima. Sedangkan untuk kondisi ALARP memiliki pengertian pengurangan risiko ke tingkat yang serendah mungkin secara praktis.

9.2 Saran

Penilaian risiko yang telah dilakukan pada potensi ledakan dan kebakaran pada *floating storage regasification unit* (FSRU) menghasilkan saran sebagai berikut.

1. Sistem yang dianalisa pada FSRU dapat dilakukan dimulai dari proses *loading* sampai dengan *unloading*, sehingga sistem keseluruhan yang ada pada FSRU dapat dilakukan penilaian risiko.
2. Identifikasi bahaya menggunakan metode *Hazard and Operability* (HAZOP) seharusnya dilakukan oleh *expert* yang sudah tersertifikasi atau setidaknya saat melakukan identifikasi bahaya harus dilakukan diskusi secara mendalam dengan pihak operator dari FSRU.
3. Metode analisa frekuensi yang sudah dilakukan dapat dikembangkan menggunakan faktor manusia.
4. Analisa konsekuensi menggunakan *fire modelling software* dapat dikembangkan dengan penggunaan *software* terkini dengan menggunakan *layout terminal* kondisi *real* sehingga hasil dari analisa frekuensi lebih akurat dan dapat dilakukan perbandingan.
5. Pemetaan risiko yang sudah dilakukan dapat dikembangkan menggunakan *risk matrix* untuk mengetahui kerugian dari segi *equipment damage* dan *economical risk*.

REFERENSI

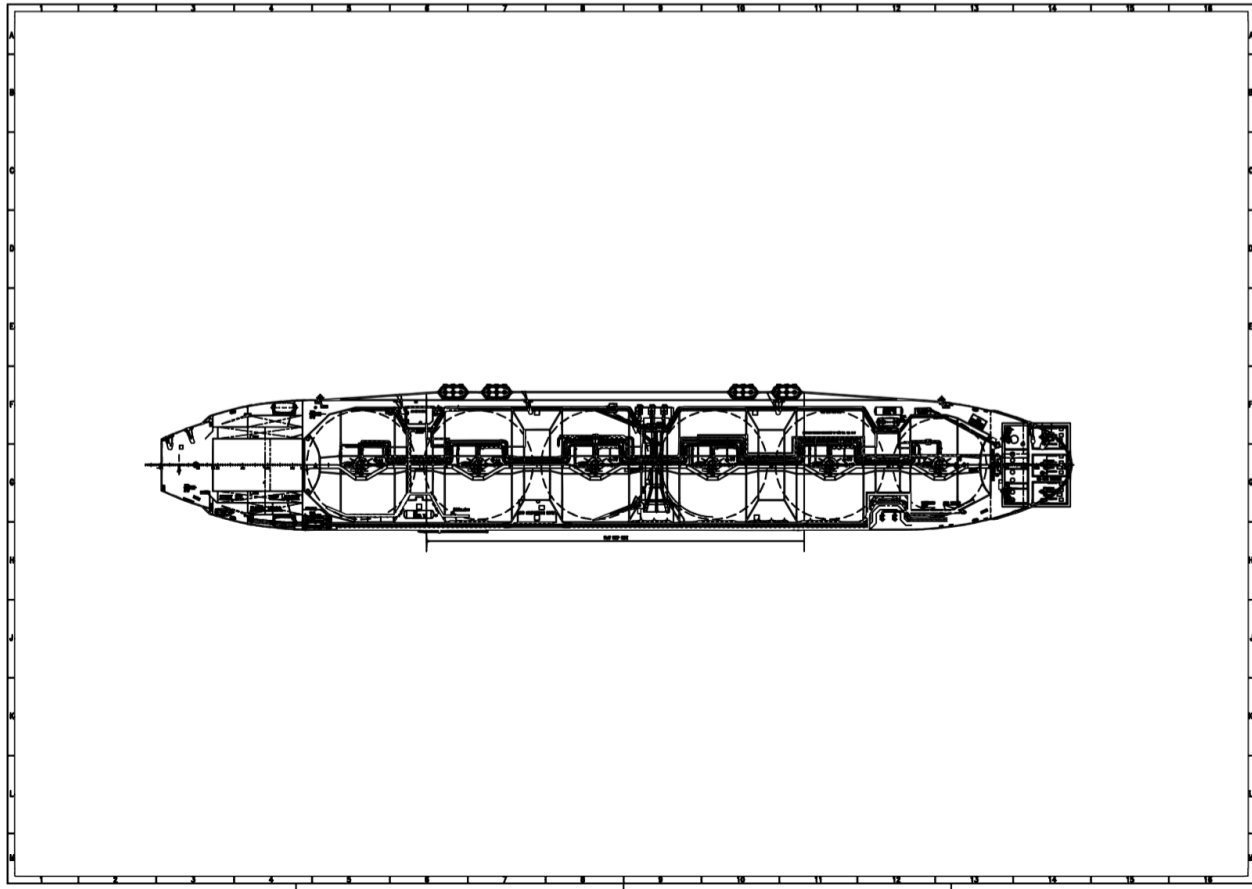
- Suriasih, L. M. (2018). *Fire Risk Assessment for FSRU Jayapura*. Surabaya, Indonesia: RAMS Laboratory.
- Kusuma, N. P. (2018). *Penilaian Risiko Kebakaran dan Ledakan pada Proses Loading-Unloading Raffinate-1 ke Kapal di Terminal Pabrik PT. Chandra Asri Petrochemical*. Surabaya, Indonesia: RAMS Laboratory.
- Akbar, T. A. (2017). *Fire Risk Assessment of Terminal LPG Semarang*. Surabaya, Indonesia: RAMS Laboratory.
- Yoanda, R. (2017). *Analisa Risiko Ship to Ship Transfer LNG Vessel dengan Pembangkit Listrik Terapung*. Surabaya, Indonesia: RAMS Laboratory.
- Dony, G. R. (2014). *Penilaian Risiko pada FPSO (Floating Production Storage and Offloading)*. Surabaya, Indonesia: RAMS Laboratory.
- Artana, K. B., & D. P., A. D. (2013). *Teori keandalan Sistem dan Aplikasinya* (Vol. 1). Surabaya, Indonesia: Guna Widya.
- Sarasvati, F. I. (2018). *Penilaian Risiko Sosial pada Terminal dan Kilang Bahan Bakar Minyak, Studi Kasus : PT. Trans-Pacific Petrochemical Indotama*. Surabaya, Indonesia: RAMS Laboratory.
- Saputro, G. (2015). *Kajian Teknis dan Ekonomis Sistem Bunkering LNG untuk Bahan Bakar di Kapal*. Surabaya, Indonesia: RAMS Laboratory.
- Aliyah, Y. F. (2014). *Analisis Risiko Sosial pada Terminal Penerima LNG Pesanggaran dengan Metode Fire and Explosion Modeling*. Surabaya, Indonesia: RAMS Laboratory.
- J. S., & E. Funnemark. (2006). *PROCESS EQUIPMENT FAILURE FREQUENCY*. Det Norske Veritas. RiskNet.
- Lewis, S. (2007). *Risk Criteria - When is low enough good enough ?* Risk Solutions Limited, United Kingdom.
- Ball, D. J. (n.d.). *Societal Risk*. University of East Anglia, Centre for Environment & Risk Management, London.
- NUREG-0942. (1981). *Fault Tree Handbook*. Washington D. C., United States: U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- E, A. (n.d.). *HAZOP Parameters, Deviations, and Possible Causes*. OREDA - Offshore Reliability Data Handbook (Vol. 4). (n.d.). Norway: OREDA Participants.
- Center for Chemical Process Safety. (2001). *Layers of Protection Analysis Simplified Process Risk Assessment*. New York, United States: American Institute of Chemical Engineers.
- Center For Chemical Process Safety. (2000). *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis* (2nd Edition ed.). New York, United States Of America: American Institute of Chemical Engineers.
- Center for Chemical Process Safety. (1989). *CCPS Generic Failure Rate Data Base*. New York, United States of America: American Institute of Chemical Engineers.
- Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. (2017). *Laporan Tahunan Capaian Pembangunan 2017*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

- PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 17 TAHUN 1974. (1974). In *PENGAWASAN PELAKSANAAN EKSPLORASI DAN EKSPLOITASI MINYAK DAN GAS BUMI DI DAERAH LEPAS PANTAI*. Indonesia.
- SKK MIGAS. (2017). *Laporan Tahunan 2017*. SKK MIGAS.
- Vianello, C., & Giuseppe Maschio. (2014). Risk Analysis of LNG Terminal : Case Study. *Chemical Engineering Transactions*, 46.
- Muharam, Y., & Verinasari, R. D. (2015). *Optimasi Sistem Rantai Suplai LNG untuk Kebutuhan Gas di Pulau Jawa dan Sumatera*. Universitas Indonesia, Teknik Kimia, Depok.
- DNV GL AS Maritime Advisory. (2014). *Risk Level and Acceptance Criteria for Passenger Ships. First interim report, part 2: Risk Acceptance Criteria*. Norway.
- Assael, M. J., & Kakosimos, K. E. (2010). *FIRES, EXPLOSIONS, AND TOXIC GAS DISPERSIONS Effect Calculation and Risk Analysis*. New Wark, United States of America: Taylor & Francis Group.
- Health and Safety Laboratory & Health and Safety Executive. (2009). *Societal Risk: Initial briefing to Societal Risk Technical Advisory Group*. Health and Safety Executive. Harpur Hill, Buxton: Crown.
- DLABKA, J., BAUDIŠOVÁ, B., & REHÁČEK, J. (2011). BASICS OF EVALUATION OF THERMAL RADIATION EFFECTS ON HUMANS IN INDUSTRIAL FIRES. *Transactions of the VŠB - Technical university of Ostrava*, VI, 44-51.
- British Standart. (2001). *Hazard and operability studies (HAZOP studies)-Application guide*. United Kingdom: International Electrotechnical Commission.
- Shell Research Ltd. (2014). *Shell FRED Fire, Release, Explosion, Dispersion Hazard consequence modelling package User Guide*. London, United Kingdom: Shell Global Solutions.
- Disaster Management Institute, Bhopal*. (2019). Retrieved May 2019, from <http://www.hrdp-idrm.in/e5783/e17327/e27015/e27713/>

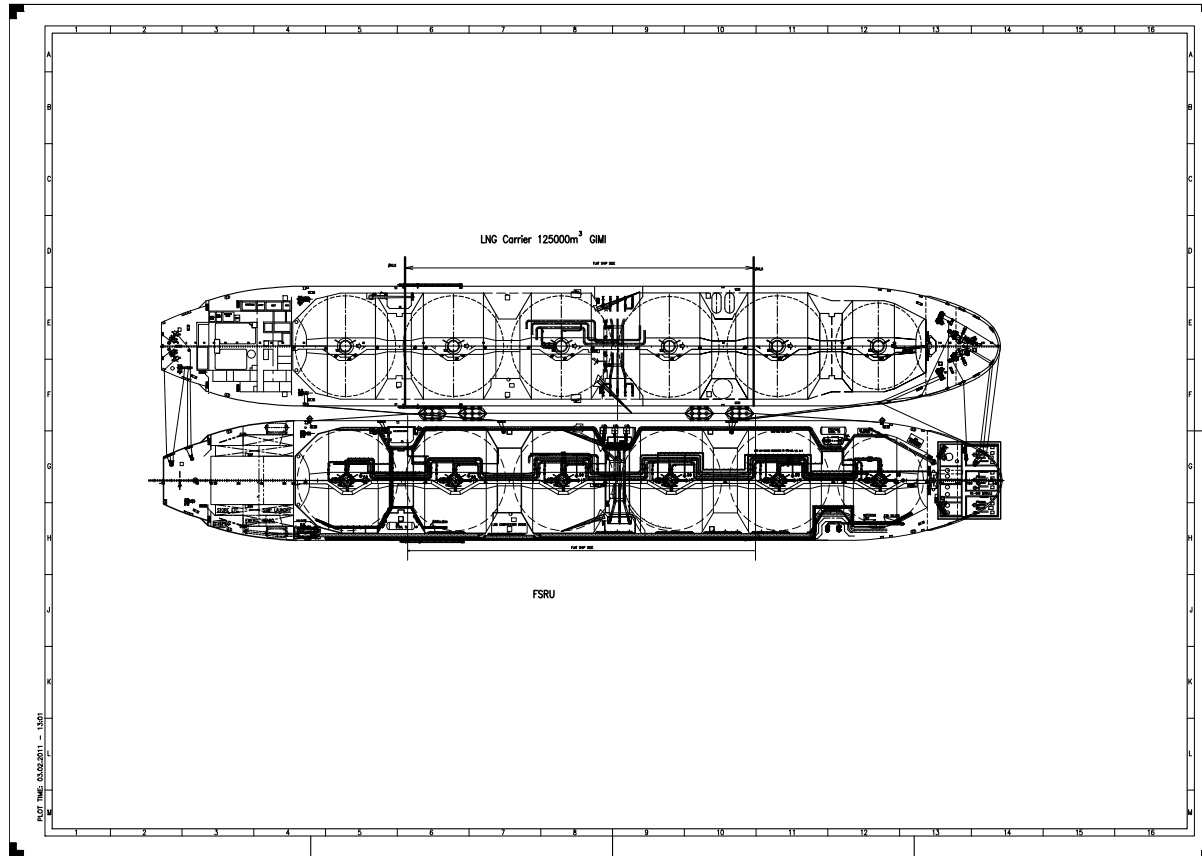
LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN I : LAYOUT TERMINAL FSRU



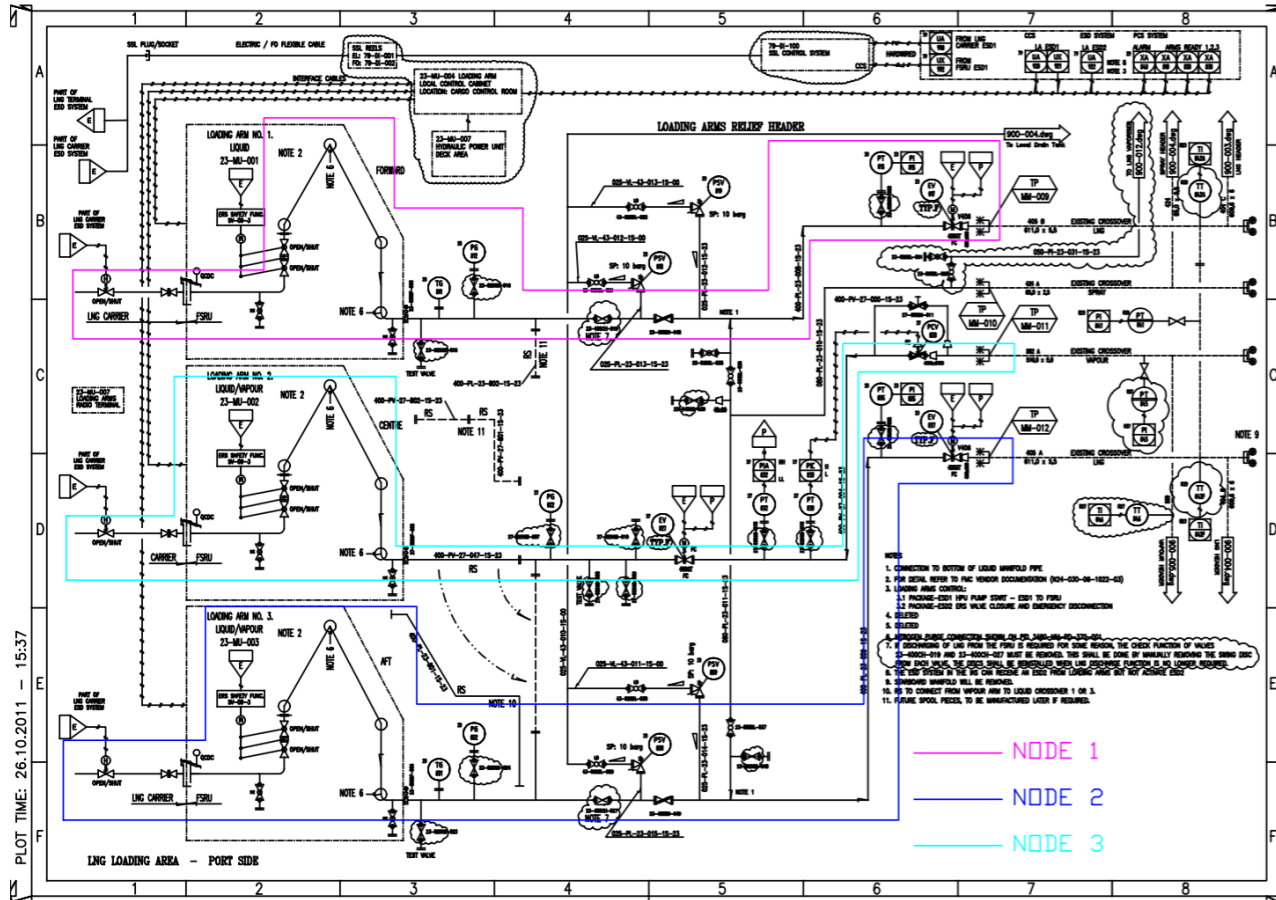
Layout Terminal FSRU Jawa Barat



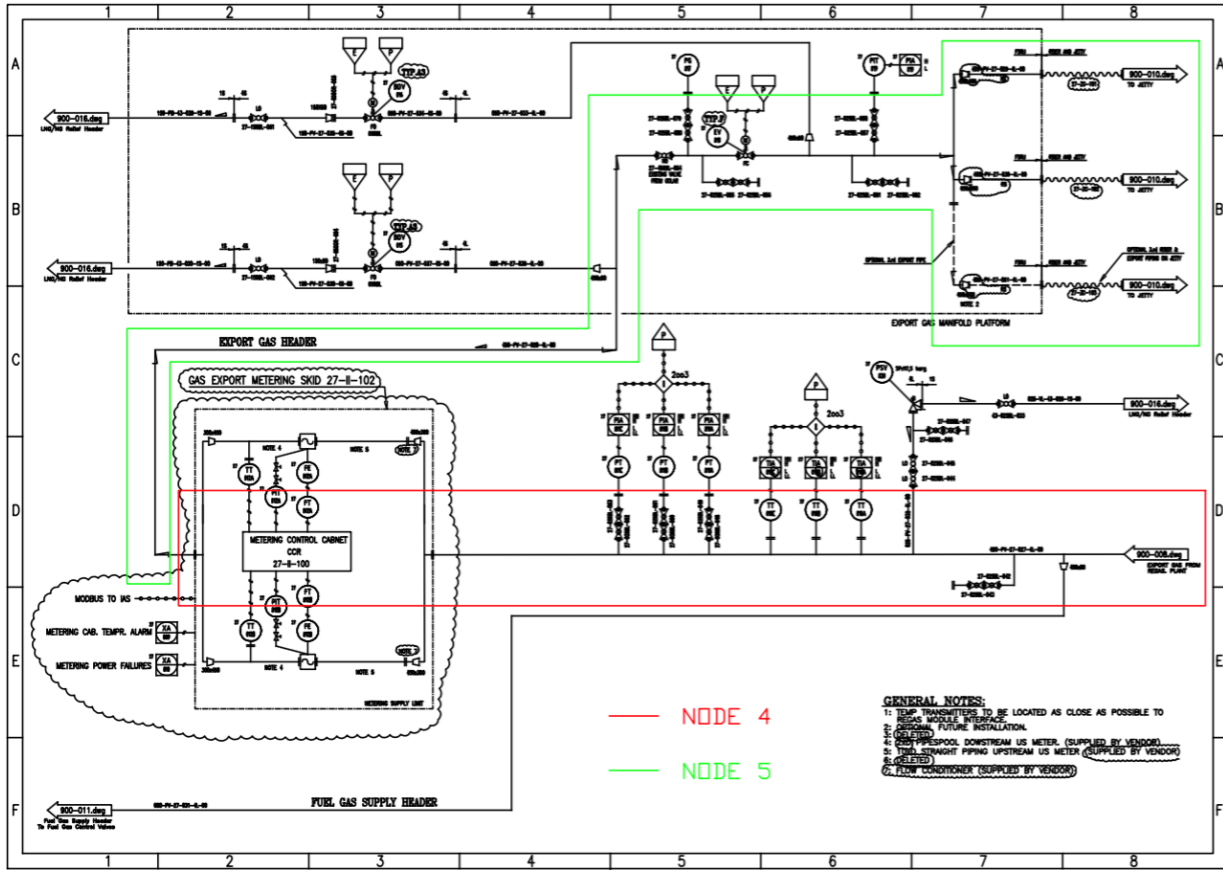
Layout Terminal FSRU – Ship to Ship Transfer

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN II : NODE FSRU



Node 1,2,3 Loading Arms & Cross Over



Node 4 & 5 Gas Export & Metering

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN III : HAZARD & OPERABILITY (HAZOP)

Study Title		NODE 1					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
1	No	No Flow	Valve Closed	No LNG Supply from LNG Carrier to FSRU LNG Storage Tank	Add Flowmeter	Situation is acceptable	Check Valve Condition before operate the system
			Gate Valve is Blocked			Situation is not acceptable	
			Ball Valve 1 & 2 are Blocked				
			Specange Flange is Closed (27-400SF-003)				
			Check Valve is Blocked				
			Butterfly Valve is Blocked				
			Gate Valve is Blocked				

Study Title		NODE 1					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
			Pipe Line is Cracked (400-PL-23-008-1S-23)	System Leakage which to fire & explosion	None		Periodically monitor condition of the pipe line
		No Pressure	System Leakage & No LNG transfer from LNG Carrier	No LNG transfer and LNG release which can lead to fire & explosion	Pressure Gauge (PG-012)	Situation is not acceptable	Periodical check and maintenance the equipment and recheck the operation condition
		No Level	<i>No issue regarded this deviation</i>				
2	Less	Less Flow	Ball Valve is open	Less LNG flow to FSRU and gas release which lead to fire & explosion	None	Situation is not acceptable	Check Valve Condition before operate the system
			Ball Valve is open				
			Test Valve (23-025GB-015) is open				

Study Title		NODE 1					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
			Globe Valve (23-025BL-038) & Valve (23-025BL-039) are opened				
			Ball Valve (23-080BL-036) is Cracked	Gas Release which lead to fire & Explosion			
			Valve (23-025GB-016 & 23-025GB-020) are cracked	Gas Release which lead to fire & Explosion and cannot transmit information to Pressure Indicator	Pressure Gauge & Pressure Transmitter	Situation is acceptable	Periodical check and maintenance the equipment

Study Title		NODE 1					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
3	More	More Temperature	External Heat	BOG Generate are increased	Temperature Gauge (TG-011)		Periodical check and maintenance the equipment and recheck the operation condition
		More Pressure	Valves are Blocked	Overpressure lead to fire and explosion.	Pressure Gauge (PG-012) & Pressure Transmitter (PT-015)	Situation is not acceptable	Periodical check equipment and maintain the condition of the equipment
4	As Well as	As well as Corrosion	Environment condition & age of the pipe (080-PL-23-008-1S-23)	Pipe leakage & gas release	None	Situation is acceptable	Periodical check and maintenance the equipment
5	Reverse	Reverse Flow	<i>No issue regarded this deviation</i>				

Study Title		NODE 1					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
6	Other Than	Other than destination	Cracked Valves	Gas Release which lead to fire & Explosion	None	Situation is not acceptable	Check the equipment condition before operation

Study Title		NODE 2					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
1	No	No Flow	Valve Closed	No LNG Supply from LNG Carrier to FSRU LNG Storage Tank	Add Flowmeter	Situation is acceptable	Check Valve Condition before operate the system
			Gate Valve is Blocked			Situation is not acceptable	
			Ball Valve 1 & 2 are Blocked				
			Specange Flange is Closed (27-400SF-006)				
			Check Valve is Blocked				
			Butterfly Valve is Blocked				
			Gate Valve is Blocked				

Study Title		NODE 2					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
			Pipe Line is Cracked (400-PL-23-015-1S-23)	System Leakage which to fire & explosion	None		Periodically monitor condition of the pipe line
		No Pressure	System Leakage & No LNG transfer from LNG Carrier	No LNG transfer and LNG release which can lead to fire & explosion	Pressure Gauge (PG-032)	Situation is not acceptable	Periodical check and maintenance the equipment and recheck the operation condition
		No Level	<i>No issue regarded this deviation</i>				
2	Less	Less Flow	Ball Valve is open Ball Valve is open Test Valve (23-025GB-023) is open	Less LNG flow to FSRU and gas release which lead to fire & explosion	None	Situation is not acceptable	Check Valve Condition before operate the system

Study Title		NODE 2					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
			Globe Valve (23-025BL-038) & Valve (23-025BL-039) are opened				
			Ball Valve (23-080BL-037) is Cracked	Gas Release which lead to fire & Explosion			
			Valve (23-025GB-024 & 23-025GB-028) are cracked	Gas Release which lead to fire & Explosion and cannot transmit information to Pressure Indicator	Pressure Gauge & Pressure Transmitter	Situation is acceptable	Periodical check and maintenance the equipment

Study Title		NODE 2					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
3	More	More Temperature	External Heat	BOG Generate are increased	Temperature Gauge (TG-011)		Periodical check and maintenance the equipment and recheck the operation condition
		More Pressure	Valves are Blocked	Overpressure lead to fire and explosion.	Pressure Gauge (PG-012) & Pressure Transmitter (PT-015)	Situation is not acceptable	Periodical check equipment and maintain the condition of the equipment
4	As Well as	As well as Corrosion	Environment condition & age of the pipe (400-PL-23-008-1S-23)	Pipe leakage & gas release	None	Situation is acceptable	Periodical check and maintenance the equipment
5	Reverse	Reverse Flow	<i>No issue regarded this deviation</i>				

Study Title		NODE 2					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
6	Other Than	Other than destination	Cracked Valves	Gas Release which lead to fire & Explosion	None	Situation is not acceptable	Check the equipment condition before operation
Study Title		NODE 3					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG Vapour			Destination : LNG Carrier		Sheet of 1 of 1
		Source : FSRU			Temperature : -162 C		Pressure: 1.17 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
1	No	No Flow	Butterfly Valves are blocked (27-400BU-011 & X)	No Vapour transfer to LNG Carrier	Install Flowmeter	Situation is not acceptable	Periodically check Valve condition before operation

Study Title		NODE 2					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
			Gate Valve is Blocked				& at operation condition
			Specange Flange is Closed (27-400SF-005)				
			Globe Valve 1 & 2 are Blocked				
			Gate Valve is Blocked				
			Valve is Close				Situation is acceptable
			Pipe Line (400-PV-27-047-1S-23) is cracked	No Vapour transfer to LNG Carrier & system leakage which lead to fire & explosion	Situation is not acceptable	Periodically monitor condition of the pipe line	

Study Title		NODE 2					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
		No Pressure	System Leakage	No Vapour transfer and vapour release which can lead to fire & explosion	Pressure Transmitter in the system		Maintain all equipment related to system operation
		No Level	<i>No issue regarded this deviation</i>				
2	Less	Less Flow	Test Valve (27-025GB-009 & 27-025GB-008) are open	Less LNG Vapour flow to LNG Carrier & gas release which lead to fire & explosion	Install Flowmeter	Situation is not acceptable	Periodically check Valve condition before operation
			Globe Valve is open				
			Globe Valve is open				
		Pipe Line is cracked	System leakage which lead to fire & explosion	Periodically monitor condition of the pipe line			

Study Title		NODE 2					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
		Less Pressure	System Leakage	No Vapour transfer and vapour release which can lead to fire & explosion	Pressure Transmitter in the system	Situation is not acceptable	Maintain all equipment related to system operation
3	More	More Temperature	External heat	Density of LNG Vapour will decrease and not comply to the LNG Carrier and can damage the equipment	Temperature Indicator (TI-046)	Situation is not acceptable	Maintain all equipment related to system operation due temperature condition
		More Pressure	Overpressure from Vapor Header system	Overpressure can initiate fire & explosion	Pressure Control Valve (PCV-033)		Maintain system pressue due prevention of blowout
4	Reverse	Reverse Flow	System valve are blocked	Vapour release	None		Check System Operation

Study Title		NODE 2					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG			Destination : FSRU Storage Tank		Sheet of 1 of 1
		Source : LNG Carrier			Temperature : -162 C		Pressure: 3 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
5	Other than	Other than Destination	System Leakage & Blocked Valve	Pipe leakage & vapour release			check the system & equipment condition before operation
6	As well as	As well as Corrosion	Environment condition & age of the pipe				Periodical check and maintenance the equipment

Study Title		NODE 3					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG Vapour			Destination : LNG Carrier		Sheet of 1 of 1
		Source : FSRU			Temperature : -162 C		Pressure: 1.17 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
1	No	No Flow	Butterfly Valves are blocked (27-400BU-011 & X)	No Vapour transfer to LNG Carrier	Install Flowmeter	Situation is not acceptable	Periodically check Valve condition before operation & at operation condition
			Gate Valve is Blocked				
			Specange Flange is Closed (27-400SF-005)				
			Globe Valve 1 & 2 are Blocked				
			Gate Valve is Blocked				
			Valve is Close			Situation is acceptable	Check Valve condition before operation system

Study Title		NODE 3					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG Vapour			Destination : LNG Carrier		Sheet of 1 of 1
		Source : FSRU			Temperature : -162 C		Pressure: 1.17 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
			Pipe Line (400-PV-27-047-1S-23) is cracked	No Vapour transfer to LNG Carrier & system leakage which lead to fire & explosion		Situation is not acceptable	Periodically monitor condition of the pipe line
		No Pressure	System Leakage	No Vapour transfer and vapour release which can lead to fire & explosion	Pressure Transmitter in the system		Maintain all equipment related to system operation
		No Level	<i>No issue regarded this deviation</i>				
2	Less	Less Flow	Test Valve (27-025GB-009 & 27-025GB-008) are open	Less LNG Vapour flow to LNG Carrier & gas release which lead to fire & explosion	Install Flowmeter	Situation is not acceptable	Periodically check Valve condition before operation
			Globe Valve is open				
			Globe Valve is open				

Study Title		NODE 3					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG Vapour			Destination : LNG Carrier		Sheet of 1 of 1
		Source : FSRU			Temperature : -162 C		Pressure: 1.17 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
			Pipe Line is cracked	System leakage which lead to fire & explosion			Periodically monitor condition of the pipe line
		Less Pressure	System Leakage	No Vapour transfer and vapour release which can lead to fire & explosion	Pressure Transmitter in the system	Situation is not acceptable	Maintain all equipment related to system operation
3	More	More Temperature	External heat	Density of LNG Vapour will decrease and not comply to the LNG Carrier and can damage the equipment	Temperature Indicator (TI-046)	Situation is not acceptable	Maintain all equipment related to system operation due temperature condition
		More Pressure	Overpressure from Vapor Header system	Overpressure can initiate fire & explosion	Pressure Control Valve (PCV-033)		Maintain system pressure due

Study Title		NODE 3					
Drawing No		3460-MM-PD-900-007					
Team Composition							
Part Considered		LOADING ARMS AND CROSSOVER					
Design Intent		Fluid : LNG Vapour			Destination : LNG Carrier		Sheet of 1 of 1
		Source : FSRU			Temperature : -162 C		Pressure: 1.17 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
							prevention of blowout
4	Reverse	Reverse Flow	System valve are blocked	Vapour release	None		Check System Operation
5	Other than	Other than Destination	System Leakage & Blocked Valve	Pipe leakage & vapour release			check the system & equipment condition before operation
6	As well as	As well as Corrosion	Environment condition & age of the pipe				Periodical check and maintenance the equipment

Study Title		NODE 4					
Drawing No		3460-MM-PD-900-009					
Team Composition							
Part Considered		GAS EXPORT & METERING					
Design Intent		Fluid : Natural Gas			Destination : Gas Metering		Sheet of 1 of 1
		Source : Regasification			Temperature : 17.5 C		Pressure: 57 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
1	Less	Less Flow	Ball Valve (27-025BL-043 & 27-025BL-042) are Open	Less Flow to Gas Metering	Flow Element (FE-12A, FE-12B)	Situation is Acceptable	Check Valve Condition before operate the system
			Pipe Line (450-PV-27-027-4L-400) partially Blocked	Less Flow to Gas Metering	None	Situation is not acceptable	Periodically monitor condition of the pipe line
		Less Pressure	Ball Valve (27-025BL-043 & 27-025BL-042) partially Open	System Leakage	Pressure Transmitter (27-PT-011A, 27-PT-011B, 27-PT-011C)	Situation is not acceptable	Periodically check and maintainence the system
			Pipe Line (450-PV-27-027-4L-400) partially Cracked			Situation is not acceptable	

Study Title		NODE 4					
Drawing No		3460-MM-PD-900-009					
Team Composition							
Part Considered		GAS EXPORT & METERING					
Design Intent		Fluid : Natural Gas			Destination : Gas Metering		Sheet of 1 of 1
		Source : Regasification			Temperature : 17.5 C		Pressure: 57 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
		Less Temperature	Due environment condition	Natural gas will not reach required temperature for the power plan	Temperature Transmitter (TIA-10A, TIA-10B, TIA-10C)	Situation is not acceptable	Periodically check and maintainence the system
2	No	No Flow	No gas supply from Regasification Plan	No gas supply to Gas Metering Skid	Flow Element (FE-12A, FE-12B)	Situation is not acceptable	Check Regasification plan periodically
			Pipe Line (450-PV-27-027-4L-00) partially Blocked				Periodically monitor condition of the pipe line
			Reducer Partially Blocked				Check Reducer Condition before operate the system

Study Title		NODE 4					
Drawing No		3460-MM-PD-900-009					
Team Composition							
Part Considered		GAS EXPORT & METERING					
Design Intent		Fluid : Natural Gas			Destination : Gas Metering		Sheet of 1 of 1
		Source : Regasification			Temperature : 17.5 C		Pressure: 57 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
3	More	More Temperature	External heat	Density of natural gas will decrease and not comply to the plant require and can damage the equipment	Temperature Transmitter (TIA-10A, TIA-10B, TIA-10C)	Situation is not acceptable	Periodical check and maintenance the equipment and recheck the operation condition
		More Flow	Overfilling from Regasification Plant	Overlimit flow to Gas metering	Flow Element (FE-12A, FE-12B)	Situation is not acceptable	Periodically monitor flow gas in pipe
4	As Well As	As well as Corrosion	Environment condition & age of the pipe	Pipe leakage and gas release	None	Situation is not acceptable	Periodical check and maintenance the equipment
5	Other than	Other than destination	Pipe Leakage (450-PV-27-027-4L-00)		None	Situation is not acceptable	check the equipment condition before operation

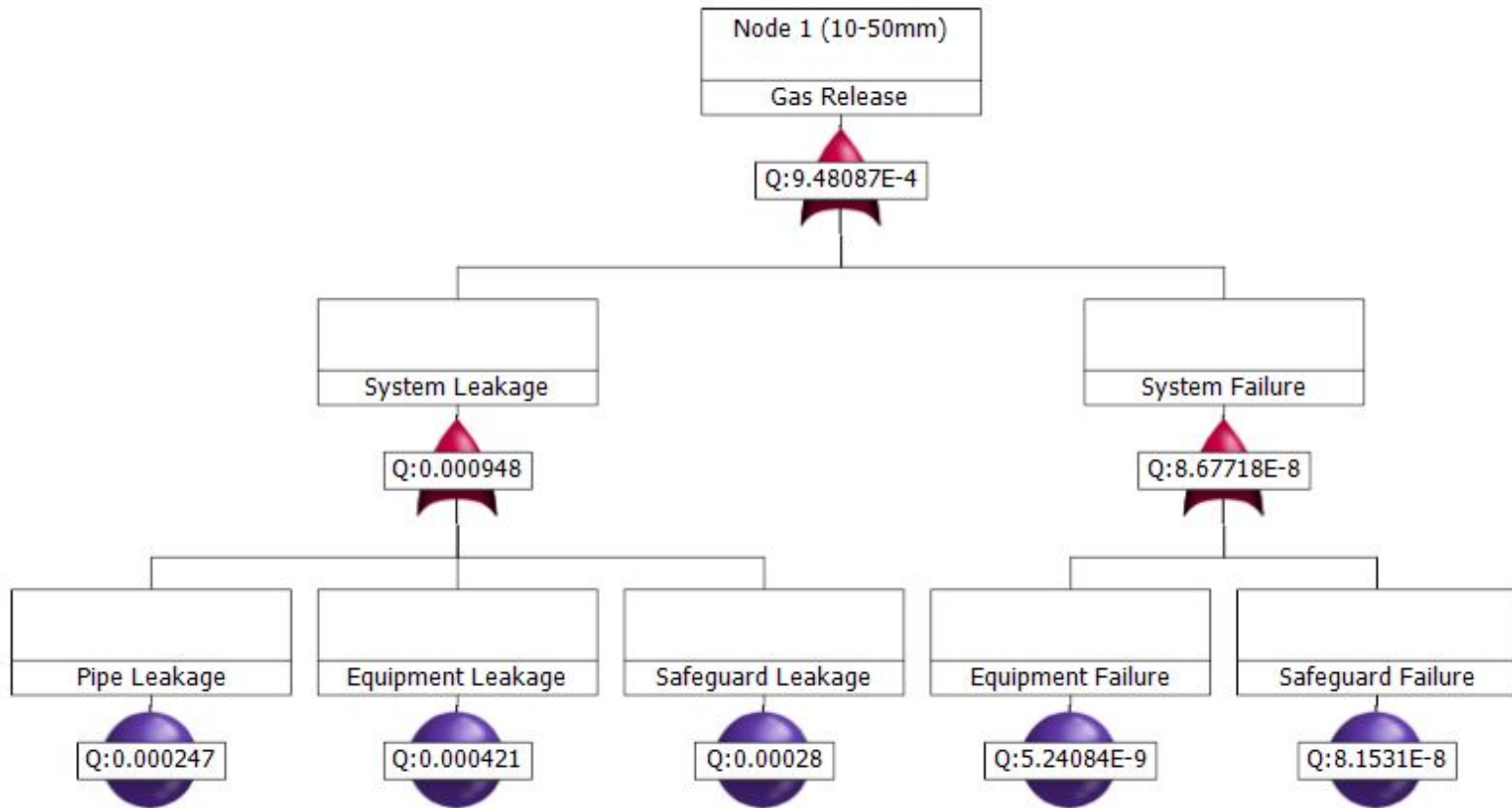
Study Title		NODE 5					
Drawing No		3460-MM-PD-900-009					
Team Composition							
Part Considered		GAS EXPORT & METERING					
Design Intent		Fluid : Natural Gas			Destination : Jetty		Sheet of 1 of 1
		Source : Gas Metering			Temperature : 17.5 C		Pressure: 57 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
1	No	No Flow	Ball Valve (27-450BL-054) is closed	No gas flow from gas metering to gas export	Add Flowmeter	Situation is not acceptable	Check Valve condition before operation
			No Flow from Gas Export Metering	No gas flow from gas metering to gas export			Check System Operation
			Pipe Line Cracked (450-PV-27-028-4L-00)	No gas flow from gas metering to gas export & Gas leakage which can initiate fire			Periodically monitor condition of the pipe line
			Pipe Line Cracked (400-PV-27-029-4L-00, 400-PV-27-030-4L-00, 400-PV-27-061-4L-00)	No gas flow to Jetty & Gas leakage which can initiate fire & explosion			

Study Title		NODE 5					
Drawing No		3460-MM-PD-900-009					
Team Composition							
Part Considered		GAS EXPORT & METERING					
Design Intent		Fluid : Natural Gas			Destination : Jetty		Sheet of 1 of 1
		Source : Gas Metering			Temperature : 17.5 C		Pressure: 57 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
		No Pressure	<i>No issue regarding this deviation</i>				
2	Less	Less Flow	Ball Valve (27-025BL-055 & 27-025BL-055) are open	Less flow to Jetty & Gas release which lead to fire & explosion	Add Flowmeter	Situation is not acceptable	Check Valve condition before operation
			Ball Valve (27-025BL-081 & 27-025BL-082) are open				
			Less supply from gas metering system	Less supply to the Jetty		Situation is acceptable	Check System Operation
			leakage on th line system	Natural gas release lead to fire and explosion		Situation is not acceptable	Periodically monitor condition of the pipe line

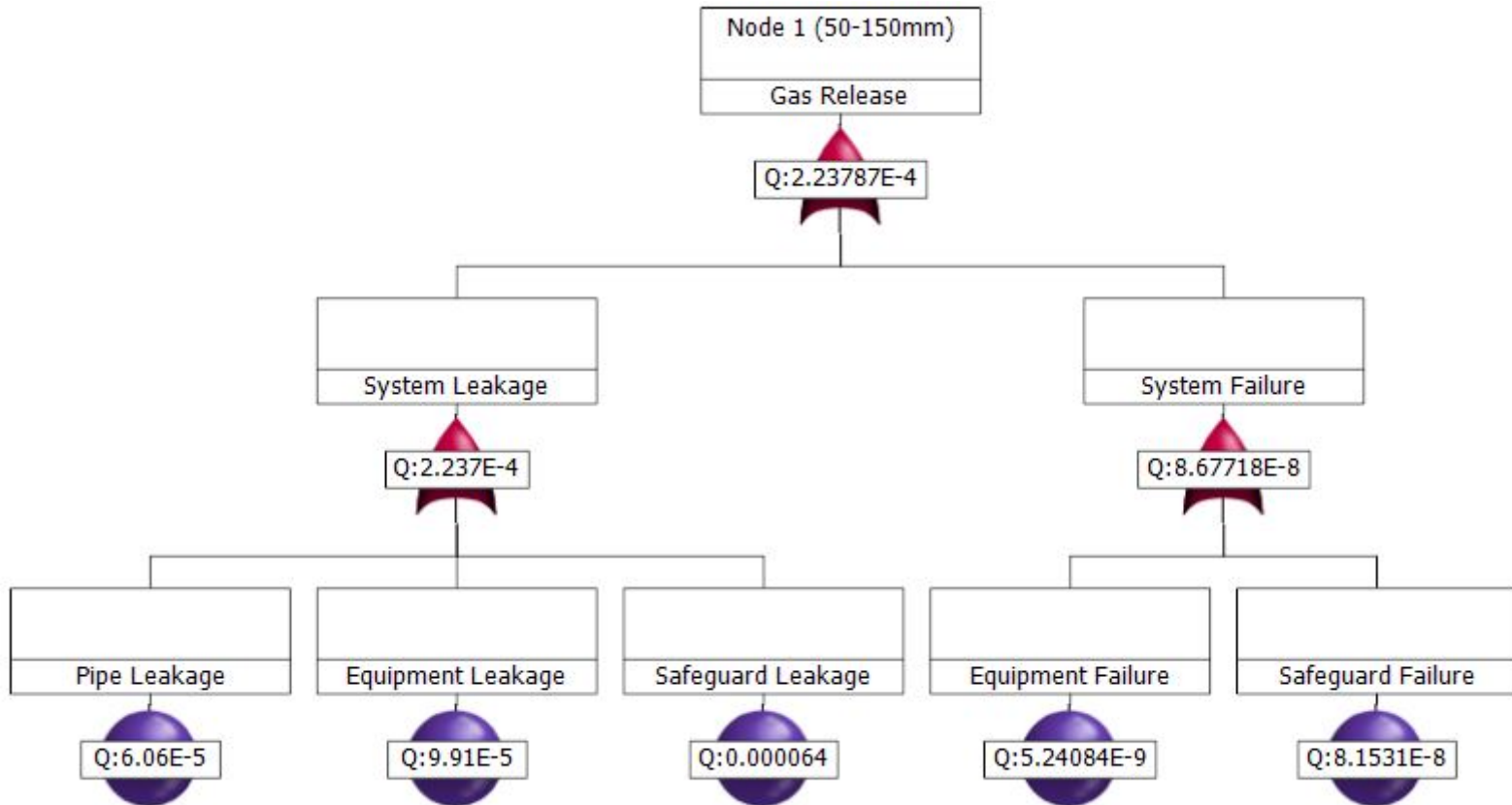
Study Title		NODE 5					
Drawing No		3460-MM-PD-900-009					
Team Composition							
Part Considered		GAS EXPORT & METERING					
Design Intent		Fluid : Natural Gas			Destination : Jetty		Sheet of 1 of 1
		Source : Gas Metering			Temperature : 17.5 C		Pressure: 57 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
		Less Pressure	Ball Valve (27-025BL-055 & 27-025BL-055) are open	Unrequired pressure desired and system leakage	Pressure Indicator Transmitter (PIT-019) & Pressure Gauge (PG-017)	Situation is not acceptable	Check Valve condition before operation
			Ball Valve (27-025BL-081 & 27-025BL-082) are open				
3	More	More Flow	More supply natural gas from gas metering system	Overflow to Jetty System	None		Check System Operation

Study Title		NODE 5					
Drawing No		3460-MM-PD-900-009					
Team Composition							
Part Considered		GAS EXPORT & METERING					
Design Intent		Fluid : Natural Gas			Destination : Jetty		Sheet of 1 of 1
		Source : Gas Metering			Temperature : 17.5 C		Pressure: 57 bar
No	Guide Word	Deviation	Possible Causes	Consequences	Safeguard	Comments	Action Required
		More Temperature	External Heat	Density of natural gas will decrease and not comply to the plant require and can damage the equipment	None		Periodically monitor condition of the pipe line
4	As Well As	As well as Corrosion	Environment condition & age of the pipe	No supply gas to Jetty or gas export	None	Situation is not acceptable	Periodical check and maintenance the equipment
5	Other than	Other than destination	Pipe Leakage (450-PV-27-027-4L-00)	Pipe leakage & gas release			Periodically monitor condition of the pipe line

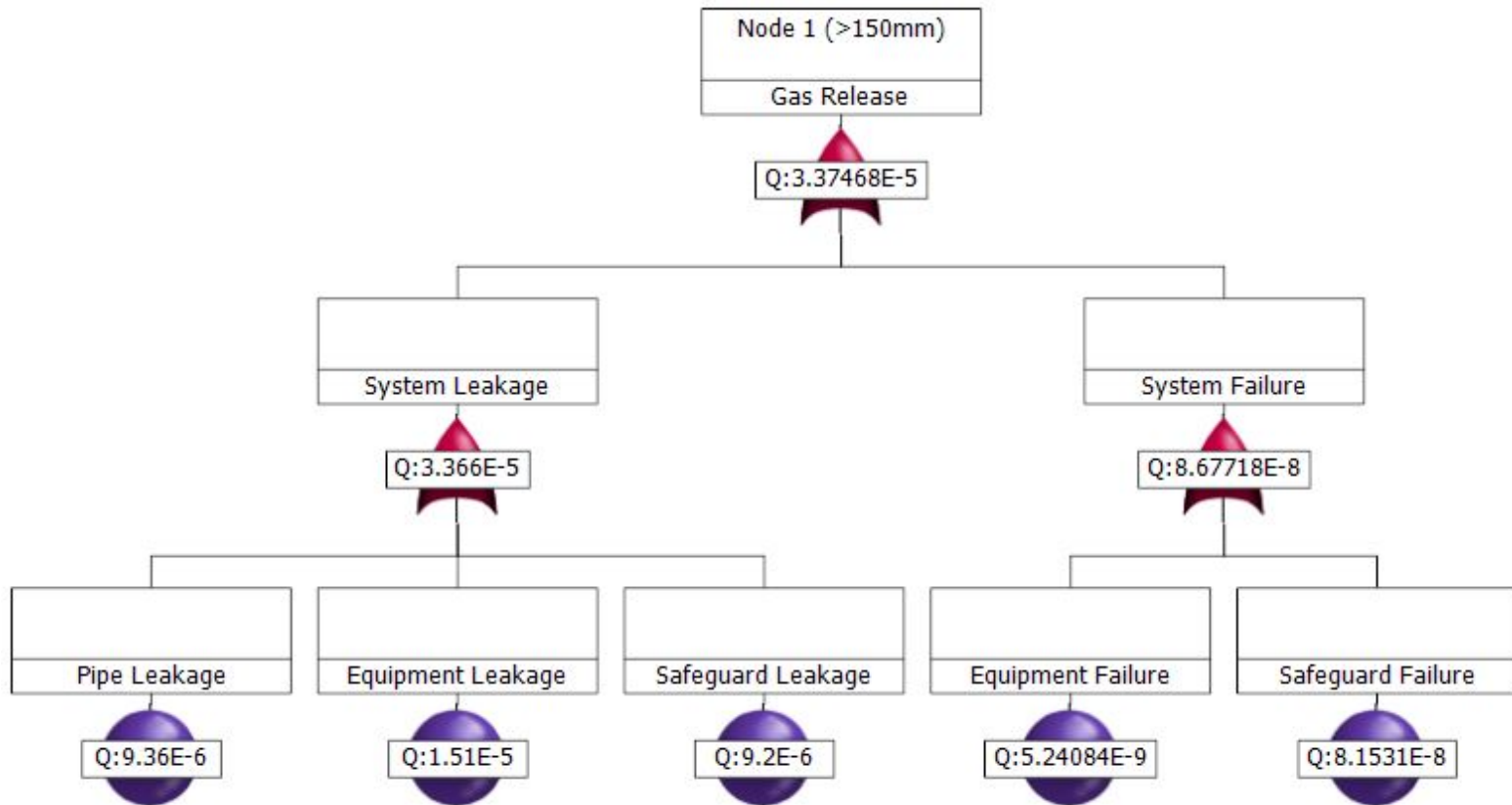
LAMPIRAN IV : FAULT TREE ANALYSIS (FTA)



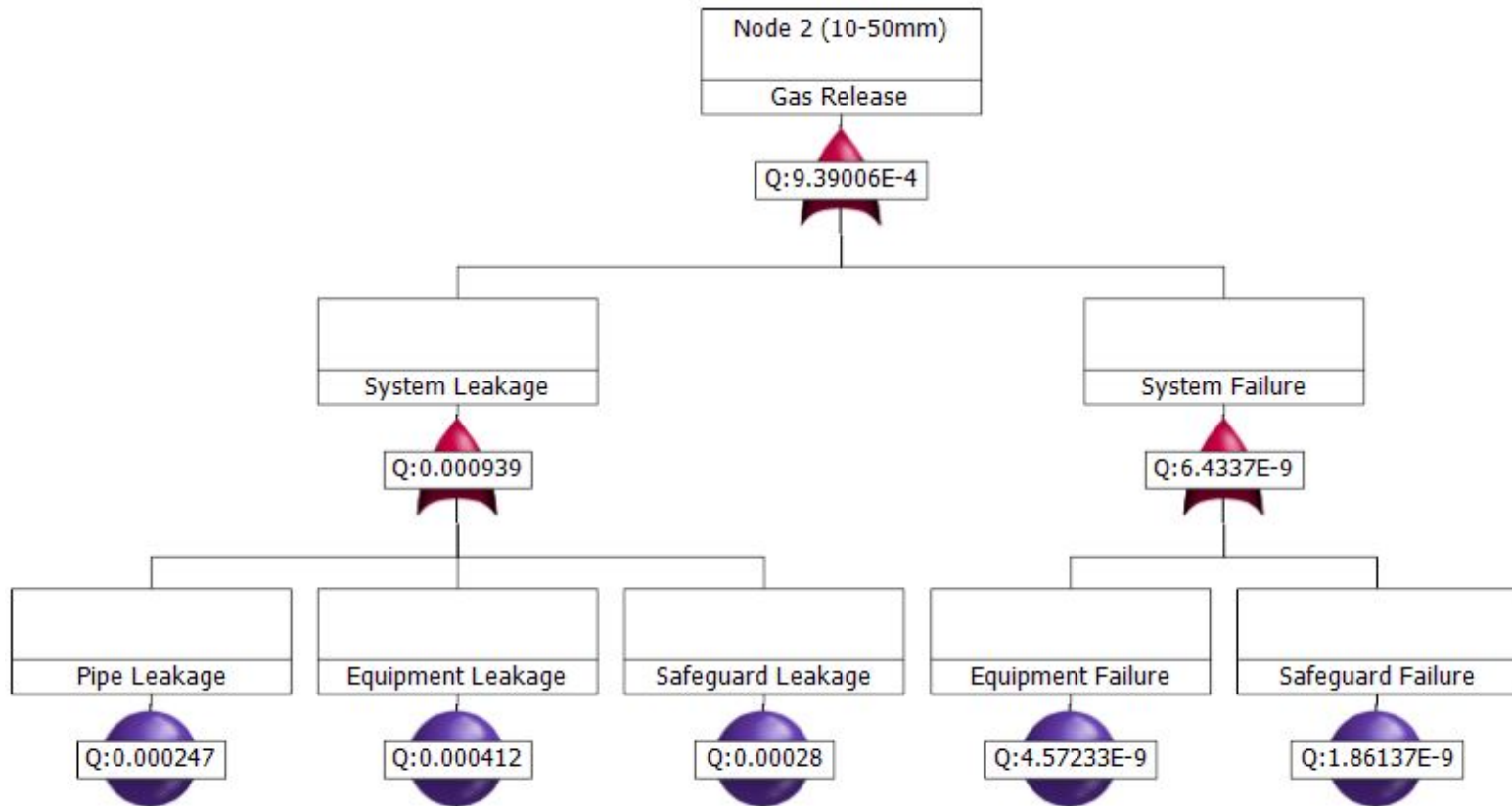
Fault Tree Analysis (FTA) Node 1 skenario 10-50mm



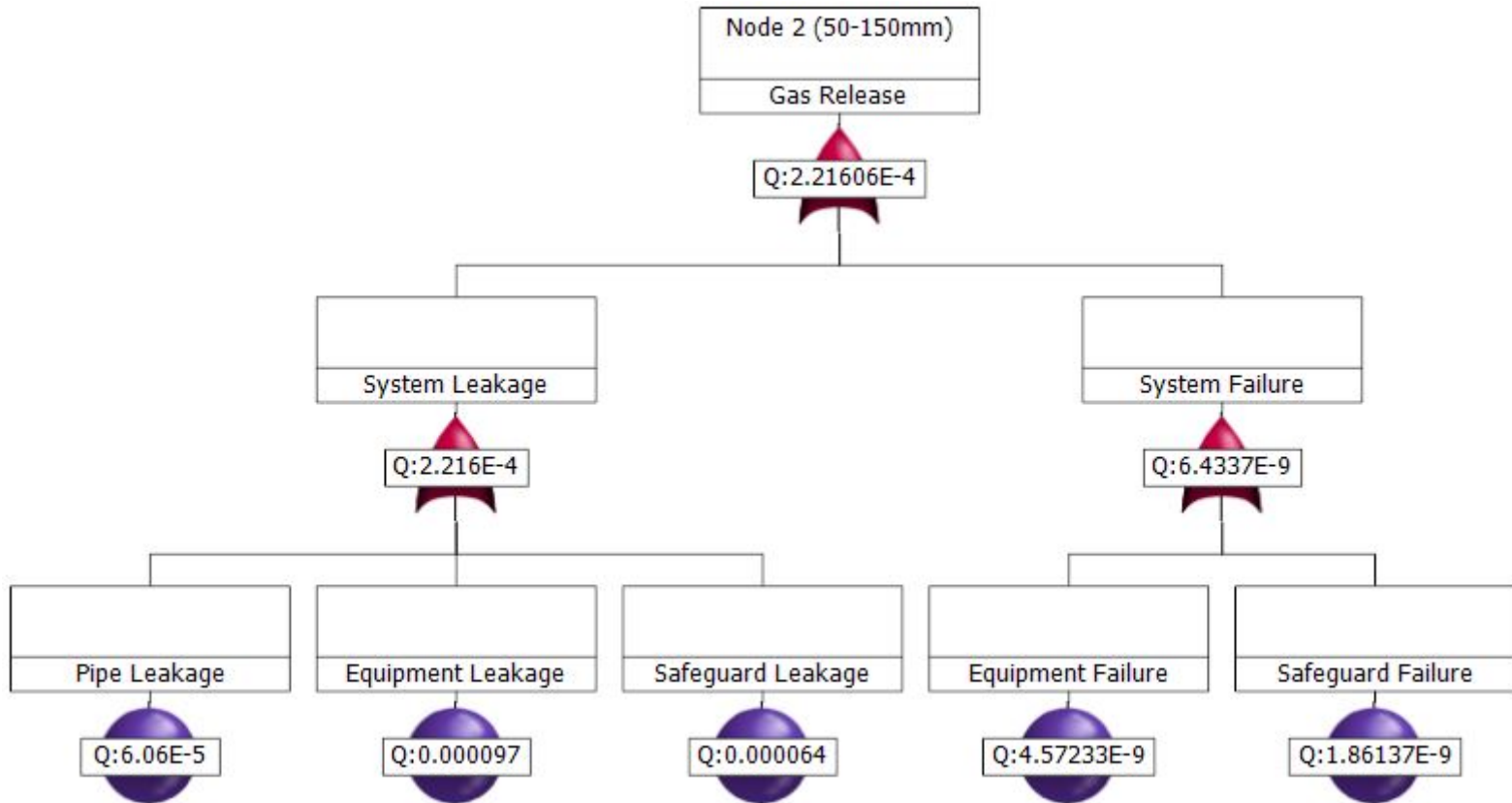
Fault Tree Analysis (FTA) Node 1 skenario 50-150mm



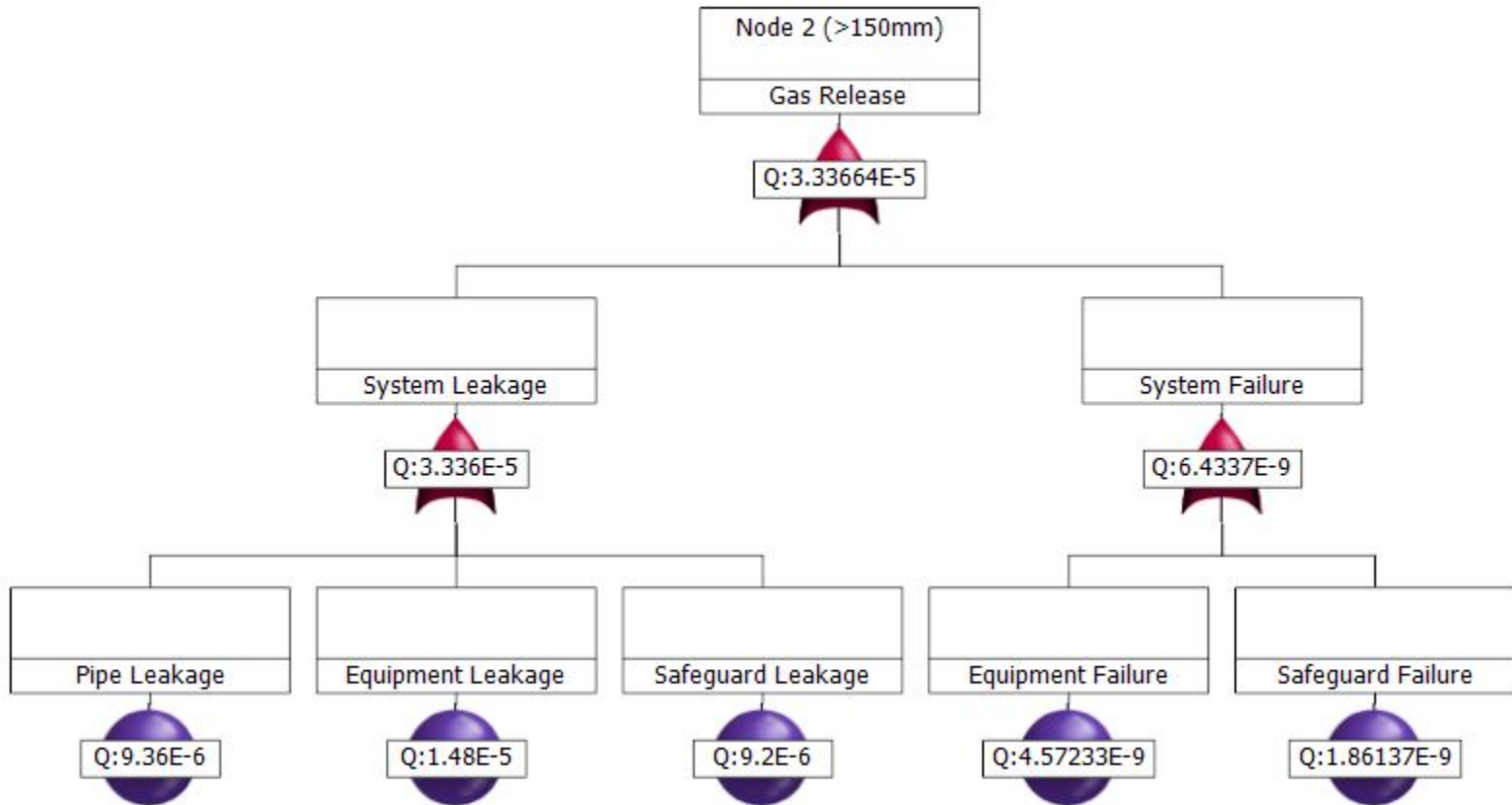
Fault Tree Analysis (FTA) Node 1 skenario >150mm



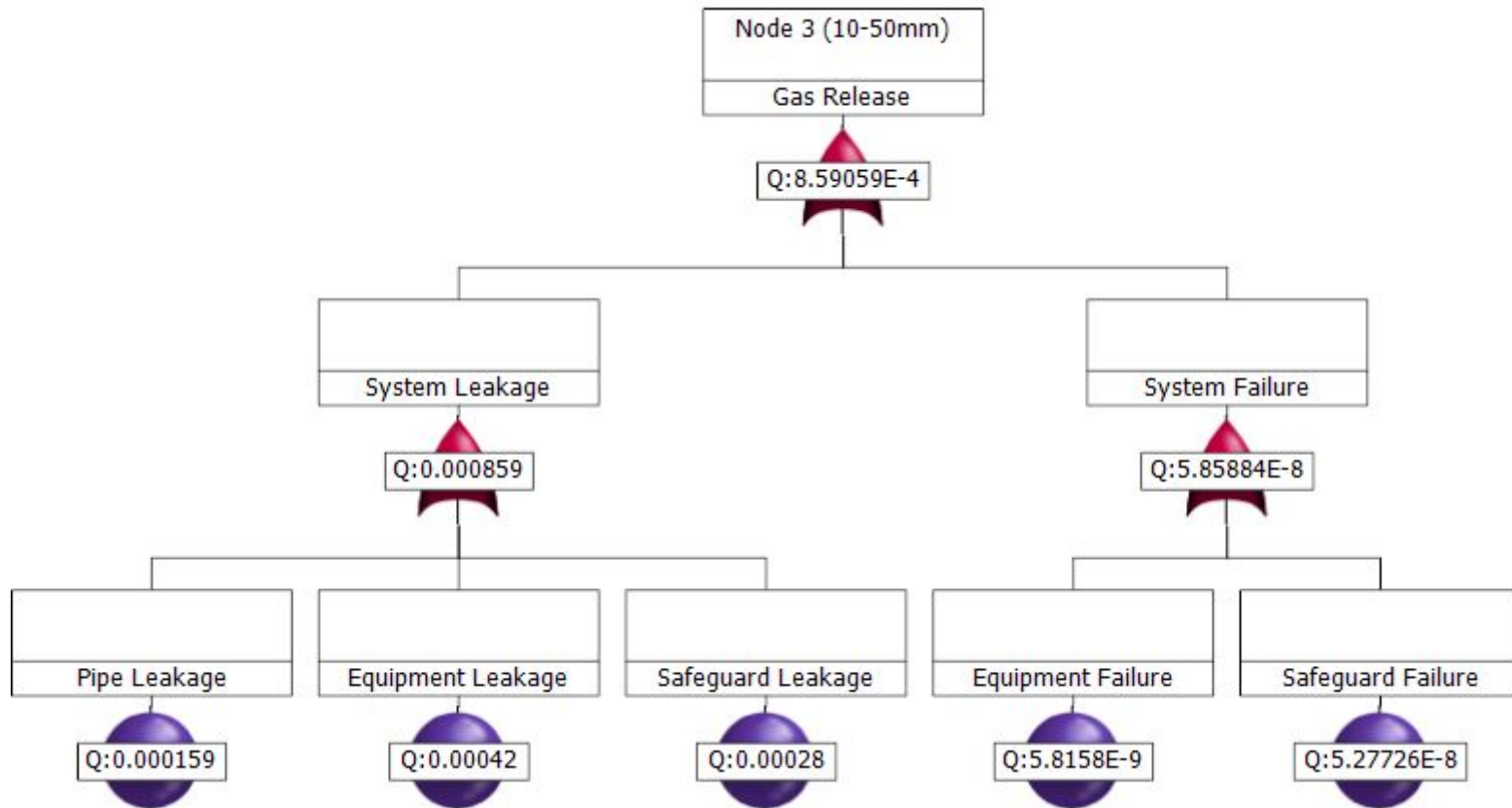
Fault Tree Analysis (FTA) Node 2 skenario 10-50mm



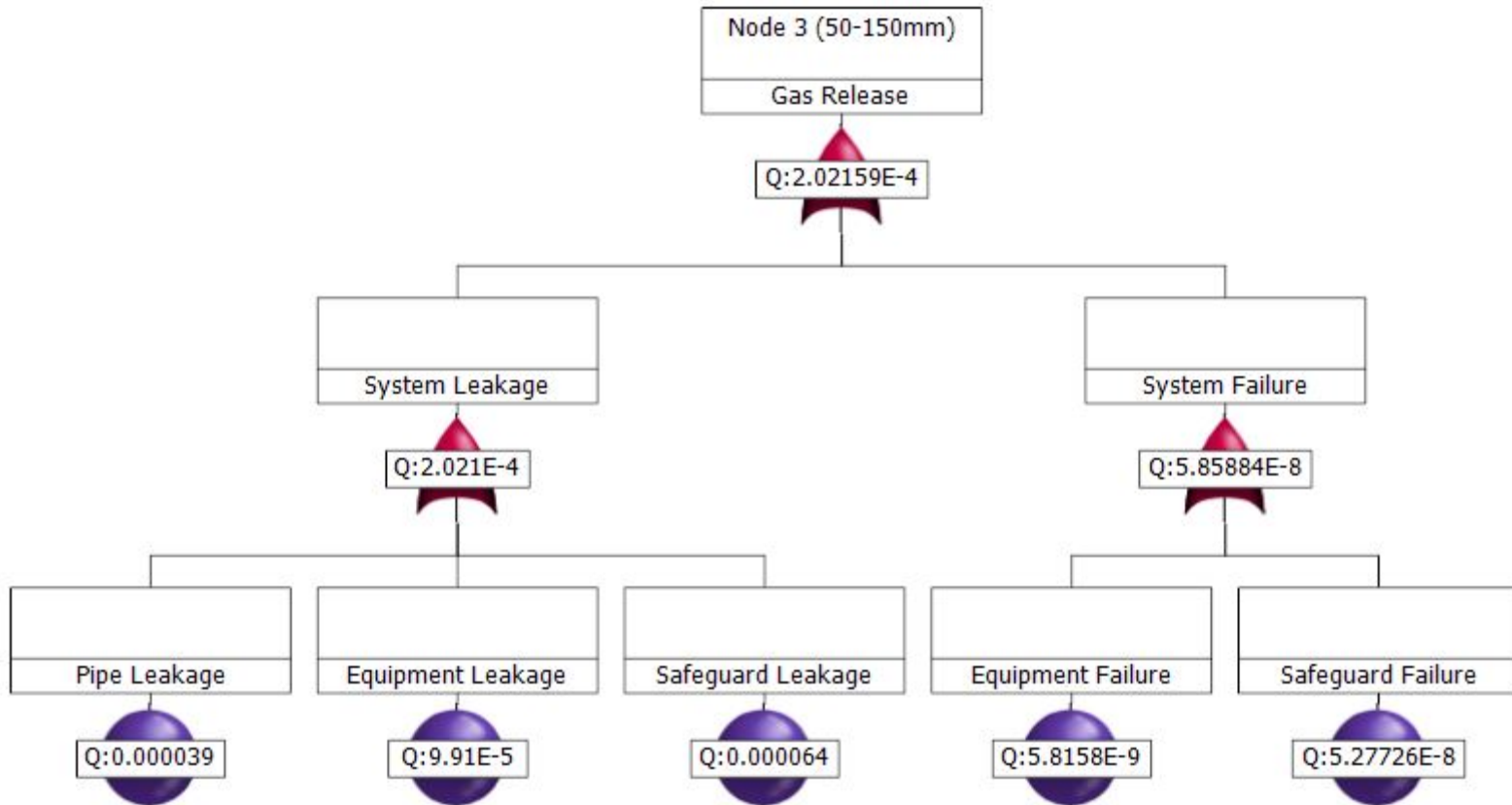
Fault Tree Analysis (FTA) Node 2 skenario 50-150mm



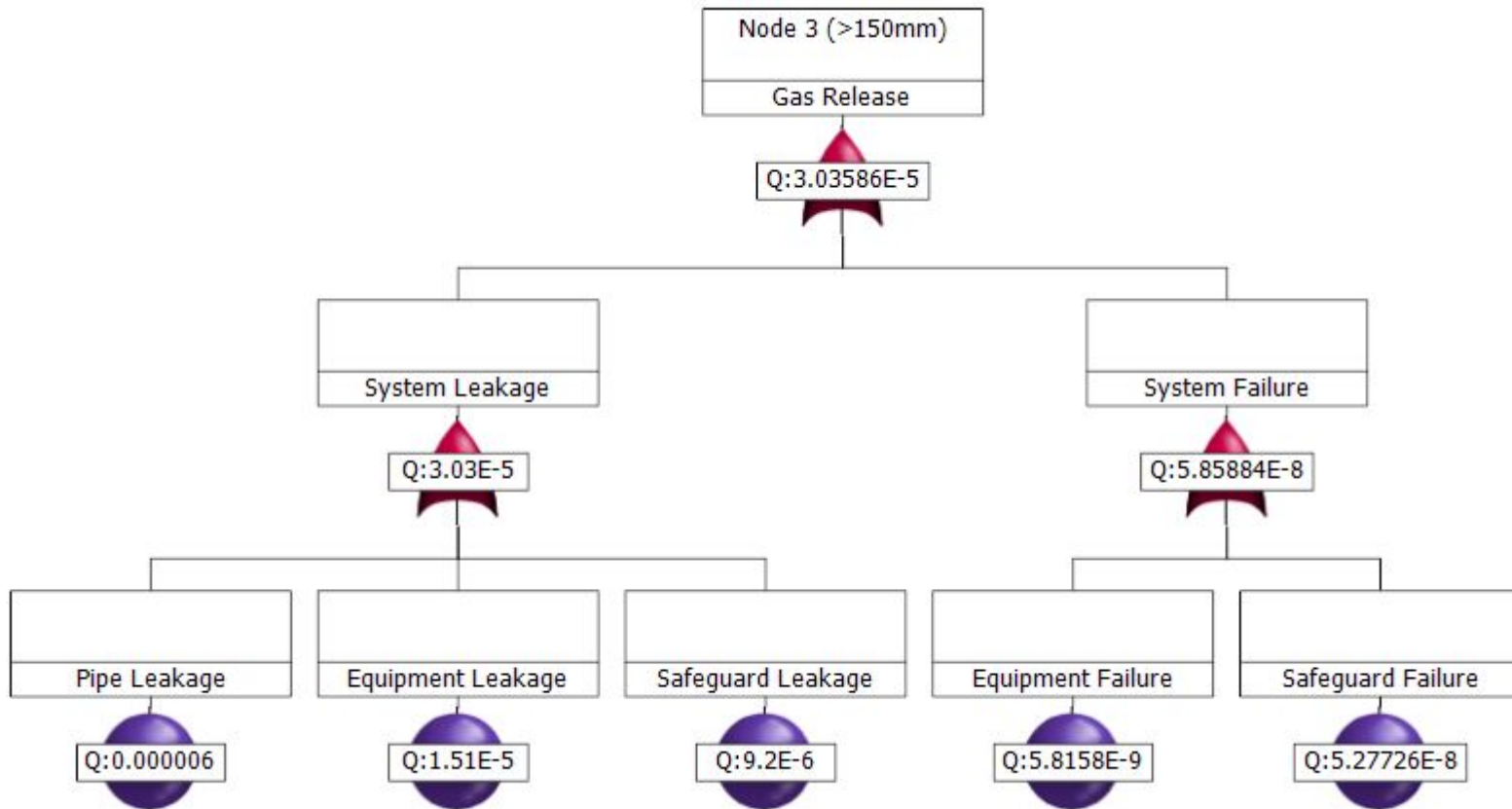
Fault Tree Analysis (FTA) Node 2 skenario >150mm



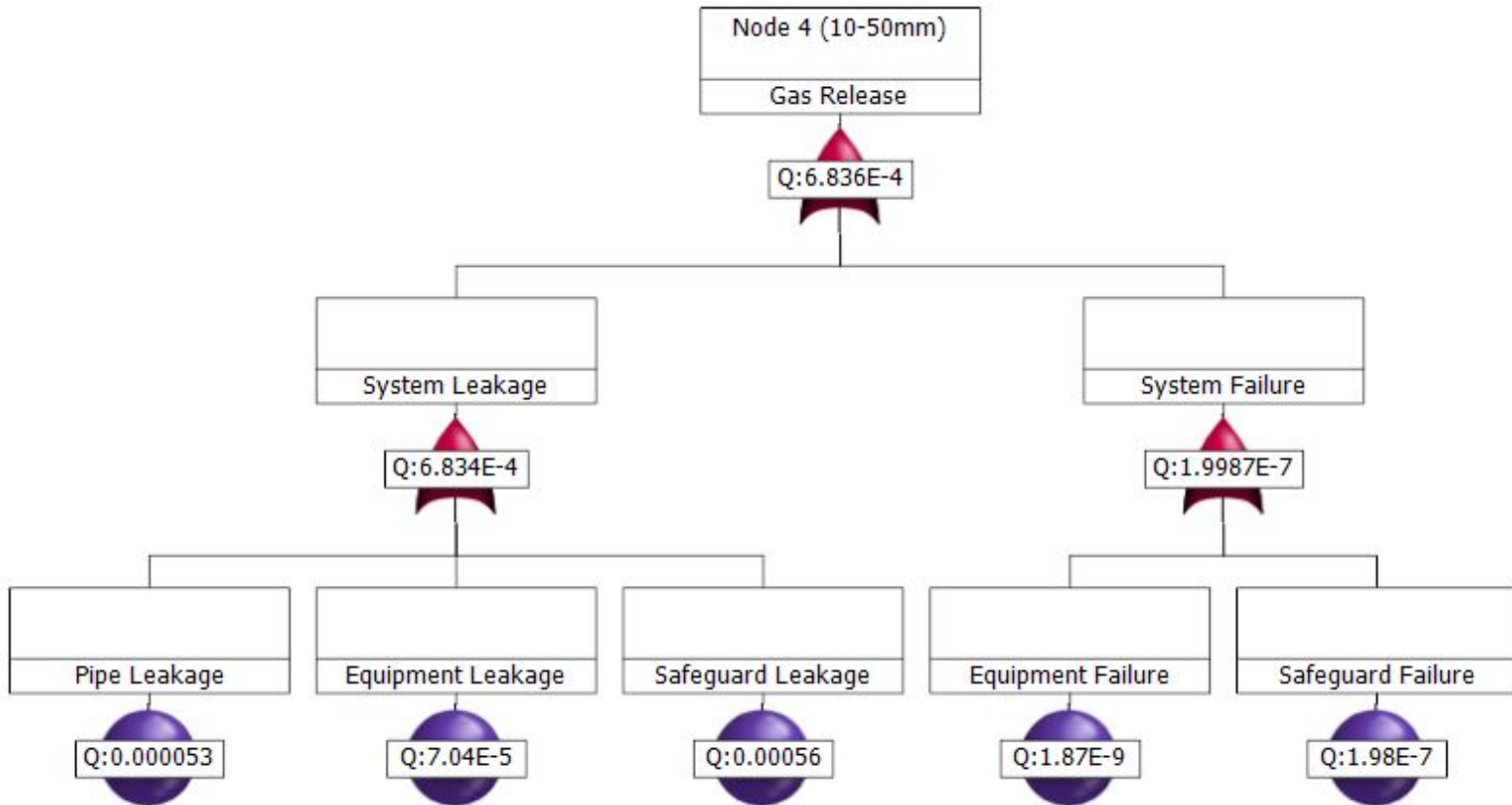
Fault Tree Analysis (FTA) Node 3 skenario 10-50mm



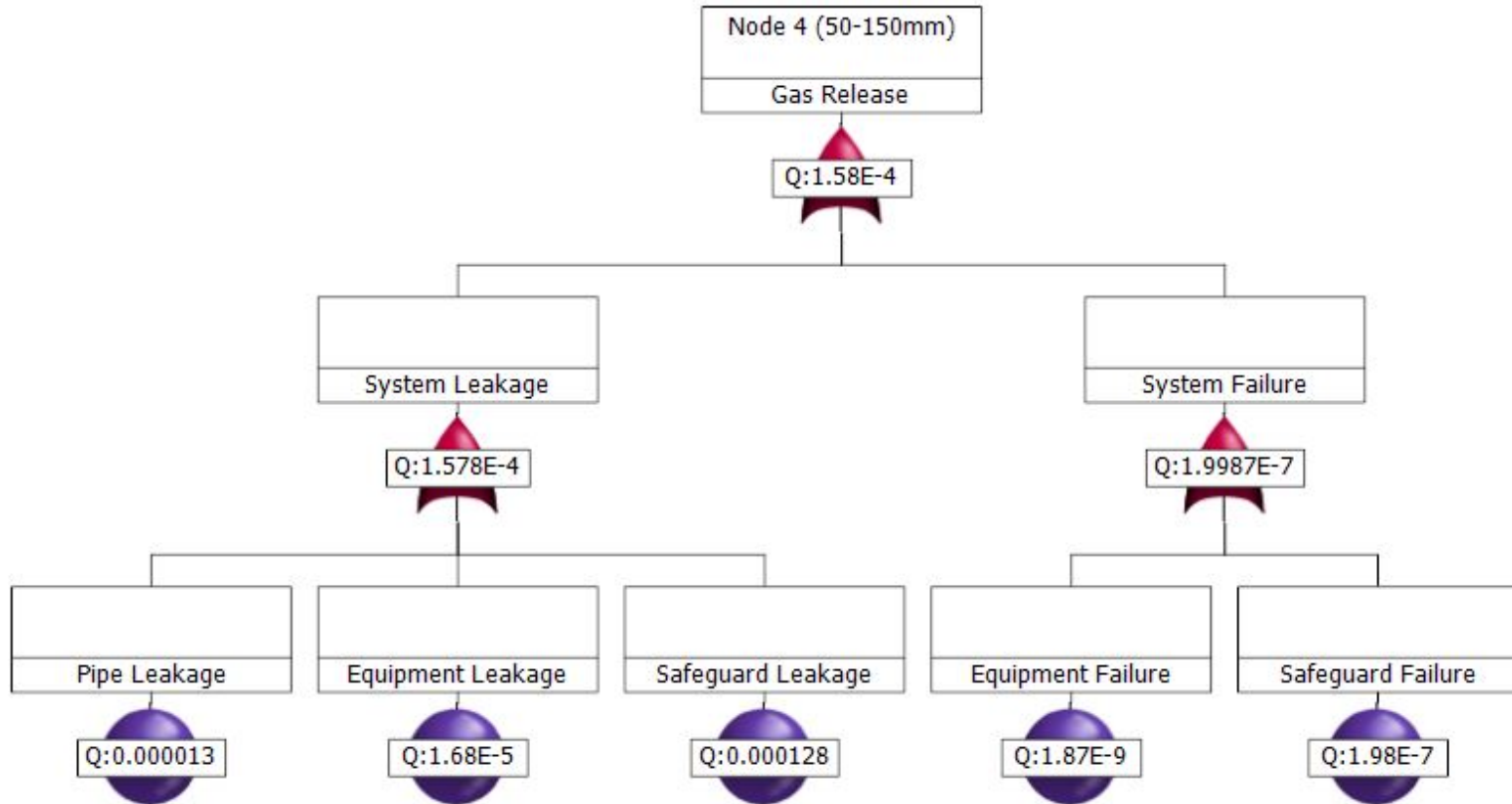
Fault Tree Analysis (FTA) Node 3 skenario 50-150mm



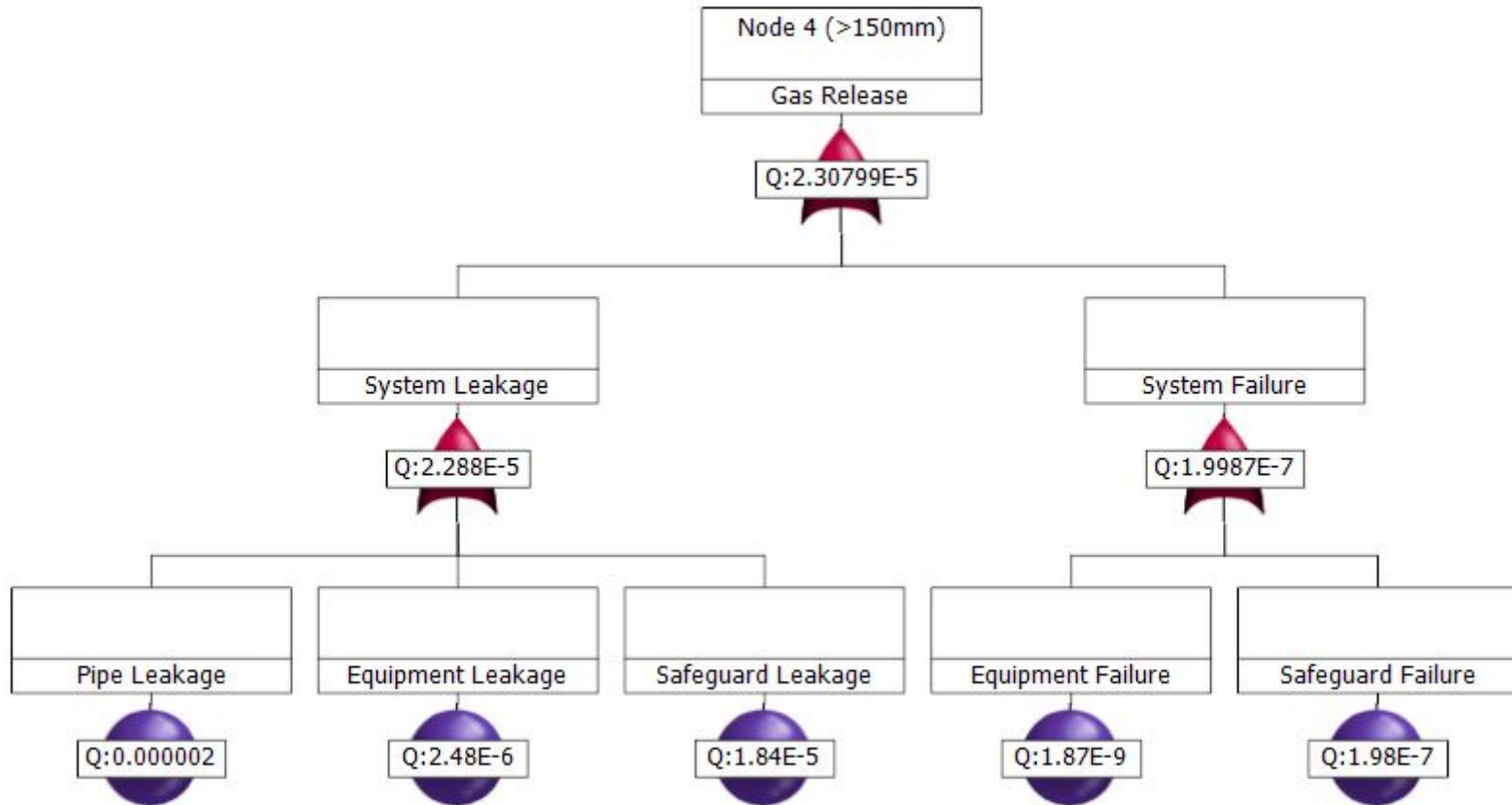
Fault Tree Analysis (FTA) Node 3 skenario >150mm



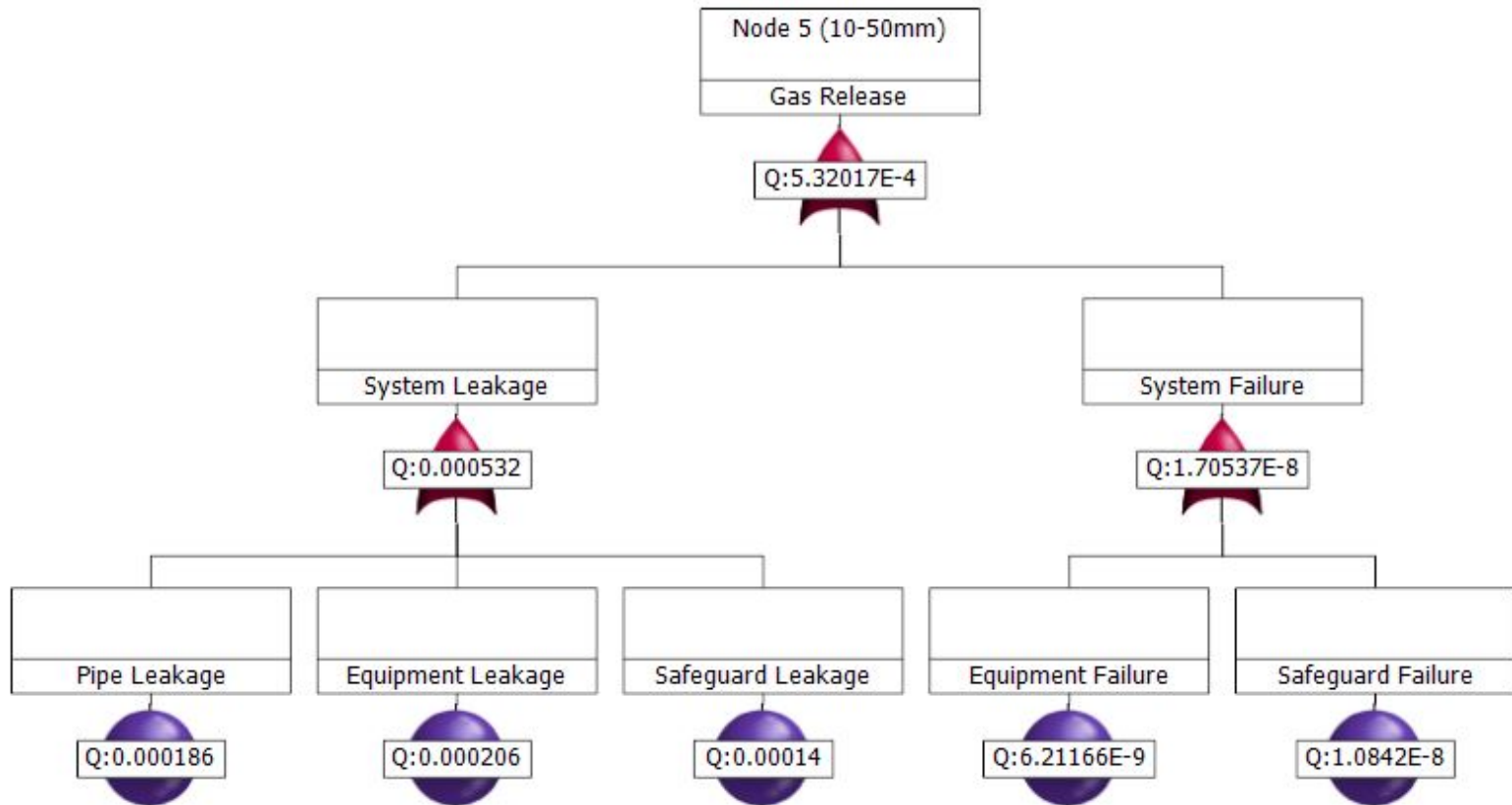
Fault Tree Analysis (FTA) Node 4 skenario 10-50mm



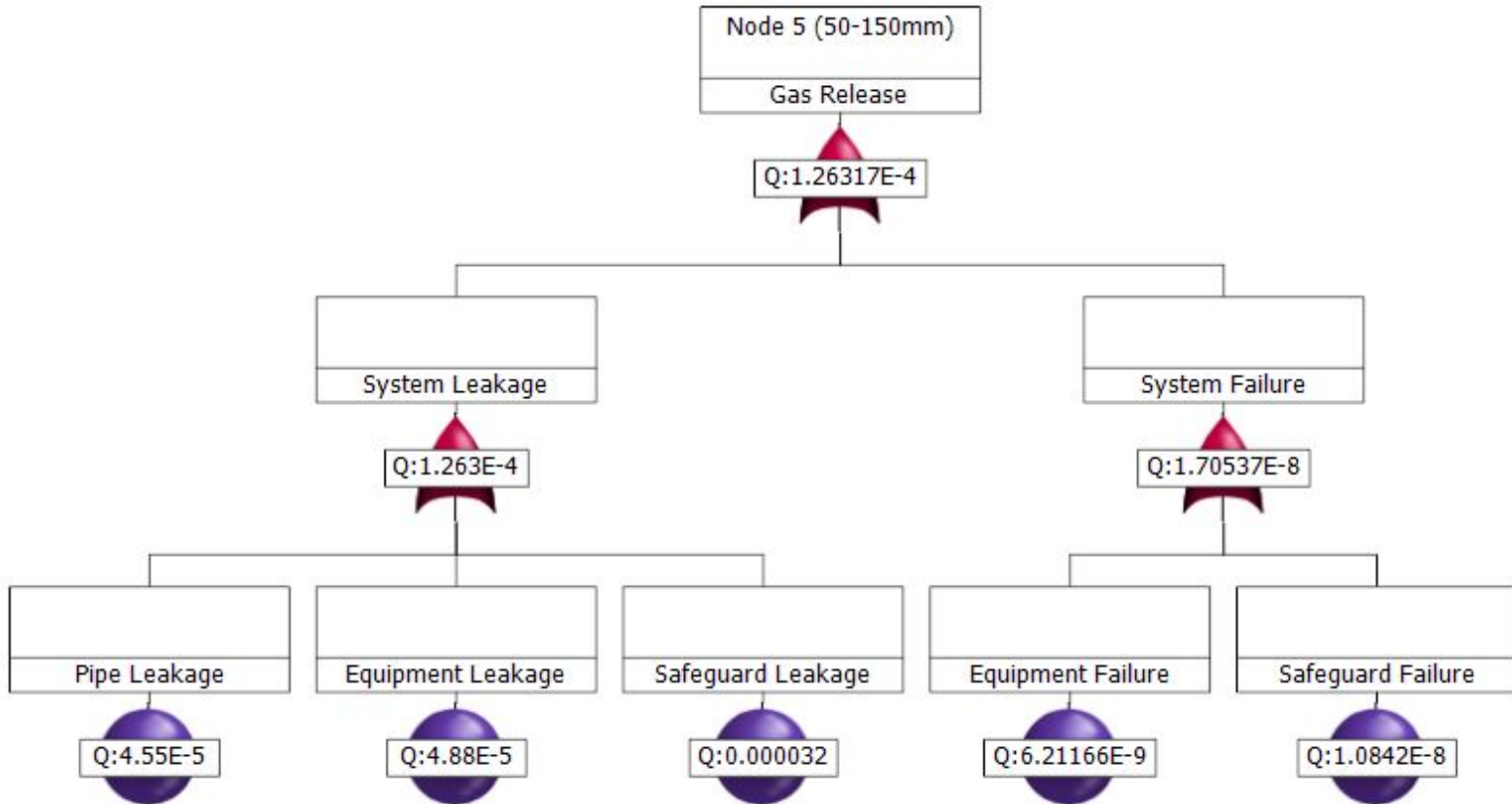
Fault Tree Analysis (FTA) Node 4 skenario 50-150mm



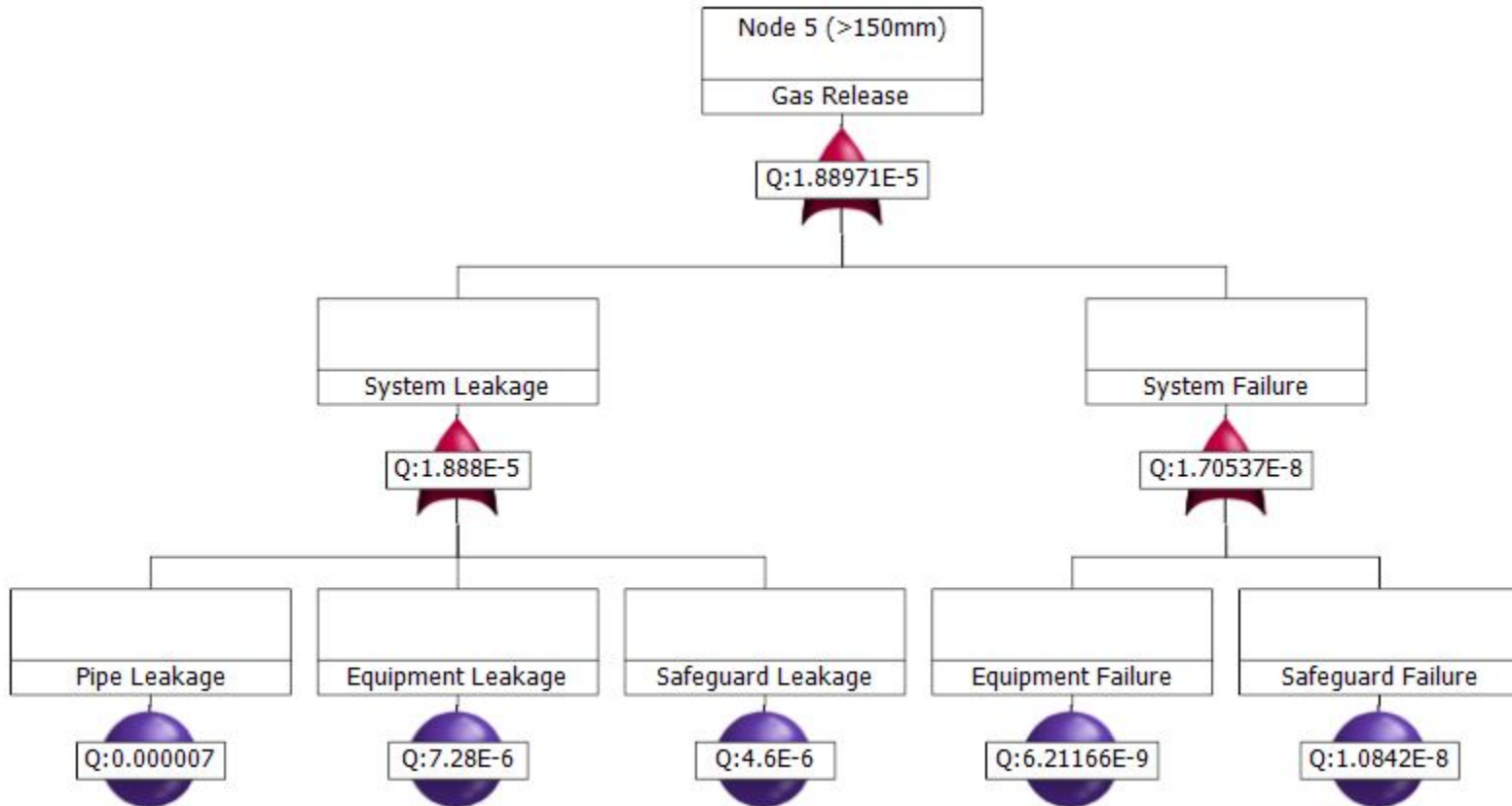
Fault Tree Analysis (FTA) Node 4 skenario >150mm



Fault Tree Analysis (FTA) Node 5 skenario 10-50mm



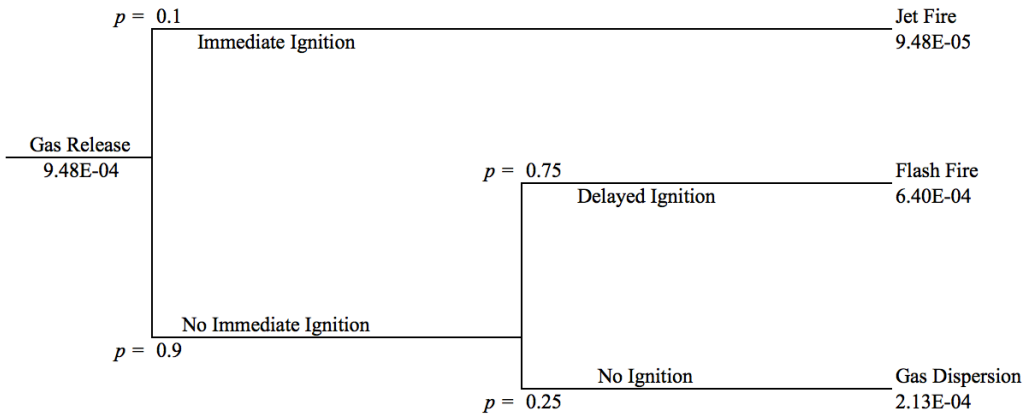
Fault Tree Analysis (FTA) Node 5 skenario 50-150mm



Fault Tree Analysis (FTA) Node 5 skenario >150mm

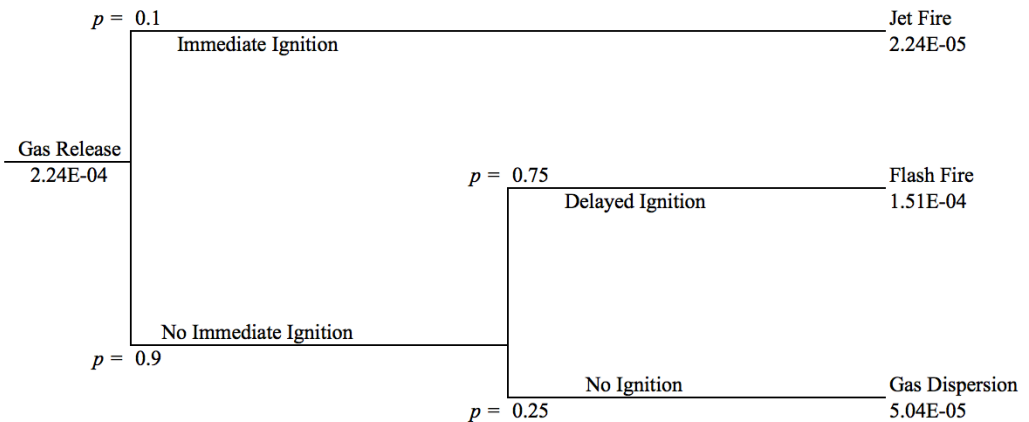
LAMPIRAN V : EVENT TREE ANALYSIS (ETA)

Node 1 Skenario 10-50mm



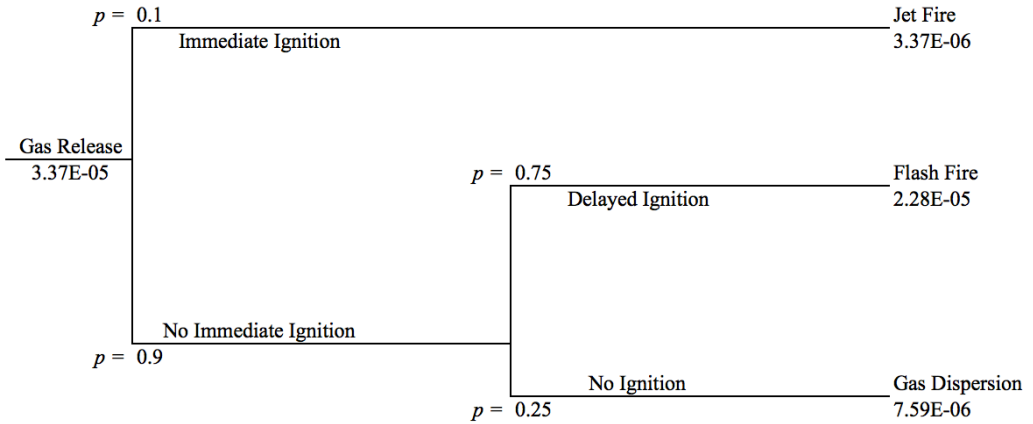
Event Tree Analysis (ETA) Node 1 Skenario 10-50mm

Node 1 Skenario 50-150mm



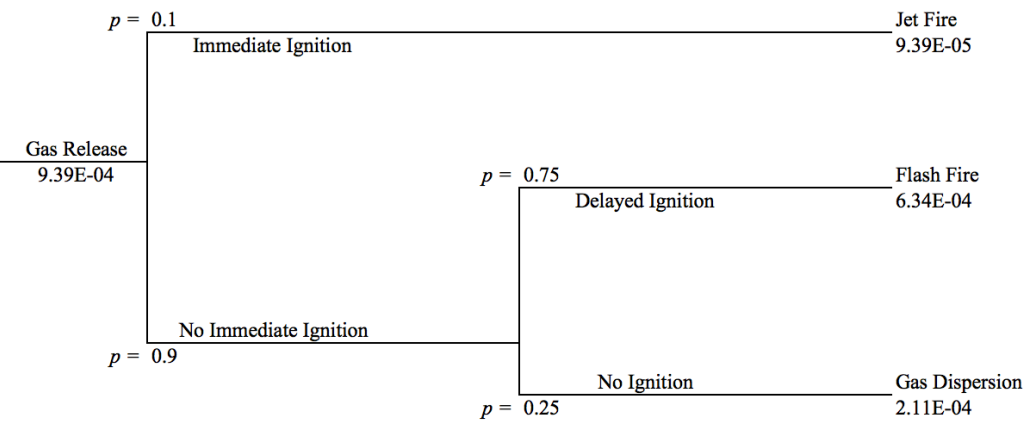
Event Tree Analysis (ETA) Node 1 Skenario 50-150mm

Node 1 Skenario >150mm



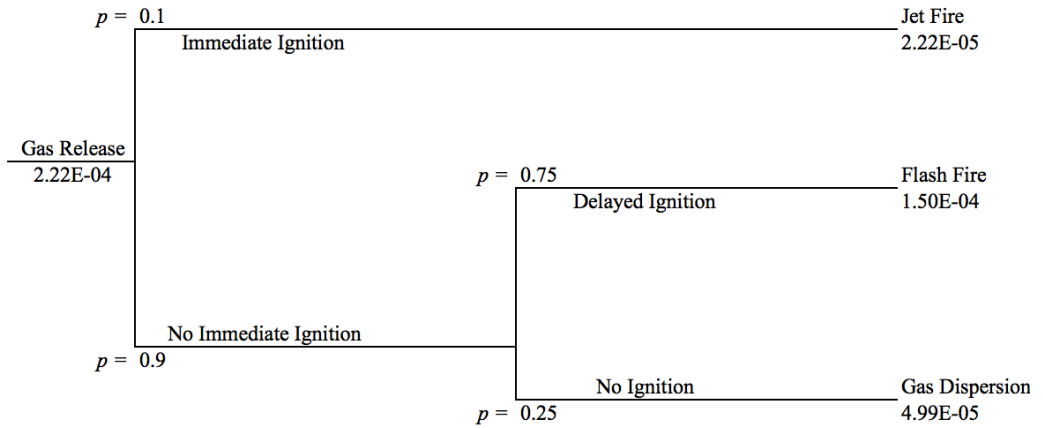
Event Tree Analysis (ETA) Node 1 Skenario >150mm

Node 2 Skenario 10-50mm



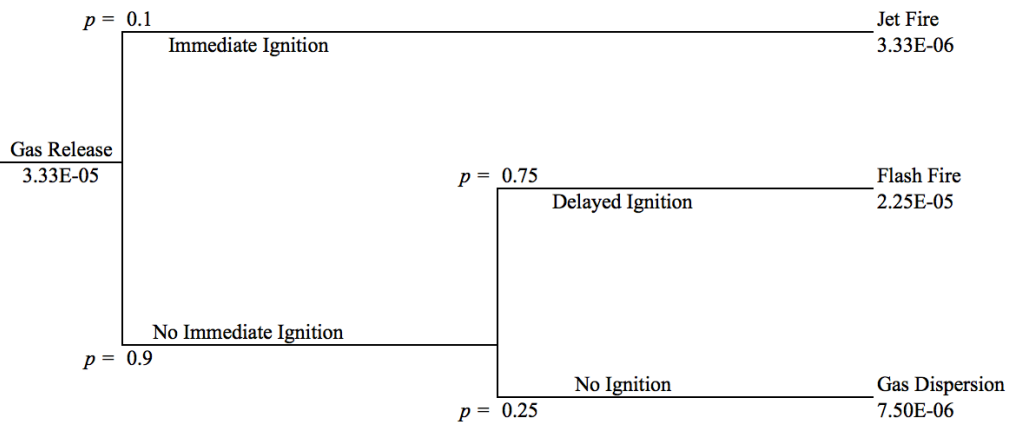
Event Tree Analysis (ETA) Node 2 Skenario 10-50mm

Node 2 Skenario 50-150mm



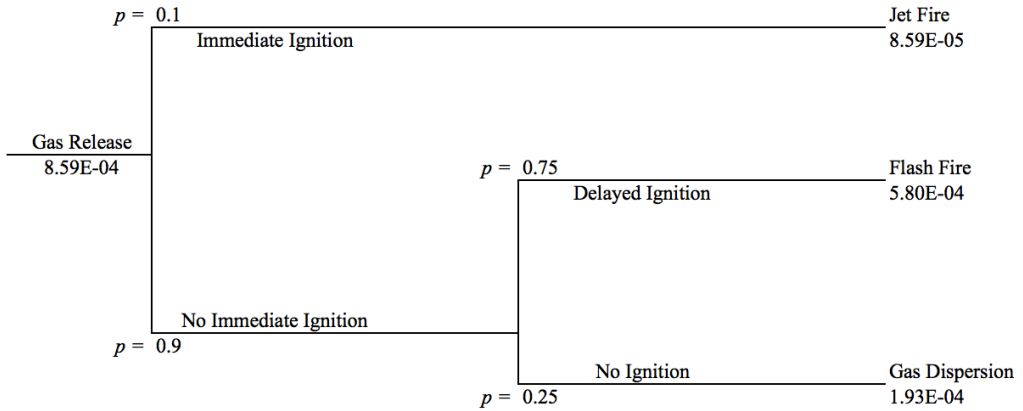
Event Tree Analysis (ETA) Node 2 Skenario 50-150mm

Node 2 Skenario >150mm



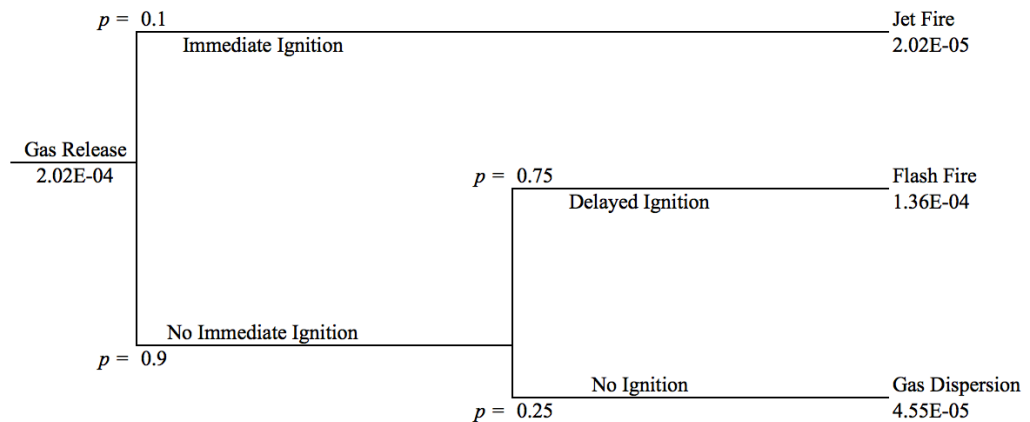
Event Tree Analysis (ETA) Node 2 Skenario >150mm

Node 3 Skenario 10-50mm



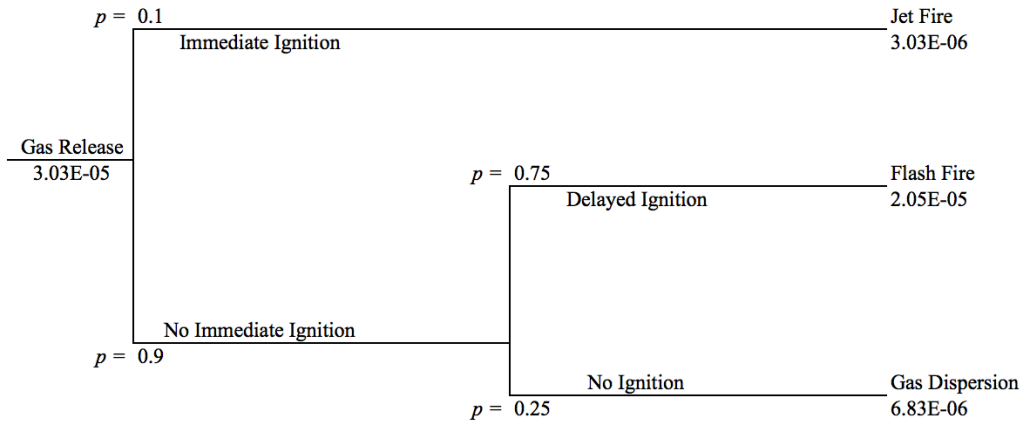
Event Tree Analysis (ETA) Node 3 Skenario 10-50mm

Node 3 Skenario 50-150mm



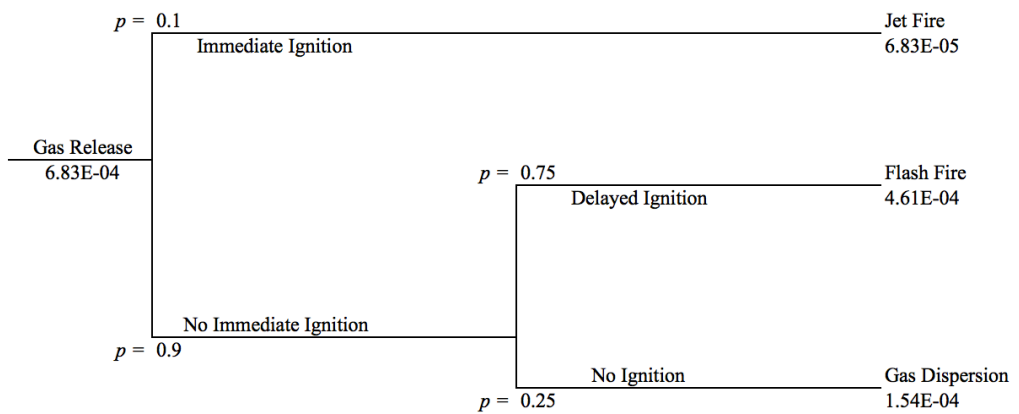
Event Tree Analysis (ETA) Node 3 Skenario 50-150mm

Node 3 Skenario >150mm



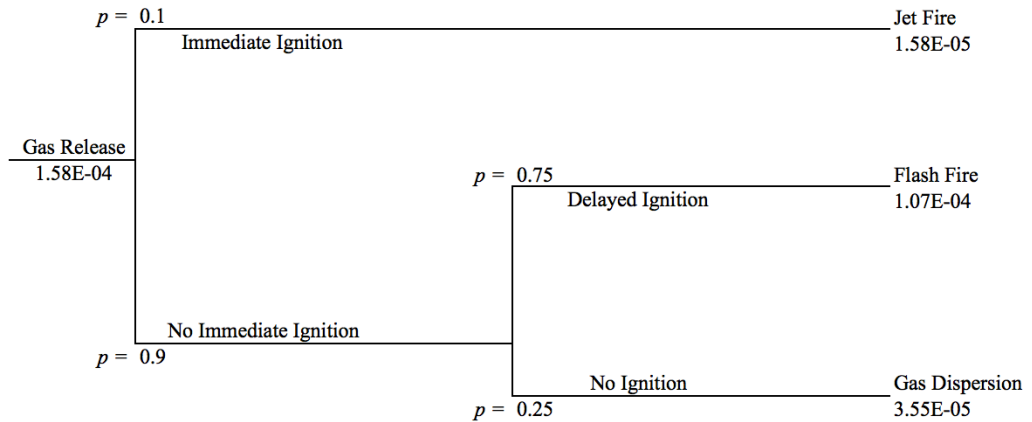
Event Tree Analysis (ETA) Node 3 Skenario >150mm

Node 4 Skenario 10-50mm



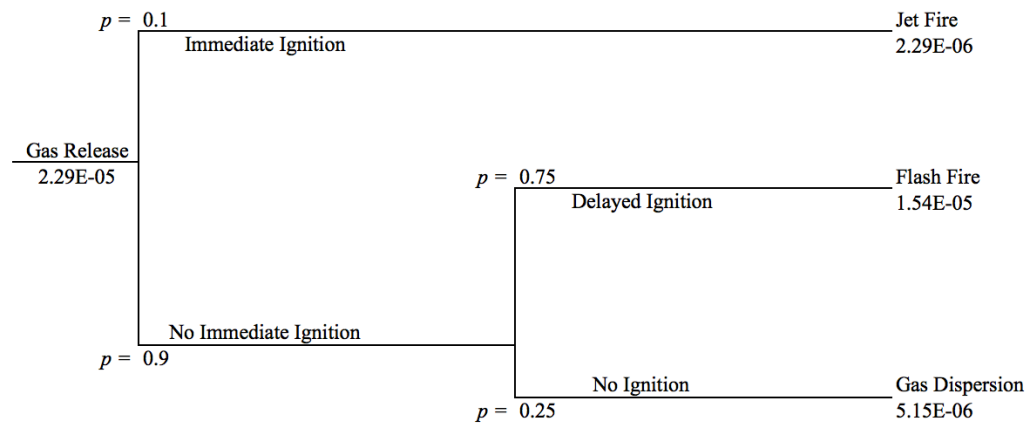
Event Tree Analysis (ETA) Node 4 Skenario 10-50mm

Node 4 Skenario 50-150mm



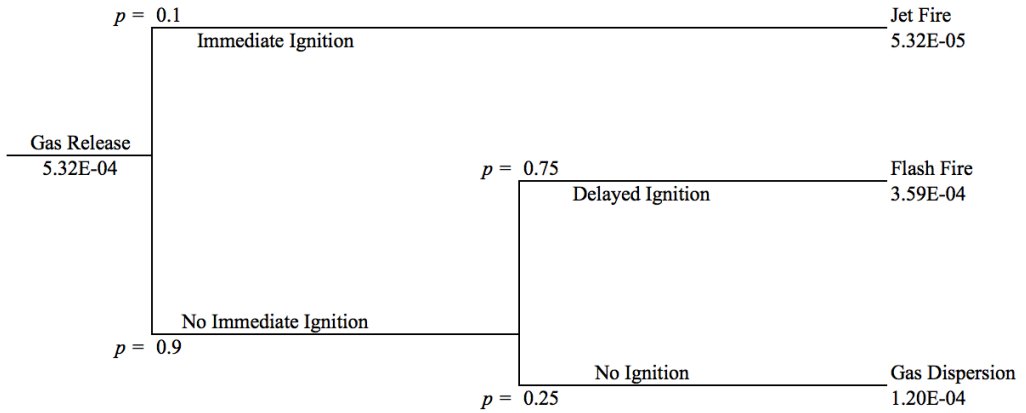
Event Tree Analysis (ETA) Node 4 Skenario 50-150mm

Node 4 Skenario >150mm



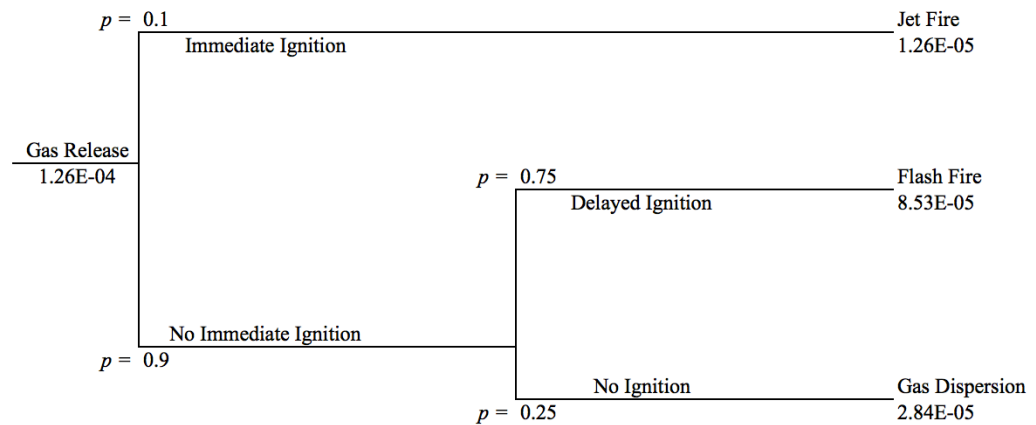
Event Tree Analysis (ETA) Node 4 Skenario >150mm

Node 5 Skenario 10-50mm

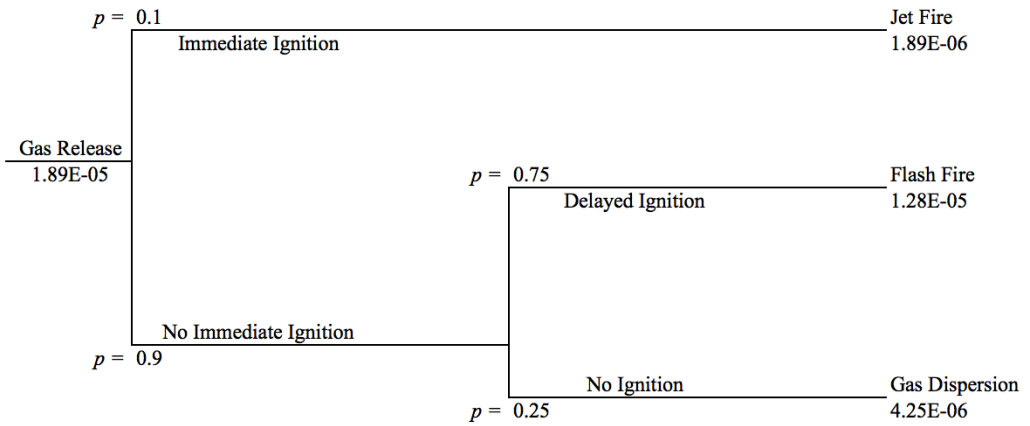


Event Tree Analysis (ETA) Node 5 Skenario 10-50mm

Node 5 Skenario 50-150mm



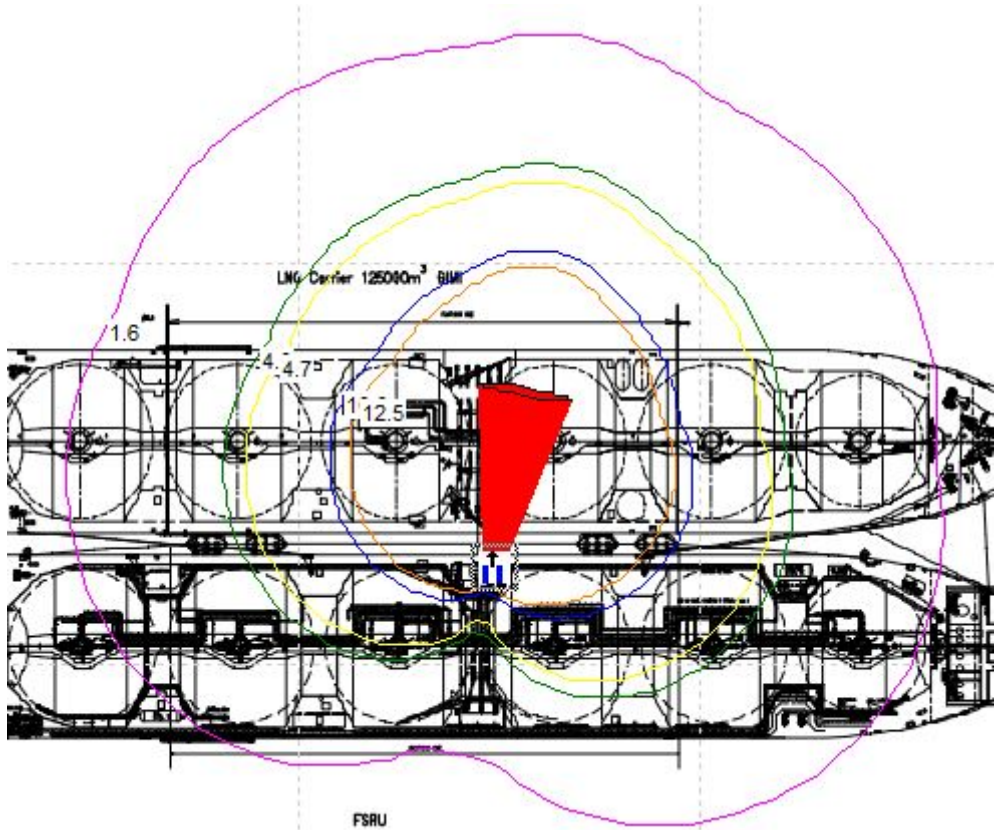
Event Tree Analysis (ETA) Node 5 Skenario 50-150mm

Node 5 Skenario >150mm

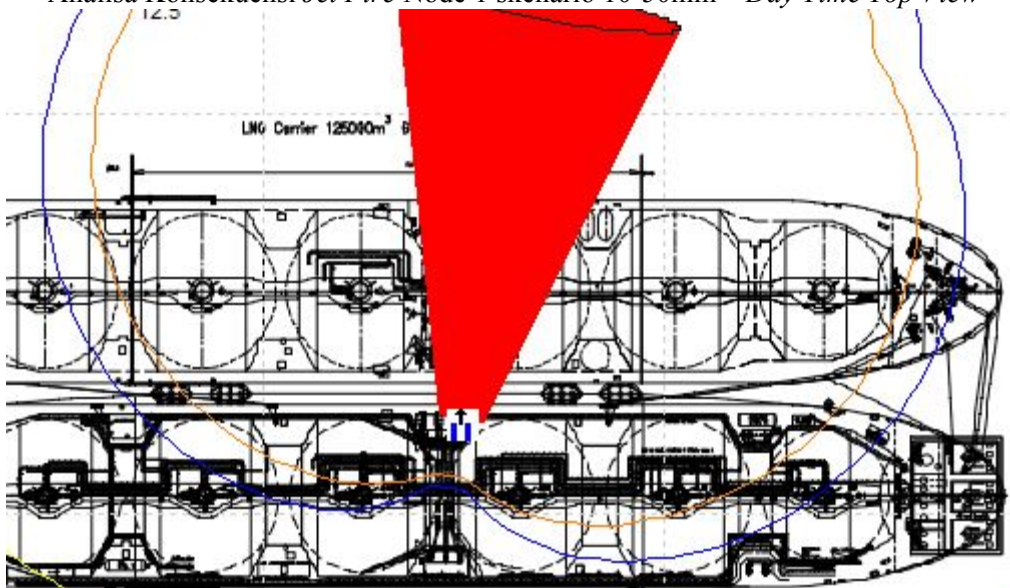
Event Tree Analysis (ETA) Node 5 Skenario >150mm

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN VI : JET FIRE TOP VIEW – DAY TIME



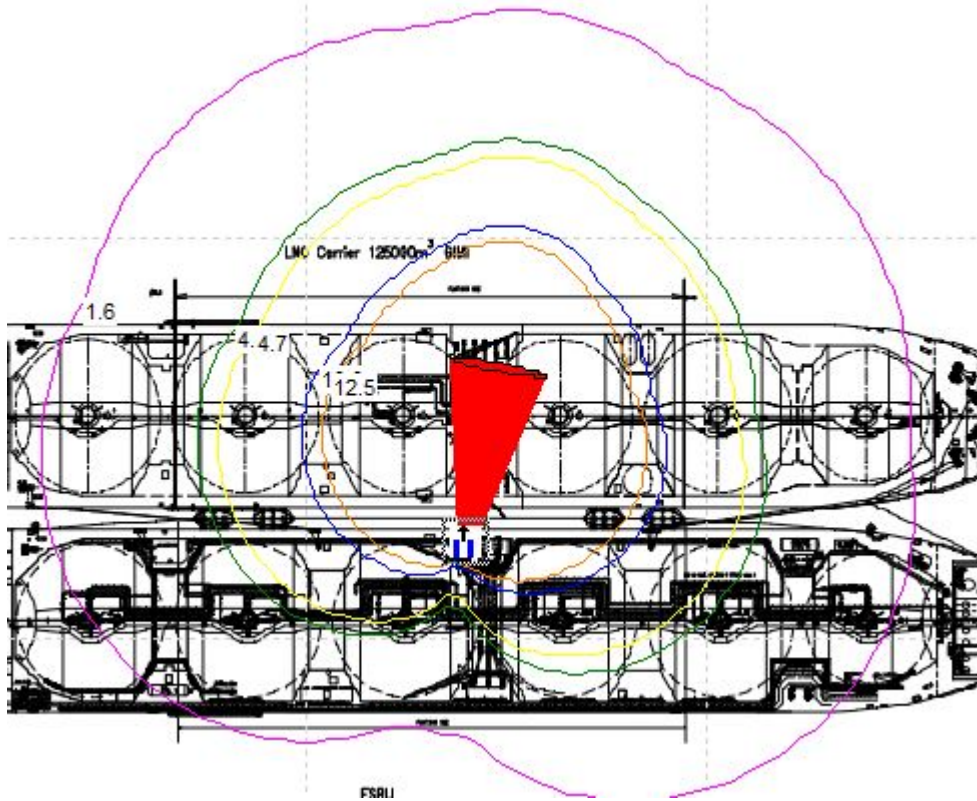
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 1 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



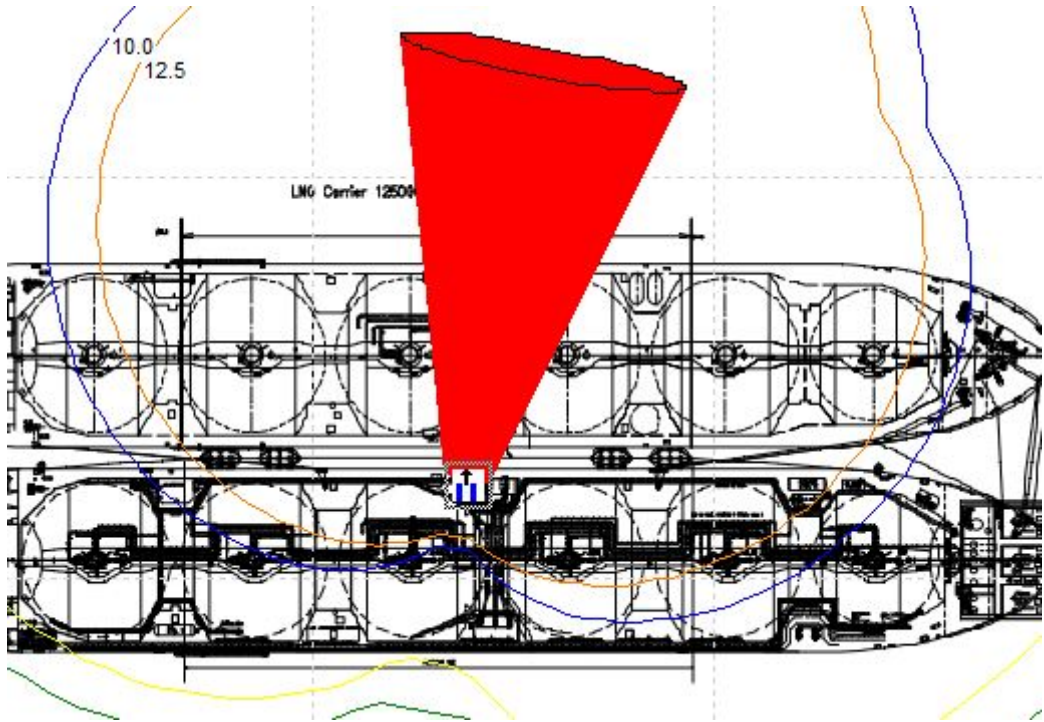
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 1 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



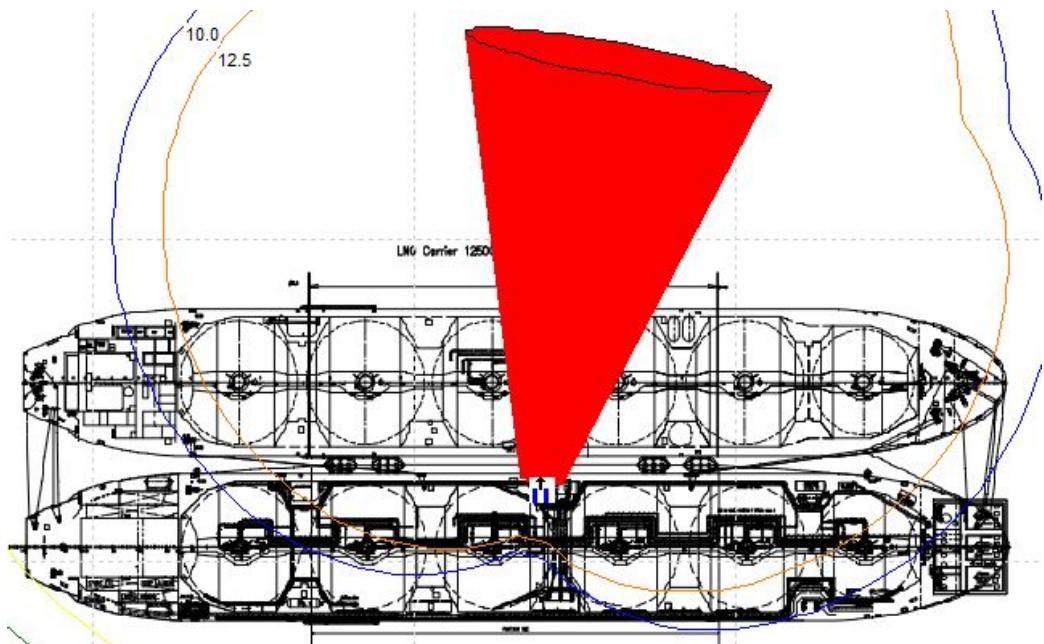
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 1 skenario >150mm – *Day Time Top View*



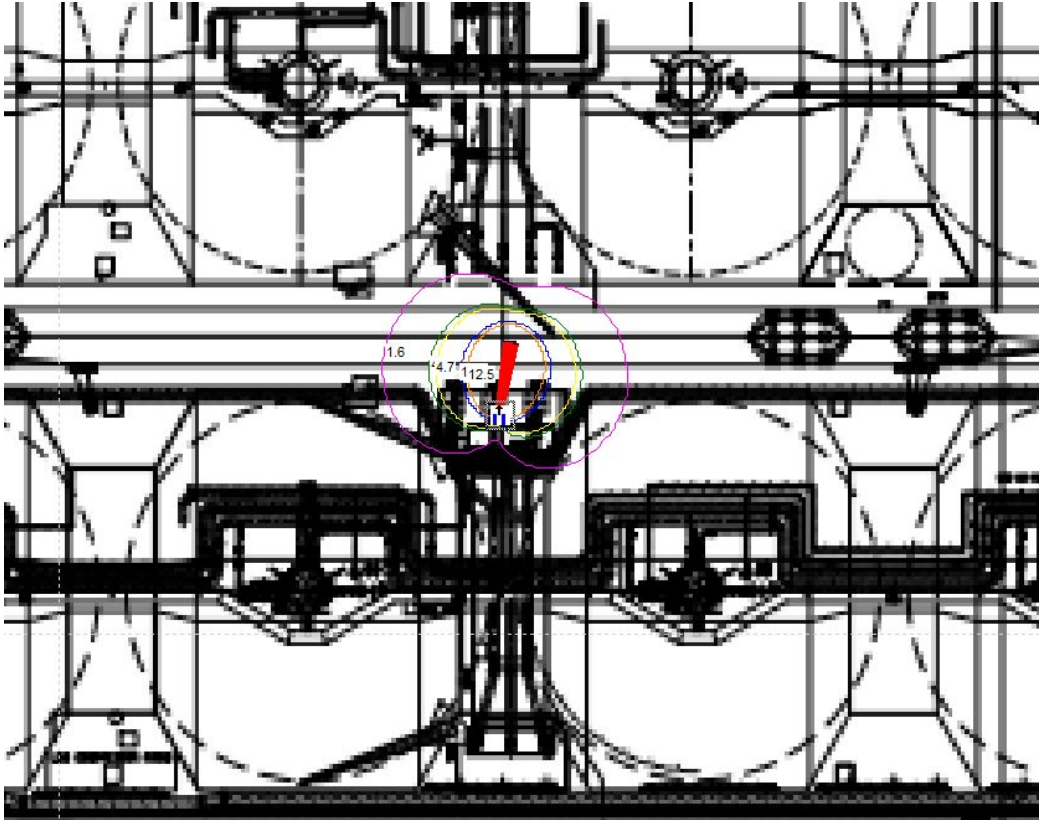
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 2 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



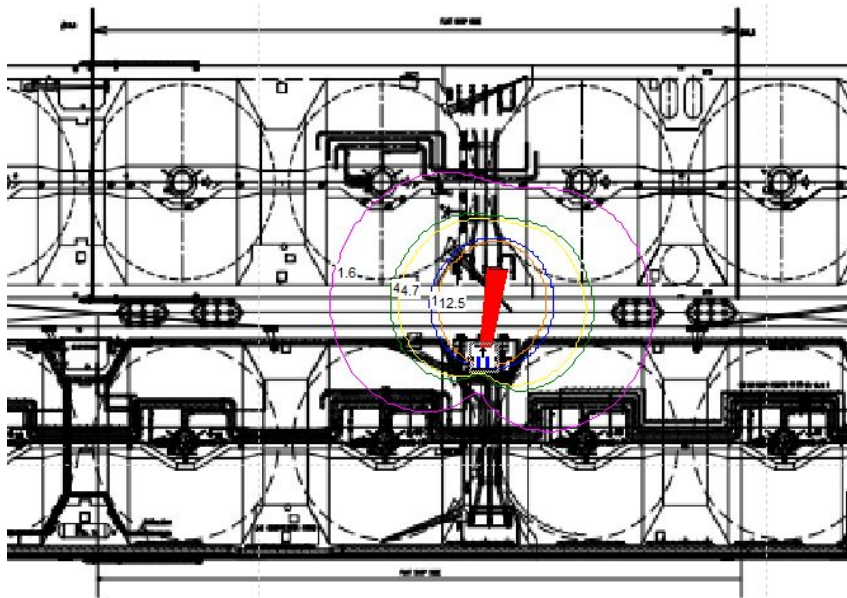
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 2 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



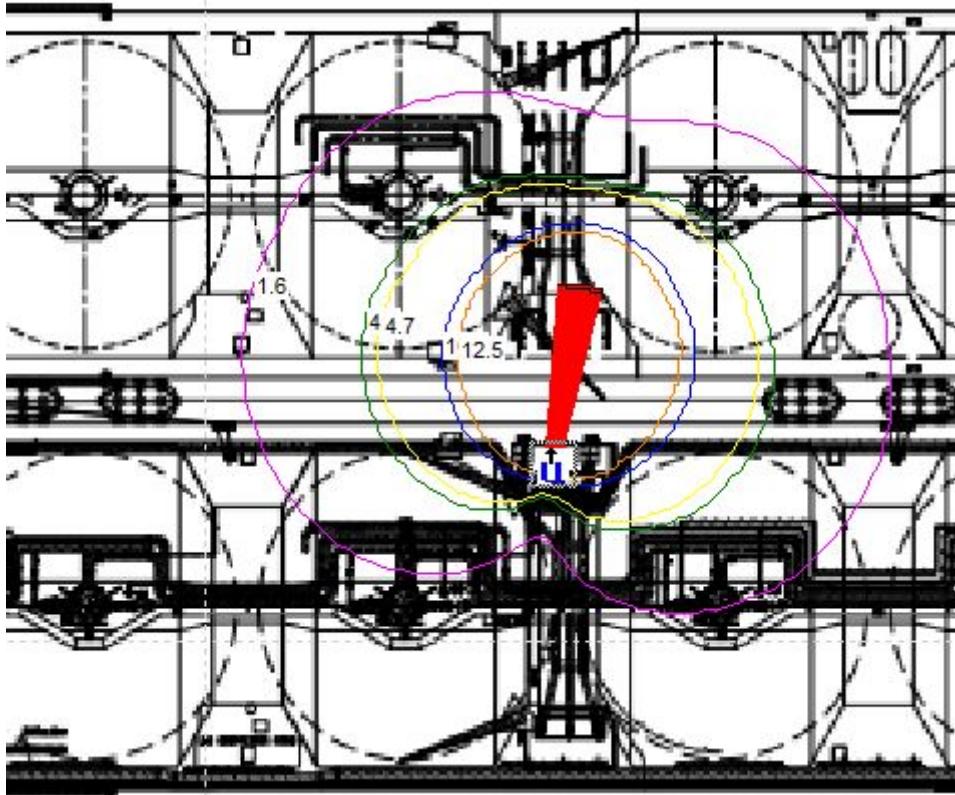
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 2 skenario >150mm – *Day Time Top View*



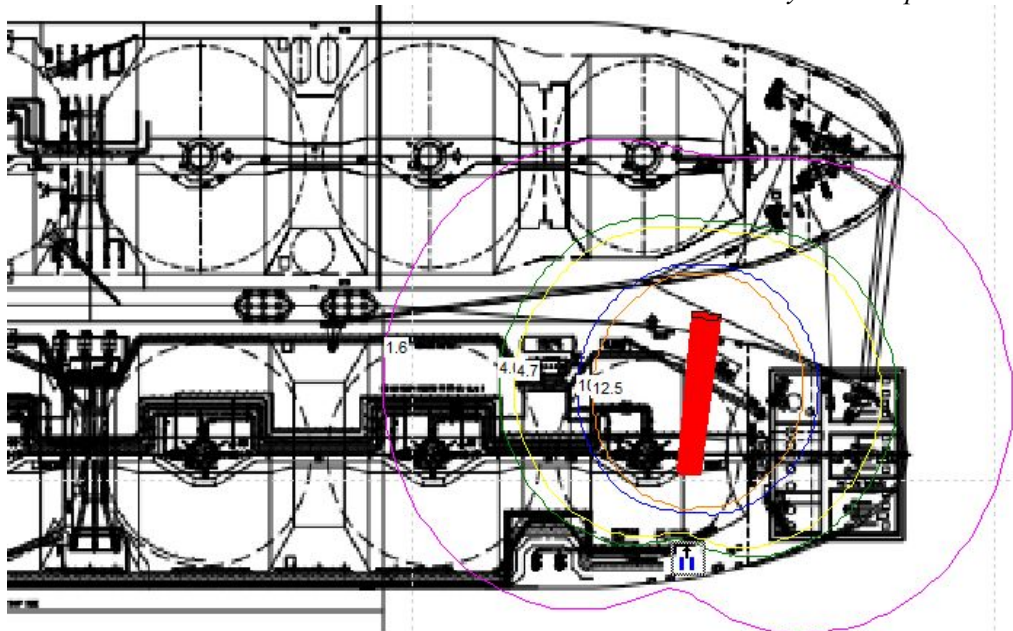
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 3 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



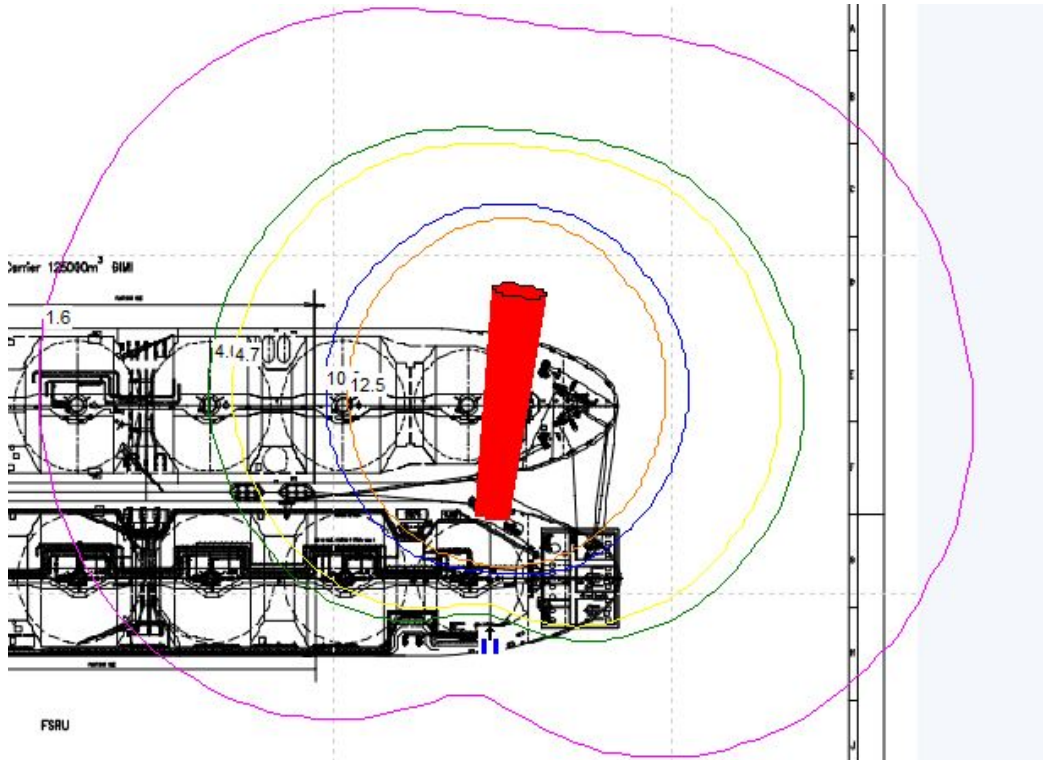
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 3 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



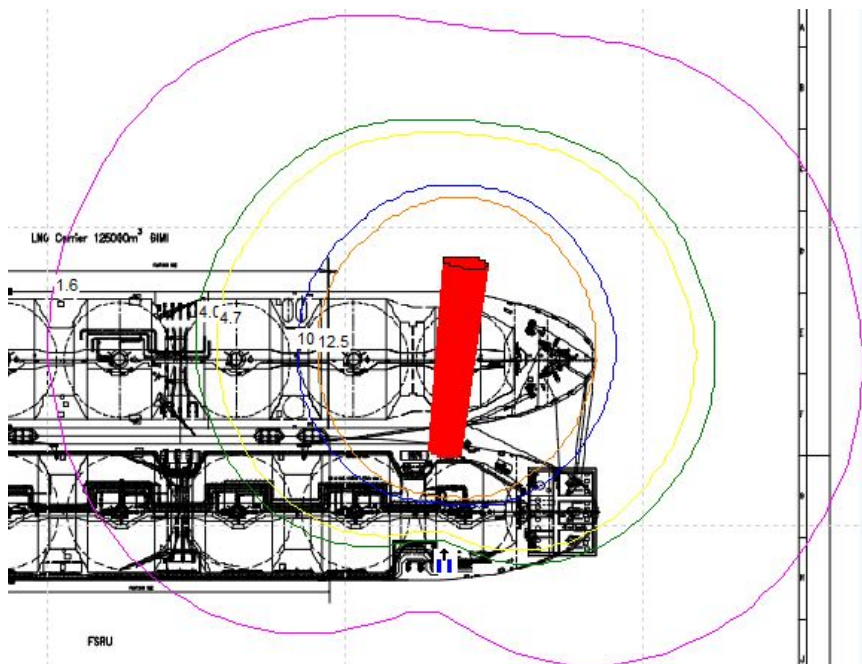
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 3 skenario >150mm – *Day Time Top View*



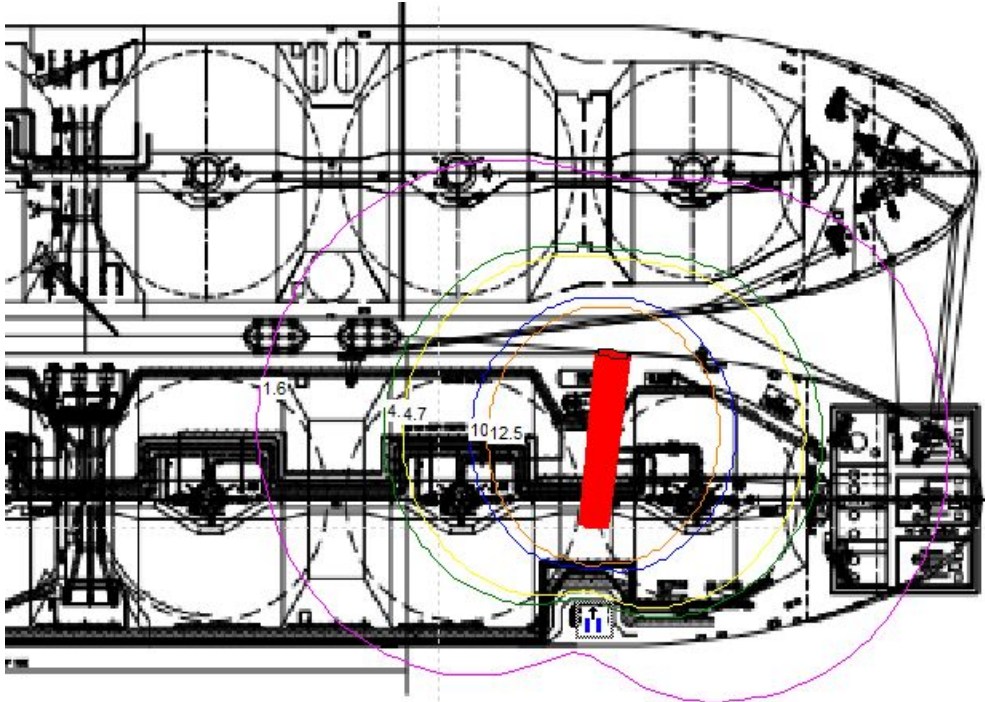
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 4 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



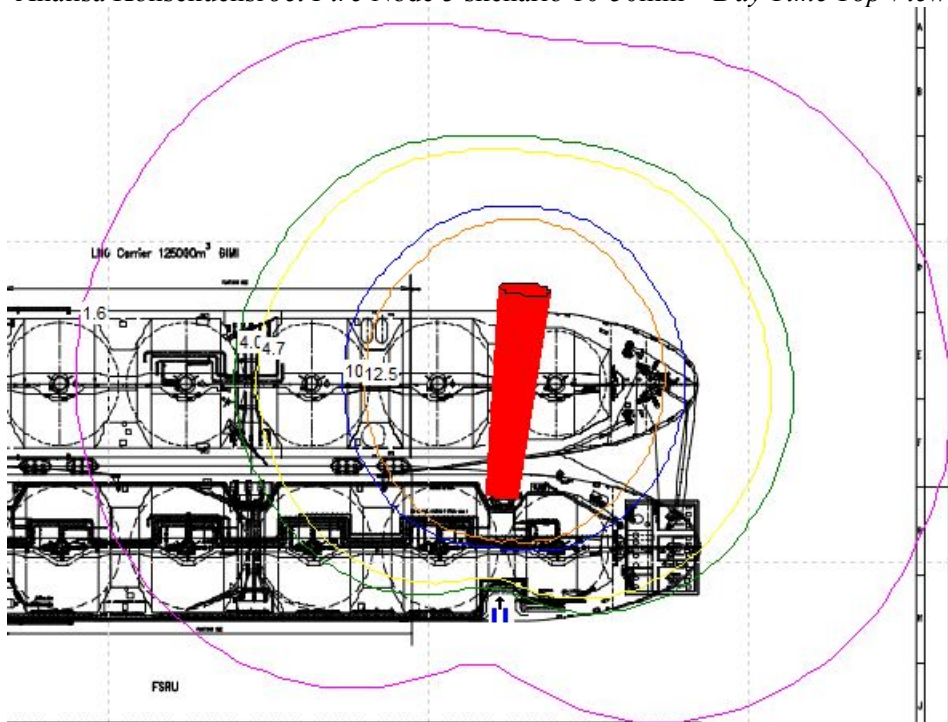
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 4 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



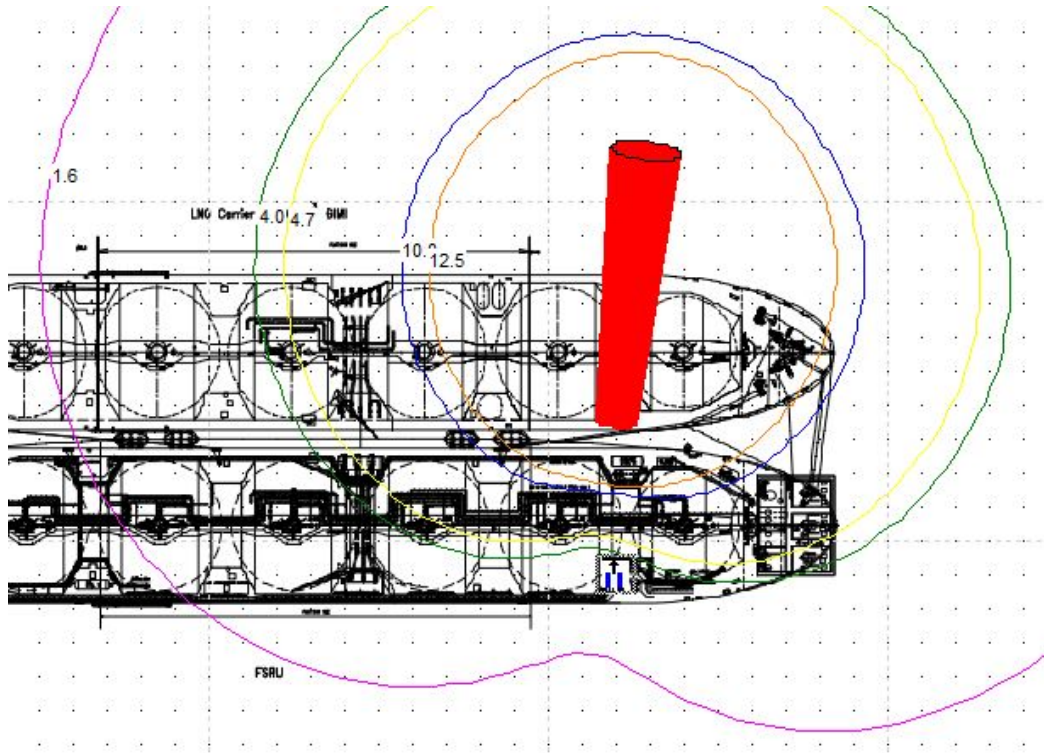
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 4 skenario >150mm – *Day Time Top View*



Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 5 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



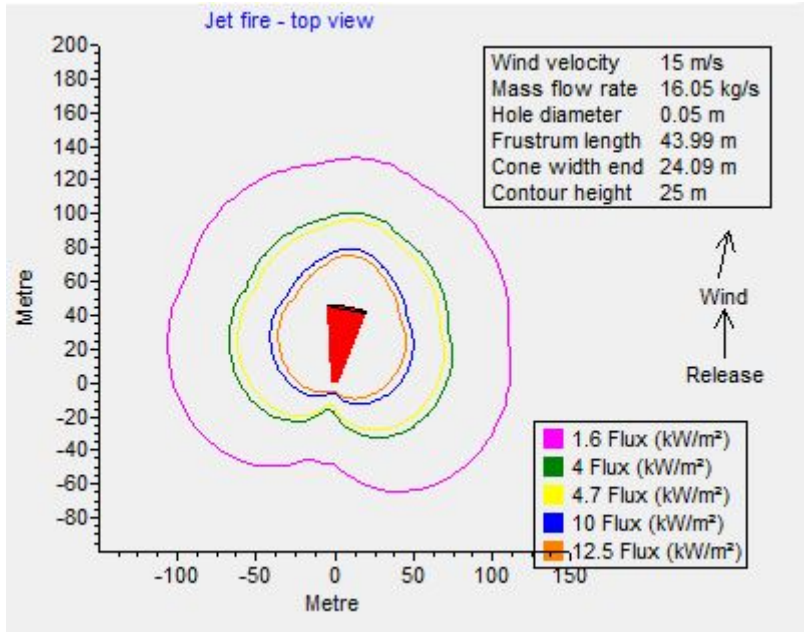
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 5 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



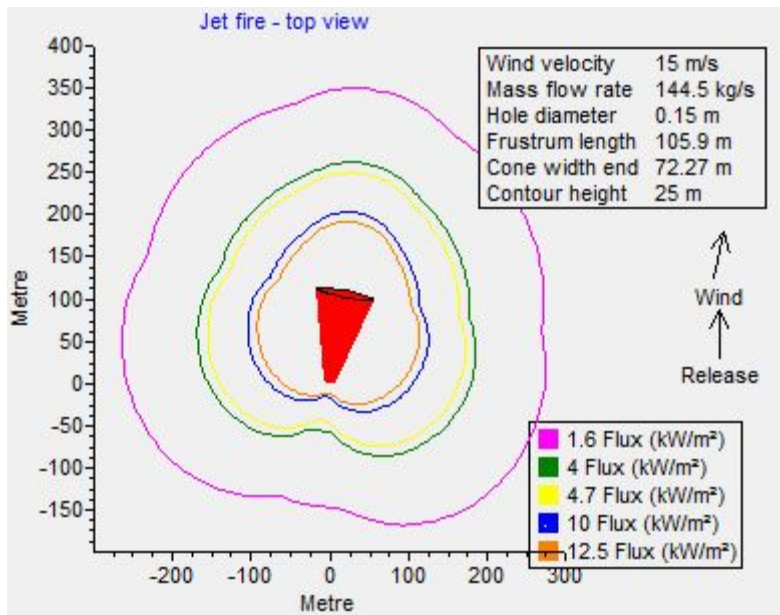
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 5 skenario >150mm – *Day Time Top View*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

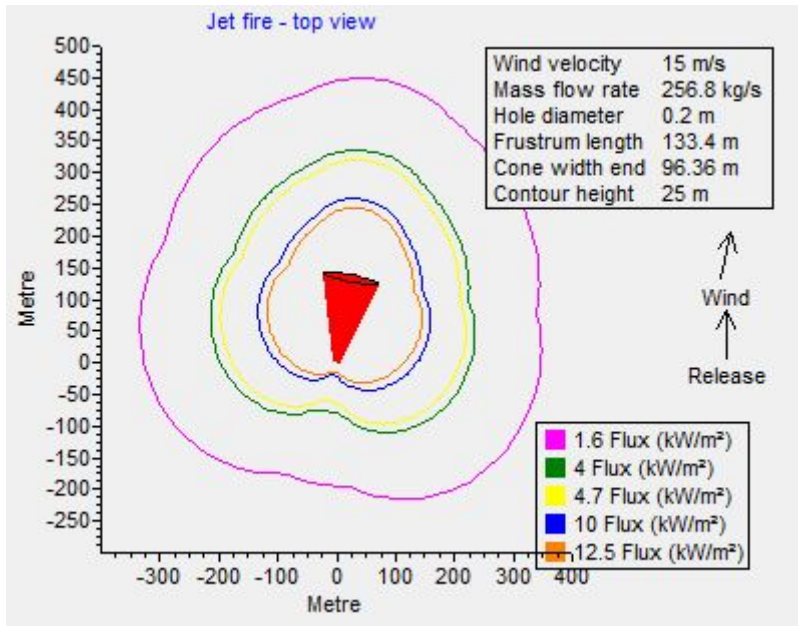
LAMPIRAN VII : JET FIRE RADIUS – DAY TIME



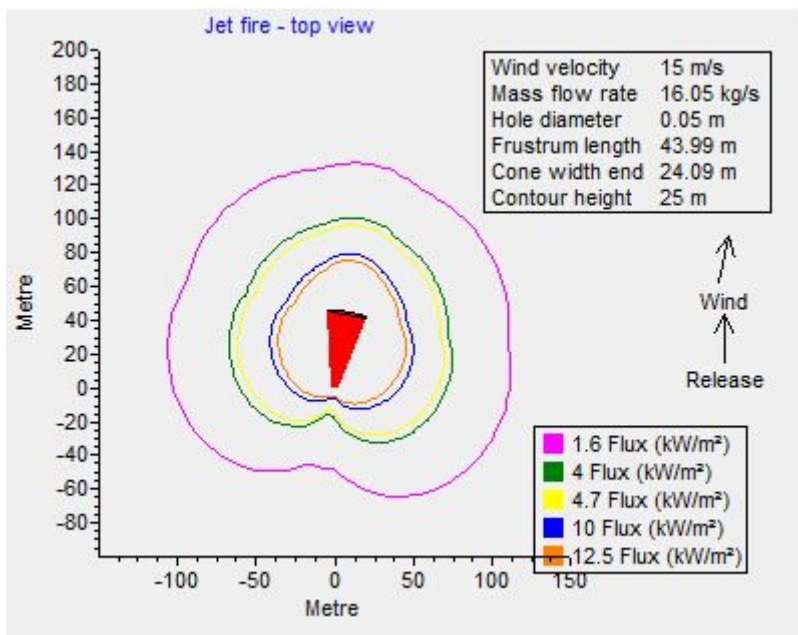
Radius *Jet Fire* Node 1 skenario 10-50mm – Day Time Top View



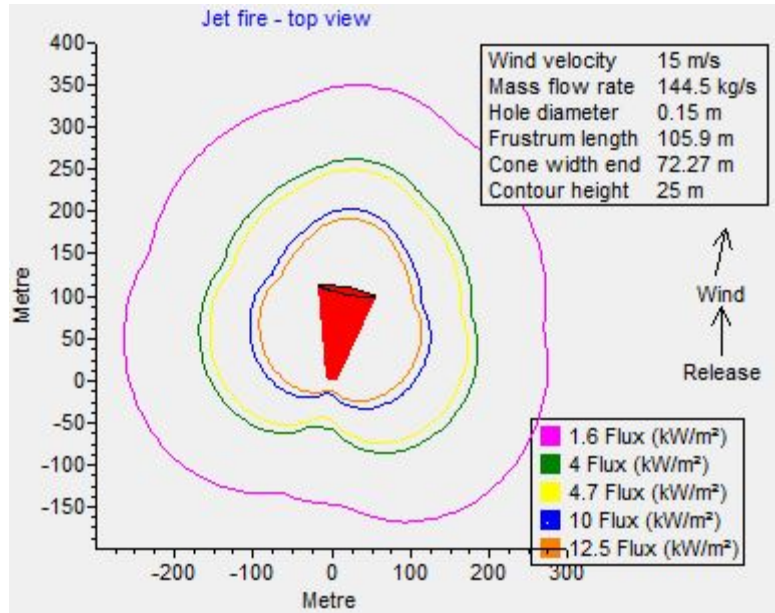
Radius *Jet Fire* Node 1 skenario 50-150mm – Day Time Top View



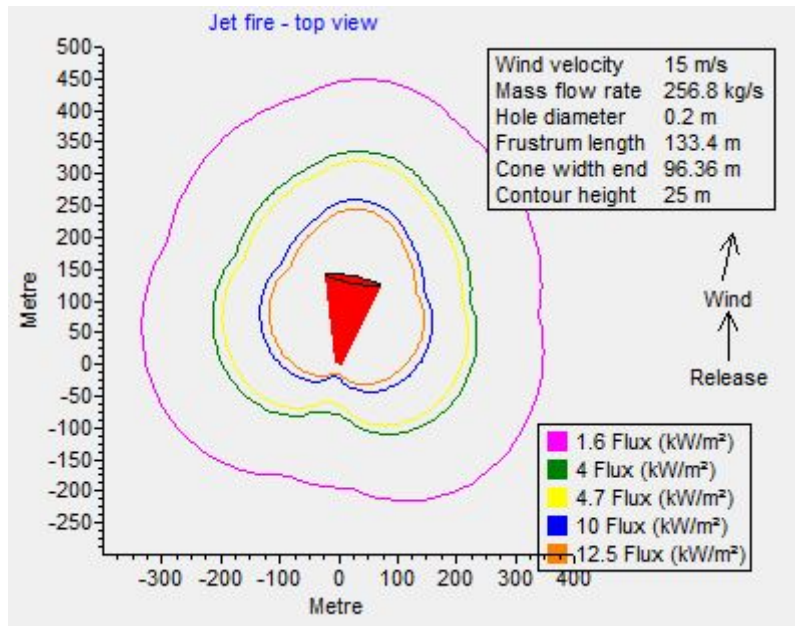
Radius *Jet Fire* Node 1 skenario >150mm – Day Time Top View



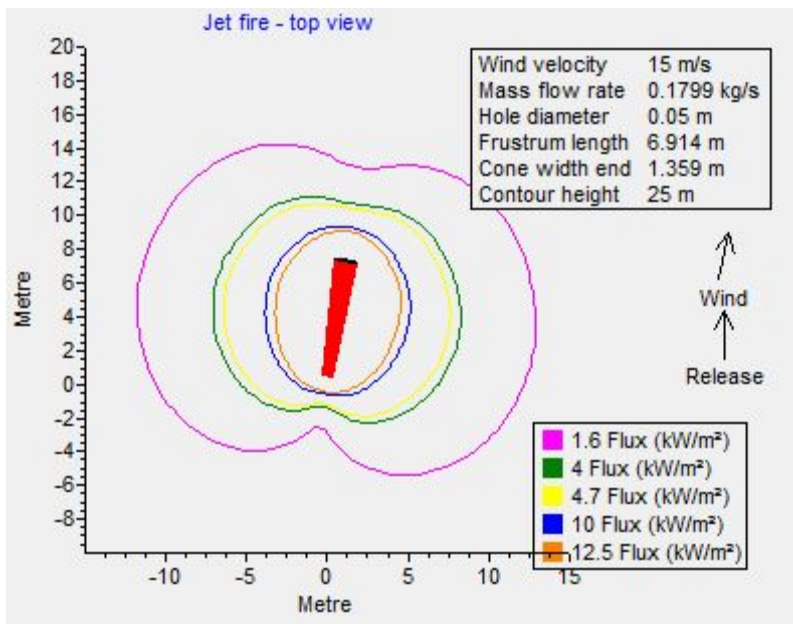
Radius *Jet Fire* Node 2 skenario 10-50mm – Day Time Top View



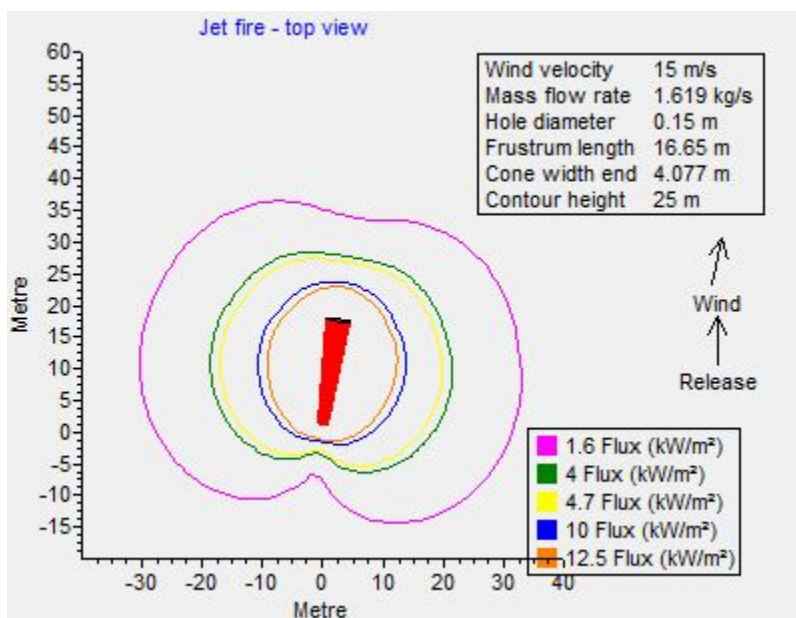
Radius *Jet Fire* Node 2 skenario 50-150mm – Day Time Top View



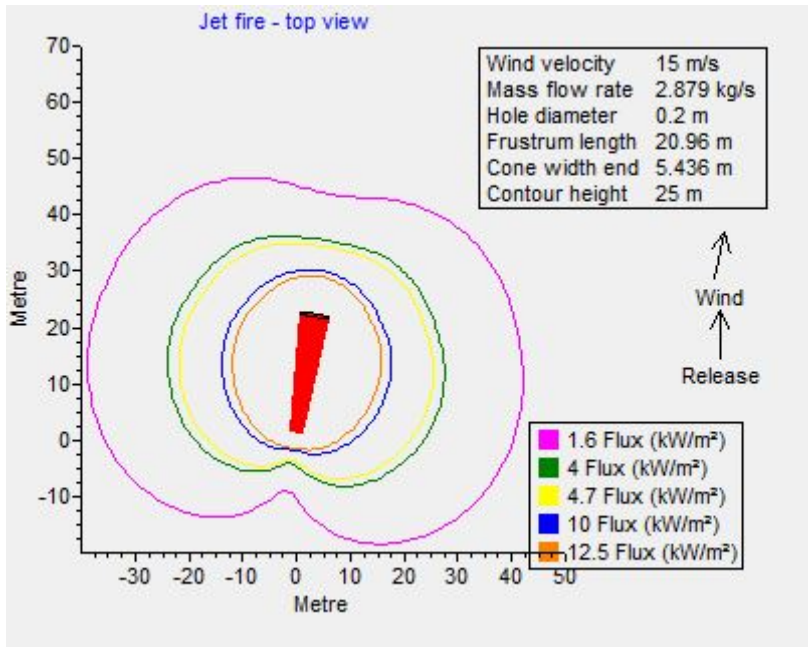
Radius *Jet Fire* Node 2 skenario >150mm – Day Time Top View



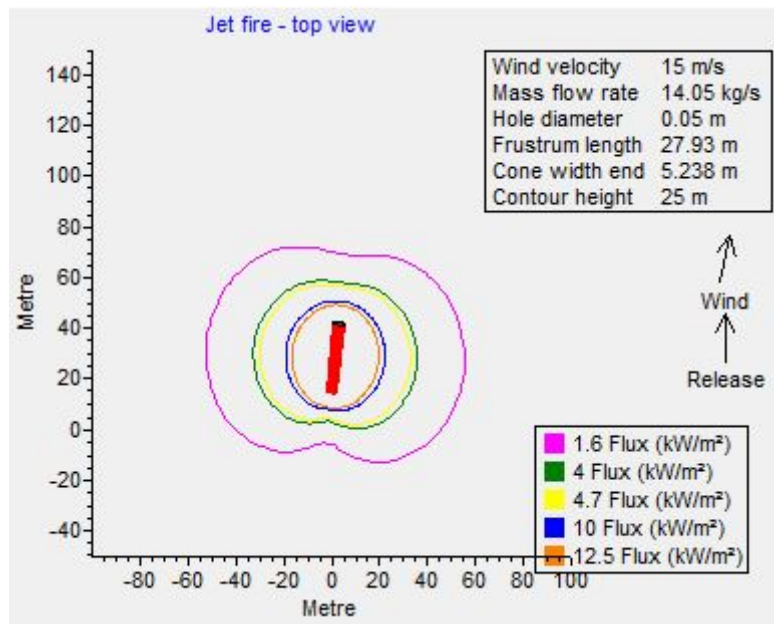
Radius *Jet Fire* Node 3 skenario 10-50mm – Day Time Top View



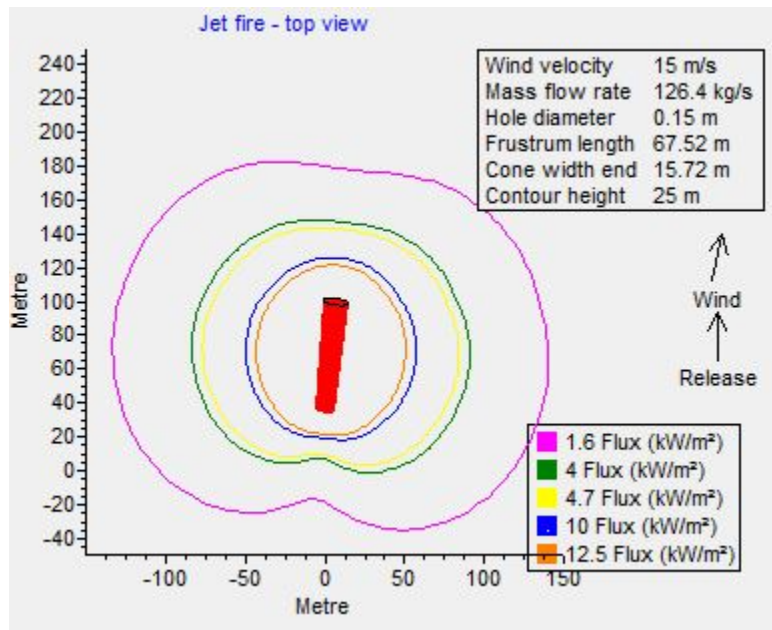
Radius *Jet Fire* Node 3 skenario 50-150mm – Day Time Top View



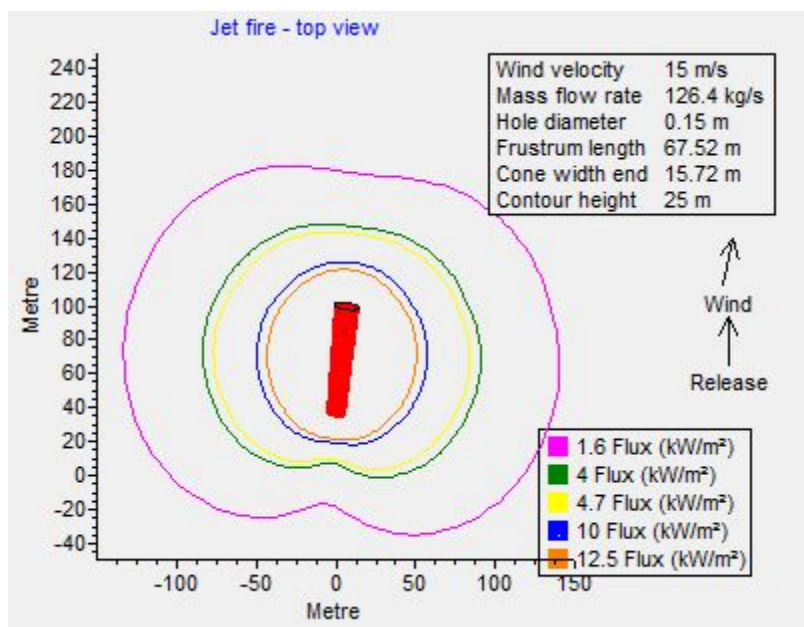
Radius *Jet Fire* Node 3 skenario >150mm – Day Time Top View



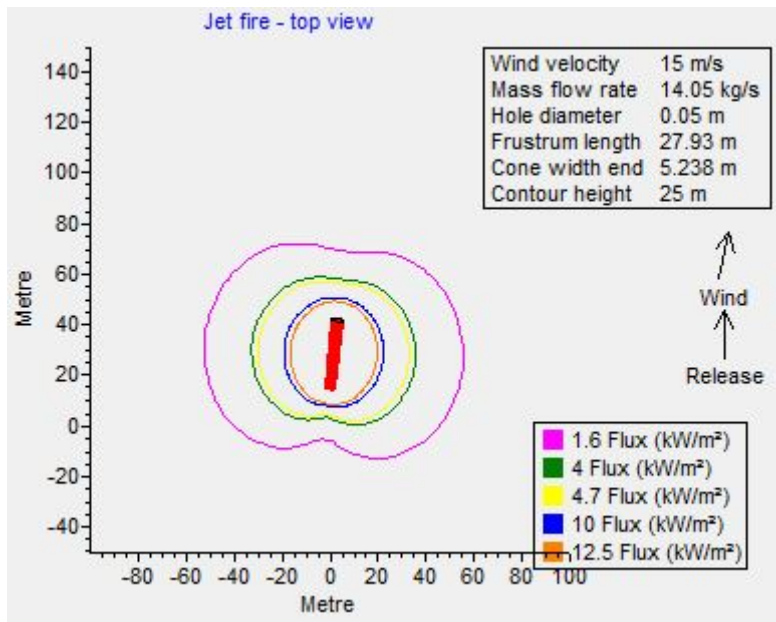
Radius *Jet Fire* Node 4 skenario 10-50mm – Day Time Top View



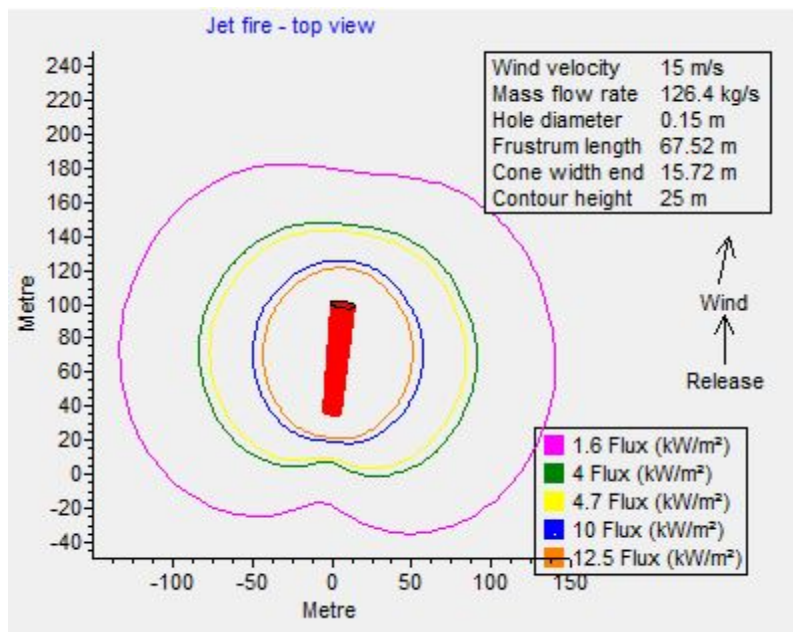
Radius *Jet Fire* Node 4 skenario 50-150mm – Day Time Top View



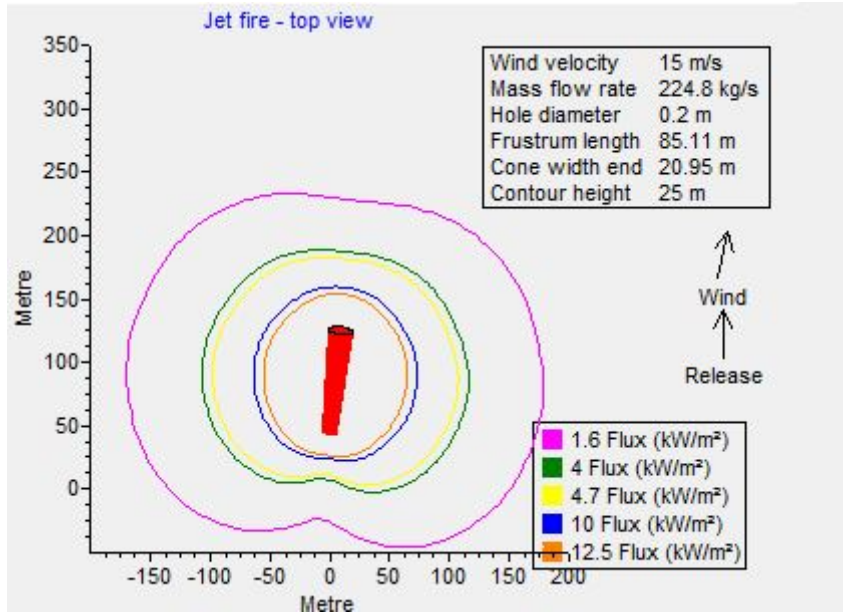
Radius *Jet Fire* Node 4 skenario >150mm – Day Time Top View



Radius *Jet Fire* Node 5 skenario 10-50mm – Day Time Top View



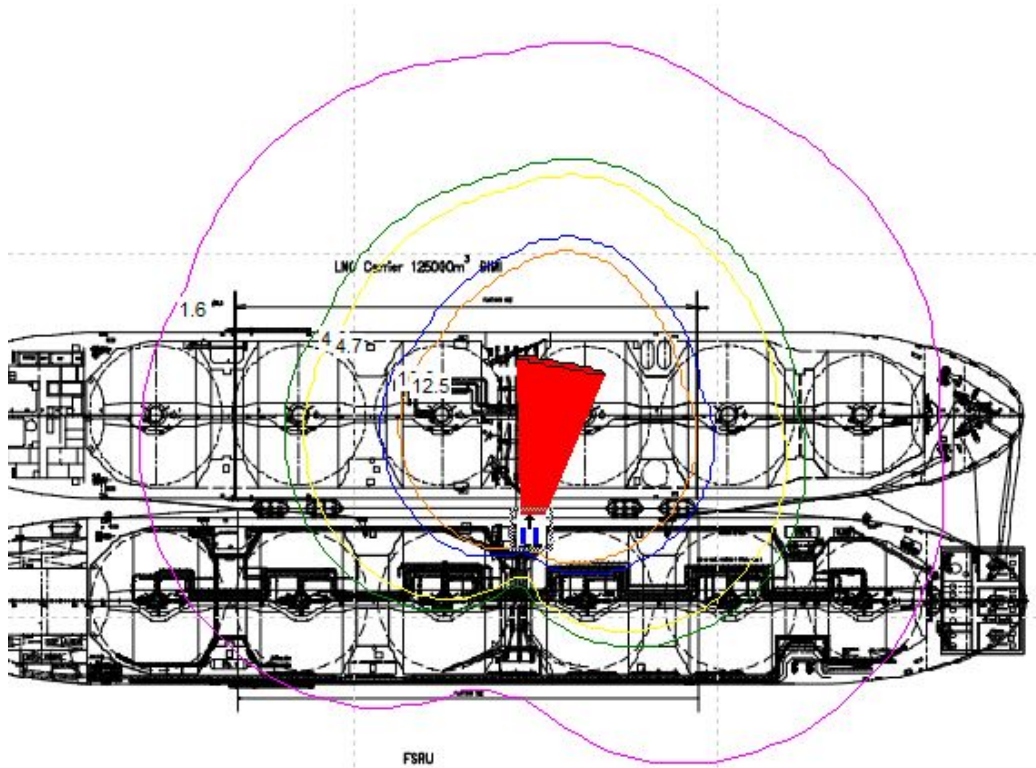
Radius *Jet Fire* Node 5 skenario 50-150mm – Day Time Top View



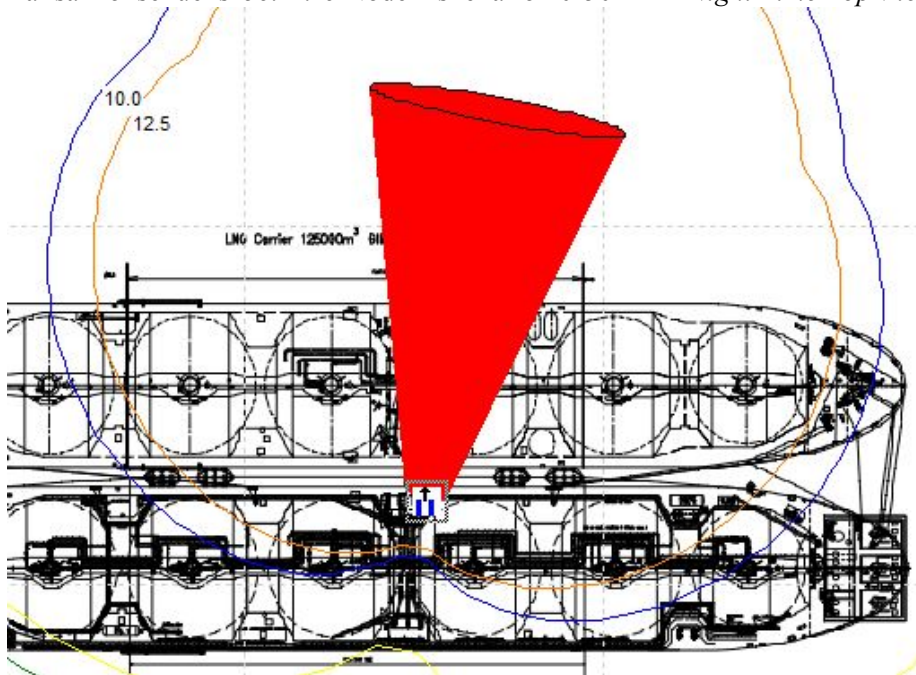
Radius *Jet Fire* Node 5 skenario >150mm – *Day Time Top View*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

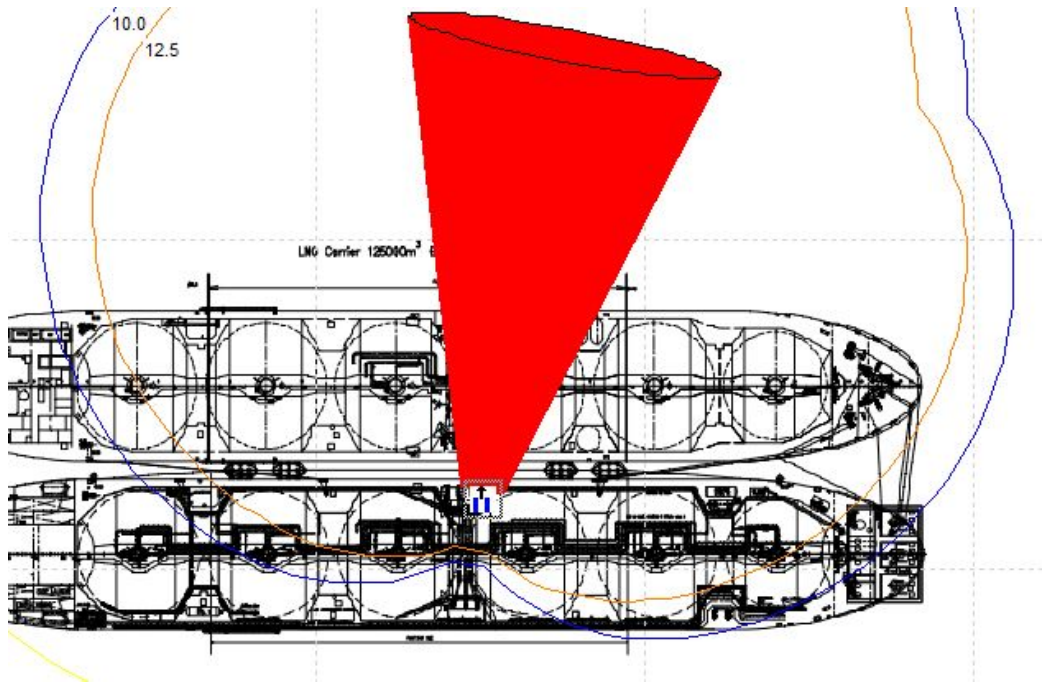
LAMPIRAN VIII : JET FIRE TOP VIEW – NIGHT TIME



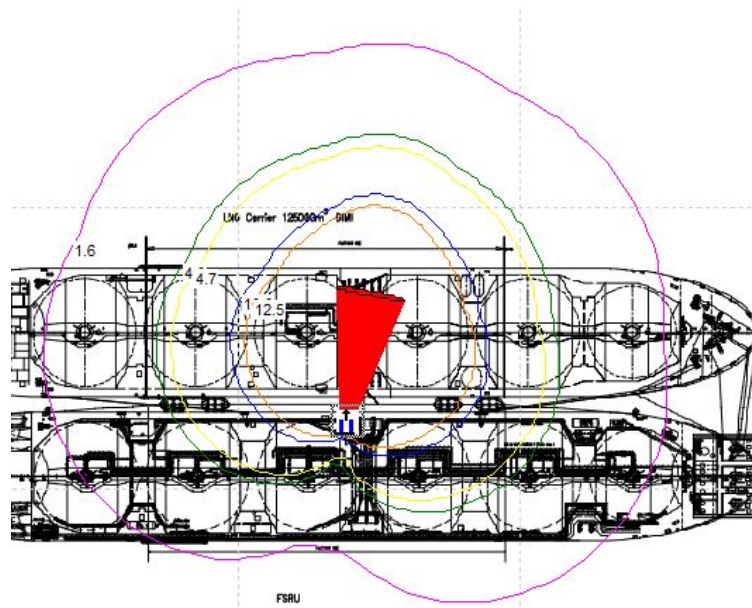
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 1 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



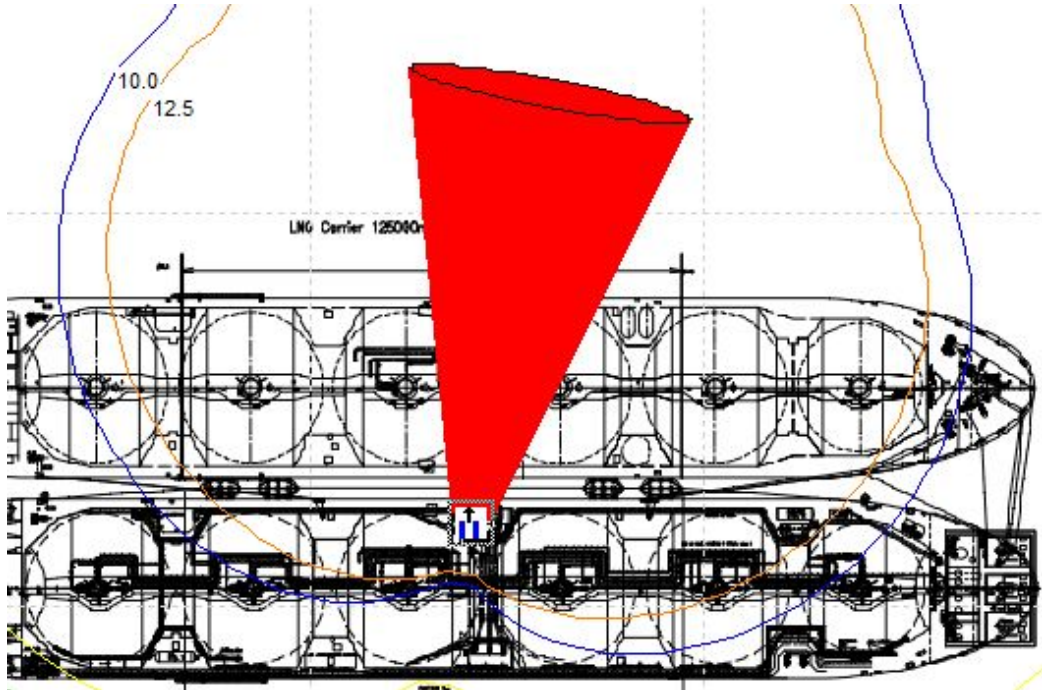
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 1 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



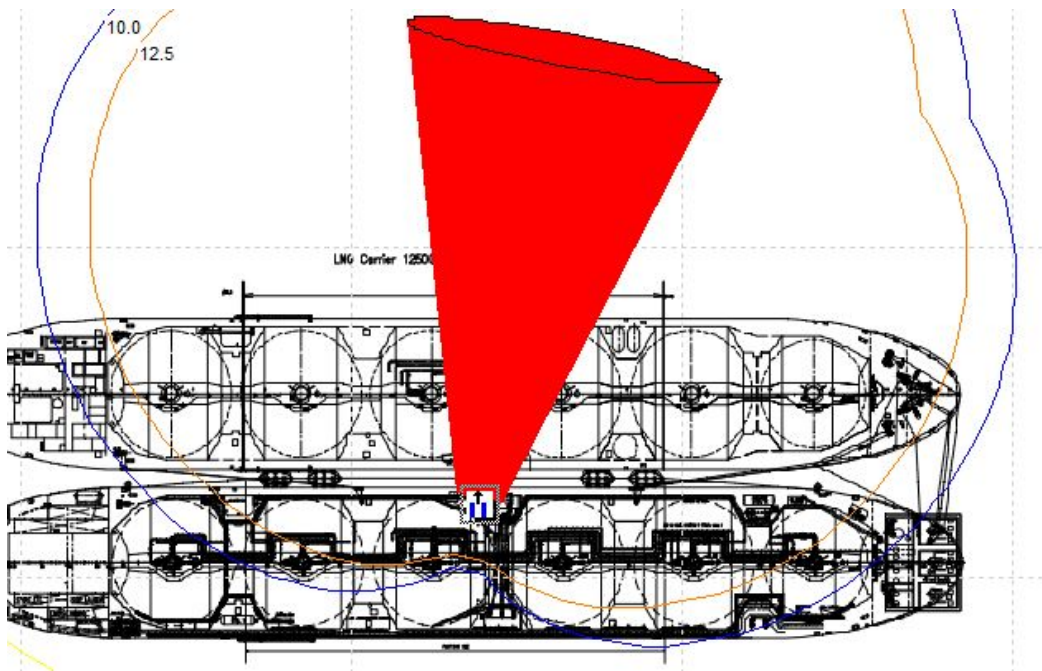
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 1 skenario >150mm – *Night Time Top View*



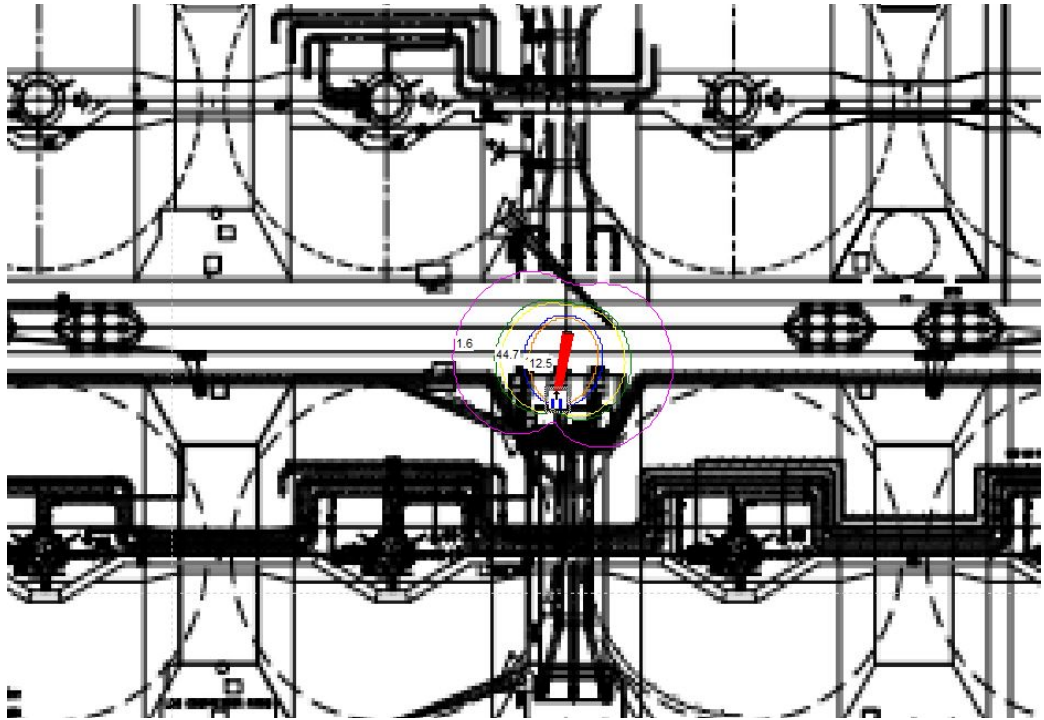
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 2 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



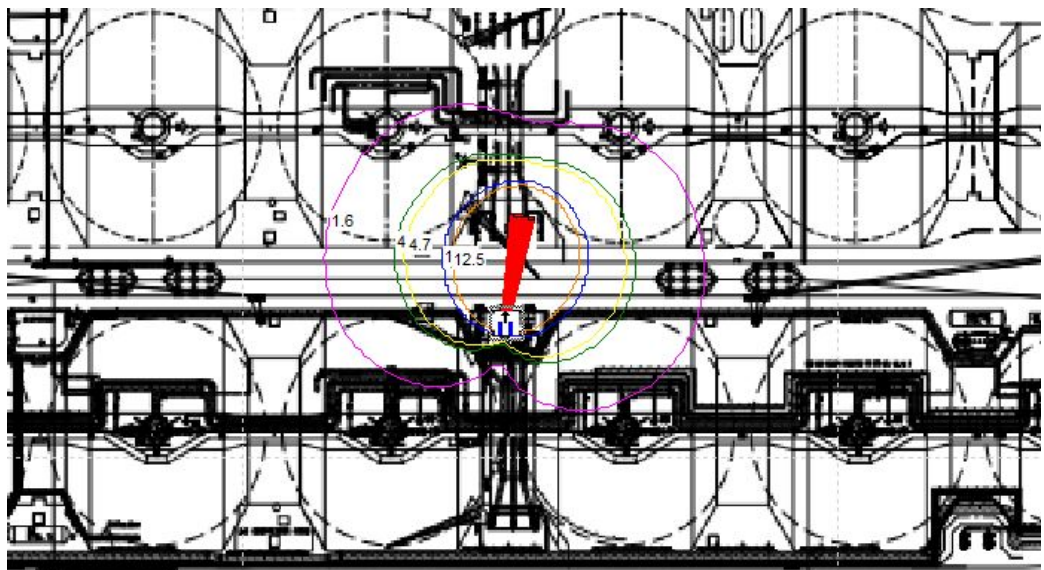
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 2 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



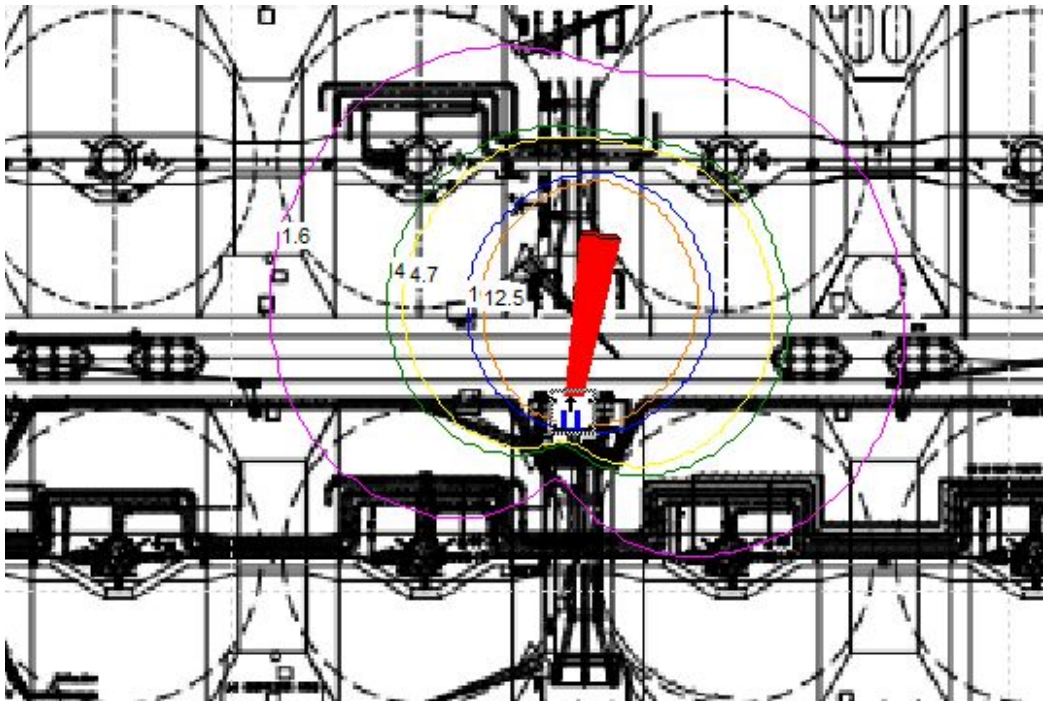
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 2 skenario >150mm – *Night Time Top View*



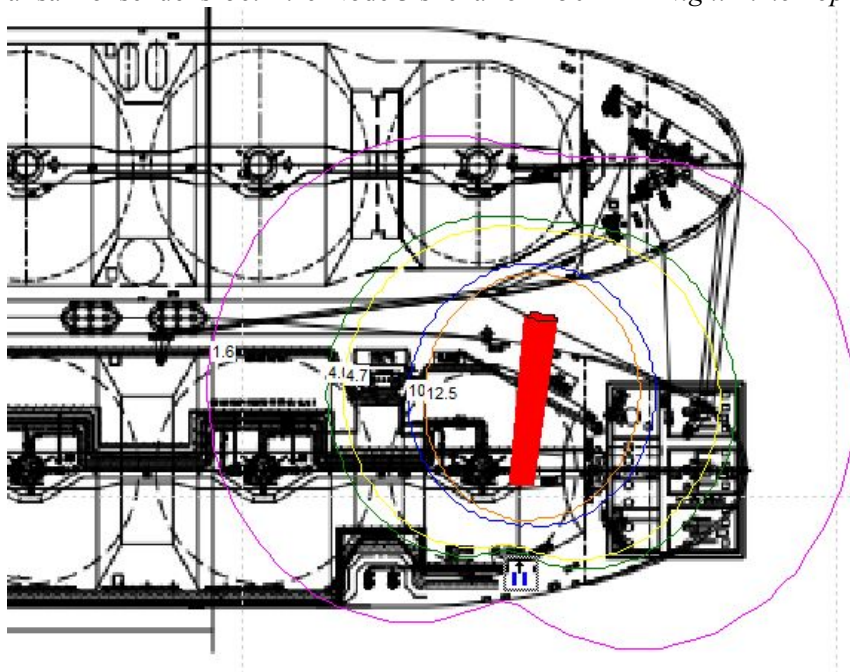
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 3 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



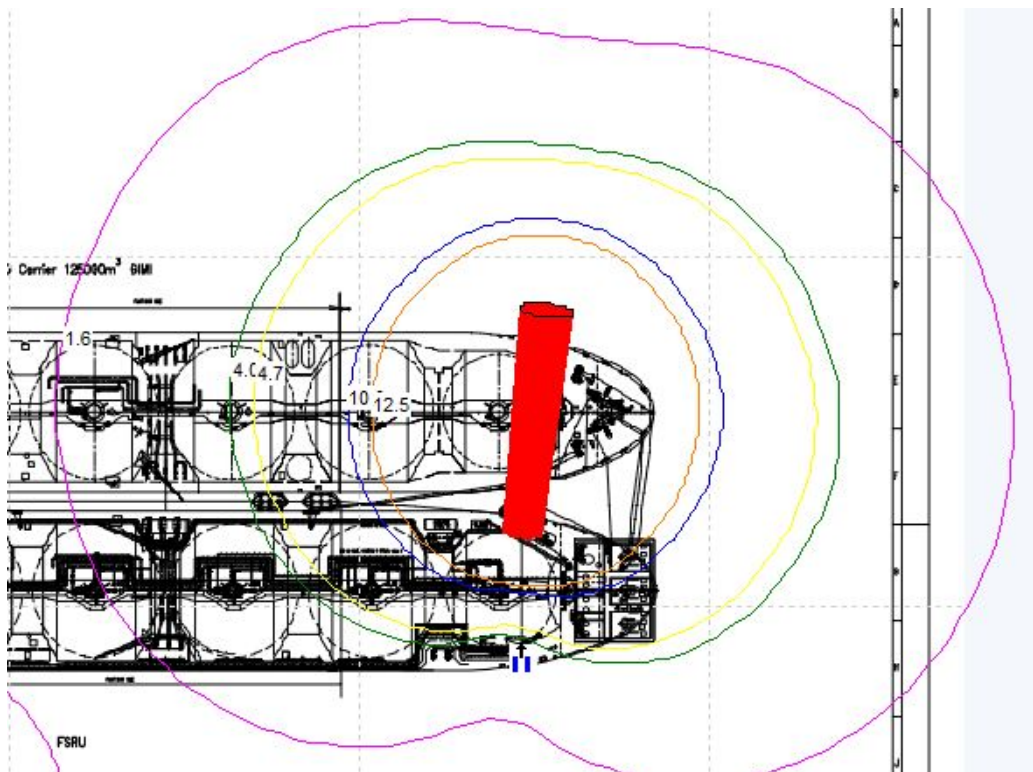
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 3 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



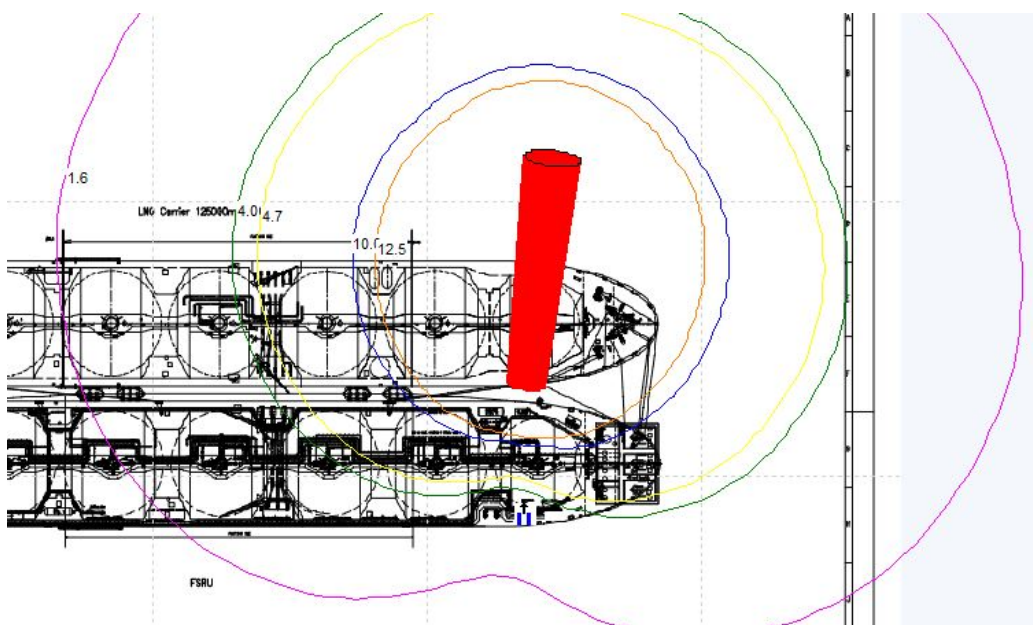
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 3 skenario >150mm – *Night Time Top View*



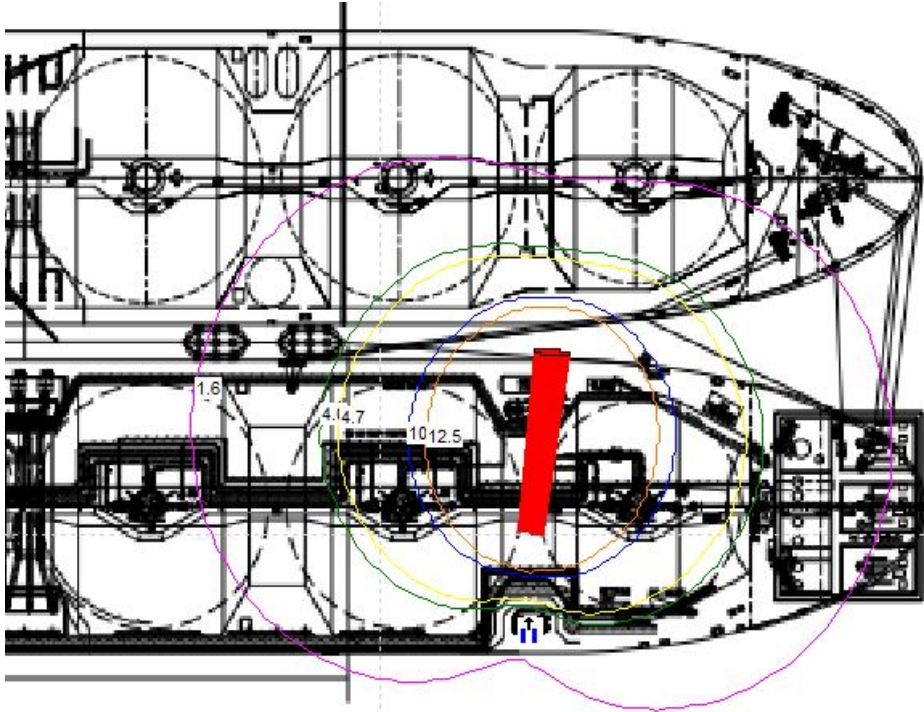
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 4 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



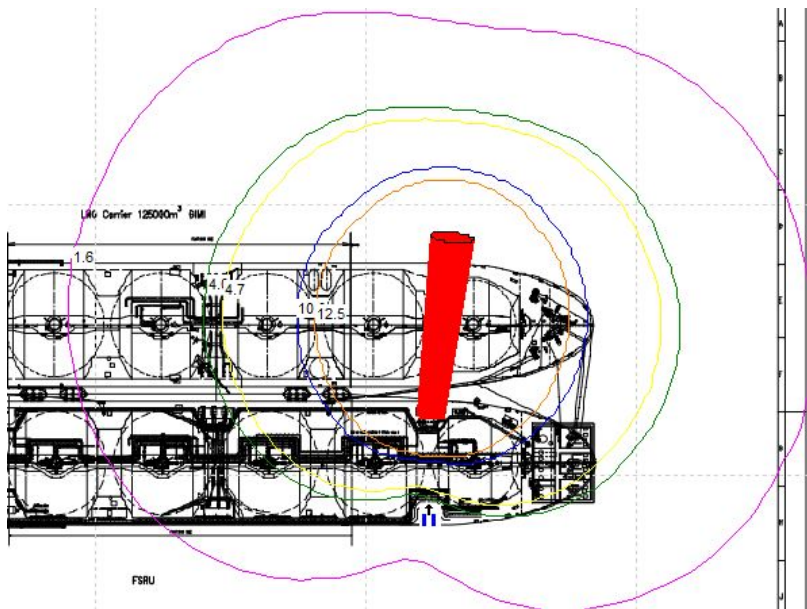
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 4 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



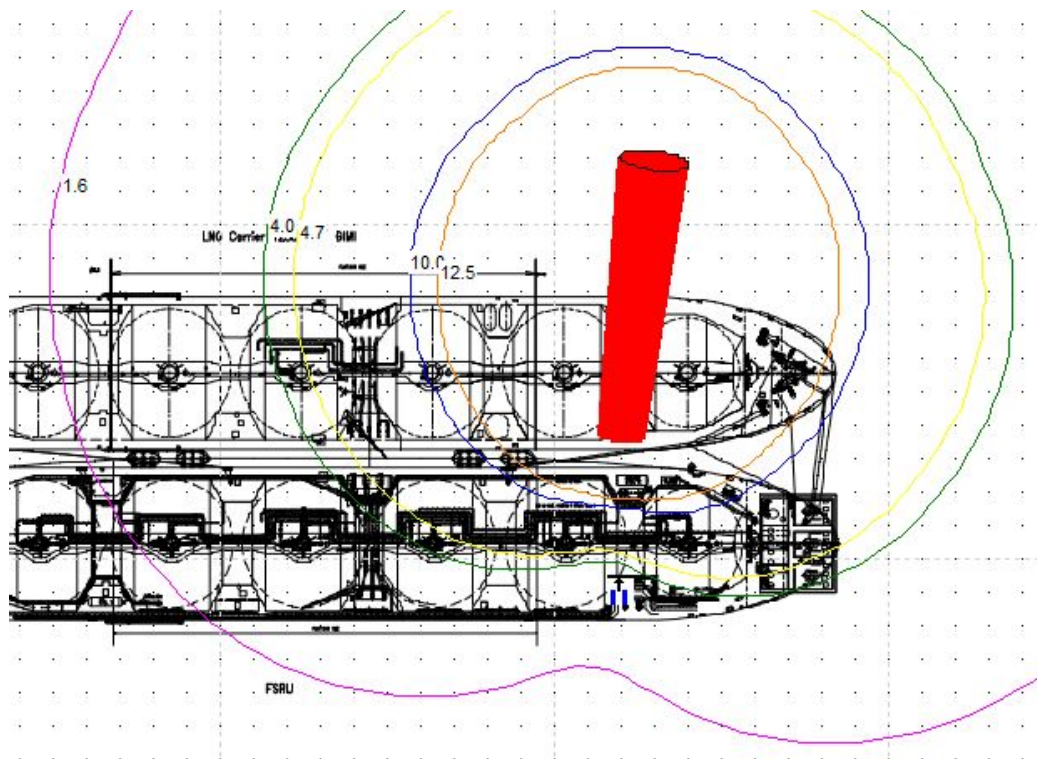
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 4 skenario >150mm – *Night Time Top View*



Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 5 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



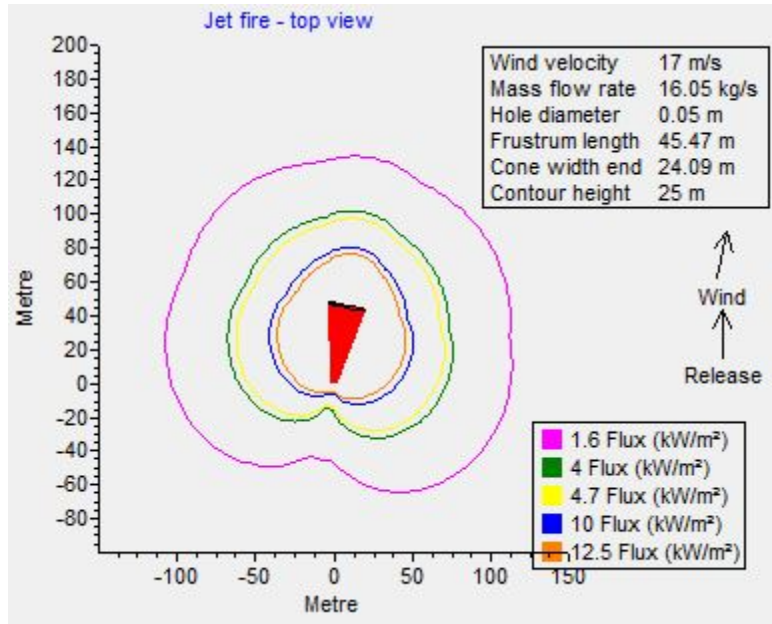
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 5 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



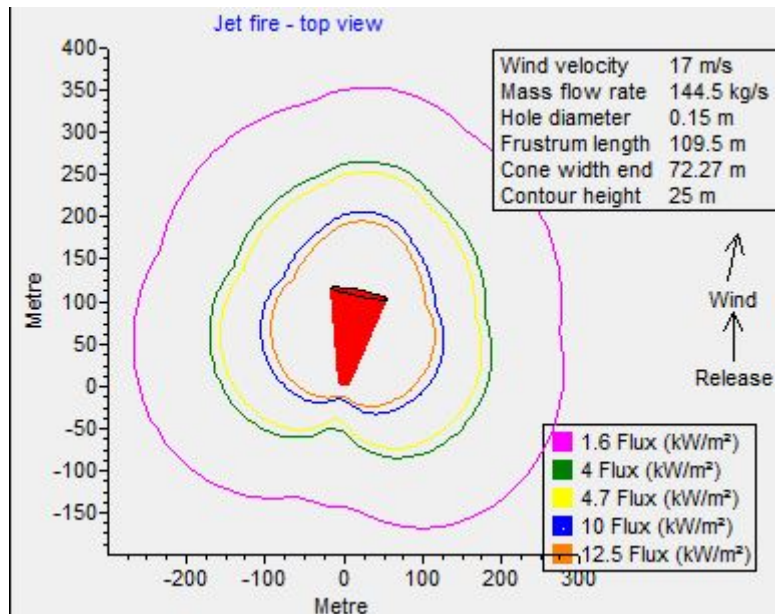
Analisa Konsekuensi *Jet Fire* Node 5 skenario >150mm – *Night Time Top View*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

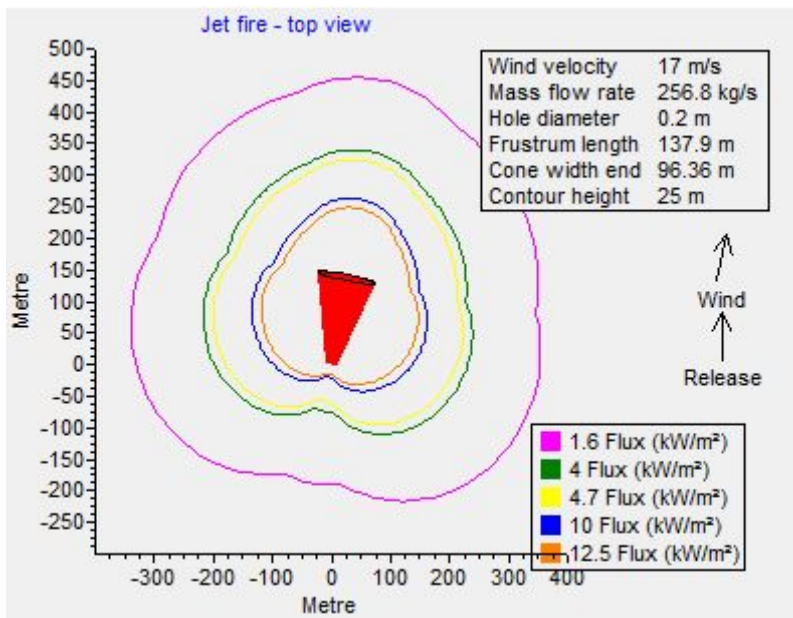
LAMPIRAN IX : JET FIRE RADIUS – NIGHT TIME



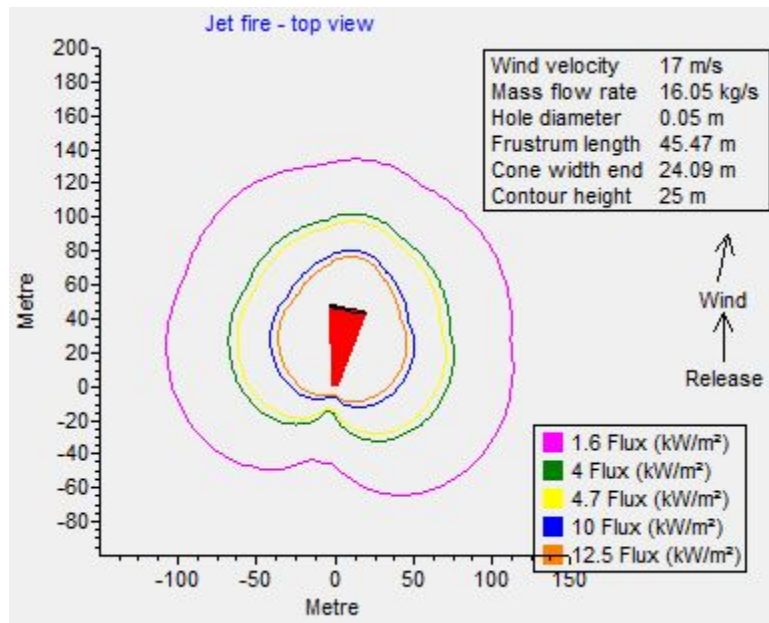
Radius *Jet Fire* Node 1 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



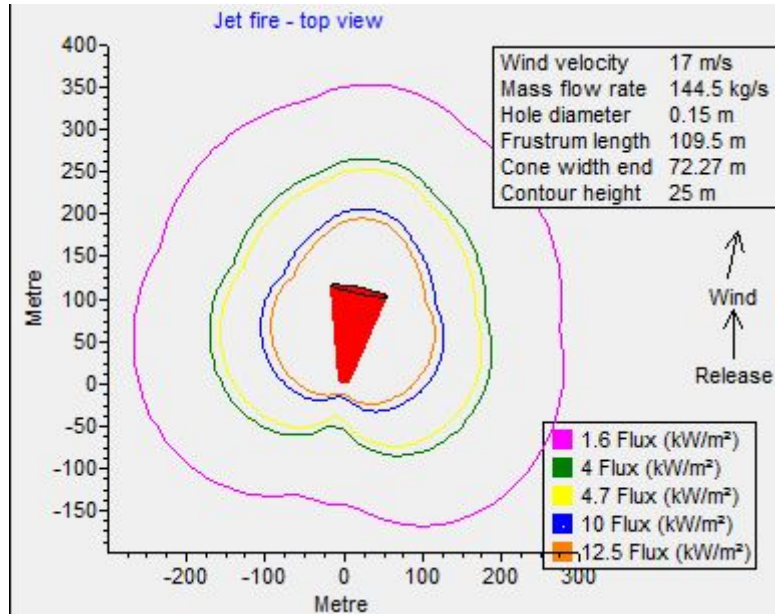
Radius *Jet Fire* Node 1 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



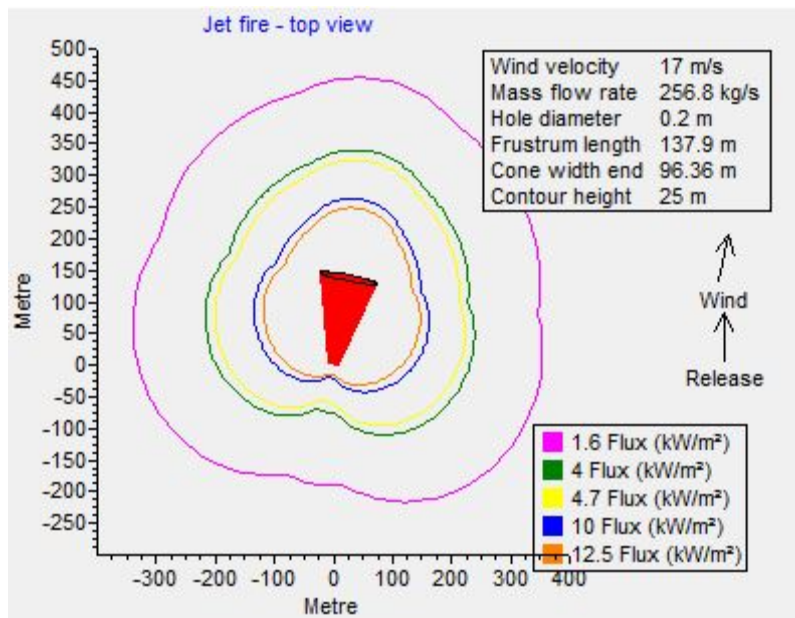
Radius *Jet Fire* Node 1 skenario >150mm – *Night Time Top View*



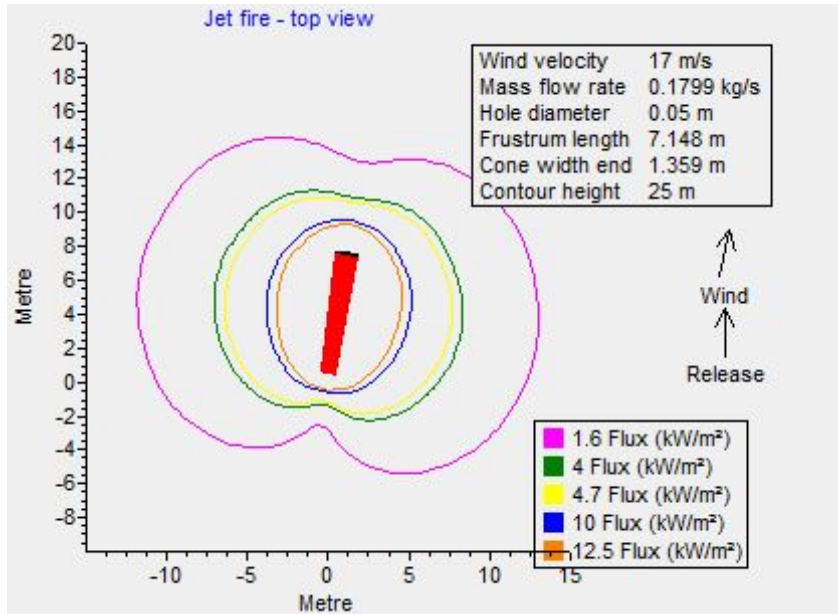
Radius *Jet Fire* Node 2 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



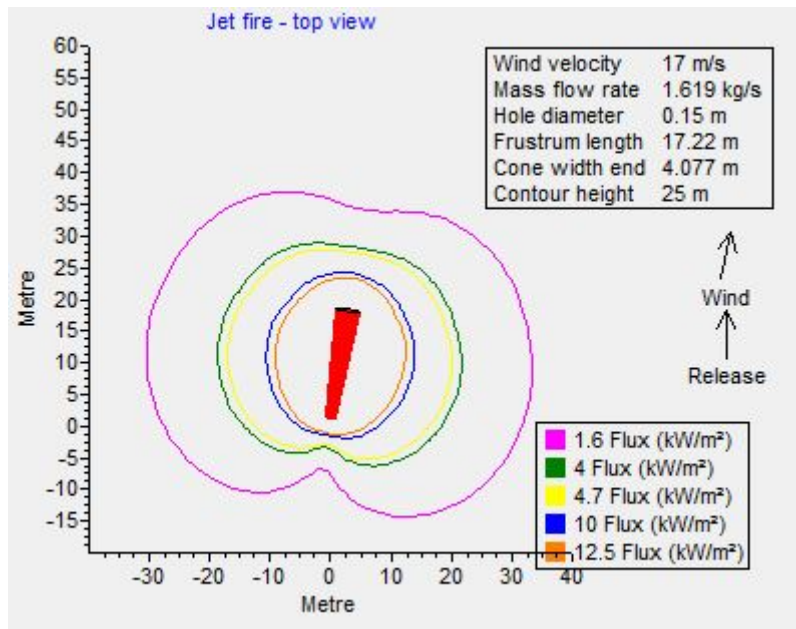
Radius *Jet Fire* Node 2 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



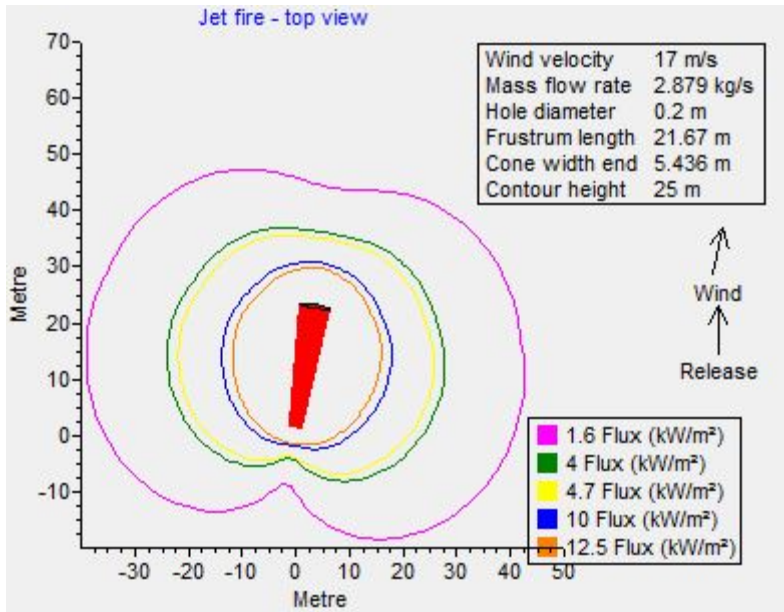
Radius *Jet Fire* Node 2 skenario >150mm – *Night Time Top View*



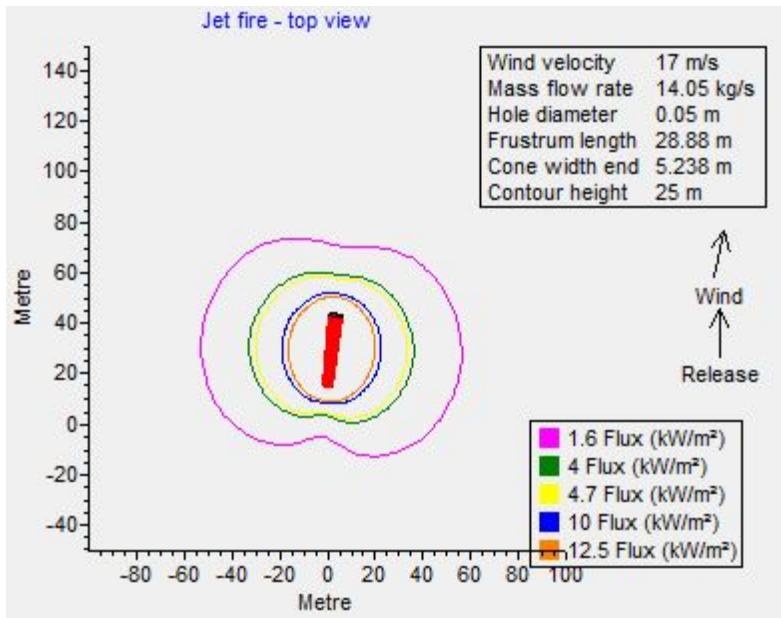
Radius *Jet Fire* Node 3 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



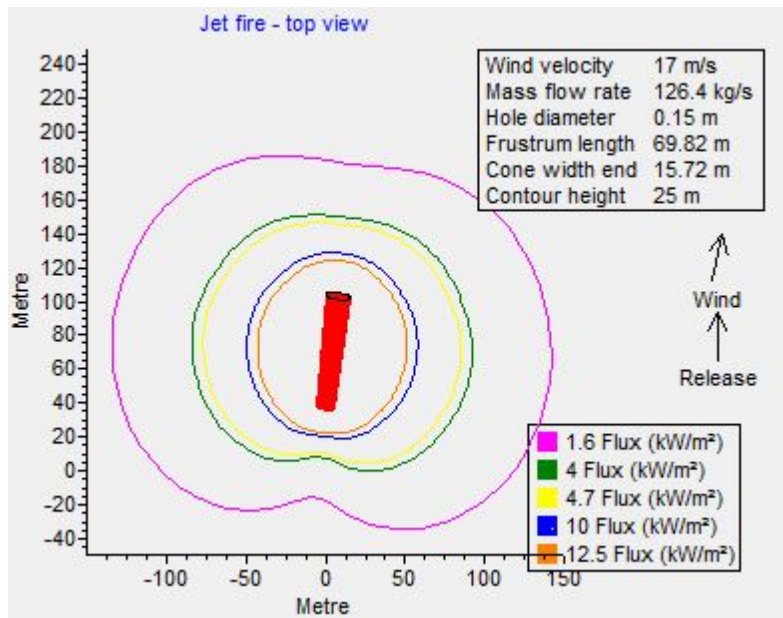
Radius *Jet Fire* Node 3 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



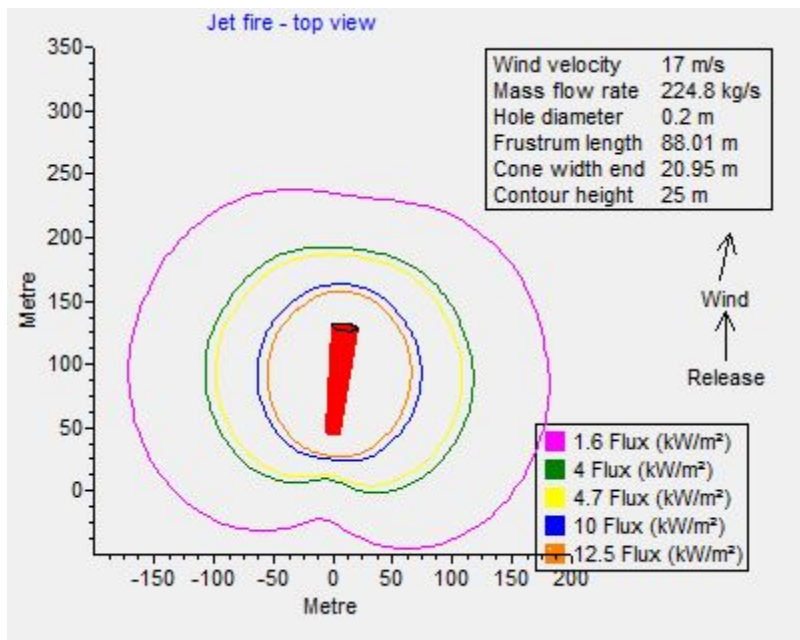
Radius *Jet Fire* Node 3 skenario >150mm – *Night Time Top View*



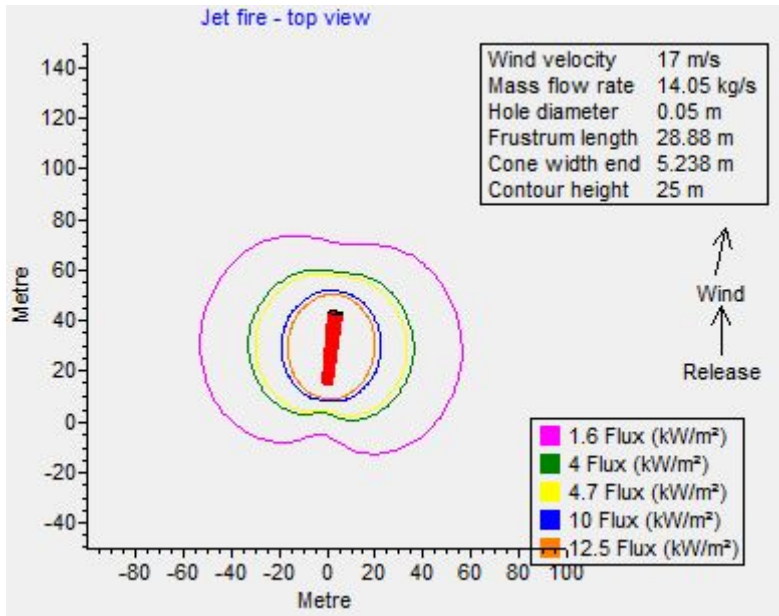
Radius *Jet Fire* Node 4 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



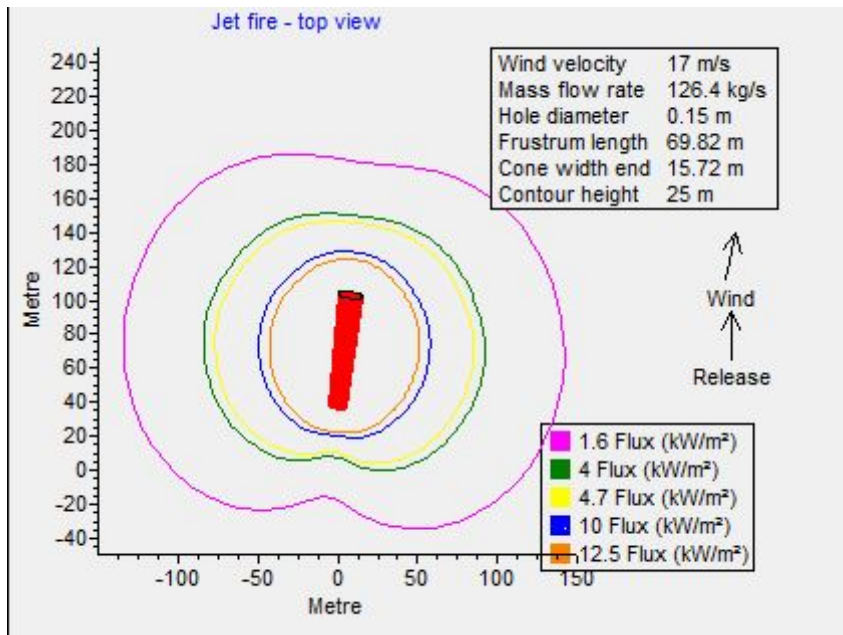
Radius *Jet Fire* Node 4 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



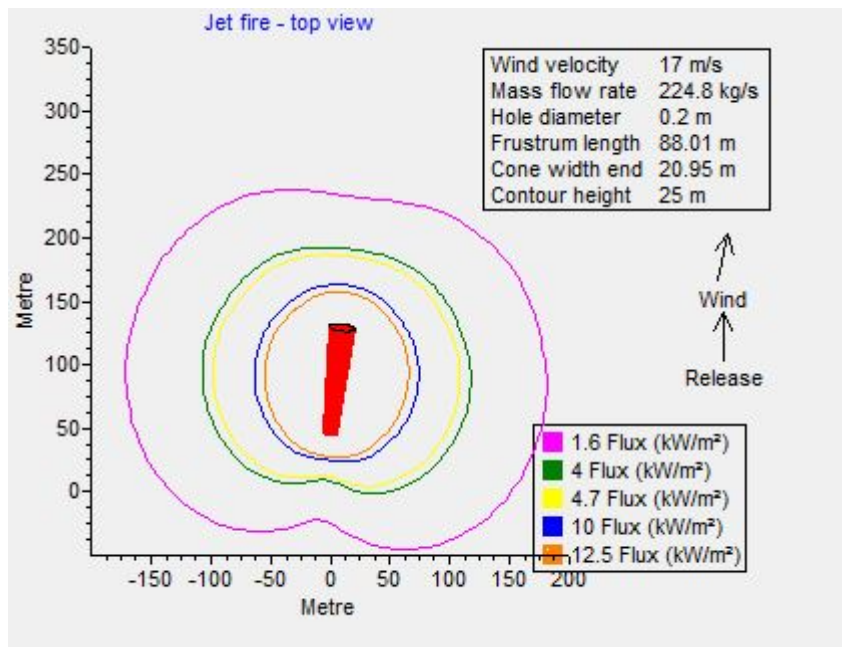
Radius *Jet Fire* Node 4 skenario >150mm – *Night Time Top View*



Radius *Jet Fire* Node 5 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



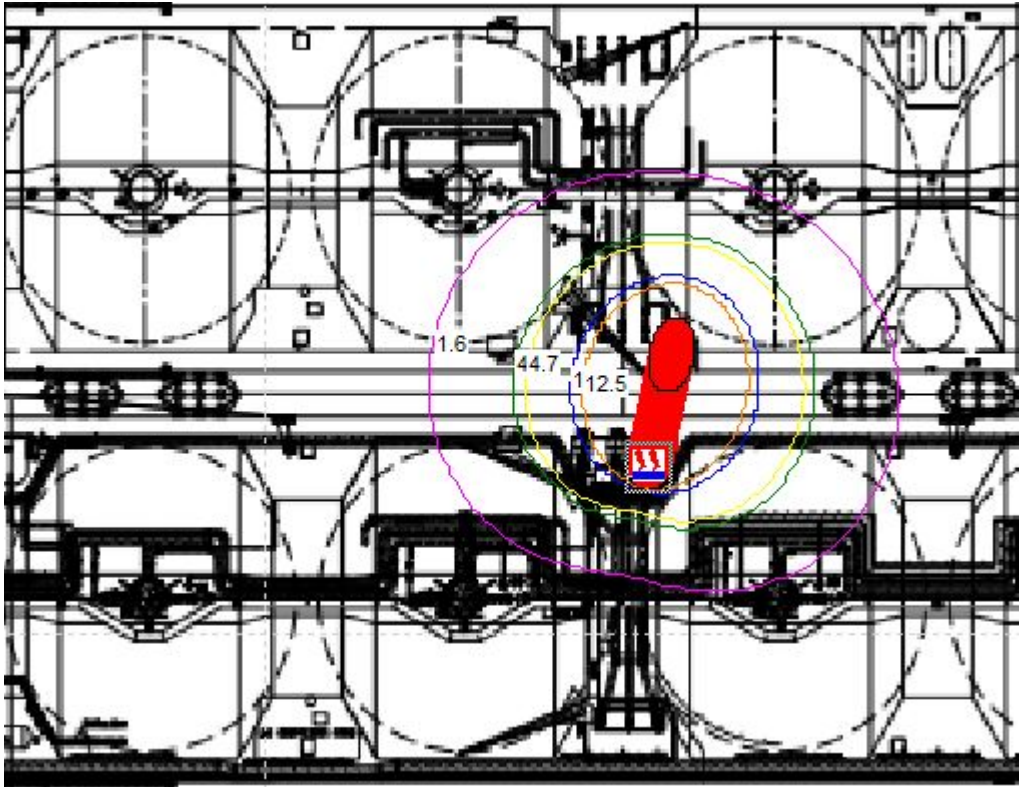
Radius *Jet Fire* Node 5 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



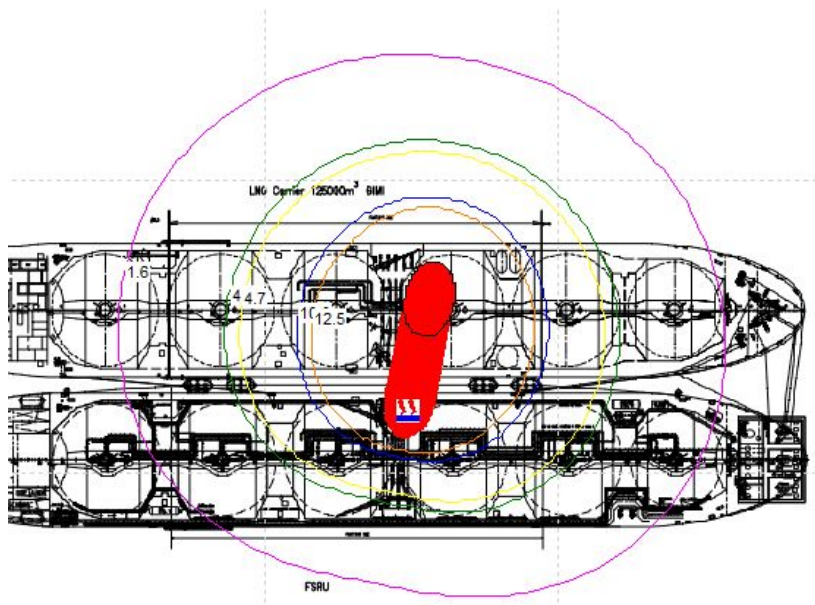
Radius *Jet Fire* Node 5 skenario >150mm – *Night Time Top View*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

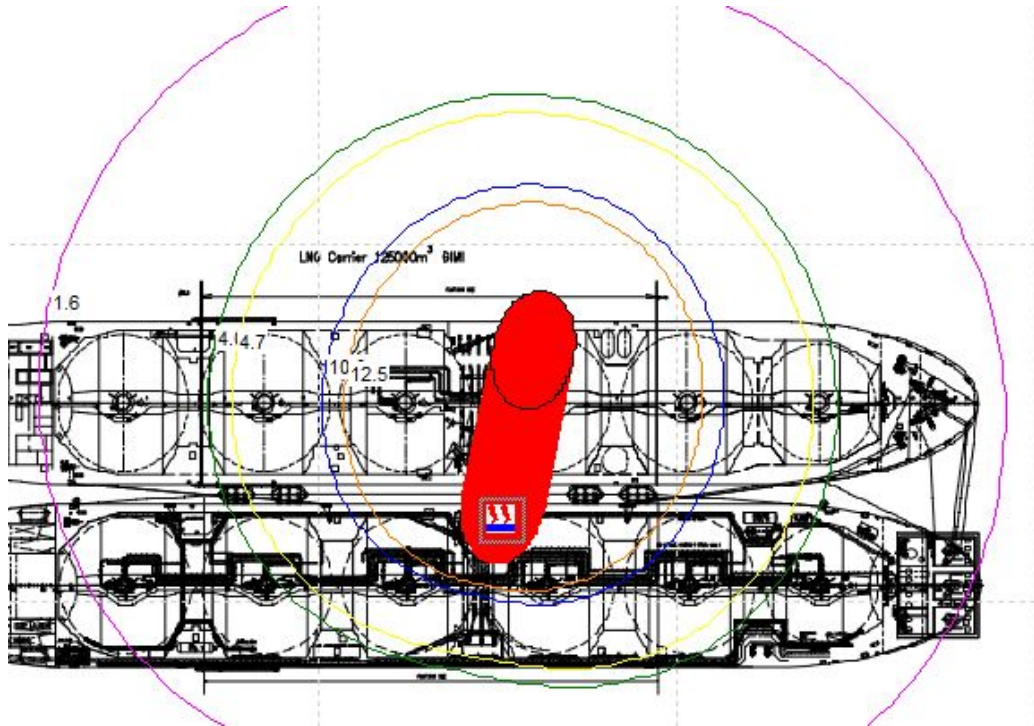
LAMPIRAN X : FLASH FIRE TOP VIEW – DAY TIME



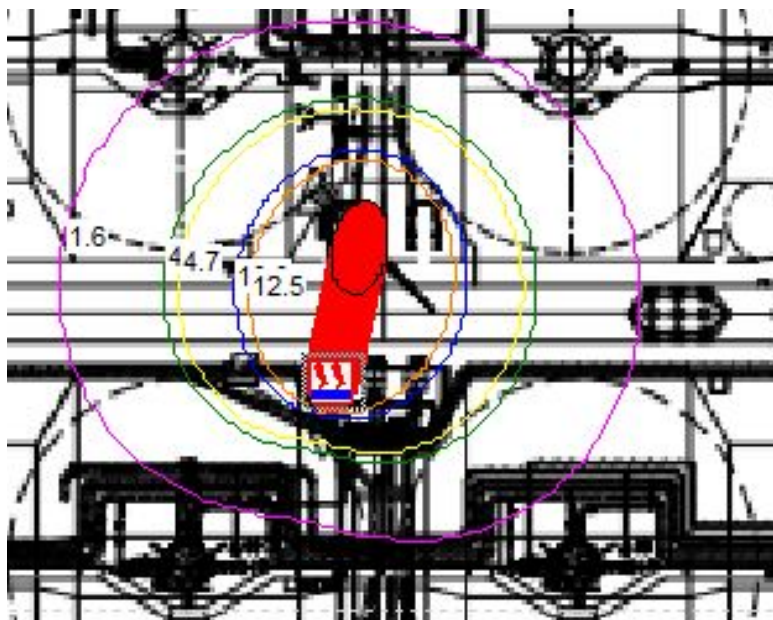
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 1 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



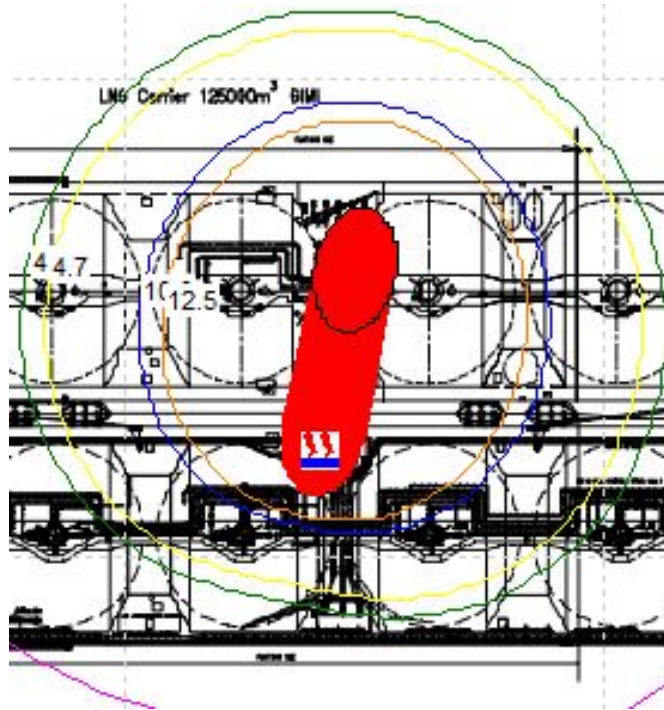
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 1 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



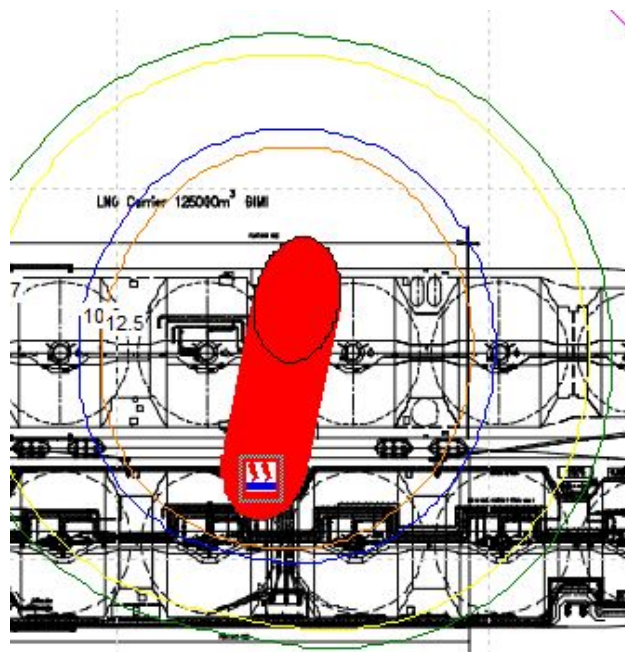
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 1 skenario >150mm – *Day Time Top View*



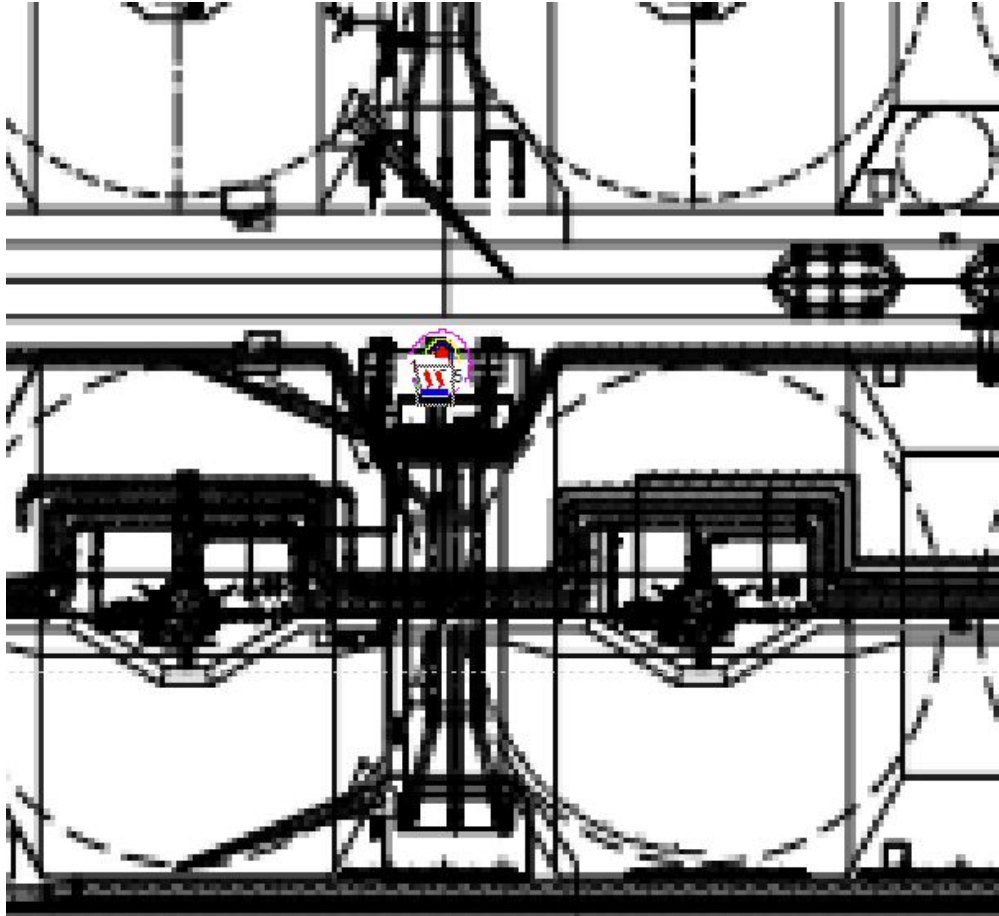
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 2 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



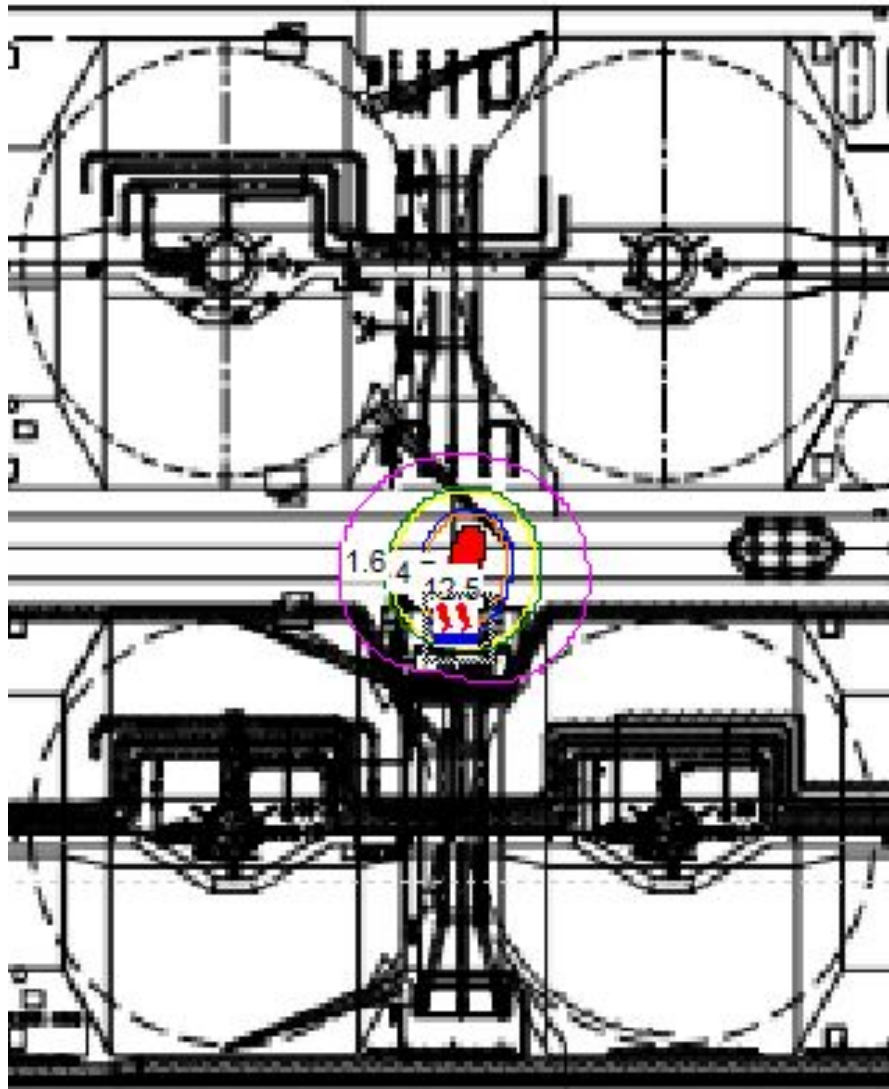
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 2 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



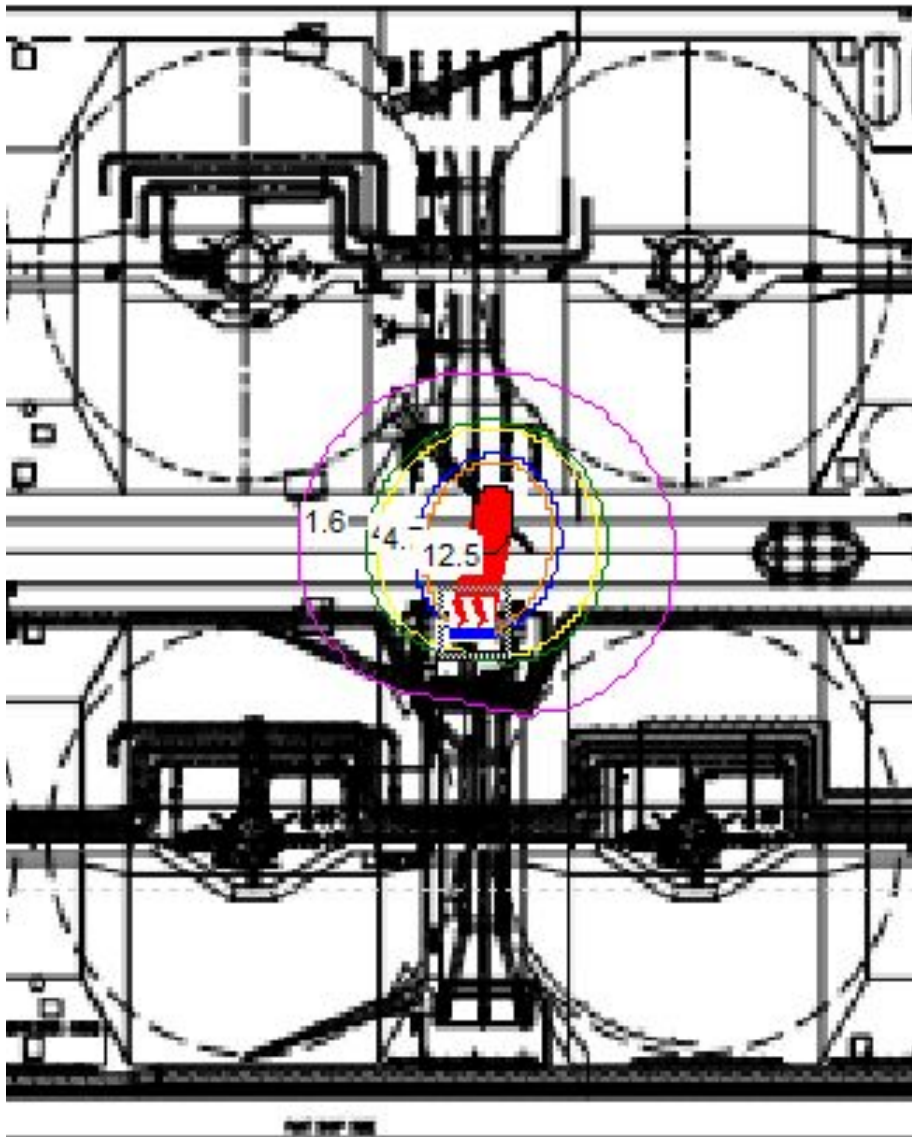
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 2 skenario >150mm – *Day Time Top View*



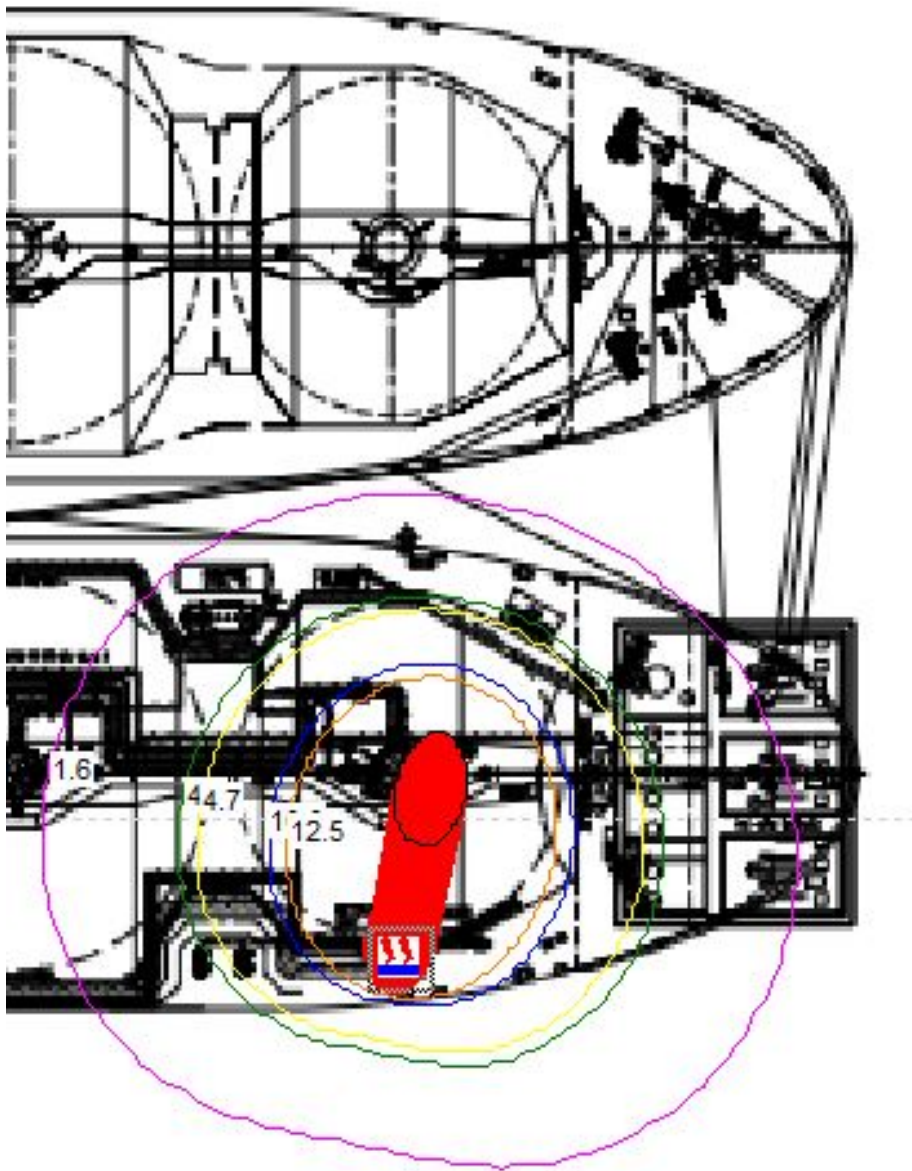
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 3 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



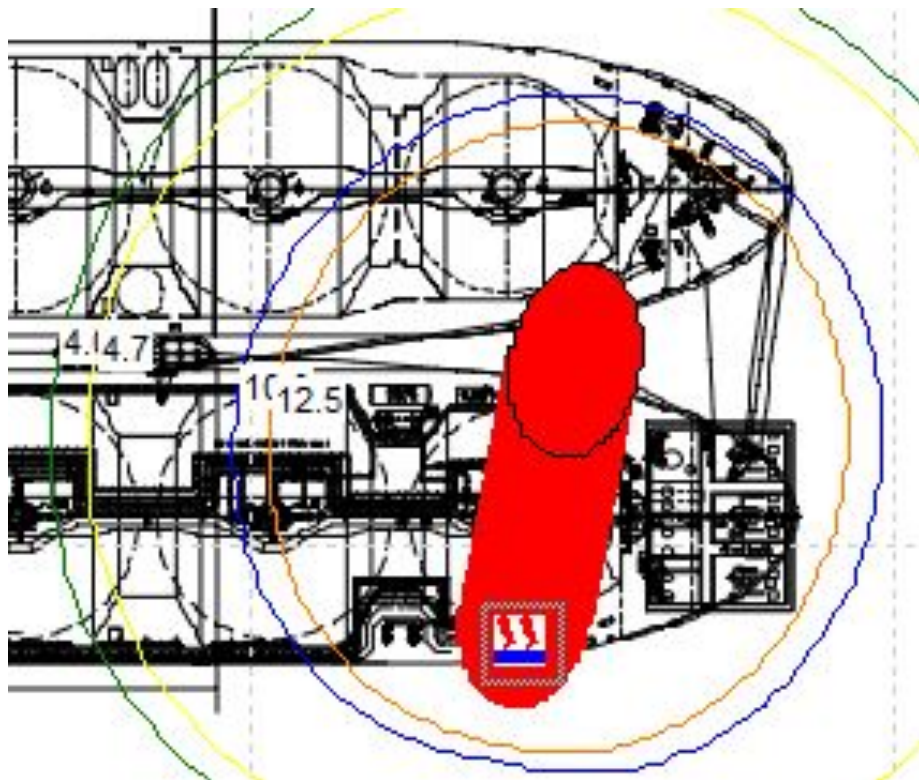
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 3 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



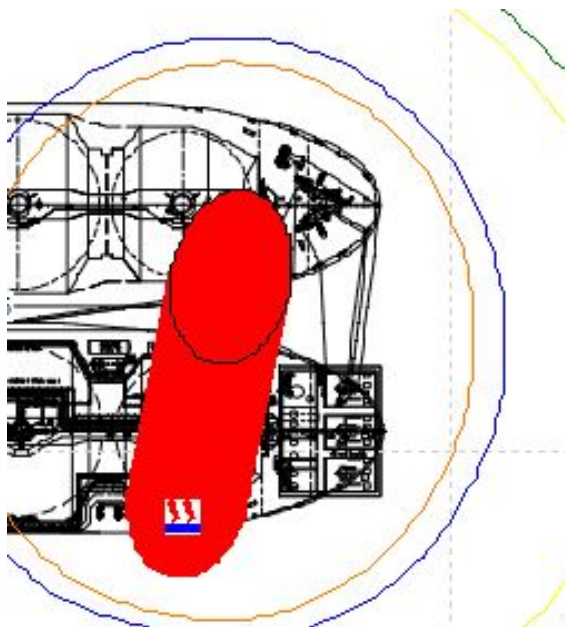
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 3 skenario >150mm – *Day Time Top View*



Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 4 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



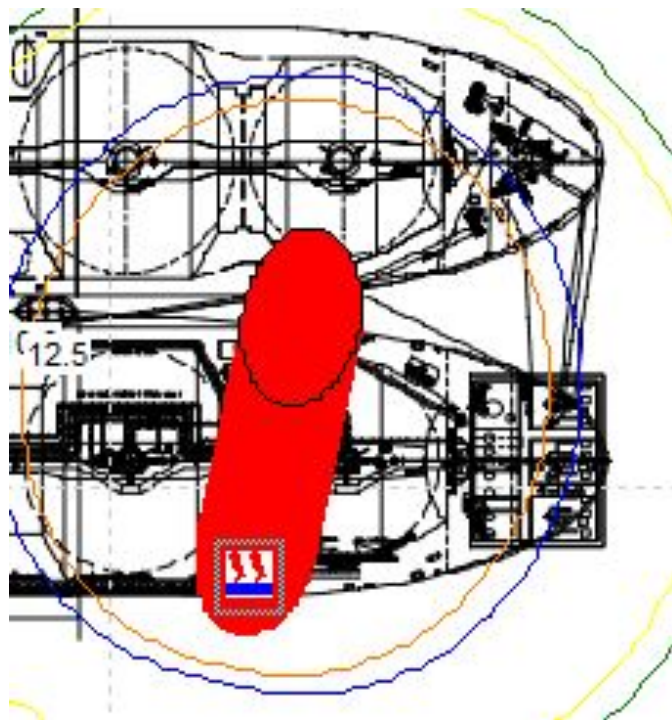
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 4 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



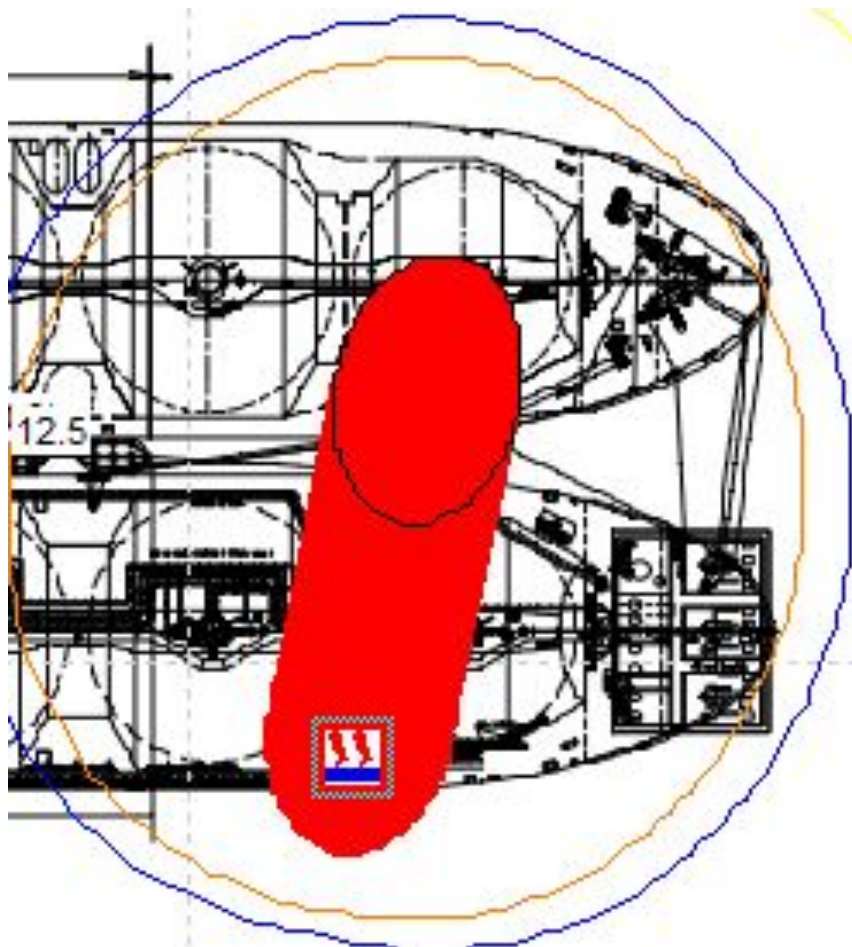
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 4 skenario >150mm – *Day Time Top View*



Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 5 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



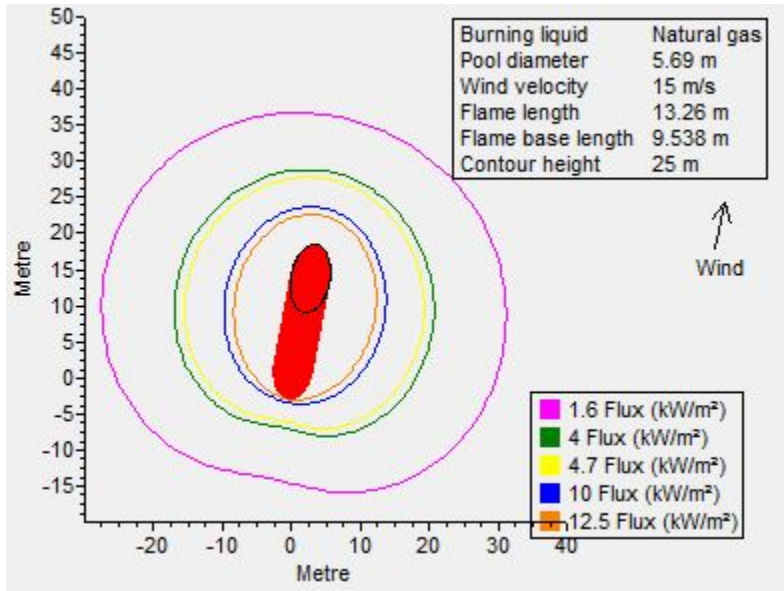
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 5 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



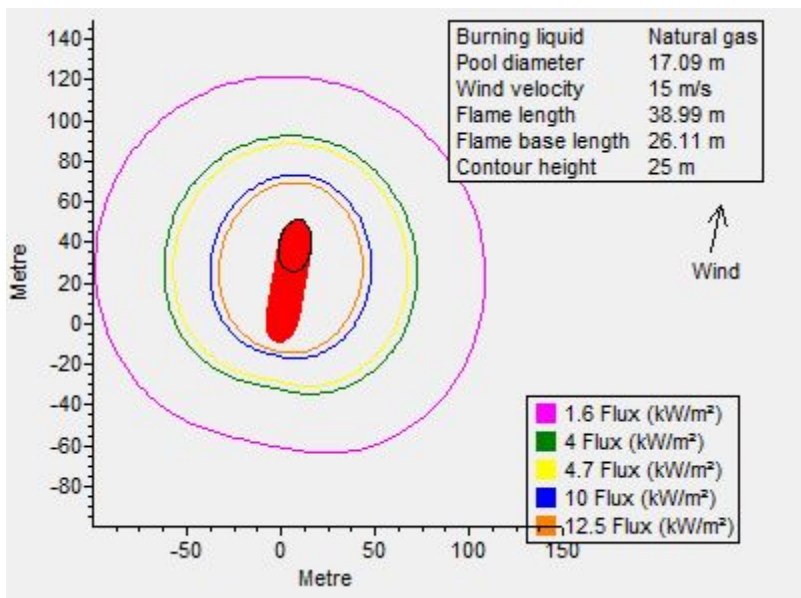
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 5 skenario >150mm – *Day Time Top View*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

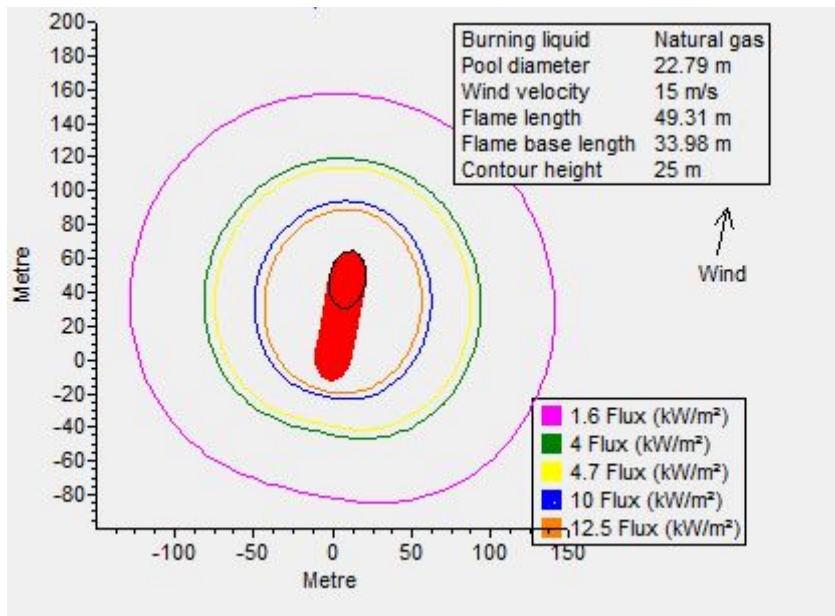
LAMPIRAN XI : FLASH FIRE RADIUS – DAY TIME



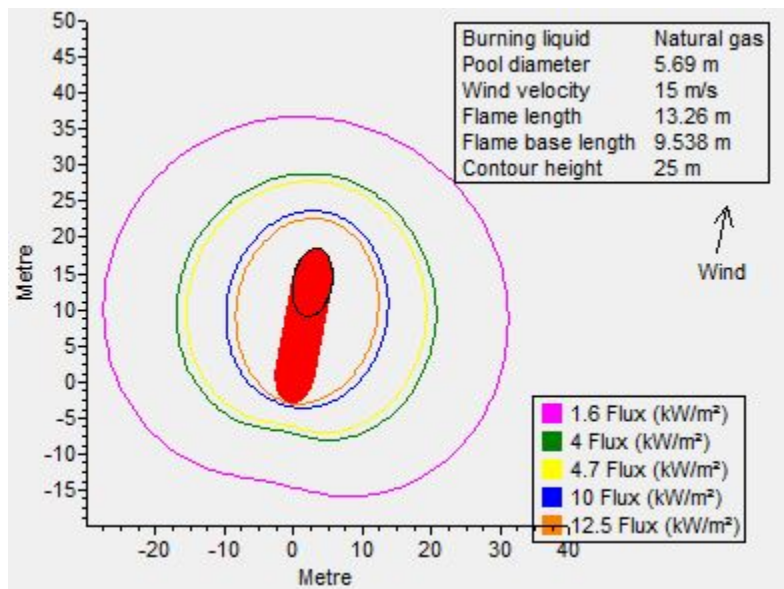
Radius Flash Fire Node 1 skenario 10-50mm – Day Time Top View



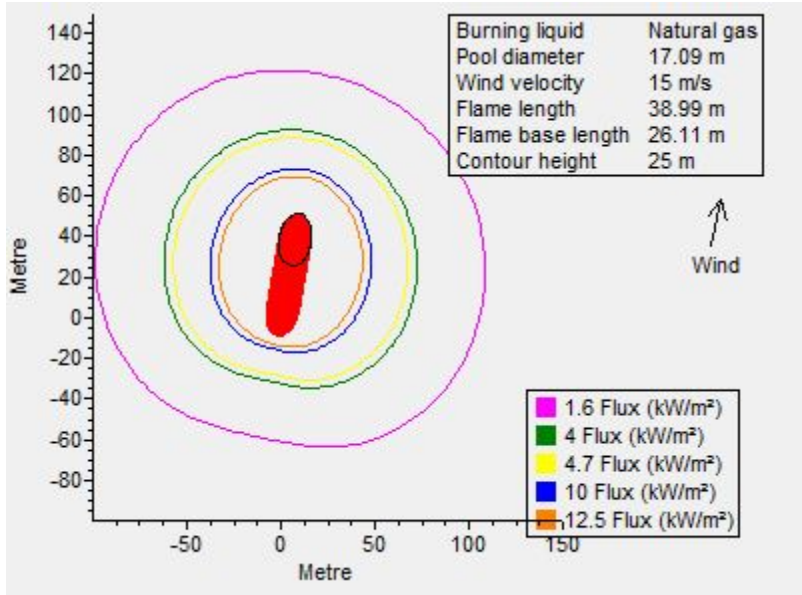
Radius Flash Fire Node 1 skenario 50-150mm – Day Time Top View



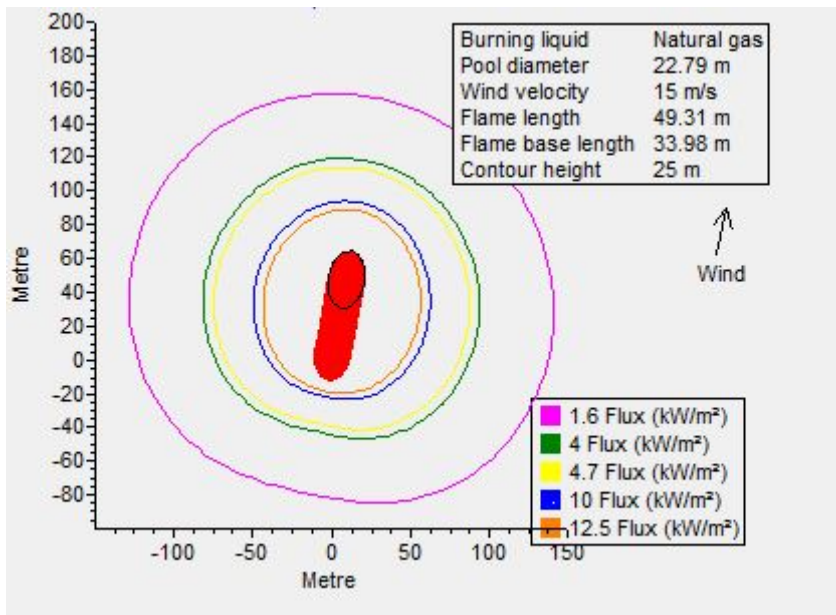
Radius *Flash Fire* Node 1 skenario >150mm – *Day Time Top View*



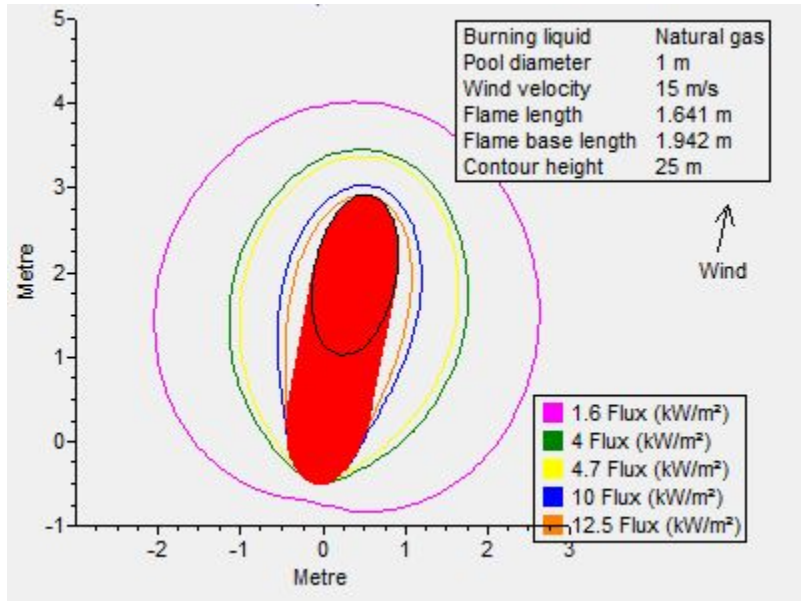
Radius *Flash Fire* Node 2 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



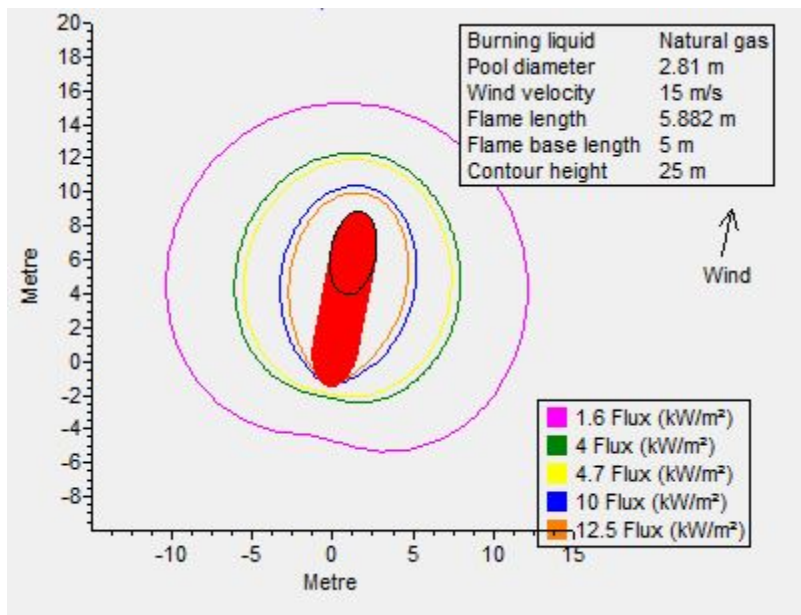
Radius *Flash Fire* Node 2 skenario 50-150mm – Day Time Top View



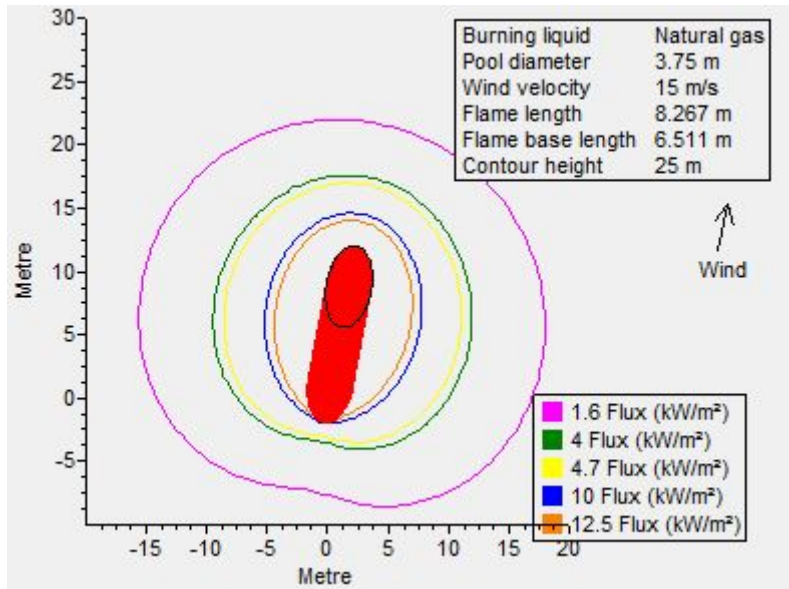
Radius *Flash Fire* Node 2 skenario >150mm – Day Time Top View



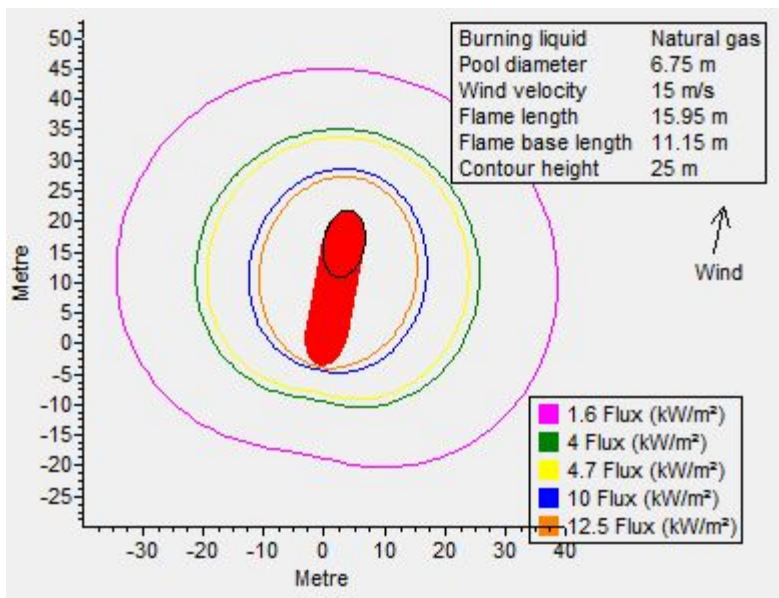
Radius *Flash Fire* Node 3 skenario 10-50mm – Day Time Top View



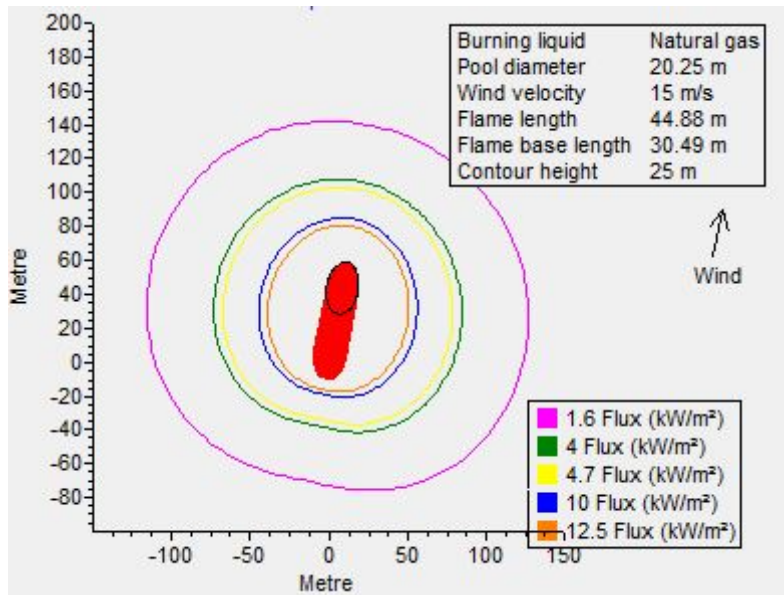
Radius *Flash Fire* Node 3 skenario 50-150mm – Day Time Top View



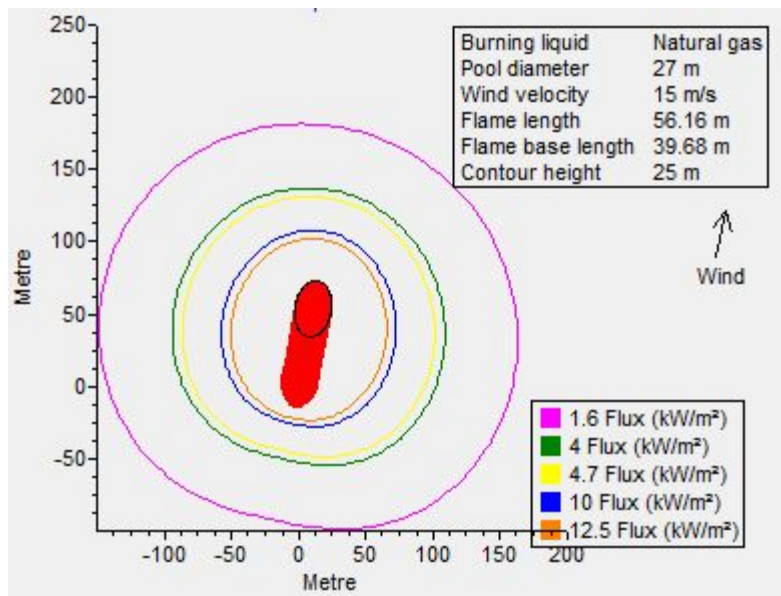
Radius *Flash Fire* Node 3 skenario >150mm – Day Time Top View



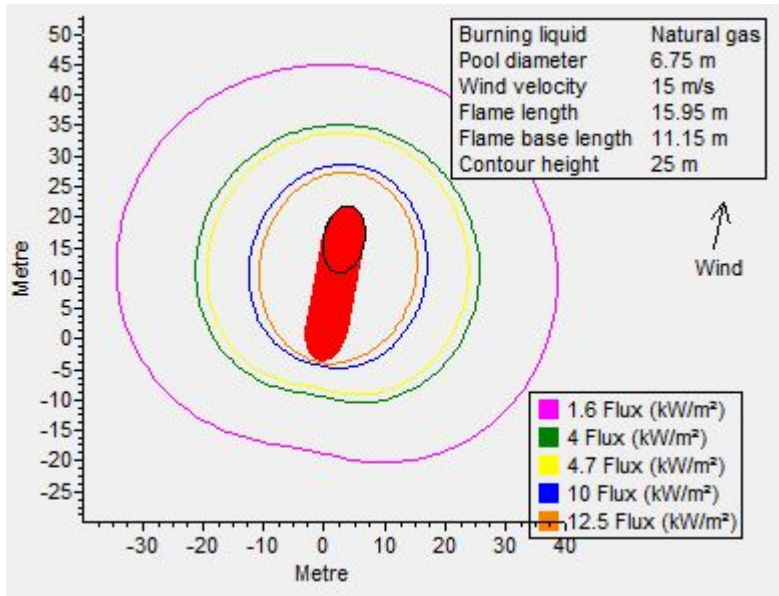
Radius *Flash Fire* Node 4 skenario 10-50mm – Day Time Top View



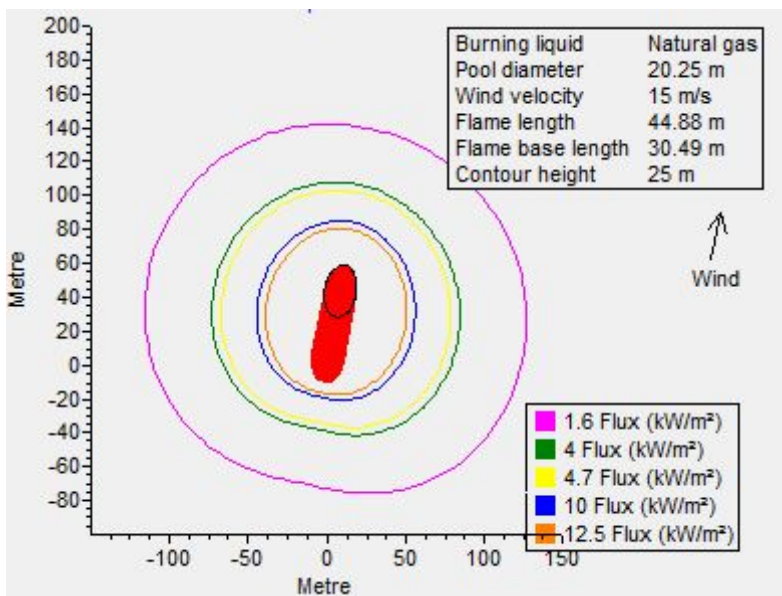
Radius *Flash Fire* Node 4 skenario 50-150mm – Day Time Top View



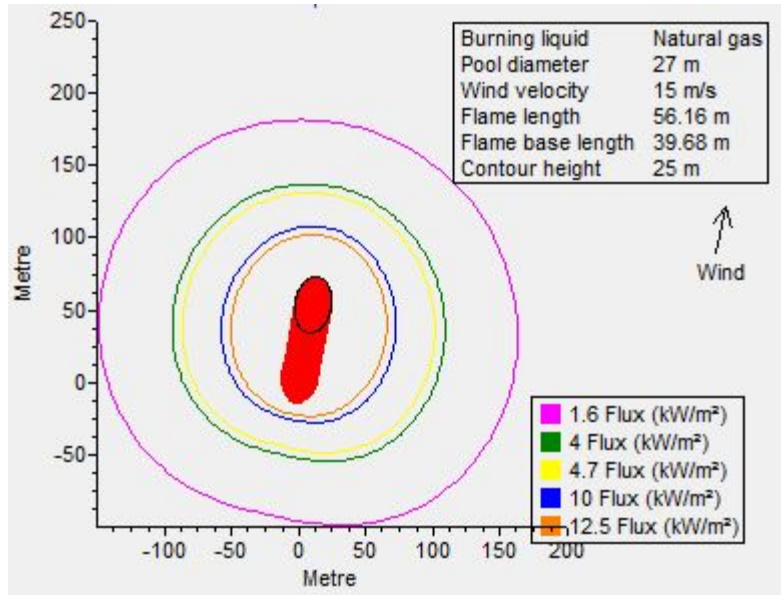
Radius *Flash Fire* Node 4 skenario >150mm – Day Time Top View



Radius Flash Fire Node 5 skenario 10-50mm – Day Time Top View



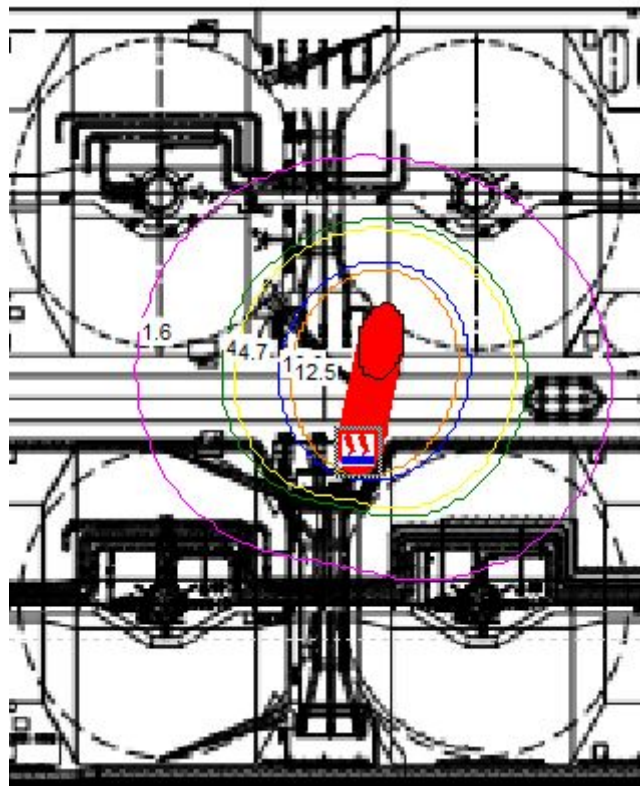
Radius Flash Fire Node 5 skenario 50-150mm – Day Time Top View



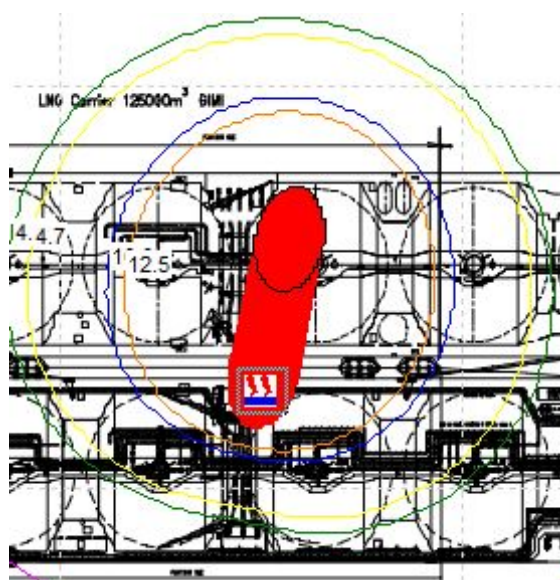
Radius *Flash Fire* Node 5 skenario >150mm – *Day Time Top View*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

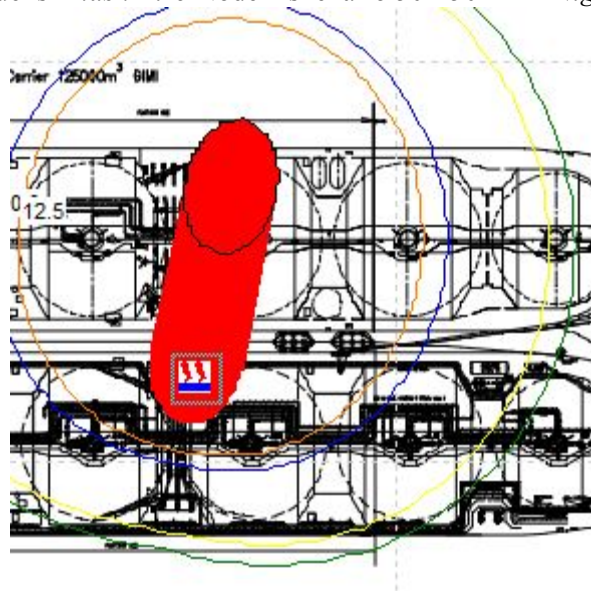
LAMPIRAN XII : FLASH FIRE TOP VIEW – NIGHT TIME



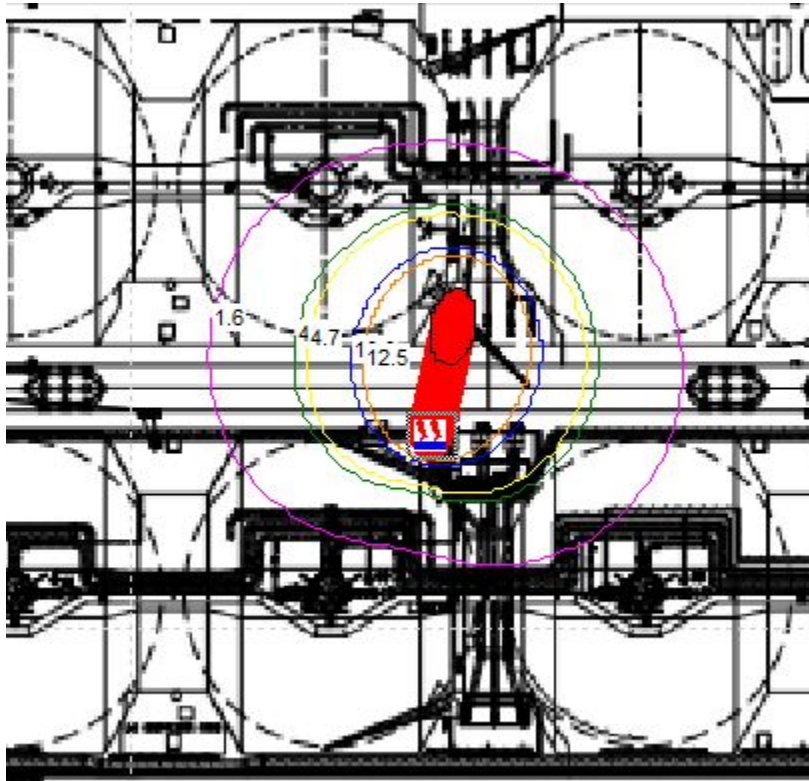
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 1 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



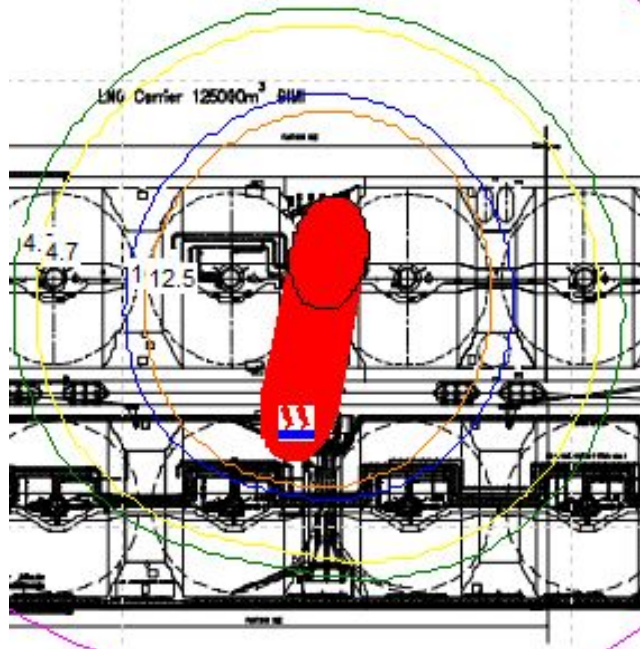
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 1 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



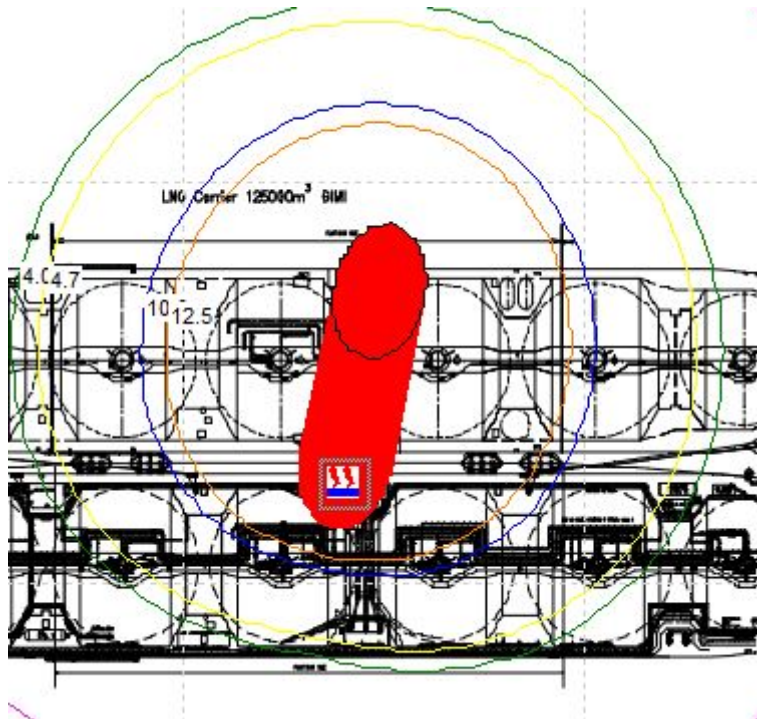
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 1 skenario >150mm – *Night Time Top View*



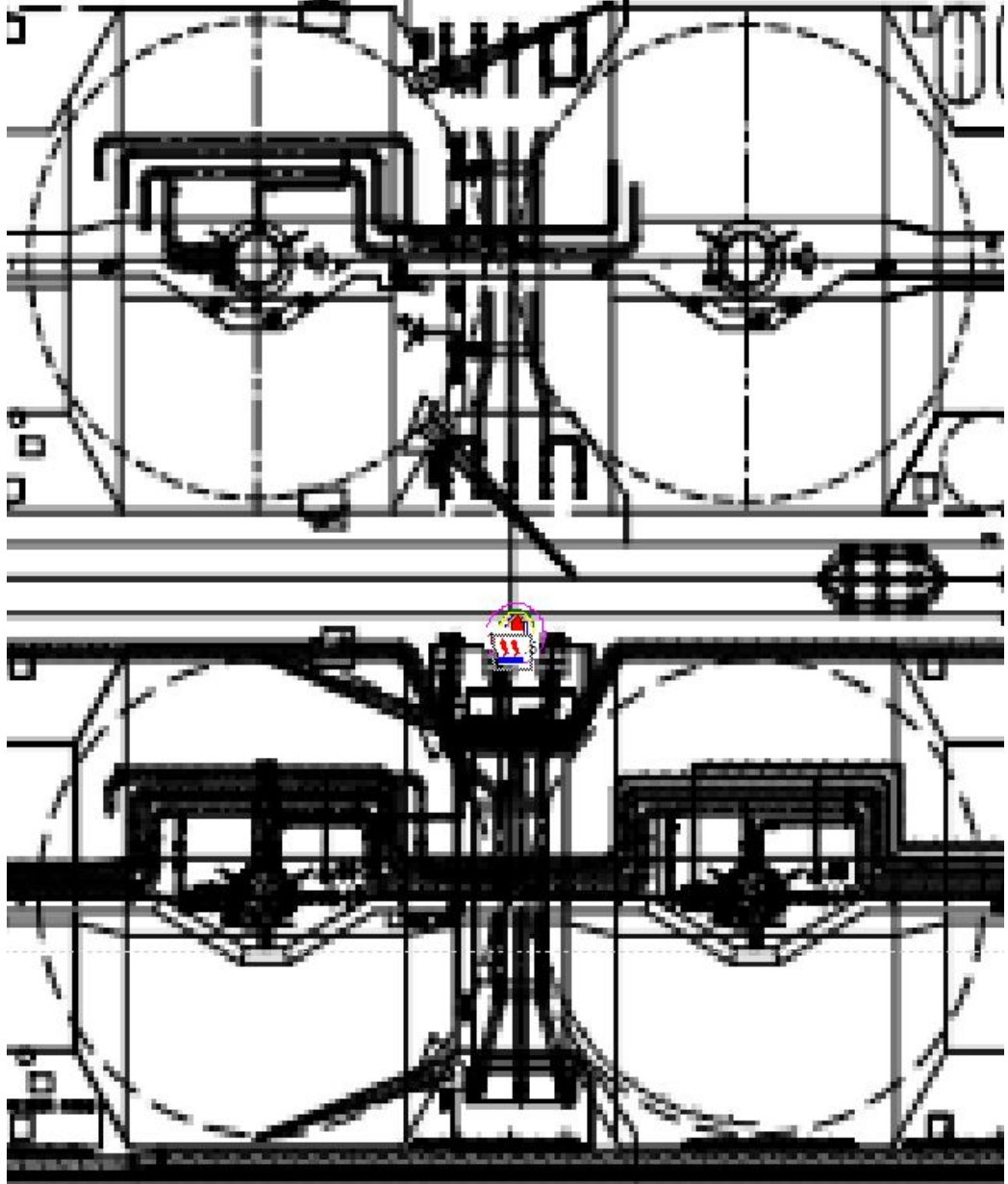
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 2 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



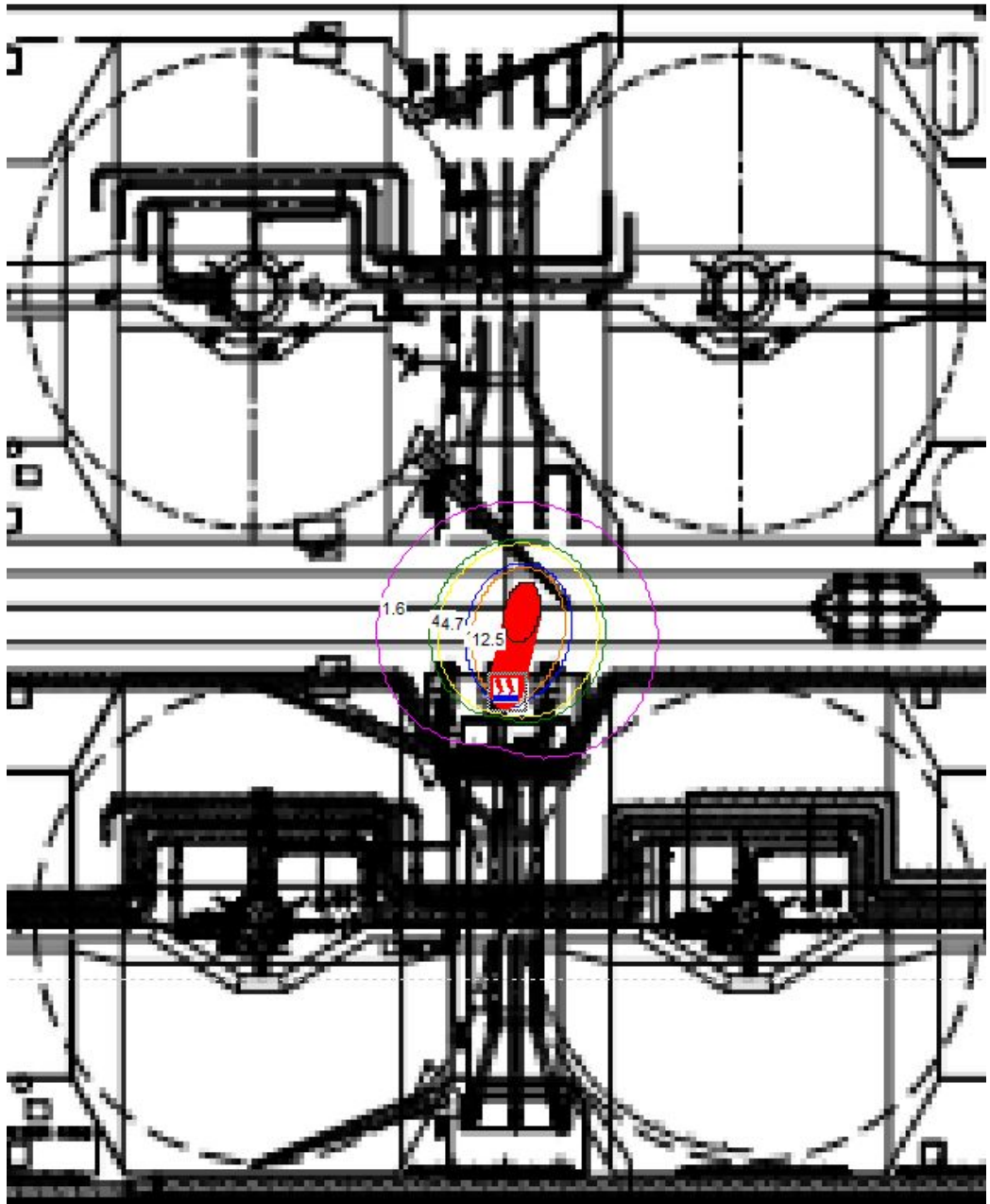
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 2 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



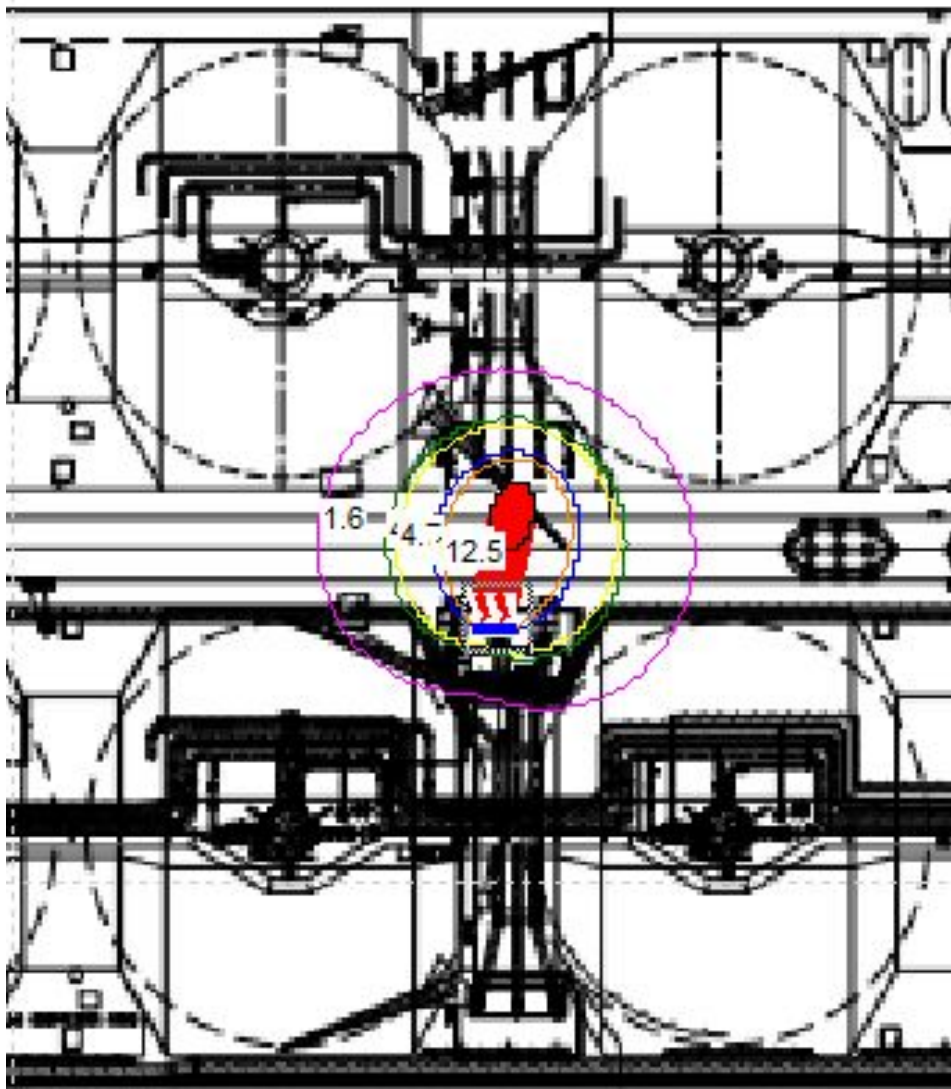
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 2 skenario >150mm – *Night Time Top View*



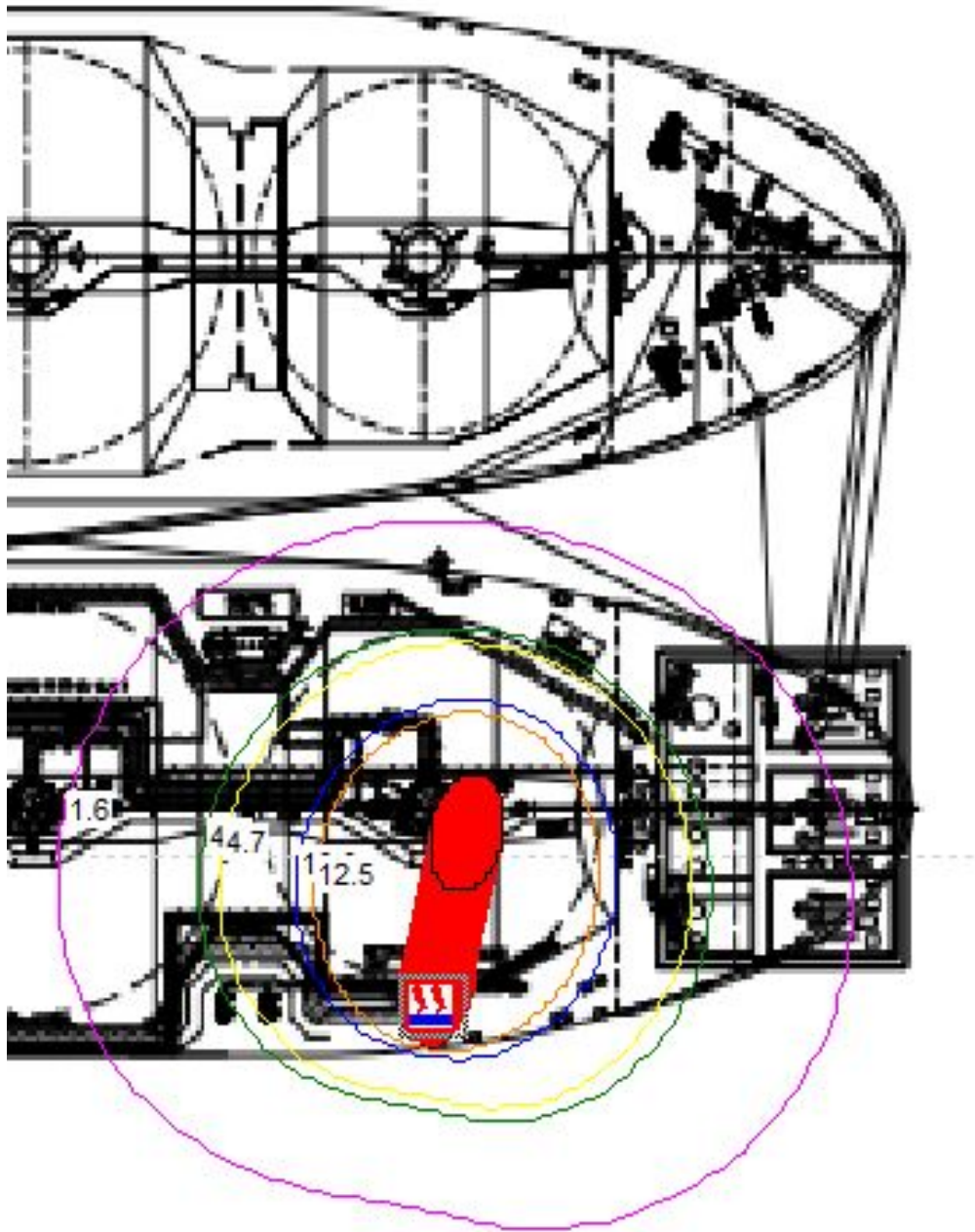
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 3 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



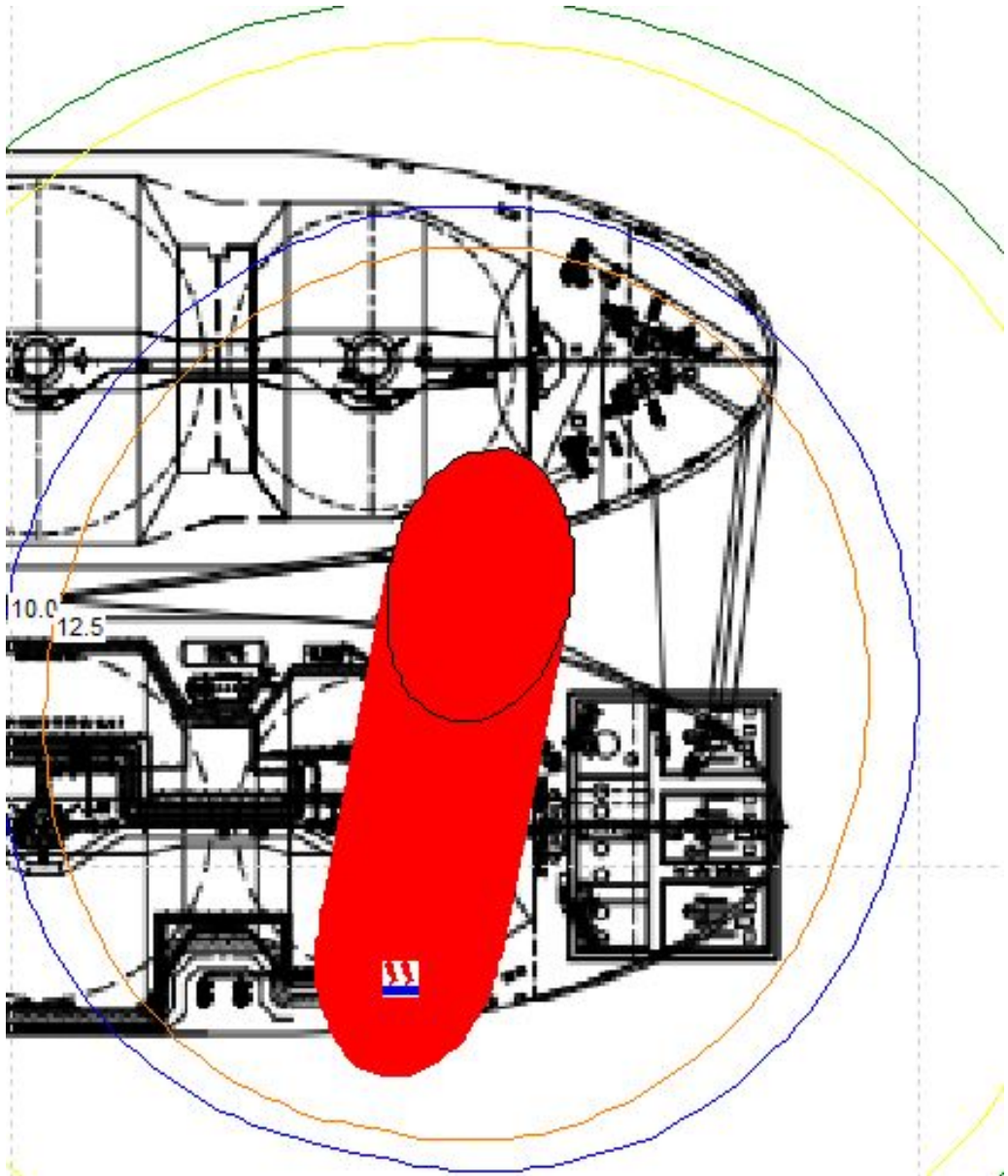
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 3 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



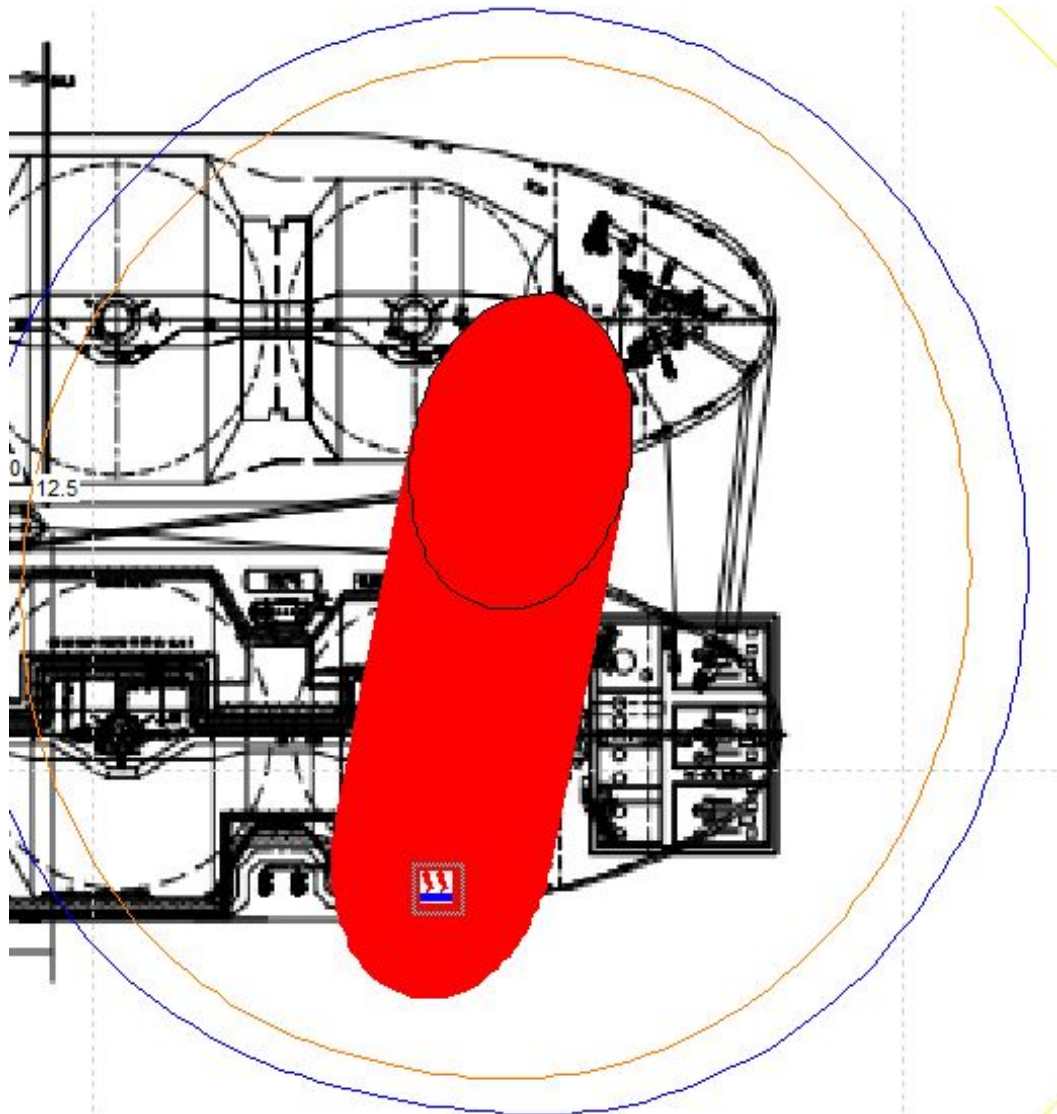
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 3 skenario >150mm – *Night Time Top View*



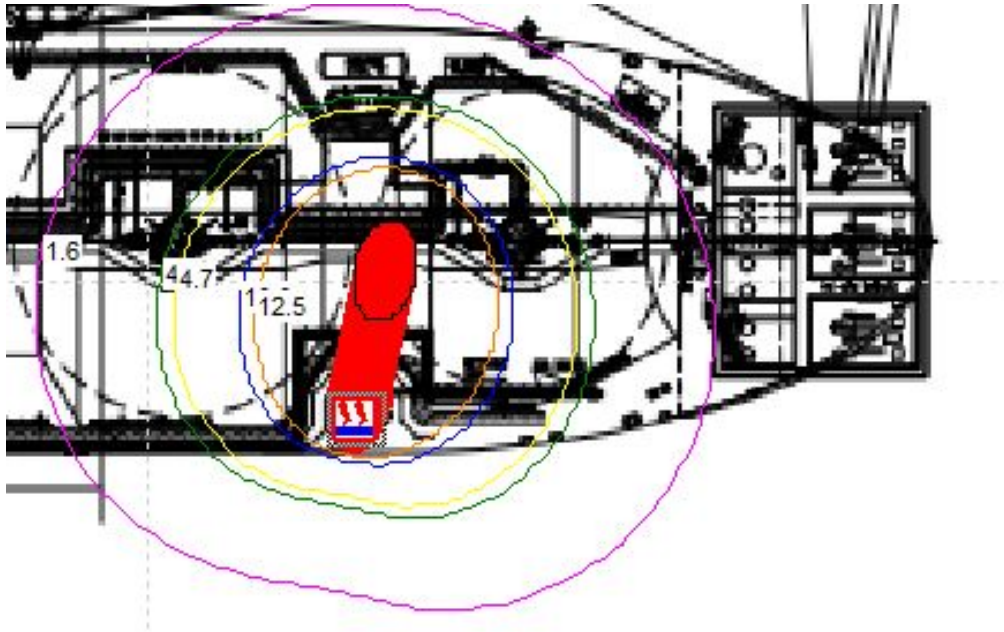
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 4 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



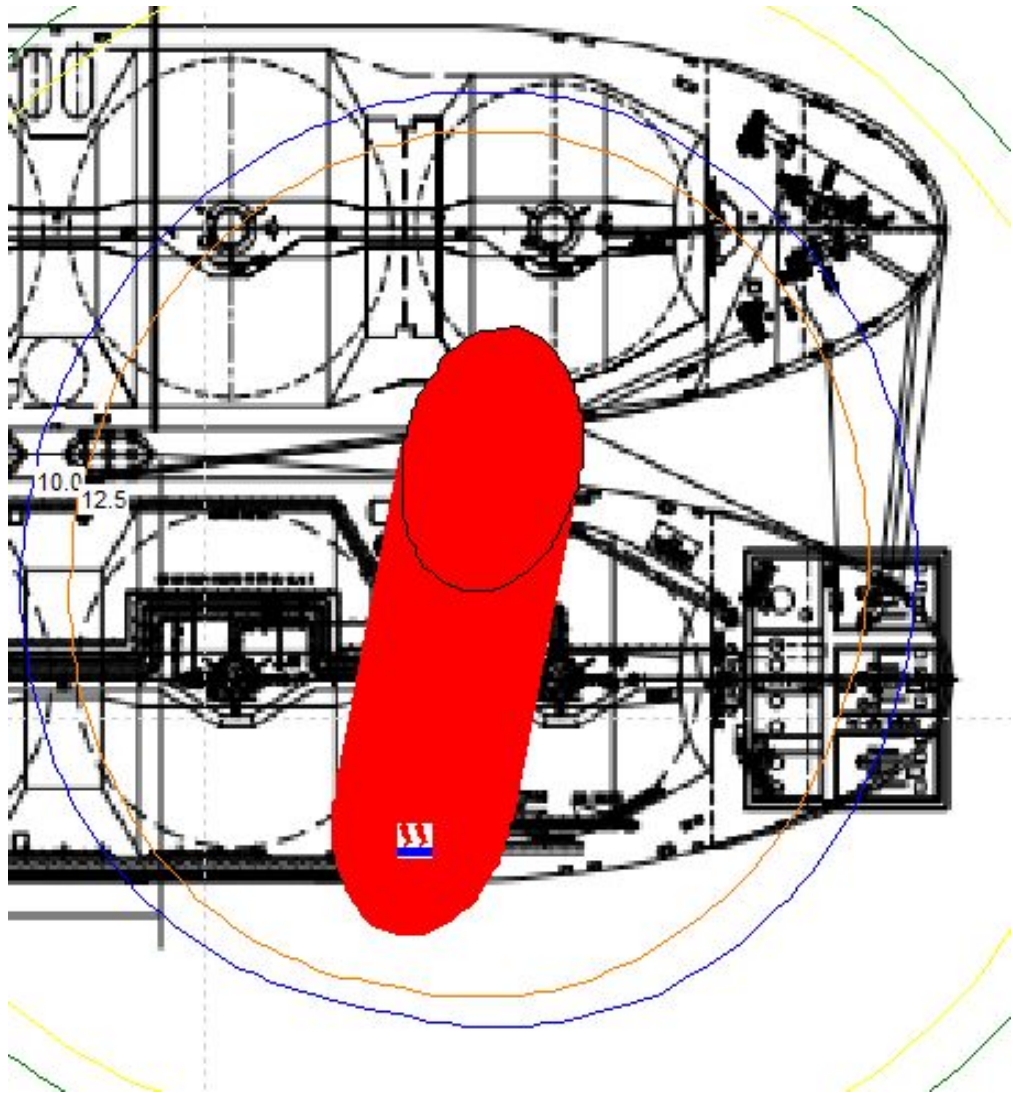
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 4 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



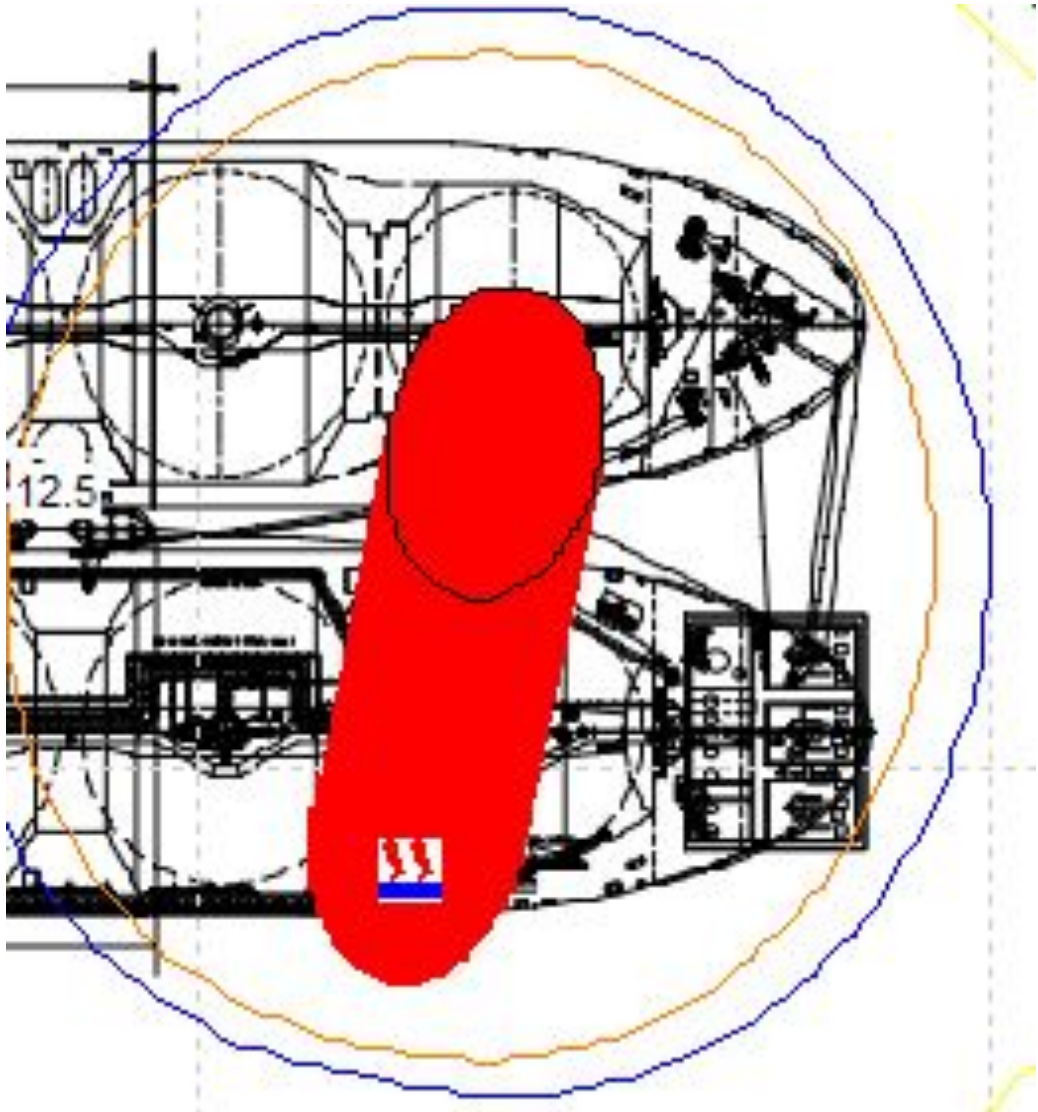
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 4 skenario >150mm – *Night Time Top View*



Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 5 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



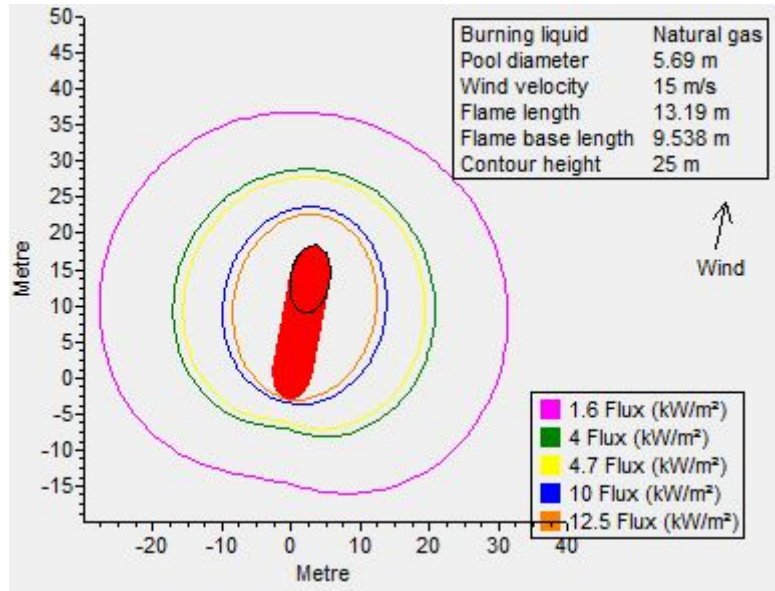
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 5 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



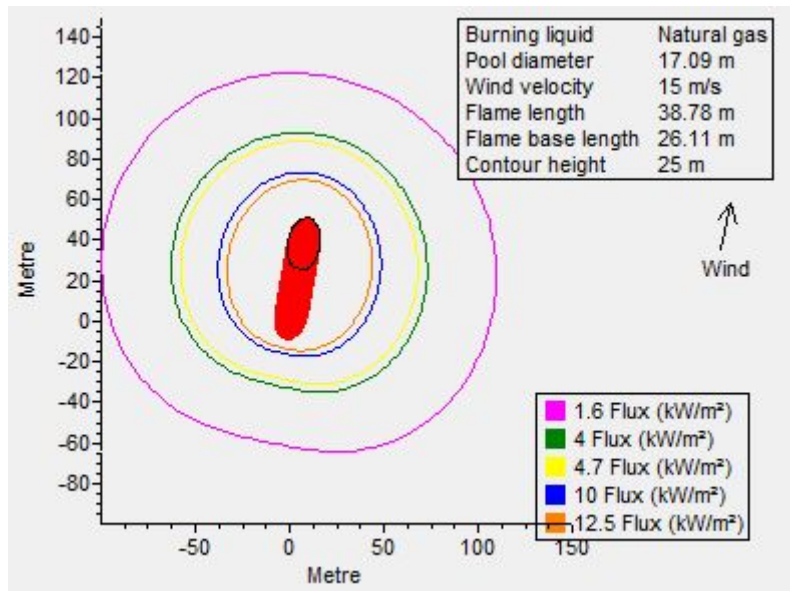
Analisa Konsekuensi *Flash Fire* Node 5 skenario >150mm – *Night Time Top View*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

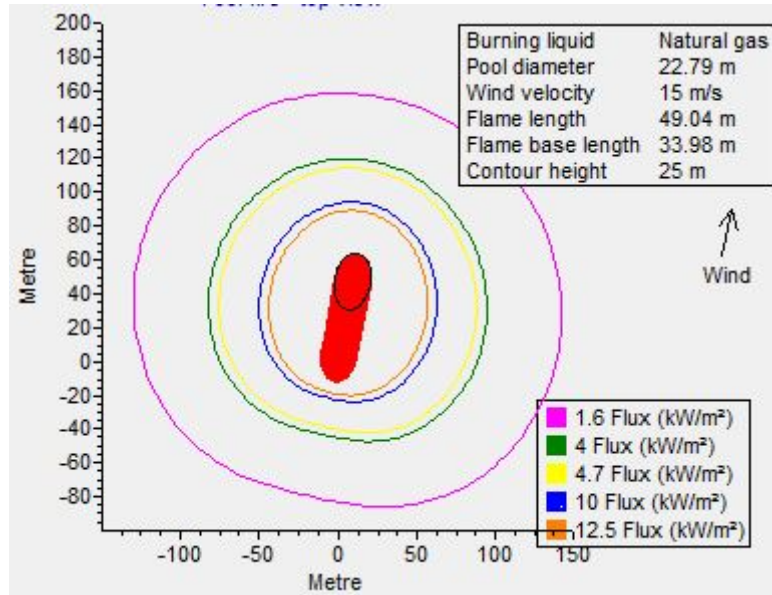
LAMPIRAN XIII : FLASH FIRE RADIUS – NIGHT VIEW



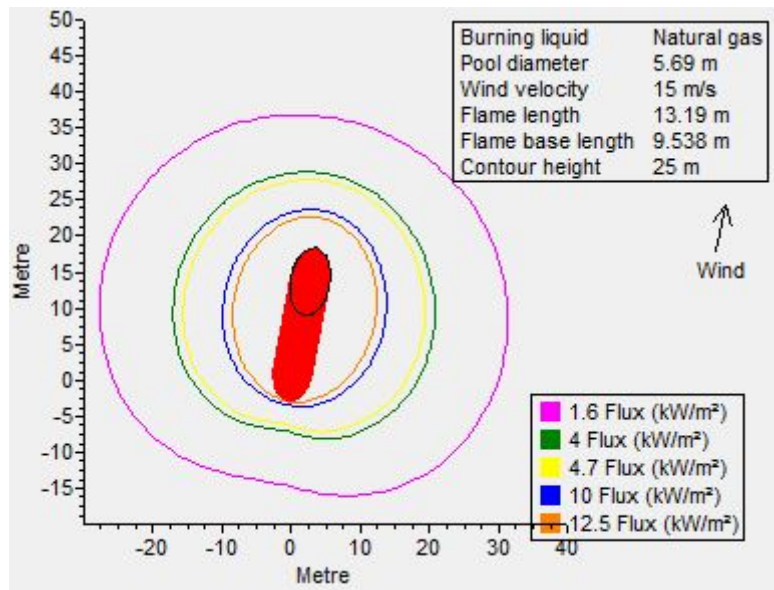
Radius Flash Fire Node 1 skenario 10-50mm – Night Time Top View



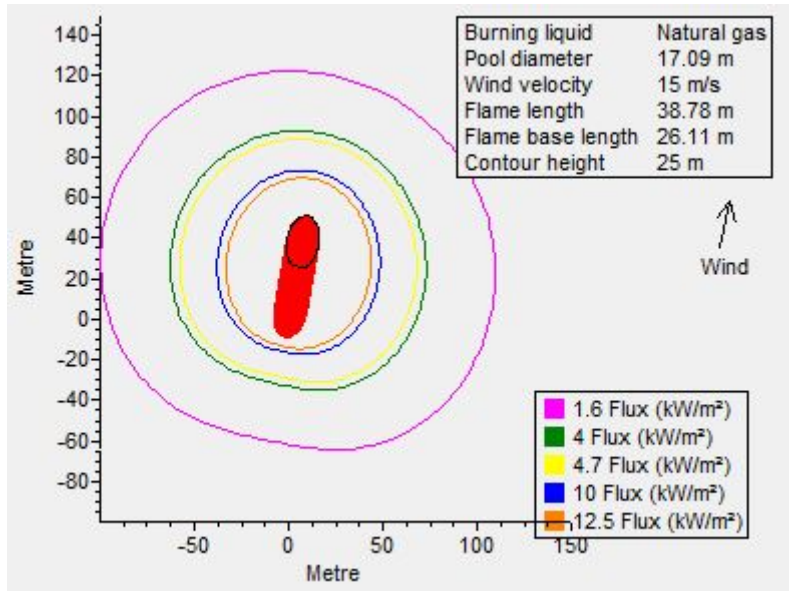
Radius Flash Fire Node 1 skenario 50-150mm – Night Time Top View



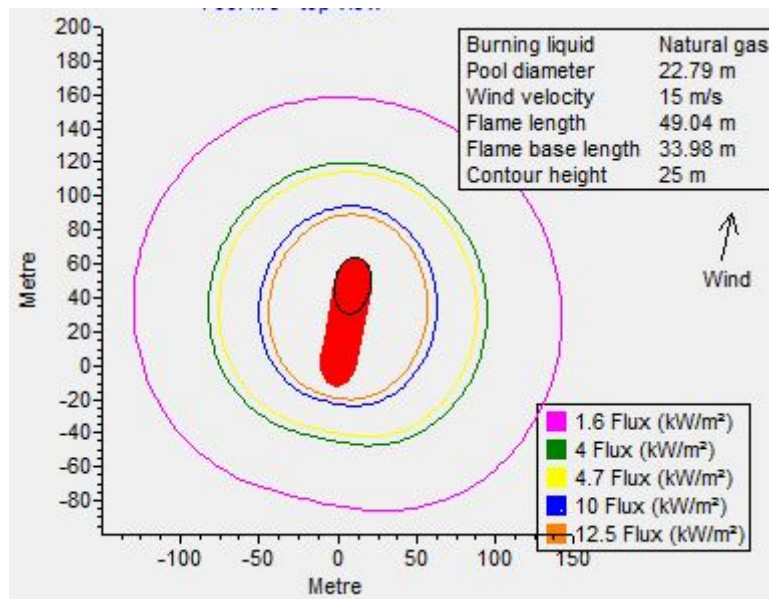
Radius *Flash Fire* Node 1 skenario >150mm – *Night Time Top View*



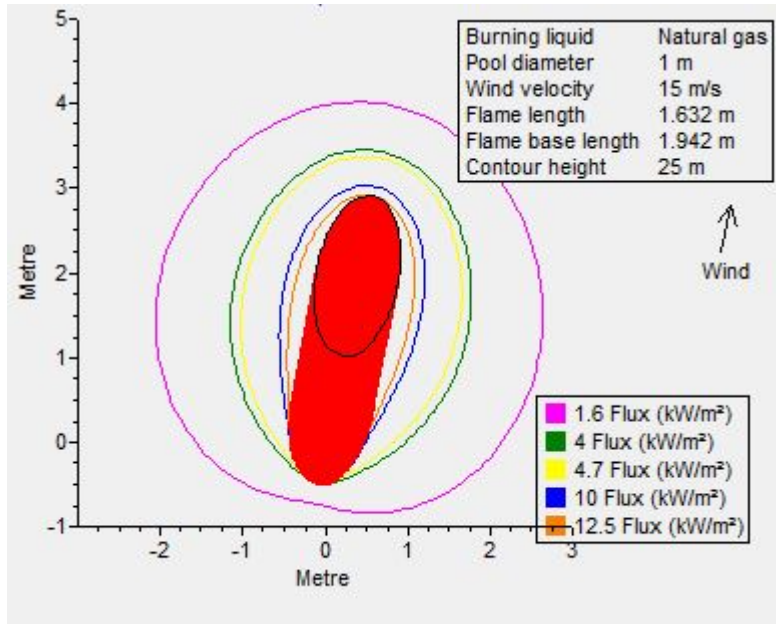
Radius *Flash Fire* Node 2 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



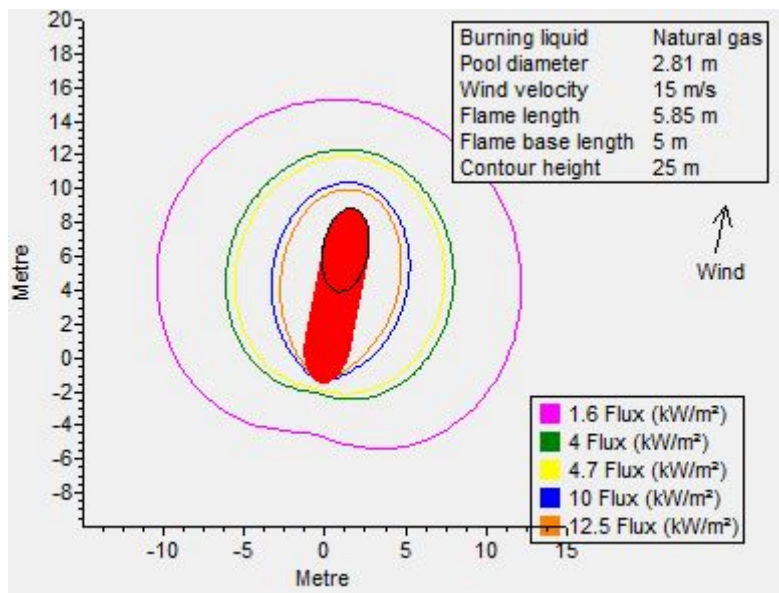
Radius Flash Fire Node 2 skenario 50-150mm – Night Time Top View



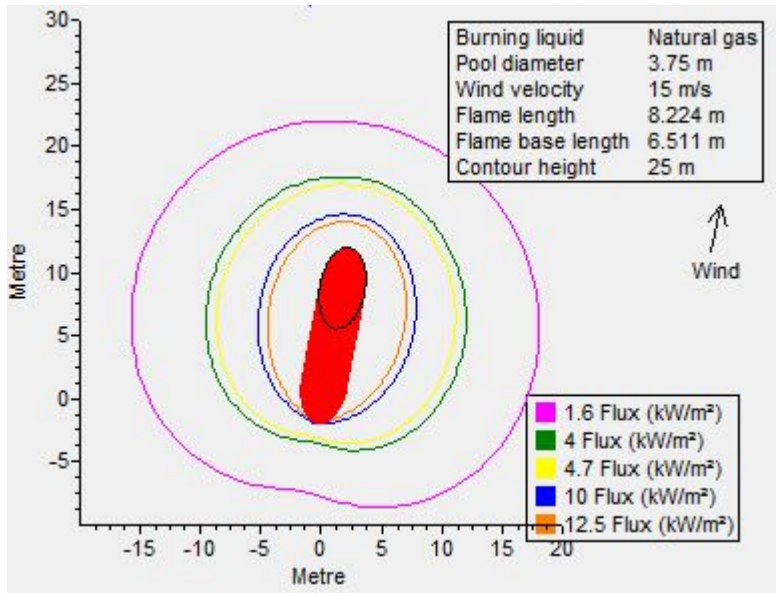
Radius Flash Fire Node 2 skenario >150mm – Night Time Top View



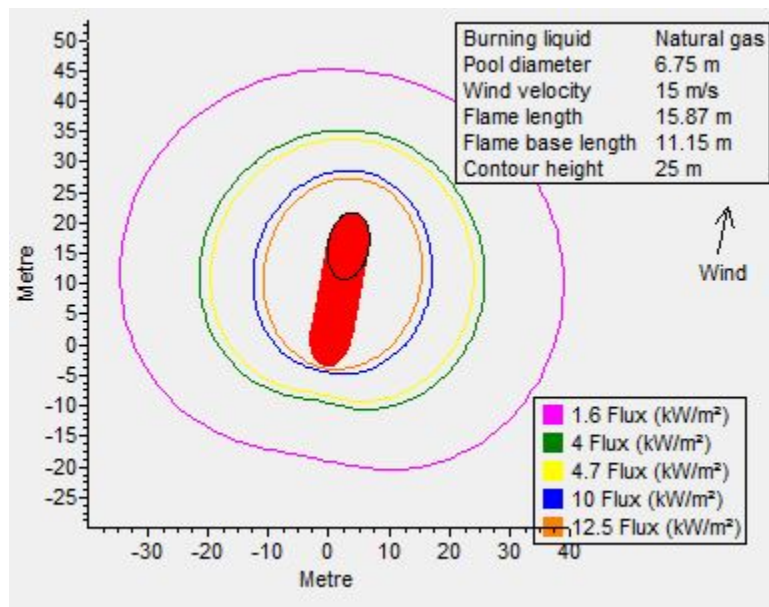
Radius *Flash Fire* Node 3 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



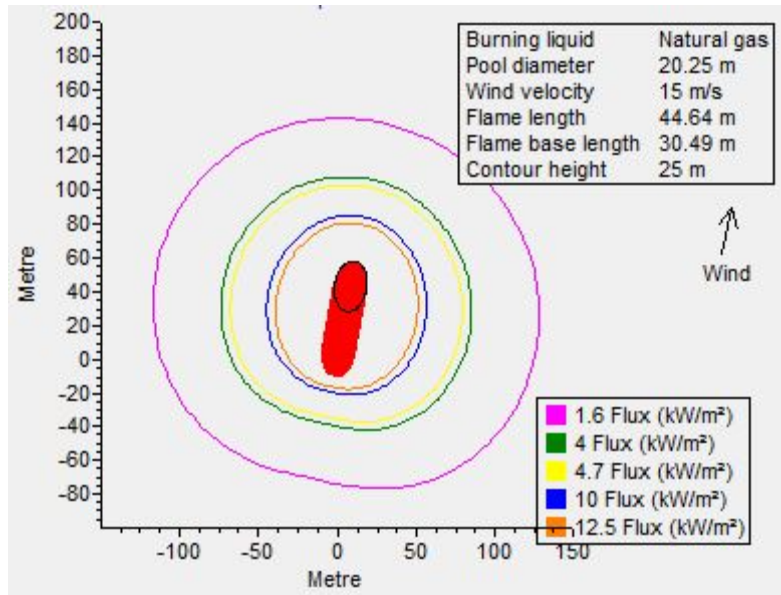
Radius *Flash Fire* Node 3 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



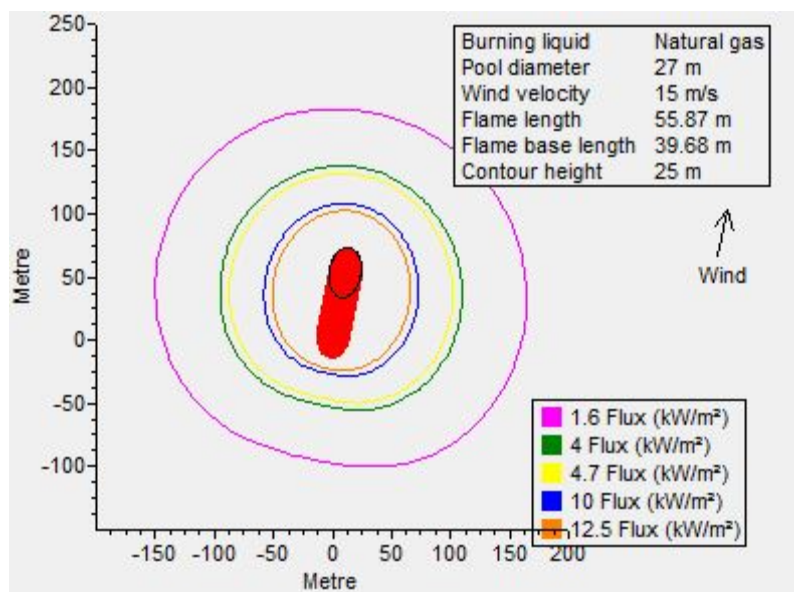
Radius Flash Fire Node 3 skenario >150mm – Night Time Top View



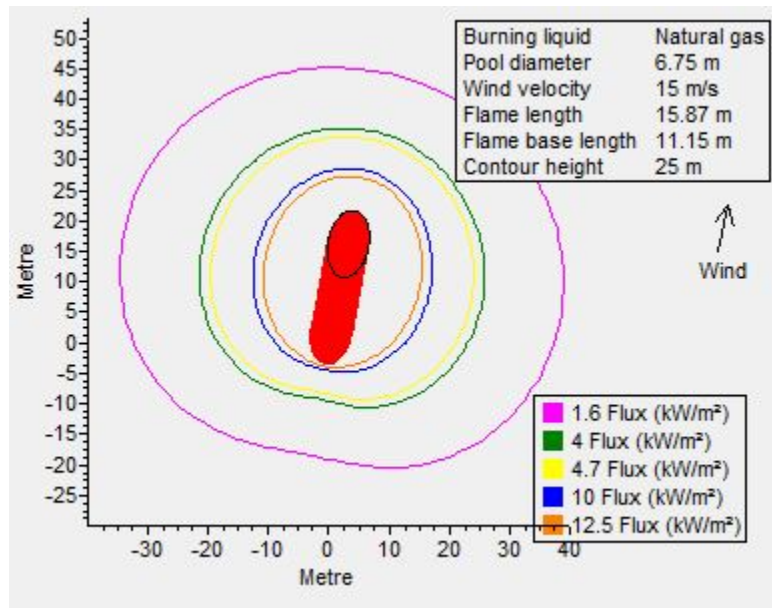
Radius Flash Fire Node 4 skenario 10-50mm – Night Time Top View



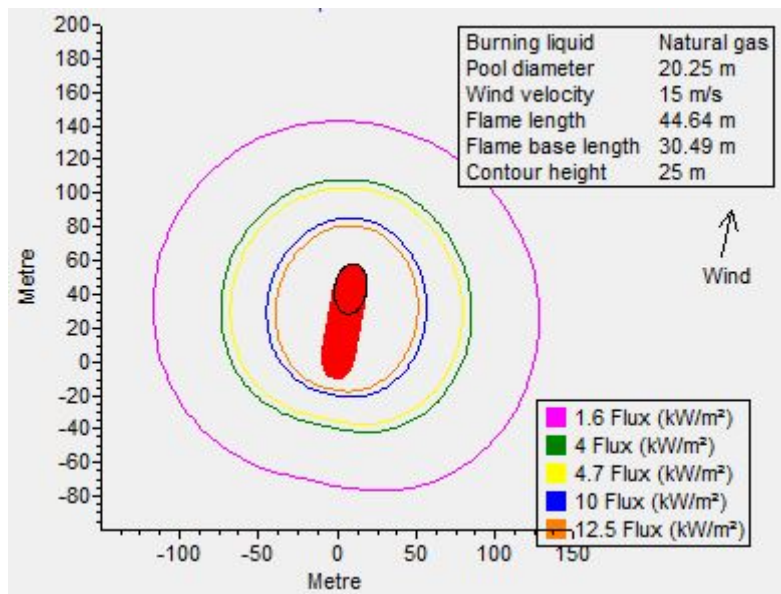
Radius *Flash Fire* Node 4 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



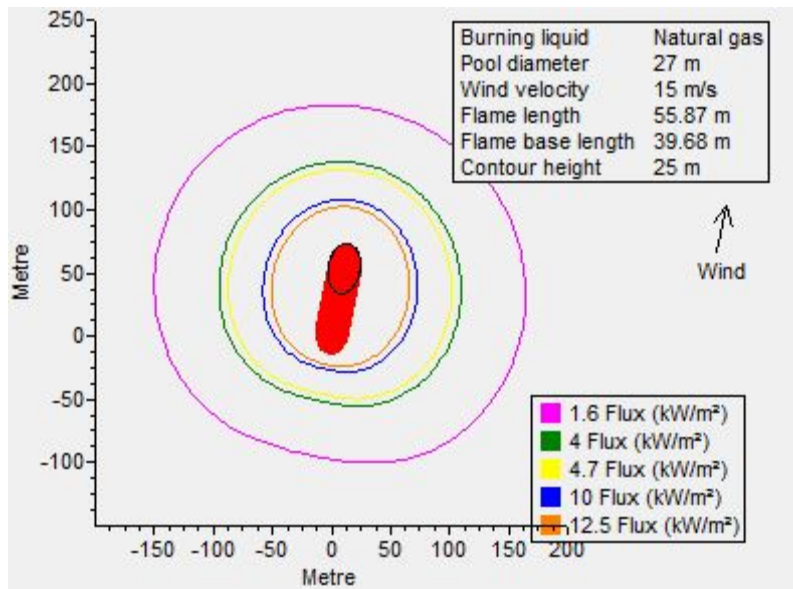
Radius *Flash Fire* Node 4 skenario >150mm – *Night Time Top View*



Radius Flash Fire Node 5 skenario 10-50mm – Night Time Top View



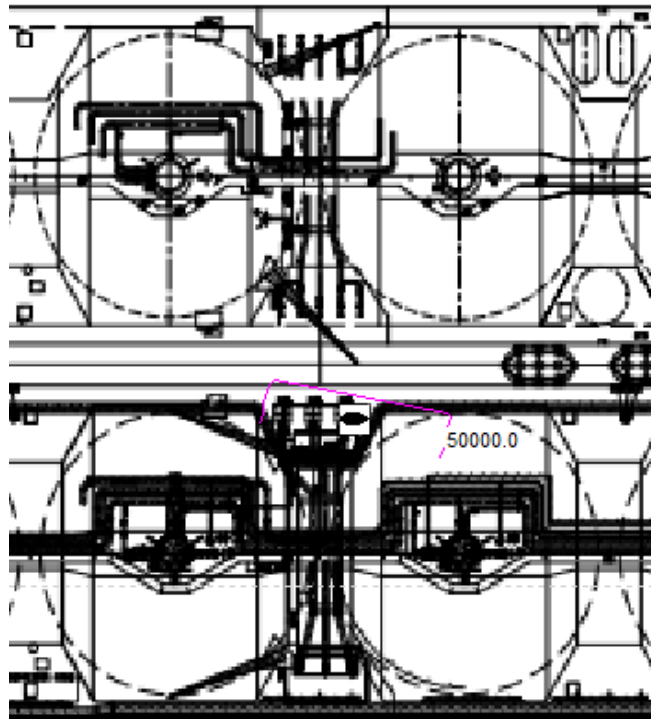
Radius Flash Fire Node 5 skenario 50-150mm – Night Time Top View



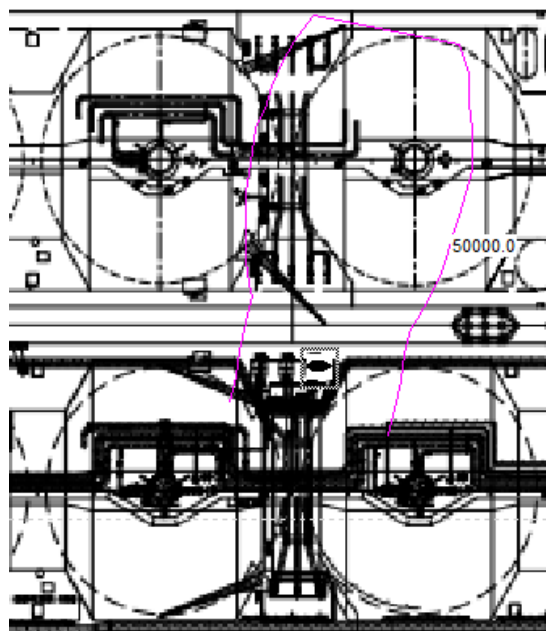
Radius Flash Fire Node 5 skenario >150mm – Night Time Top View

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

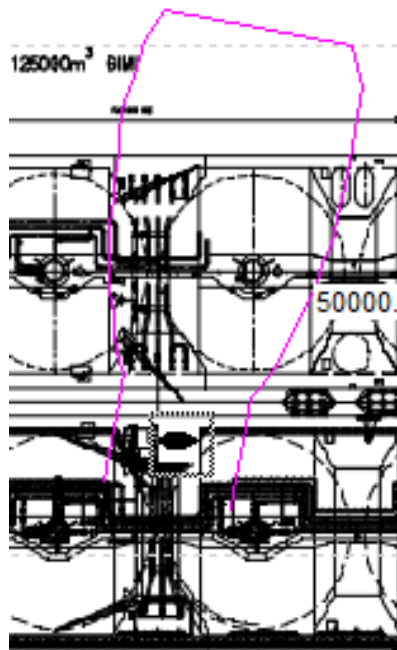
LAMPIRAN XIV : GAS DISPERSION TOP VIEW – DAY TIME



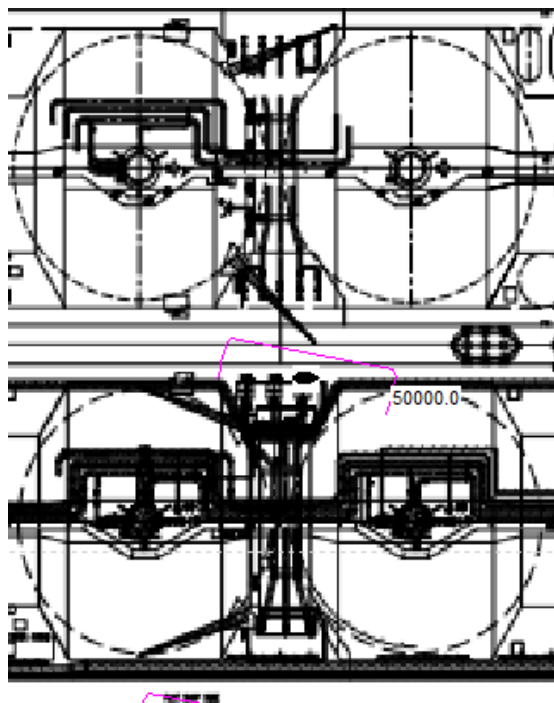
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 1 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



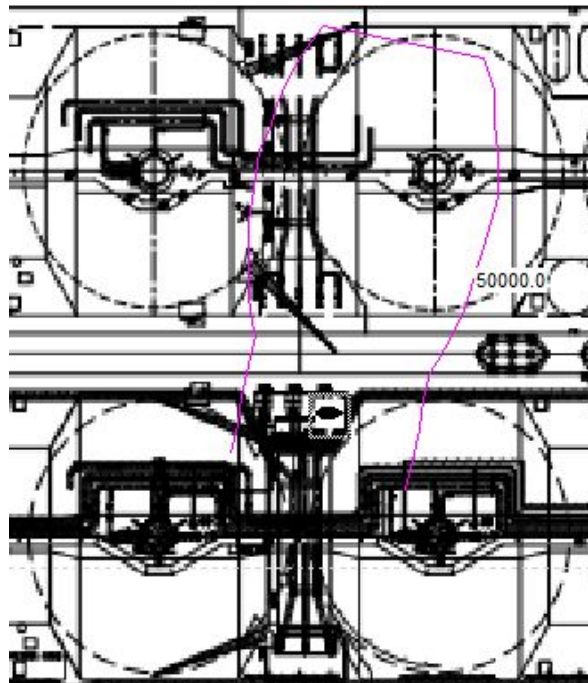
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 1 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



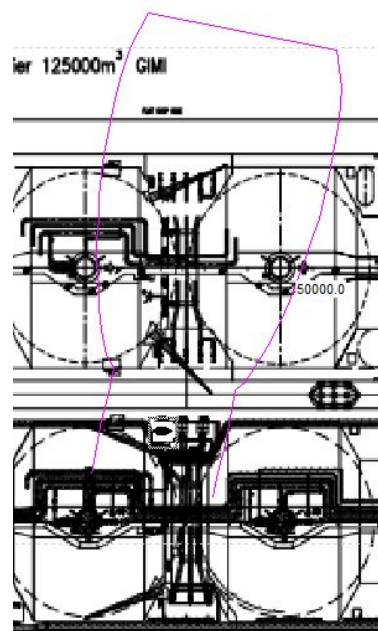
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 1 skenario >150mm – *Day Time Top View*



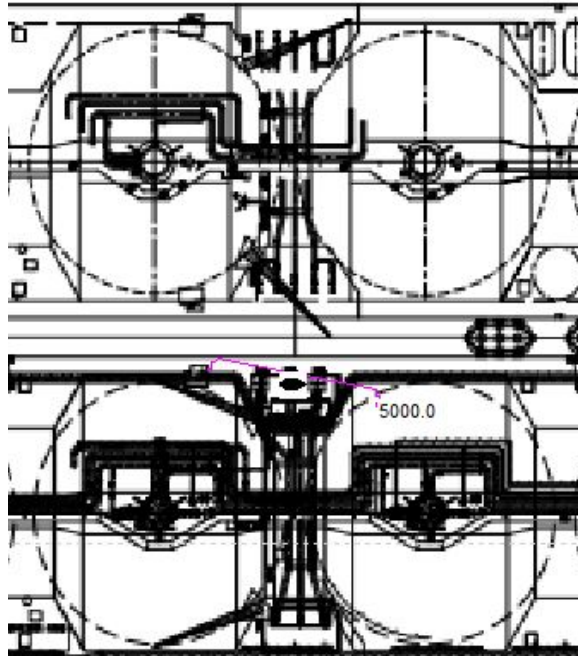
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 2 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



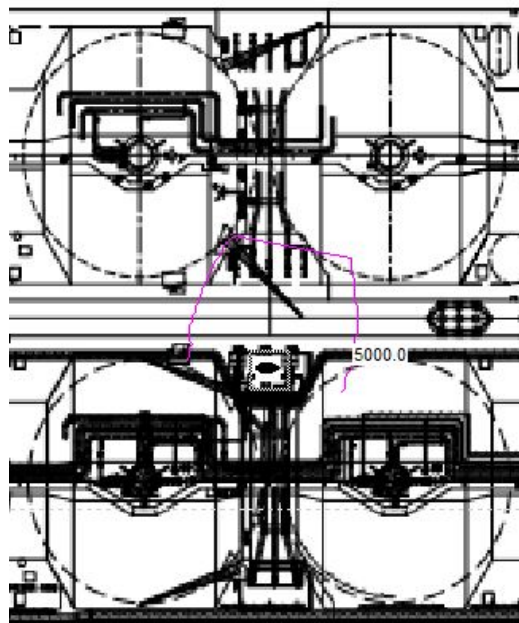
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 2 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



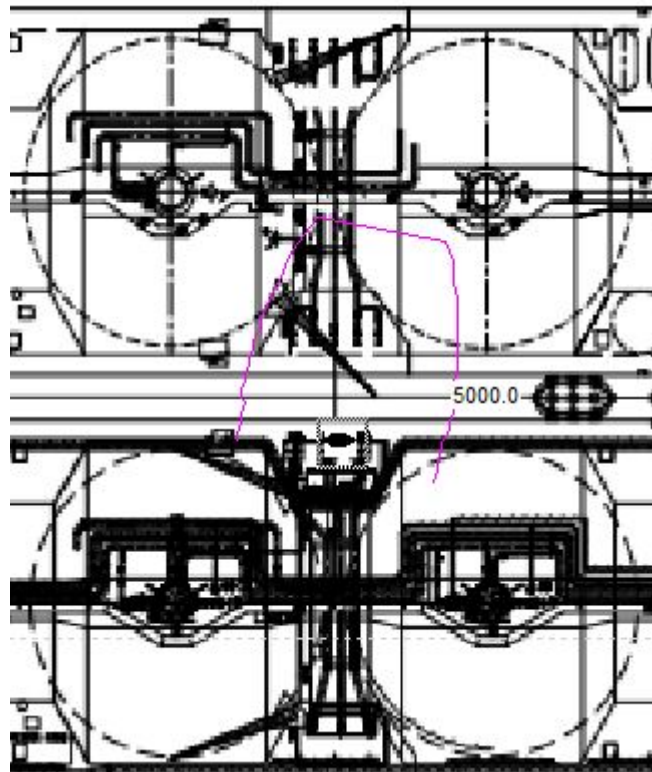
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 2 skenario >150mm – *Day Time Top View*



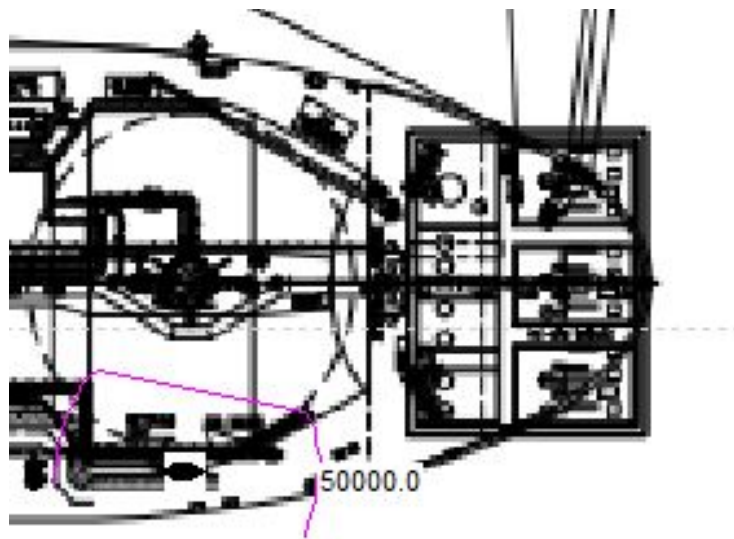
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 3 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



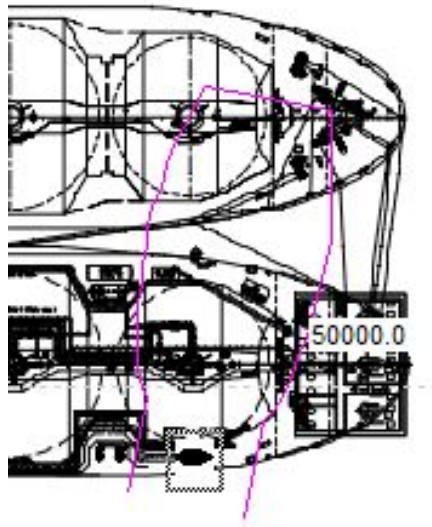
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 3 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



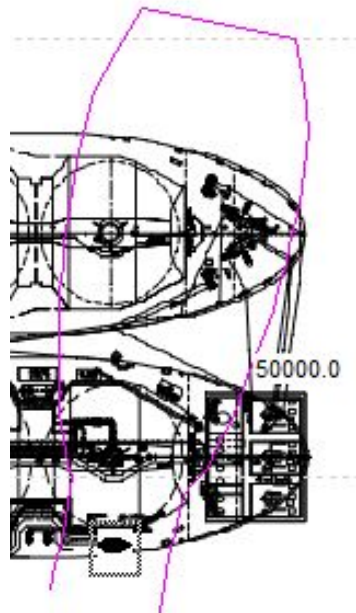
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 3 skenario >150mm – *Day Time Top View*



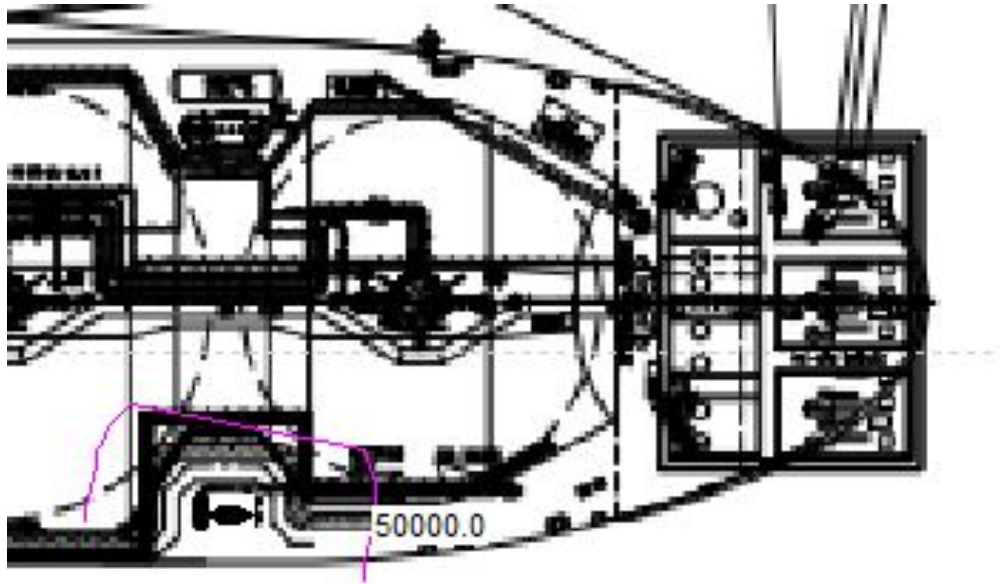
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 4 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



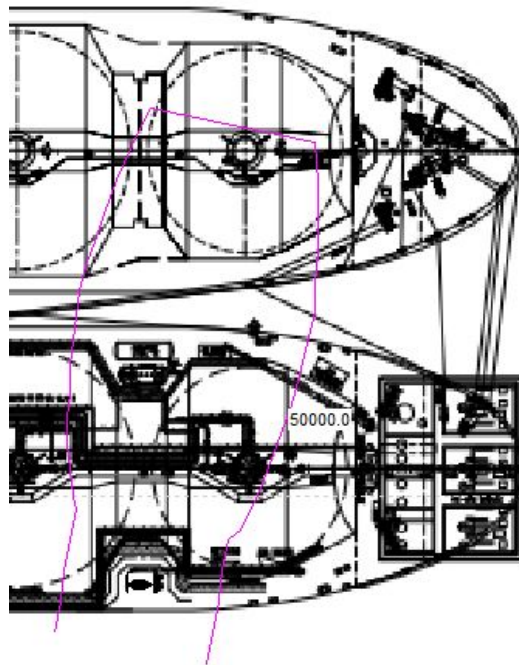
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 4 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



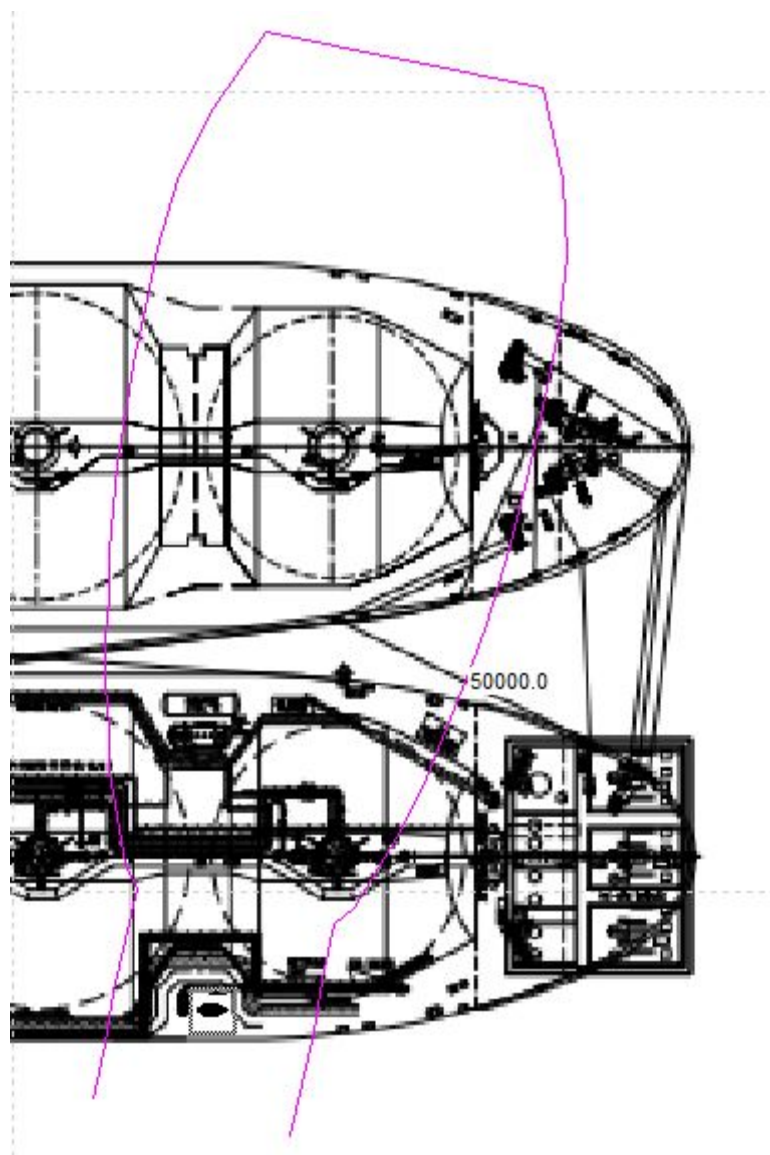
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 4 skenario >150mm – *Day Time Top View*



Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 5 skenario 10-50mm – *Day Time Top View*



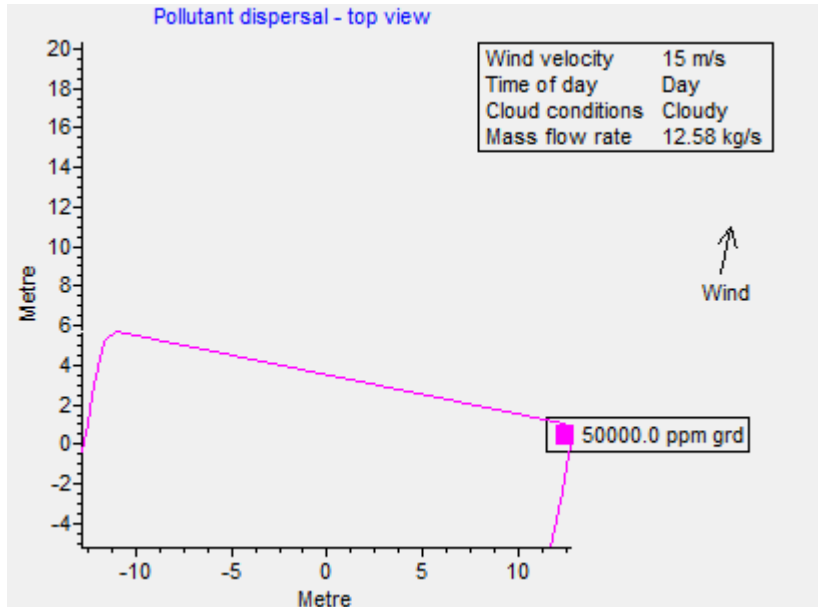
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 5 skenario 50-150mm – *Day Time Top View*



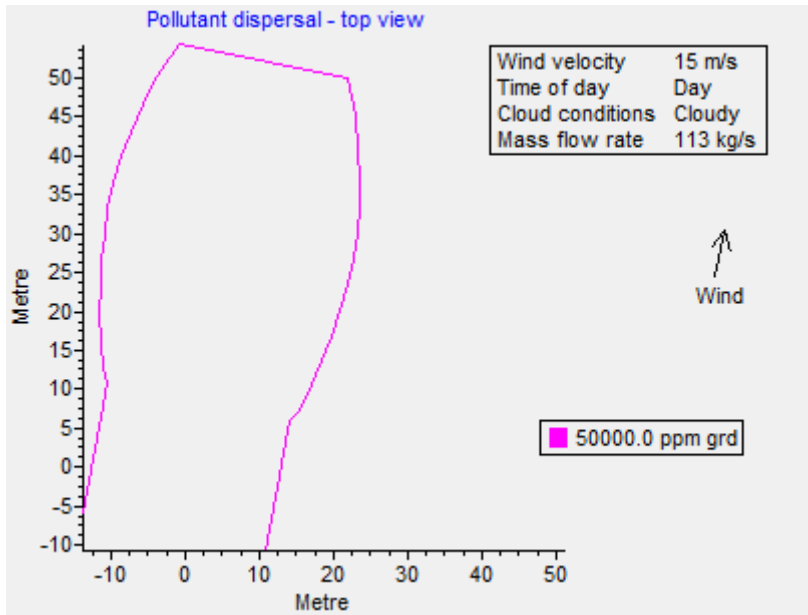
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 5 skenario >150mm – *Day Time Top View*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

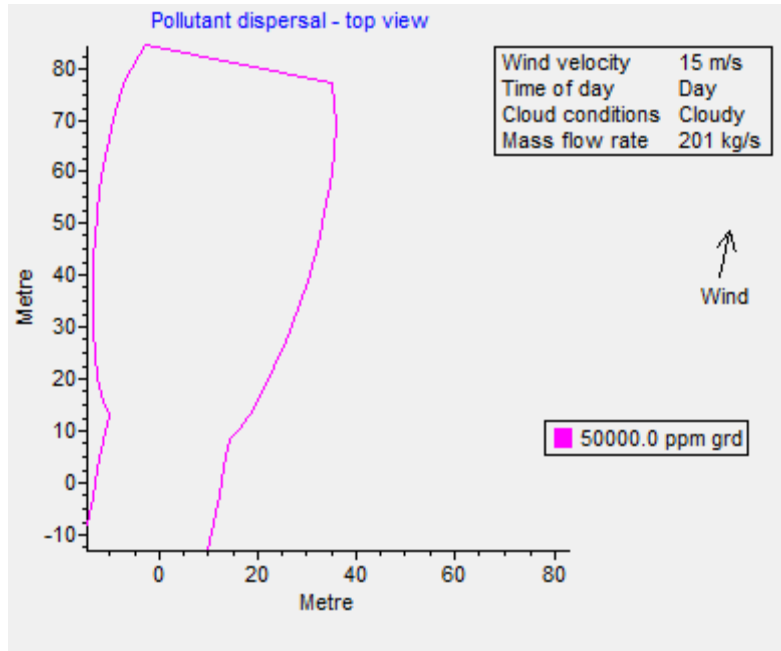
LAMPIRAN XV : GAS DISPERSION RADIUS – DAY TIME



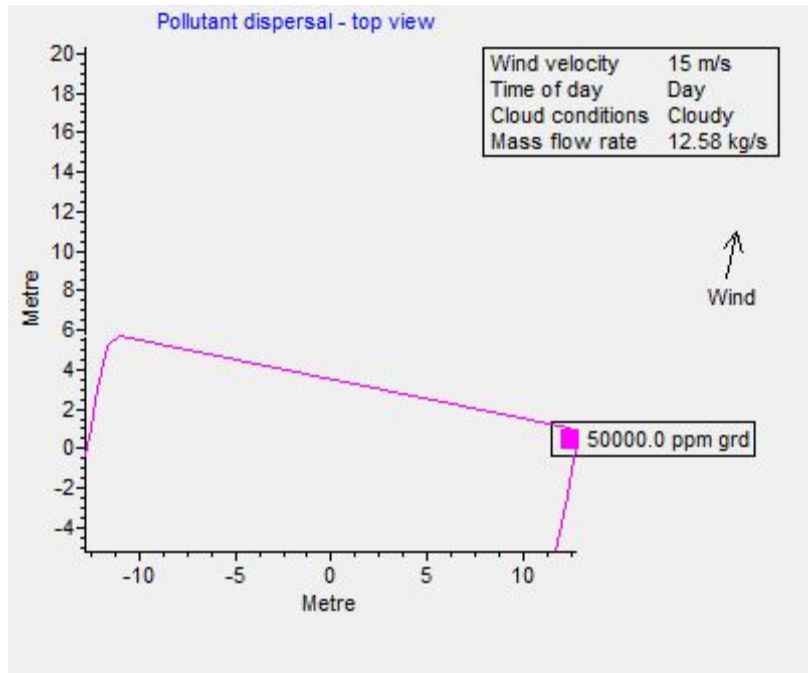
Radius Gas Dispersion Node 1 skenario 10-50mm – Day Time Top View



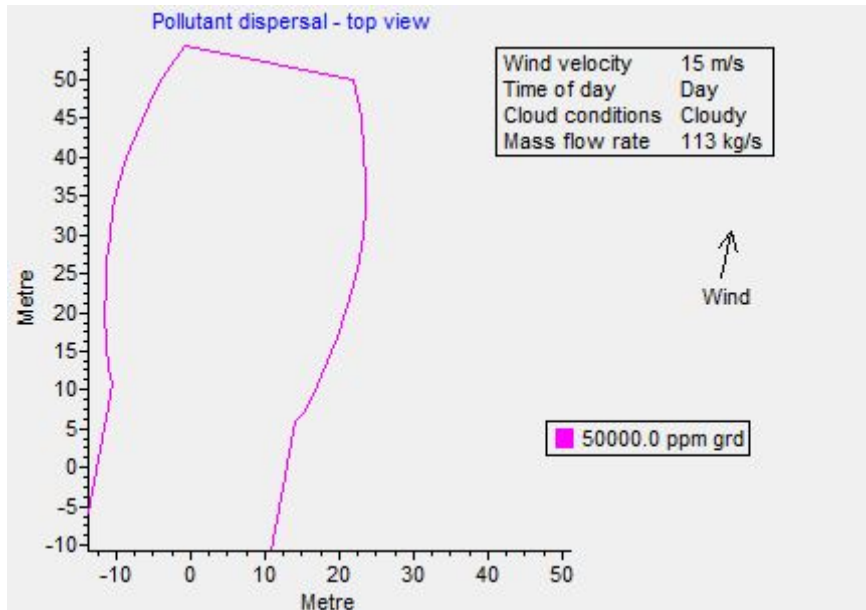
Radius Gas Dispersion Node 1 skenario 50-150mm – Day Time Top View



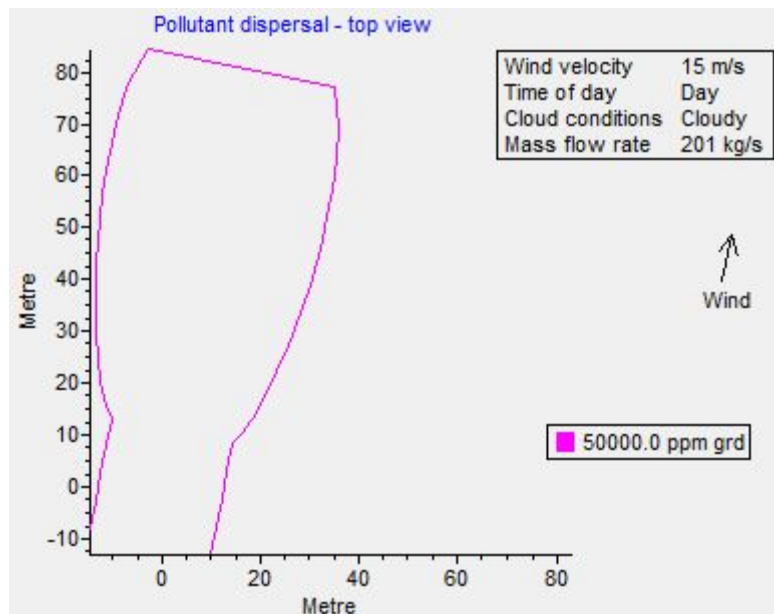
Radius Gas Dispersion Node 1 skenario >150mm – Day Time Top View



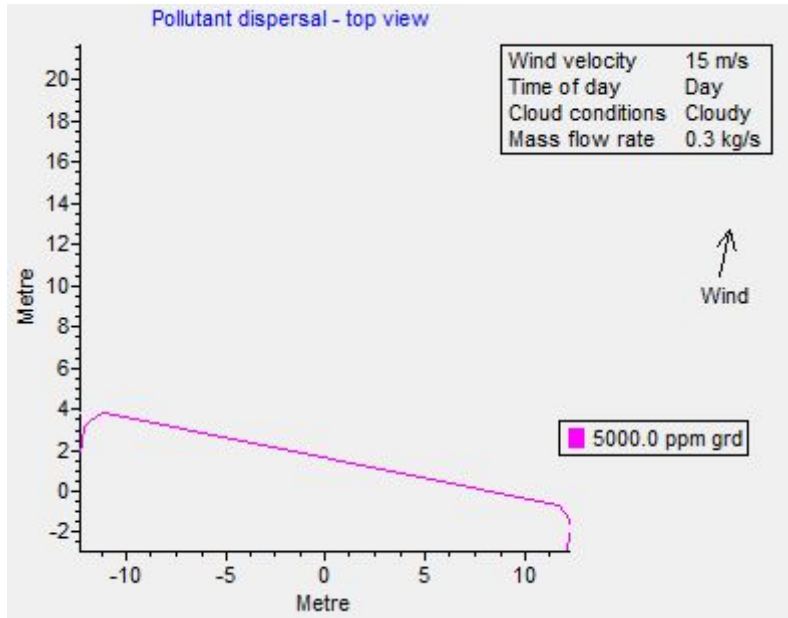
Radius Gas Dispersion Node 2 skenario 10-50mm – Day Time Top View



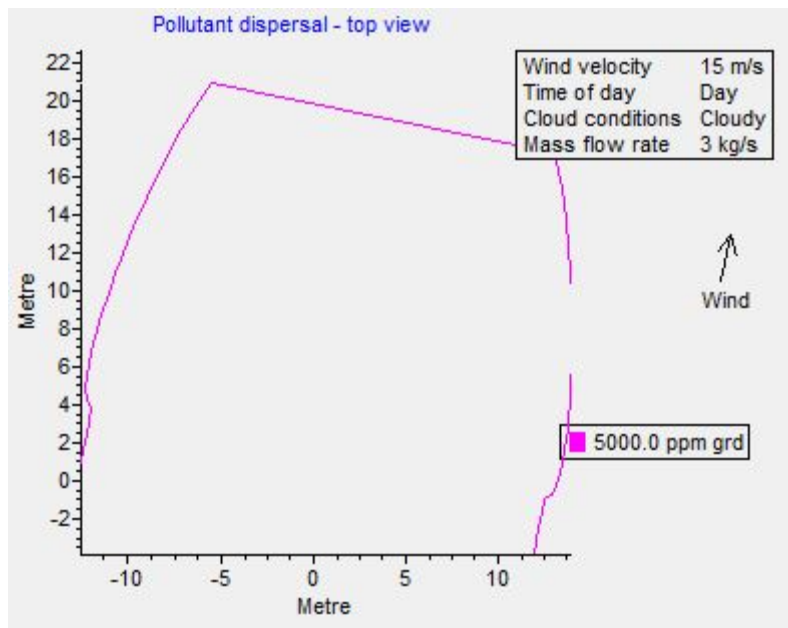
Radius Gas Dispersion Node 2 skenario 50-150mm – Day Time Top View



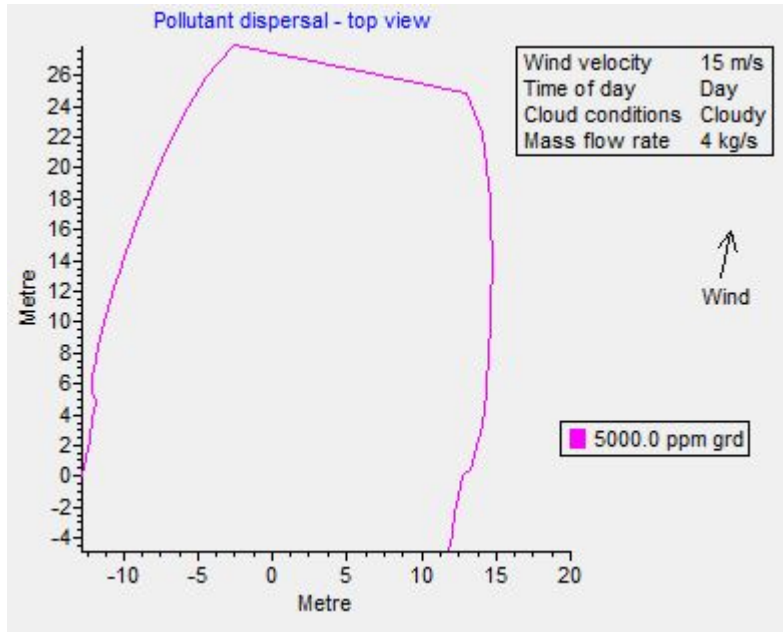
Radius Gas Dispersion Node 2 skenario >150mm – Day Time Top View



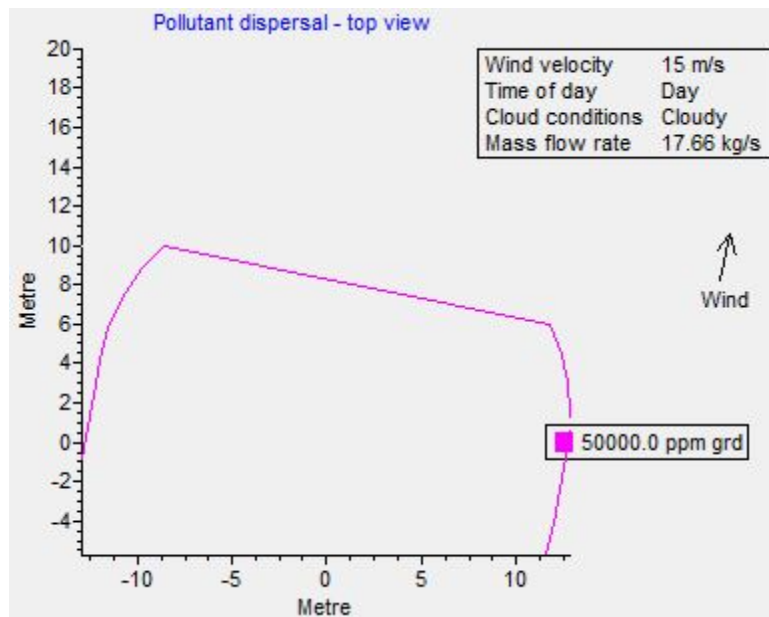
Radius Gas Dispersion Node 3 skenario 10-50mm – Day Time Top View



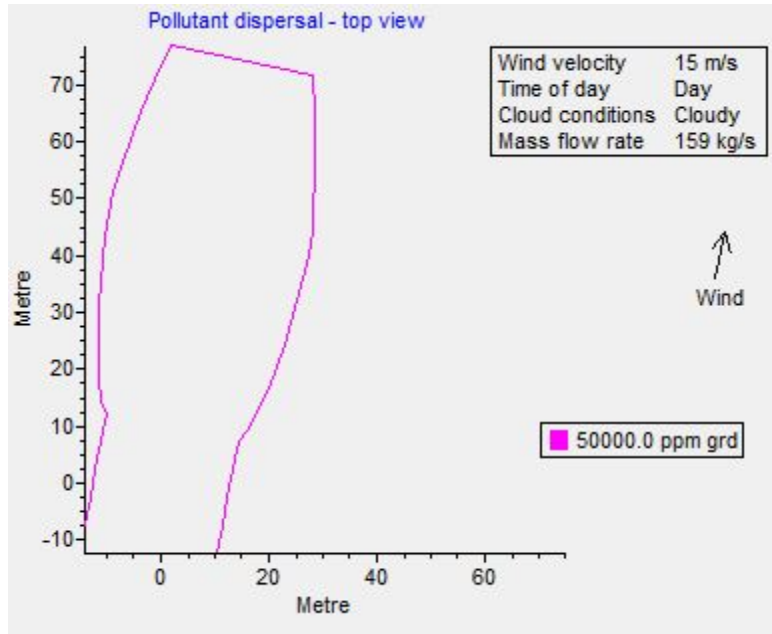
Radius Gas Dispersion Node 3 skenario 50-150mm – Day Time Top View



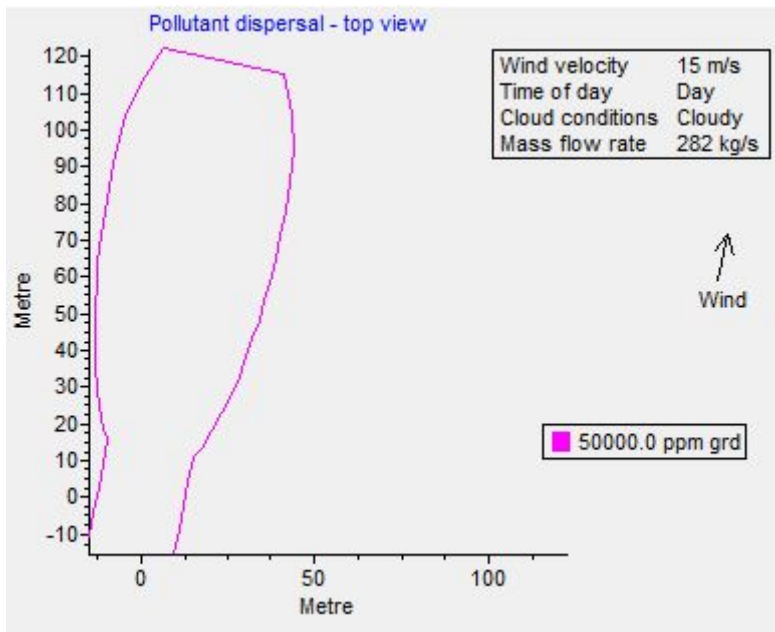
Radius Gas Dispersion Node 3 skenario >150mm – Day Time Top View



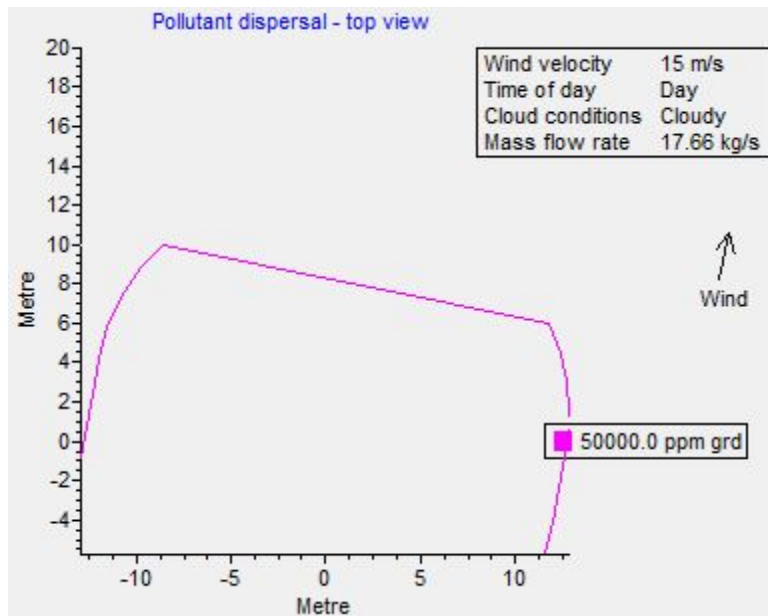
Radius Gas Dispersion Node 4 skenario 10-50mm – Day Time Top View



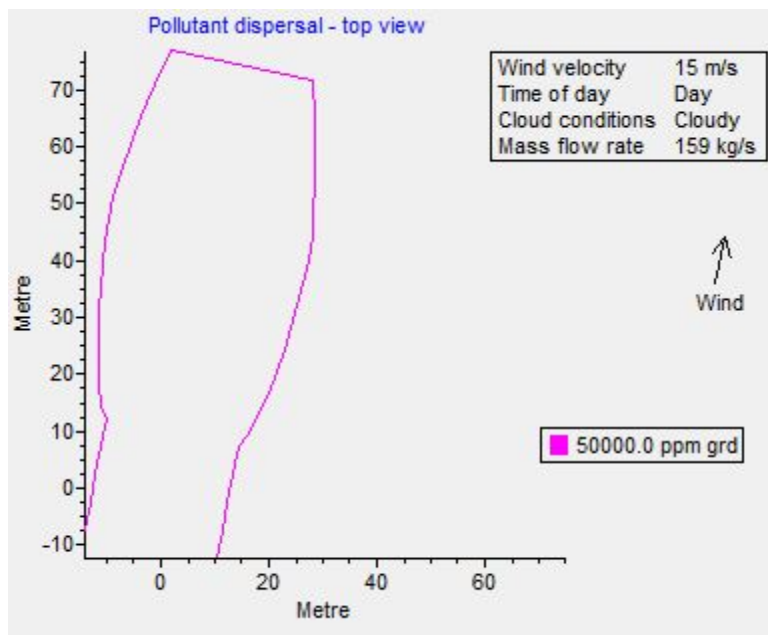
Radius Gas Dispersion Node 4 skenario 50-150mm – Day Time Top View



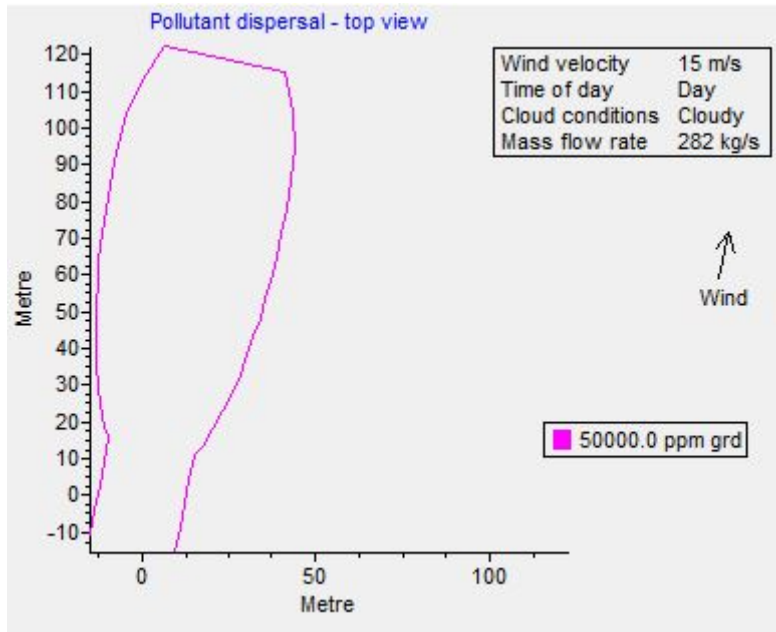
Radius Gas Dispersion Node 4 skenario >150mm – Day Time Top View



Radius Gas Dispersion Node 5 skenario 10-50mm – Day Time Top View



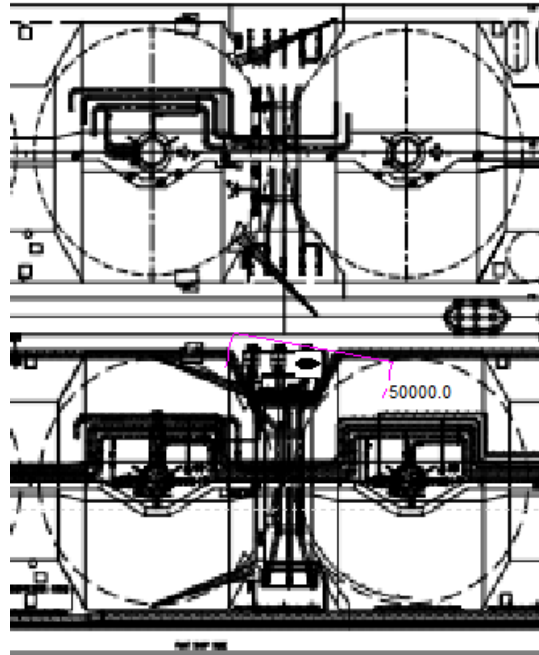
Radius Gas Dispersion Node 5 skenario 50-150mm – Day Time Top View



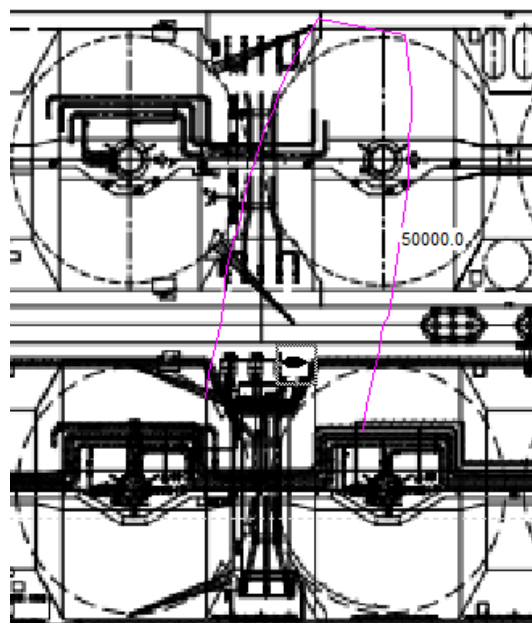
Radius Gas Dispersion Node 5 skenario >150mm – Day Time Top View

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

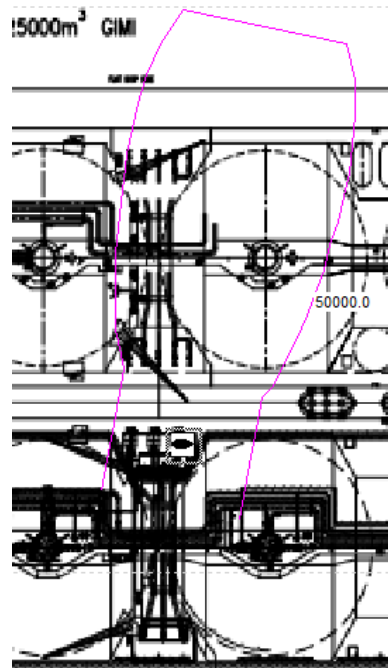
LAMPIRAN XVI : GAS DISPERSION TOP VIEW – NIGH TIME



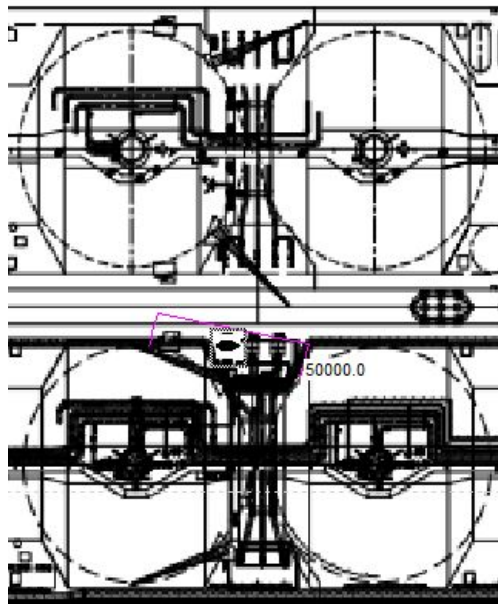
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 1 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



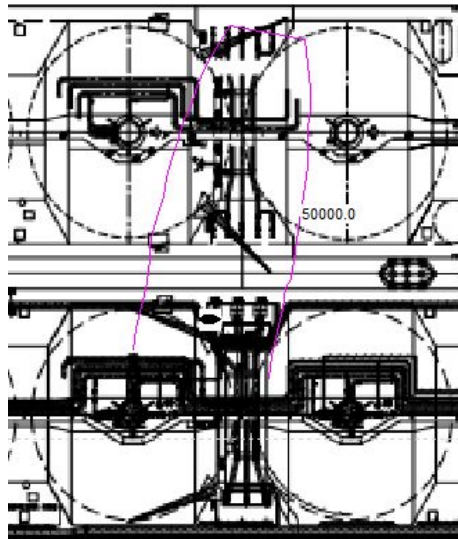
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 1 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



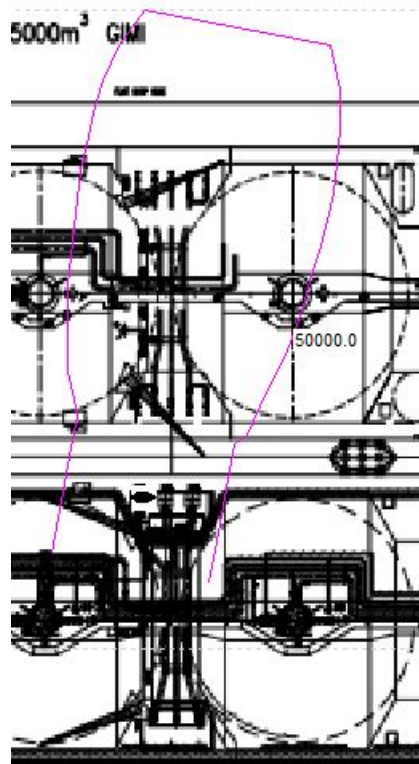
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 1 skenario >150mm – *Night Time Top View*



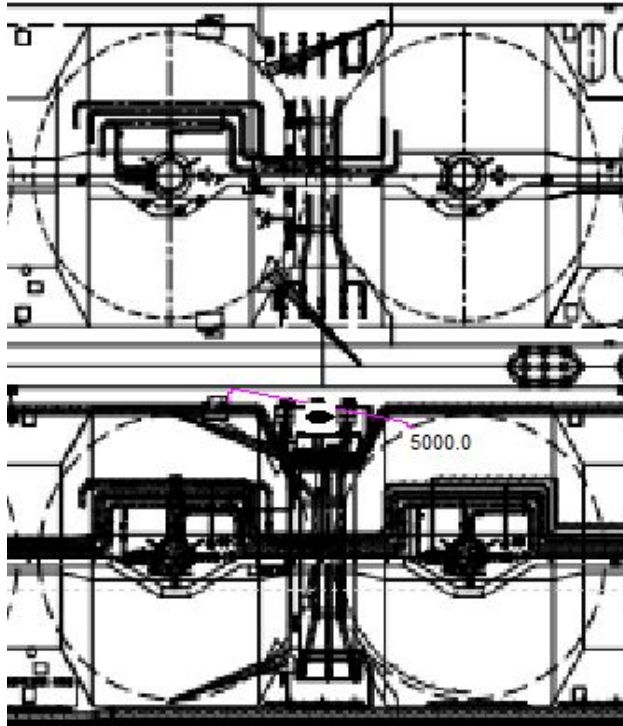
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 2 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



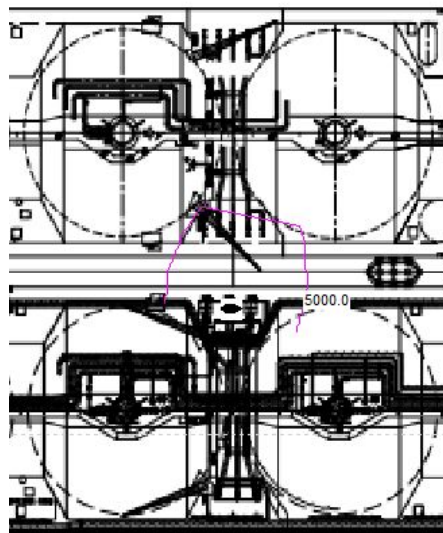
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 2 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



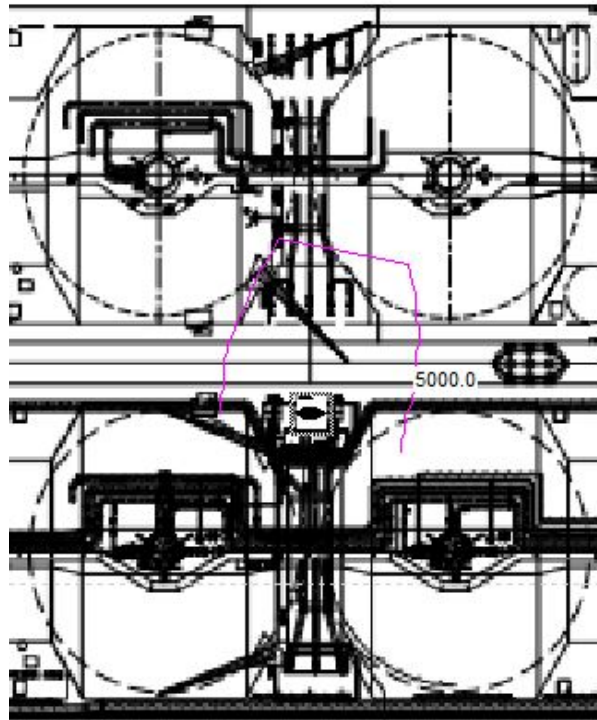
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 2 skenario >150mm – *Night Time Top View*



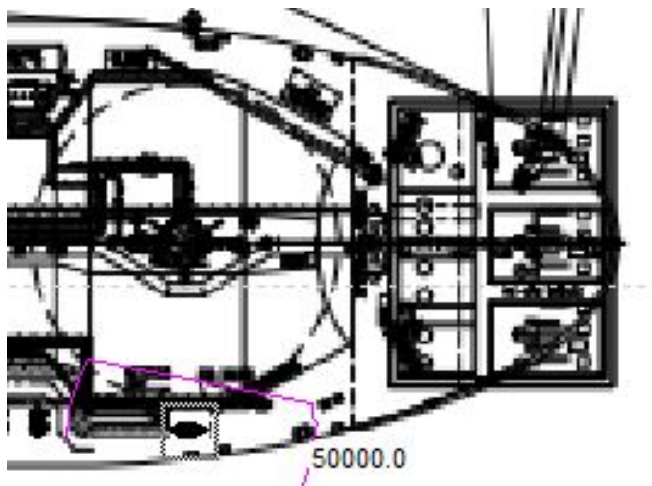
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 3 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



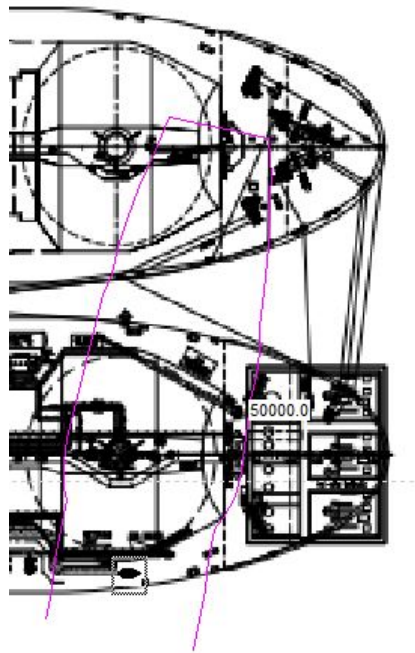
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 3 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



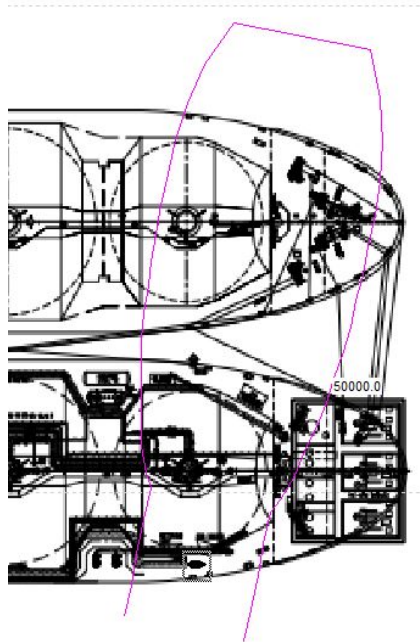
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 3 skenario >150mm – *Night Time Top View*



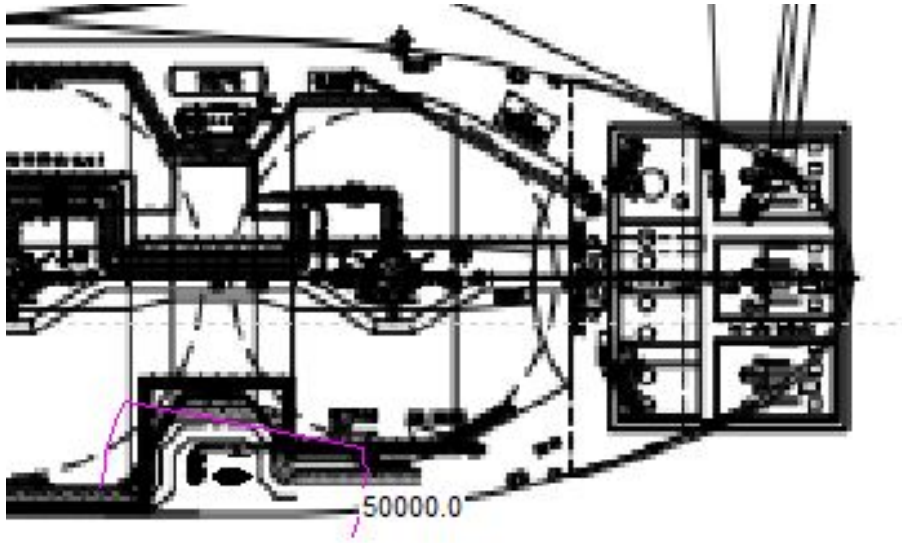
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 4 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



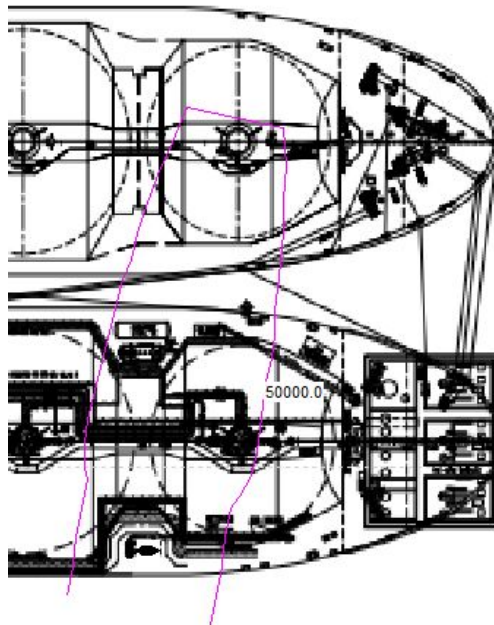
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 4 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



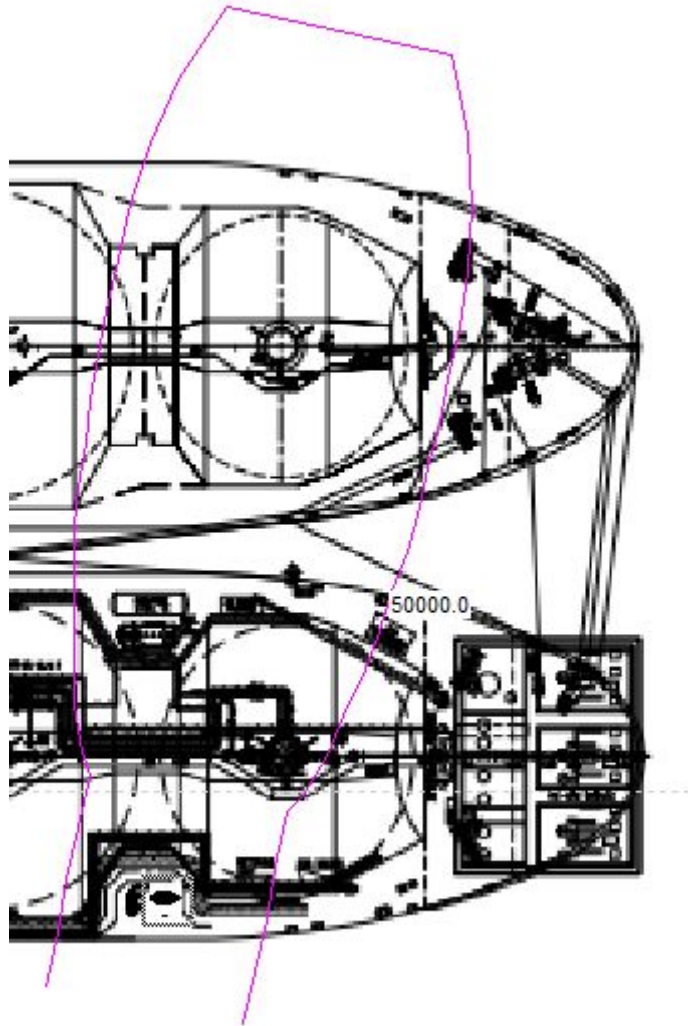
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 4 skenario >150mm – *Night Time Top View*



Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 5 skenario 10-50mm – *Night Time Top View*



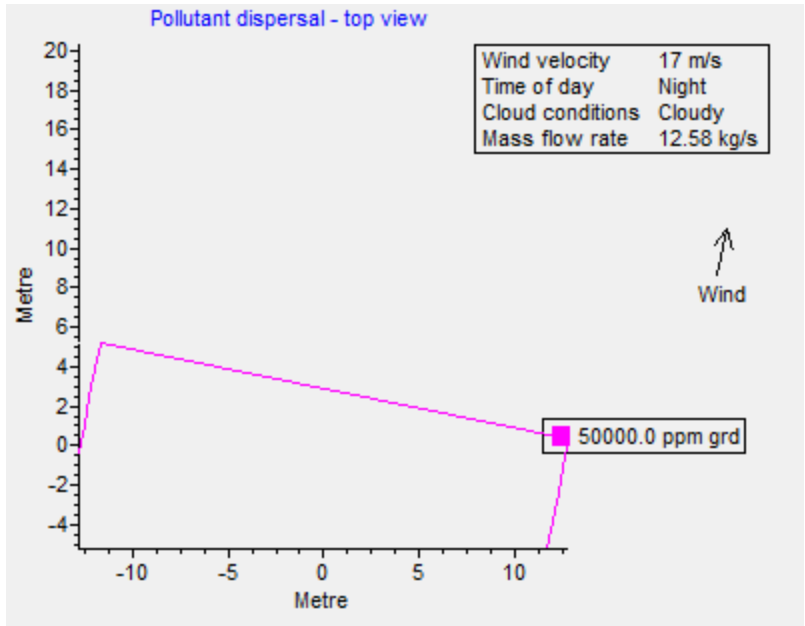
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 5 skenario 50-150mm – *Night Time Top View*



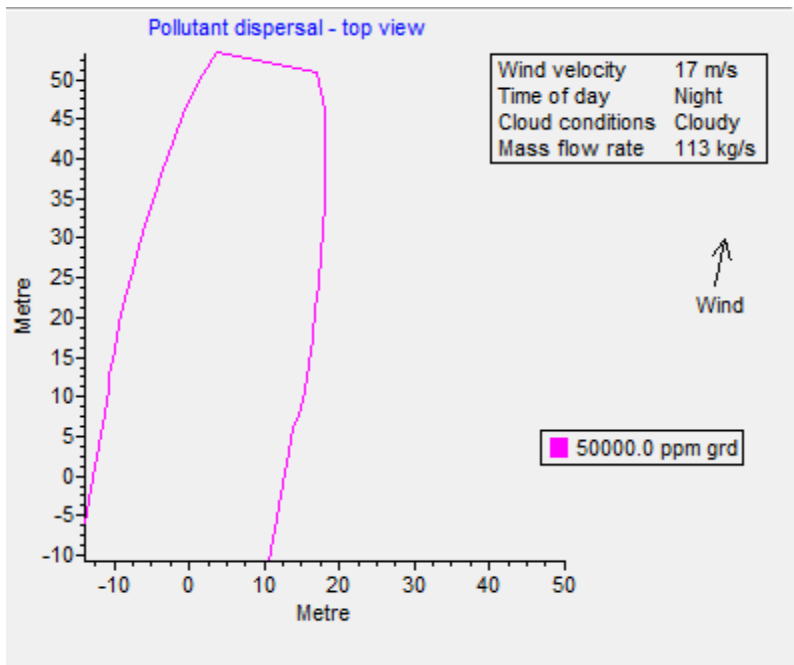
Analisa Konsekuensi *Gas Dispersion* Node 5 skenario >150mm – *Night Time Top View*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

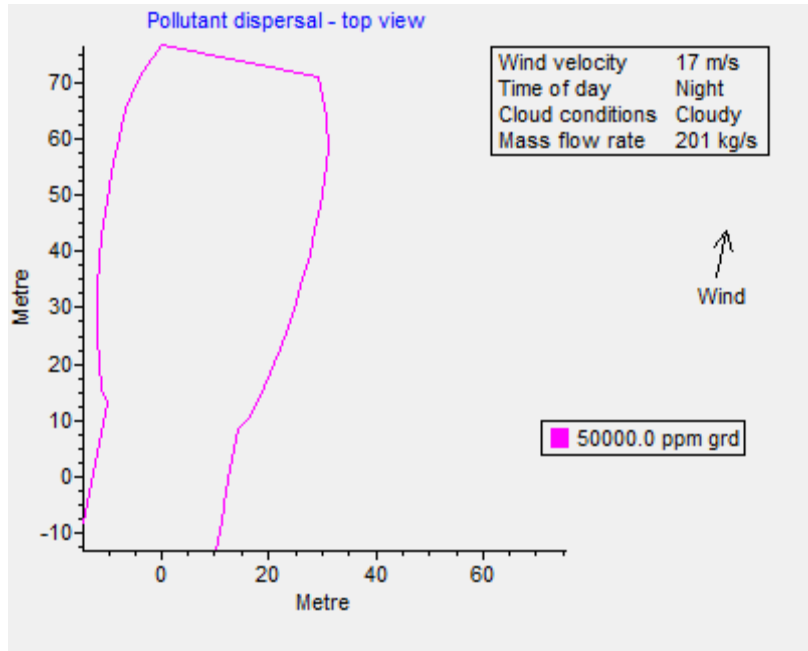
LAMPIRAN XVII : GAS DISPERSION RADIUS – NIGHT TIME



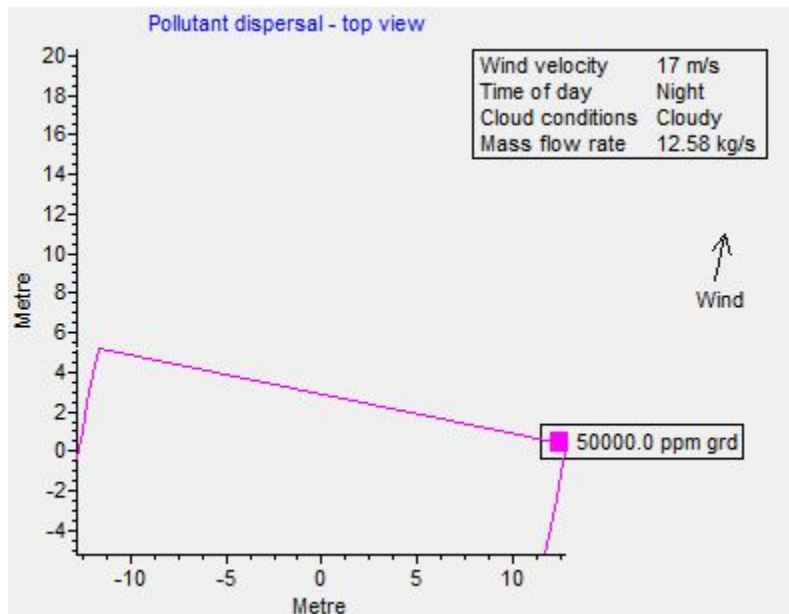
Radius Gas Dispersion Node 1 skenario 10-50mm – Night Time Top View



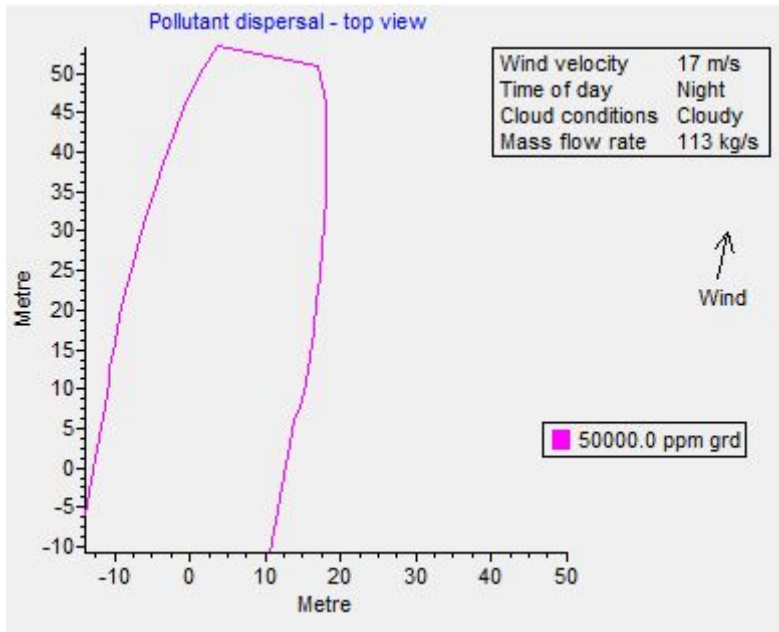
Radius Gas Dispersion Node 1 skenario 50-150mm – Night Time Top View



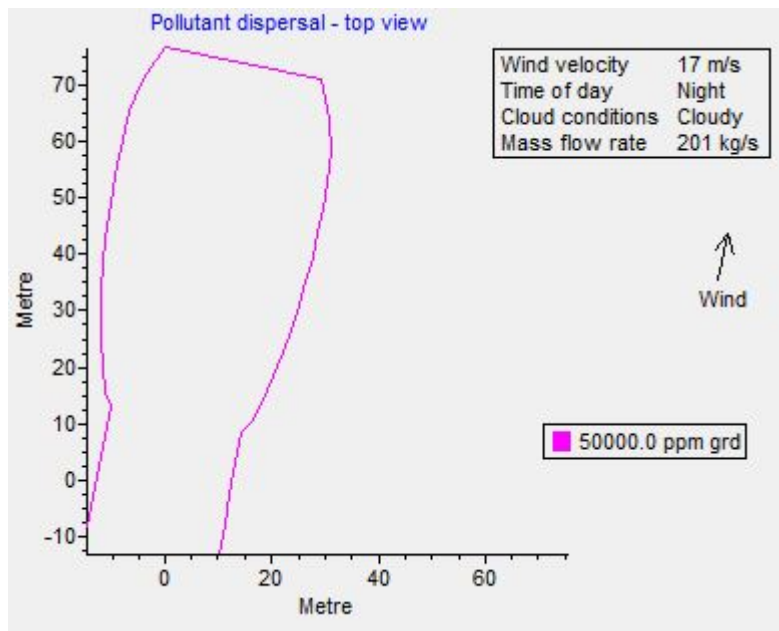
Radius Gas Dispersion Node 1 skenario >150mm – Night Time Top View



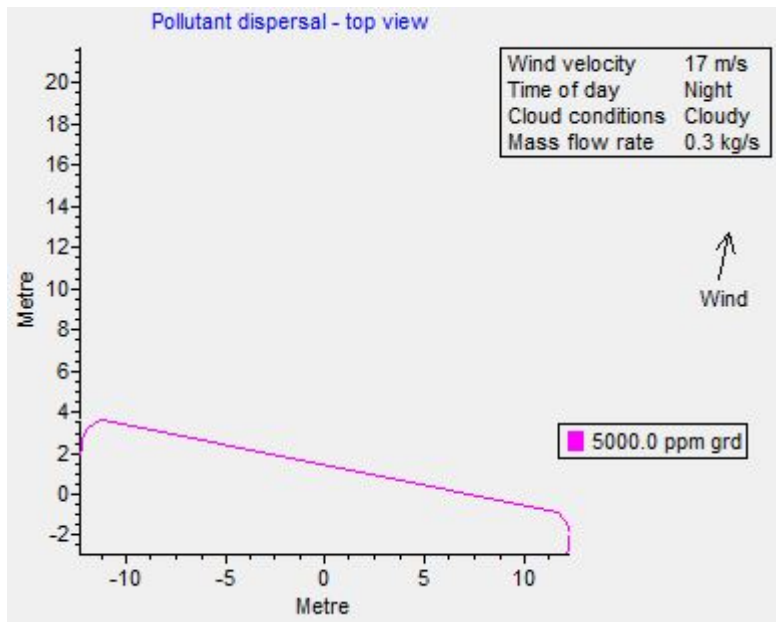
Radius Gas Dispersion Node 2 skenario 10-50mm – Night Time Top View



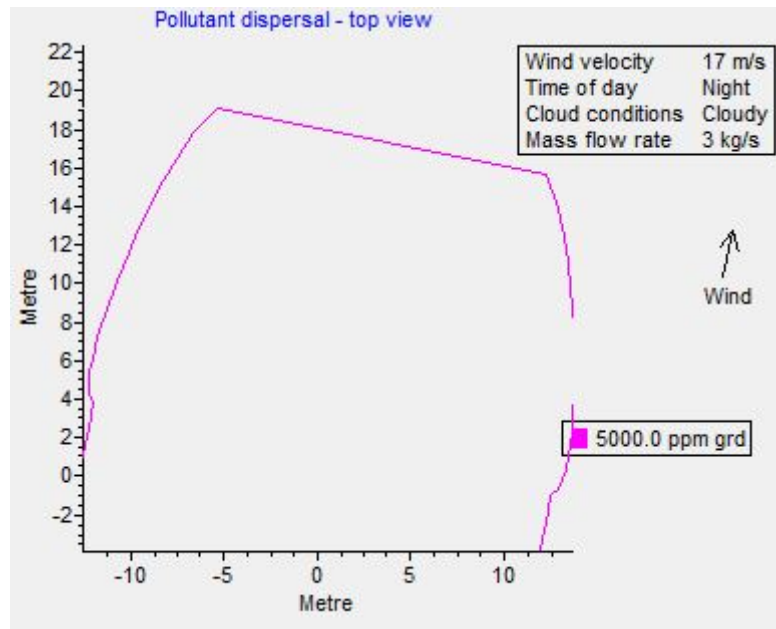
Radius Gas Dispersion Node 2 skenario 50-150mm – Night Time Top View



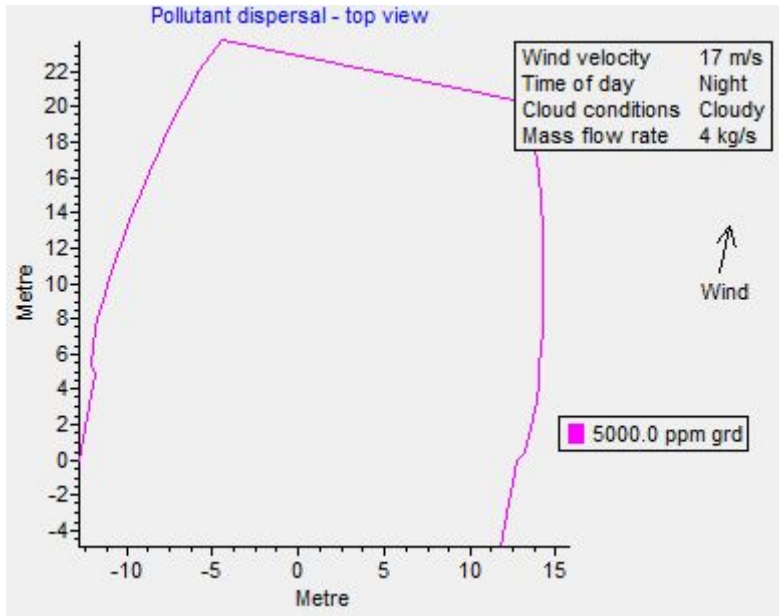
Radius Gas Dispersion Node 2 skenario >150mm – Night Time Top View



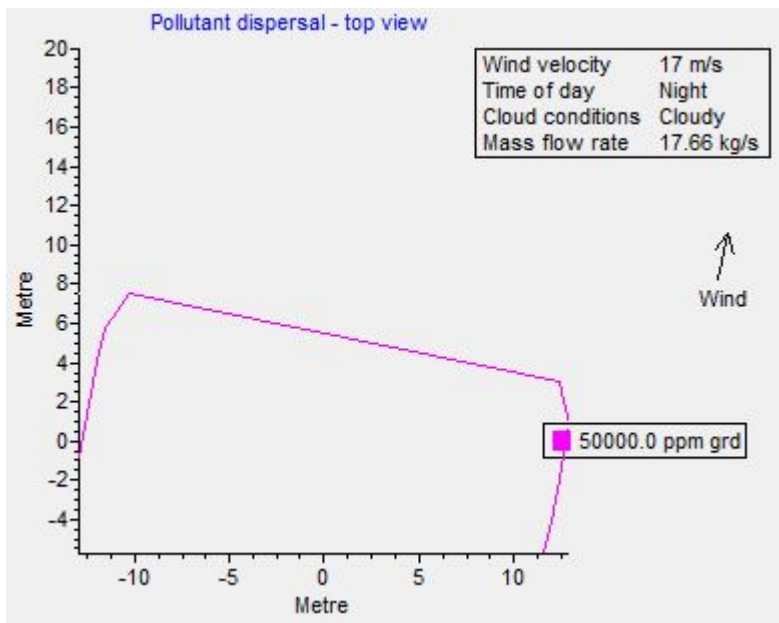
Radius Gas Dispersion Node 3 skenario 10-50mm – Night Time Top View



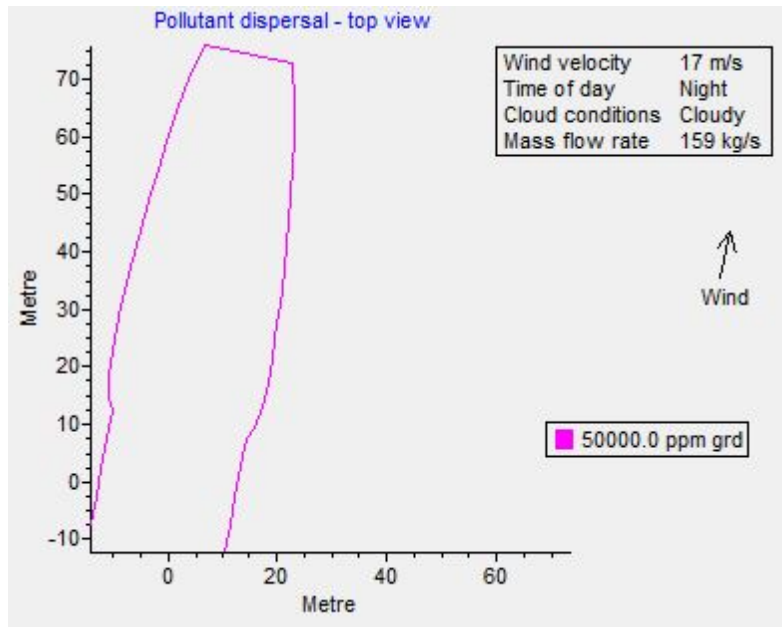
Radius Gas Dispersion Node 3 skenario 50-150mm – Night Time Top View



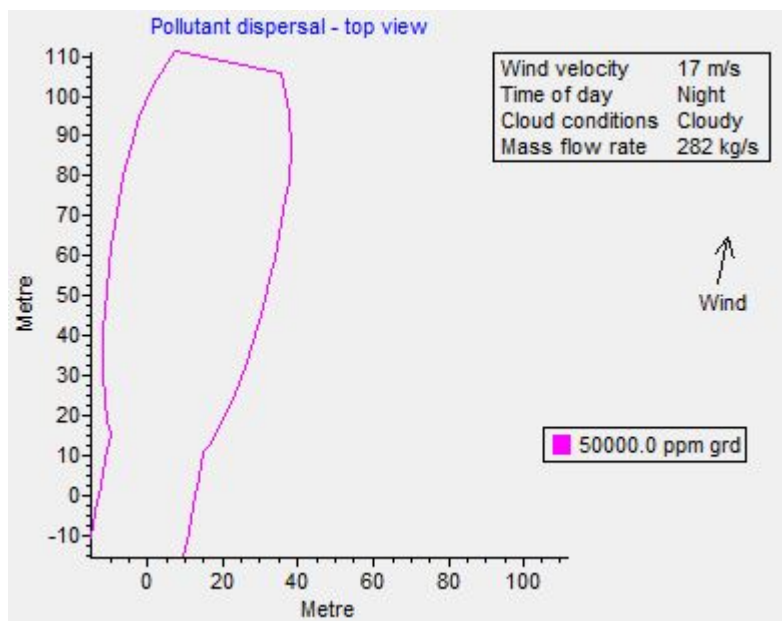
Radius Gas Dispersion Node 3 skenario >150mm – Night Time Top View



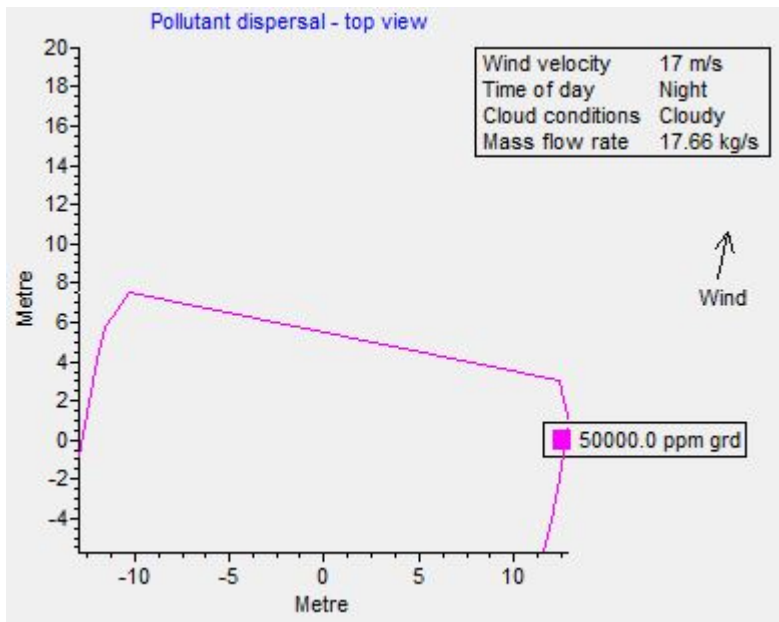
Radius Gas Dispersion Node 4 skenario 10-50mm – Night Time Top View



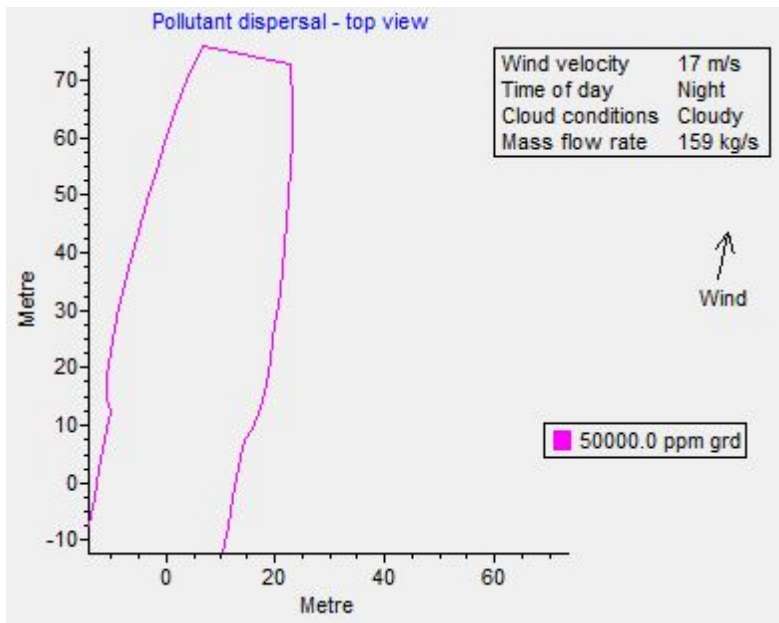
Radius Gas Dispersion Node 4 skenario 50-150mm – Night Time Top View



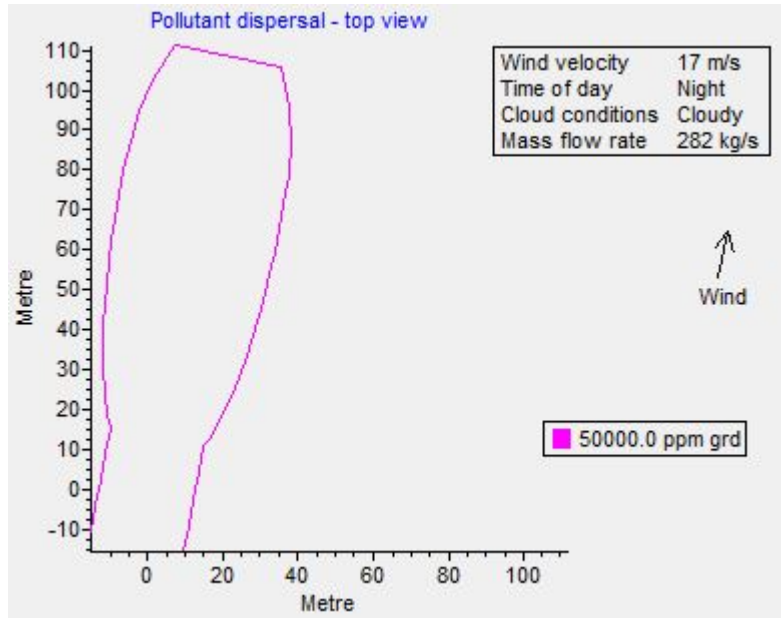
Radius Gas Dispersion Node 4 skenario >150mm – Night Time Top View



Radius Gas Dispersion Node 5 skenario 10-50mm – Night Time Top View



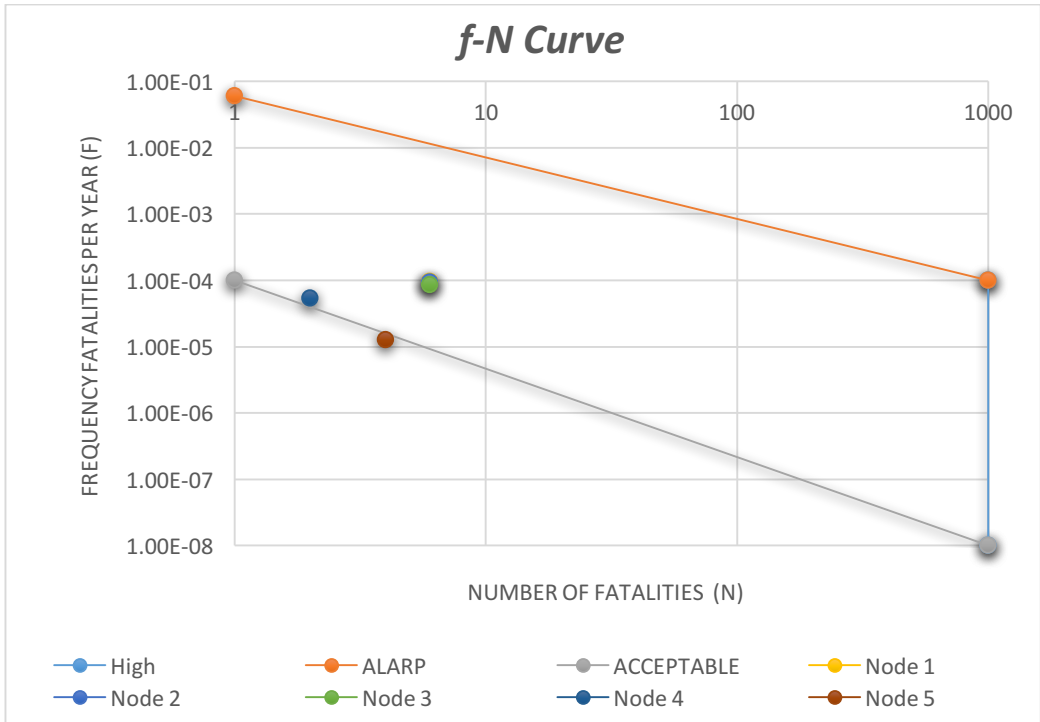
Radius Gas Dispersion Node 5 skenario 50-150mm – Night Time Top View



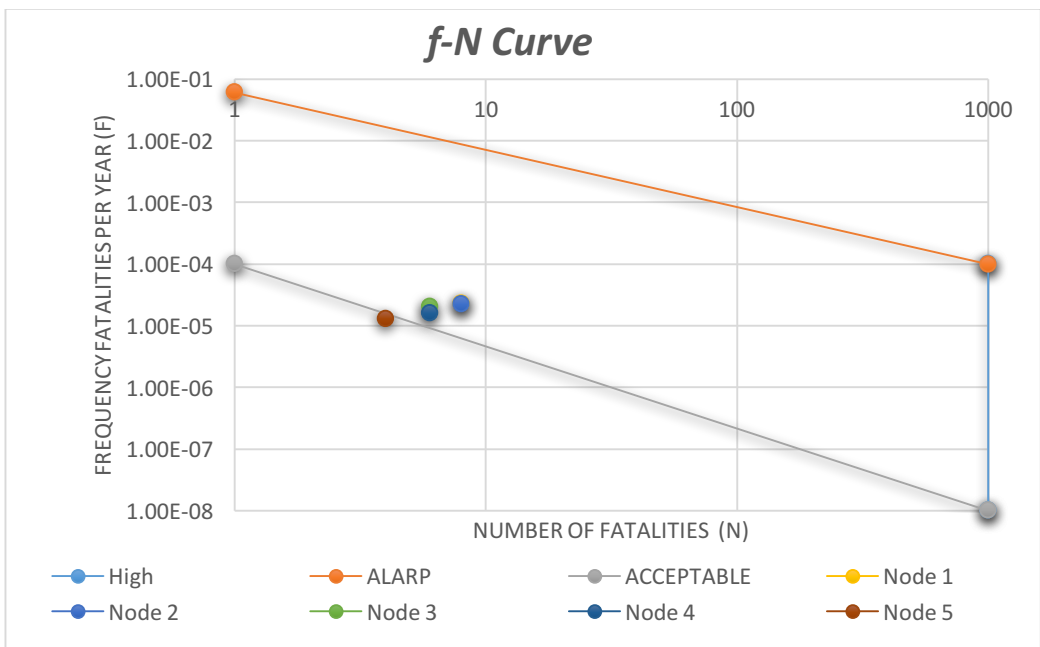
Radius Gas Dispersion Node 5 skenario >150mm – Night Time Top View

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

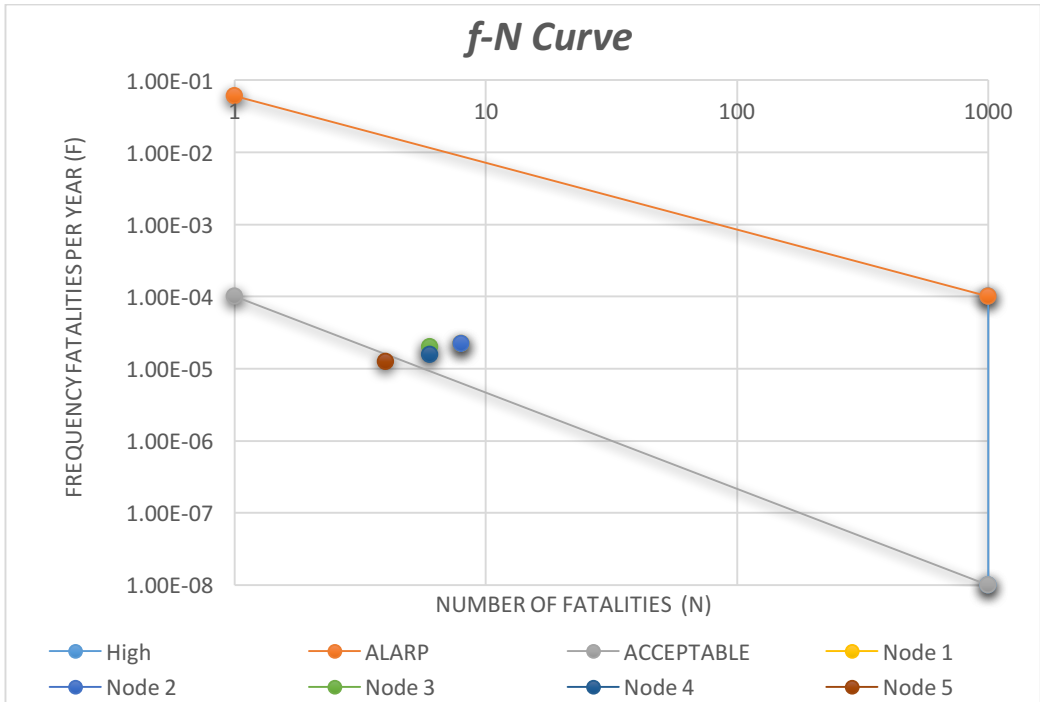
LAMPIRAN XVIII : f-N CURVE – DAY TIME



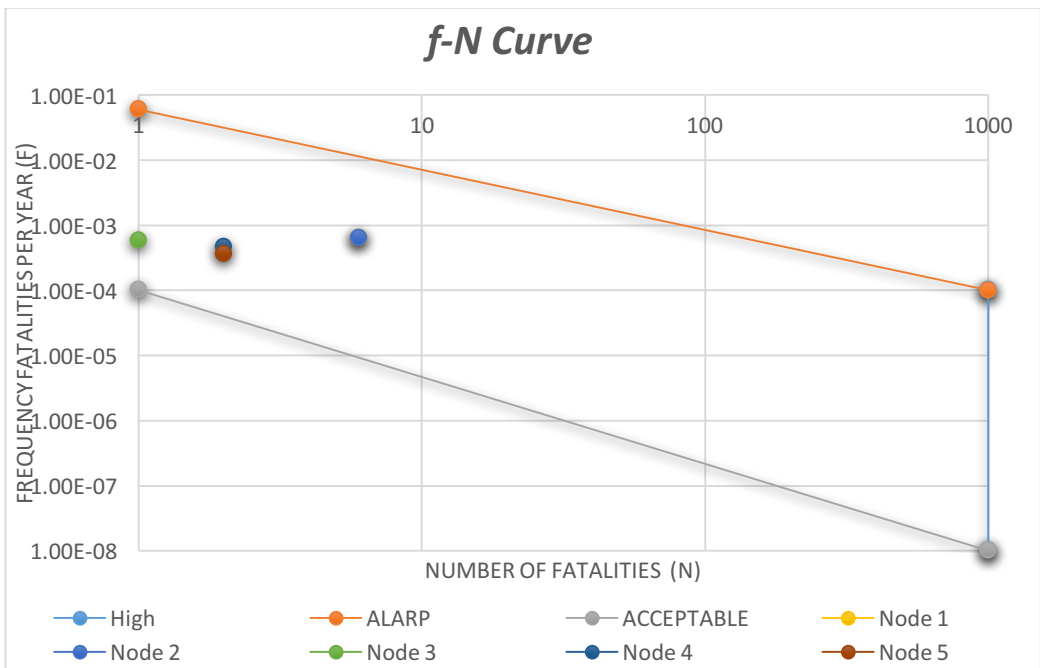
f-N Curve Jet Fire (10-50mm) – Day Time



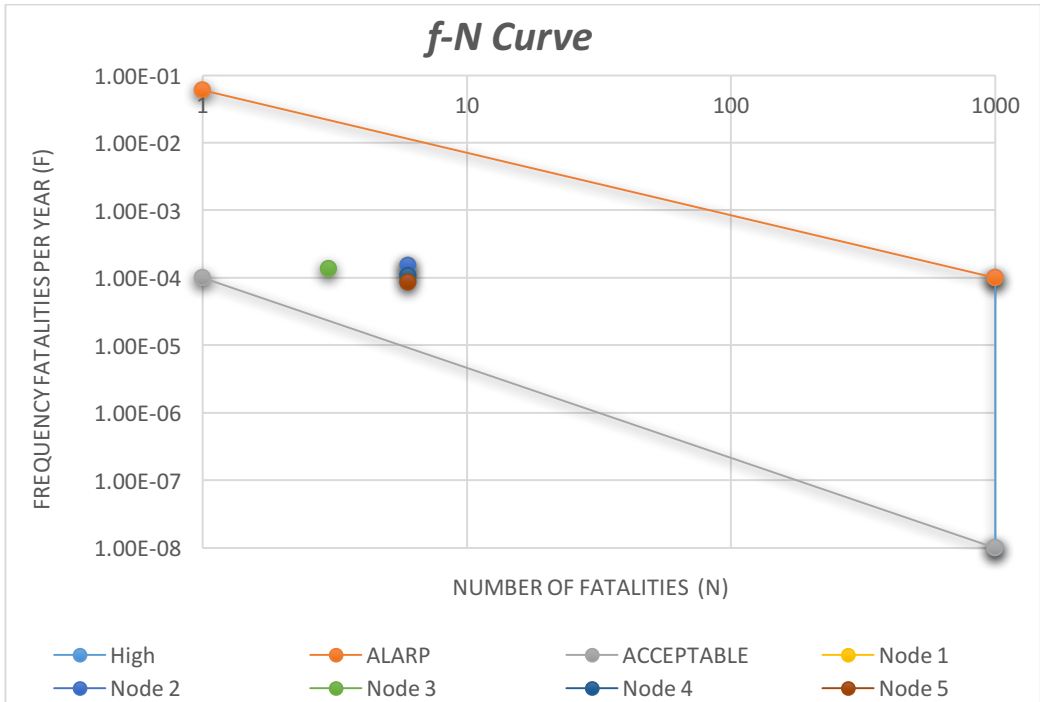
f-N Curve Jet Fire (50-150mm) – Day Time



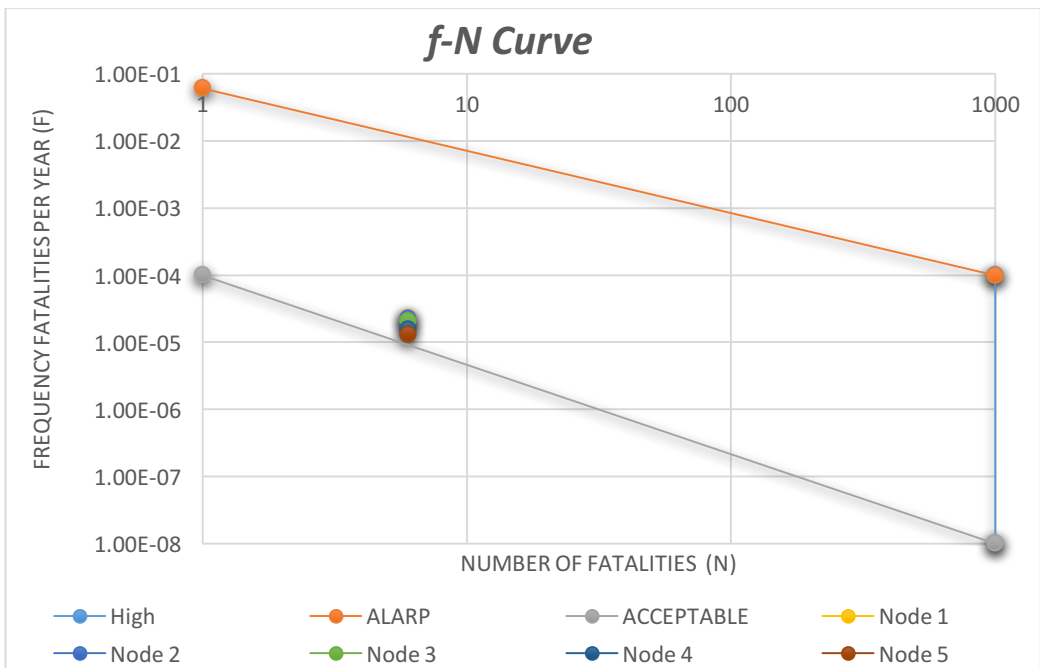
f-N Curve Jet Fire (>150mm) – Day Time



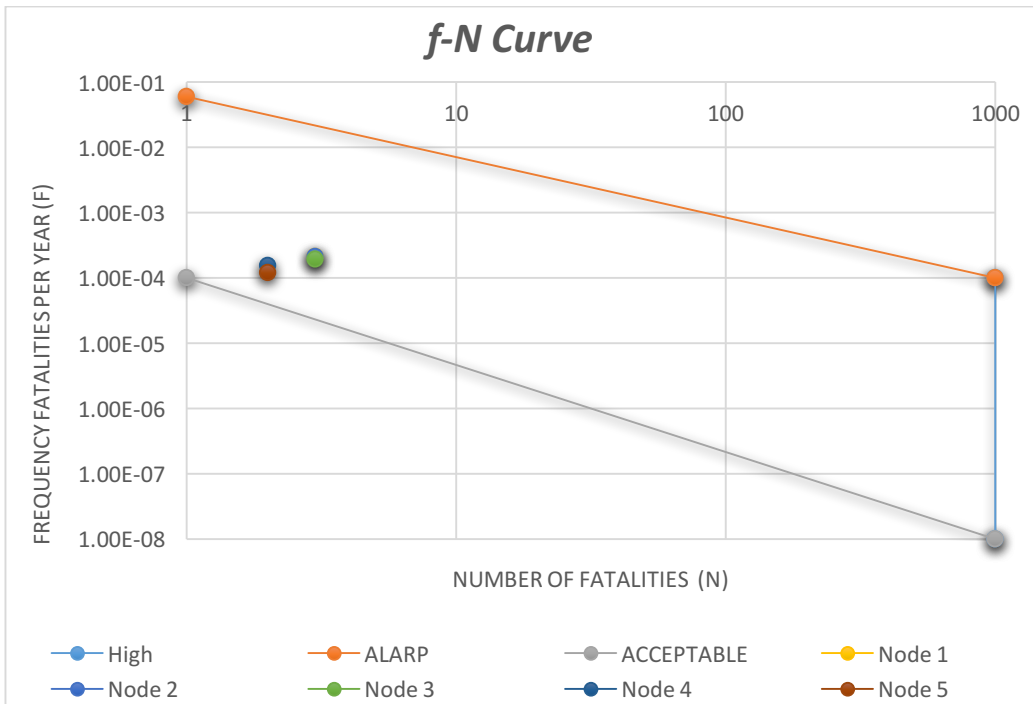
f-N Curve Flash Fire (10-50mm) – Day Time



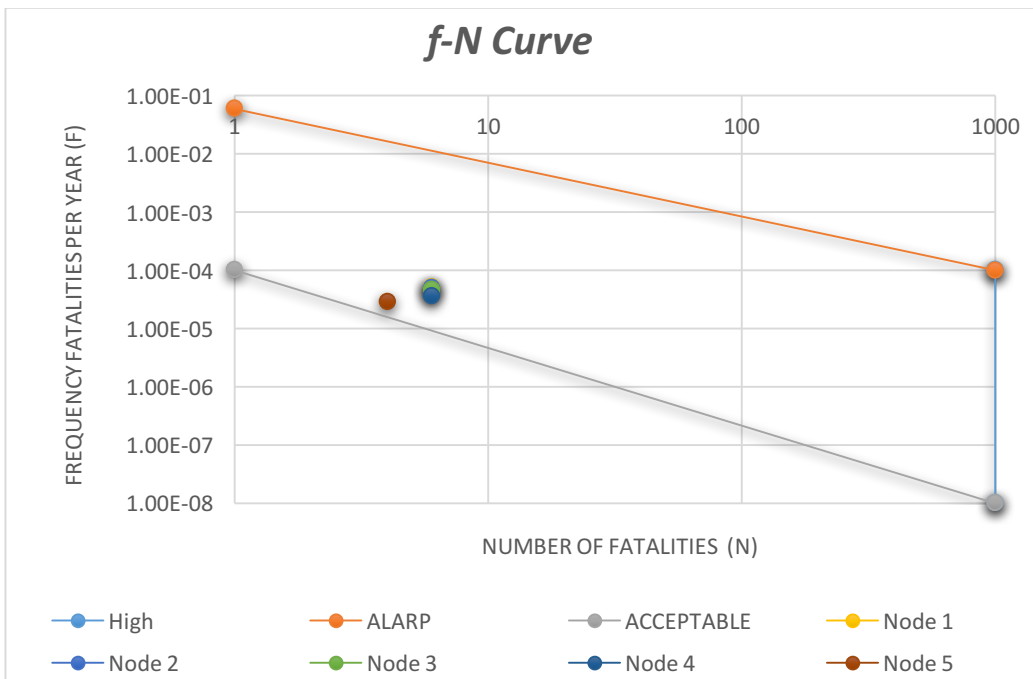
f-N Curve Flash Fire (50-150mm) – Day Time



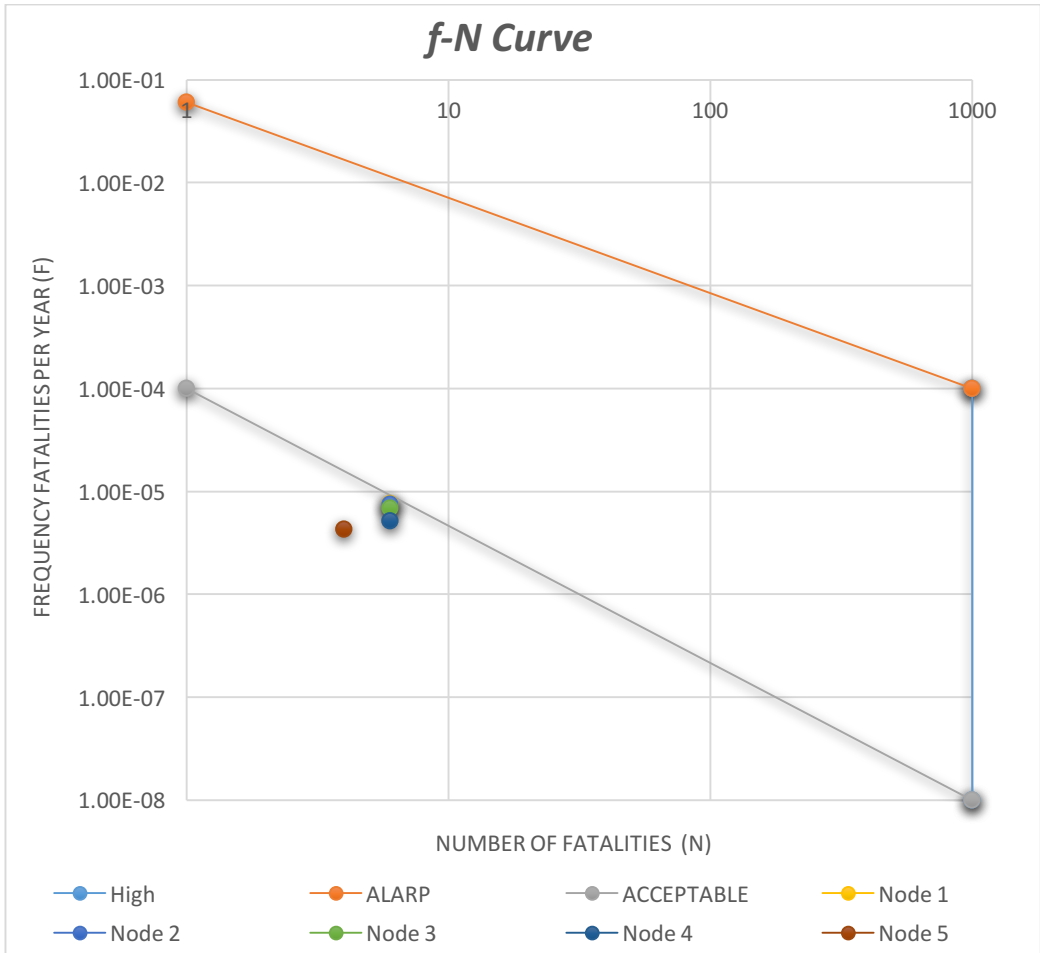
f-N Curve Flash Fire (>150mm) – Day Time



f-N Curve Gas Dispersion (10-50mm) – Day Time

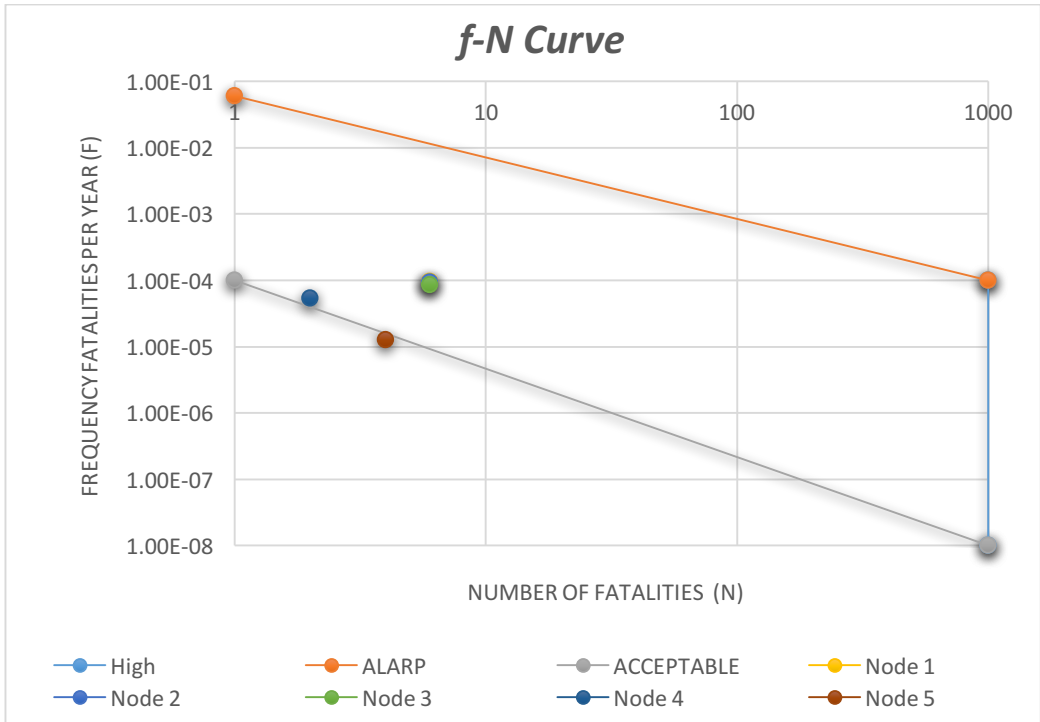


f-N Curve Gas Dispersion (50-150mm) – Day Time

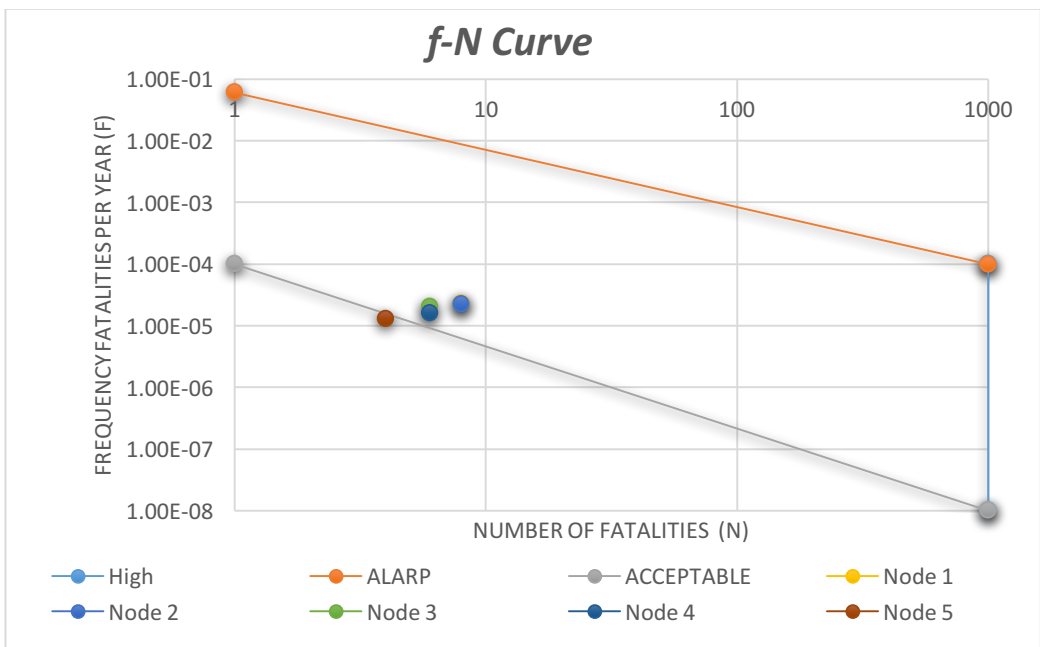


f-N Curve Gas Dispersion (>150mm) – Day Time

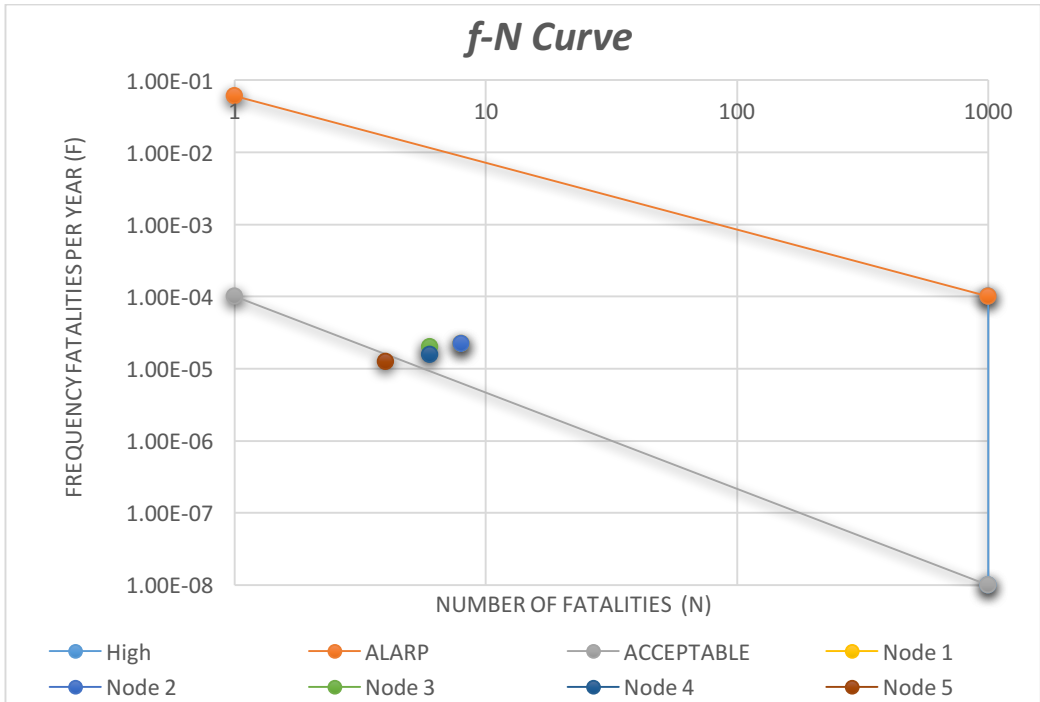
LAMPIRAN XIX : f-N CURVE – NIGHT TIME



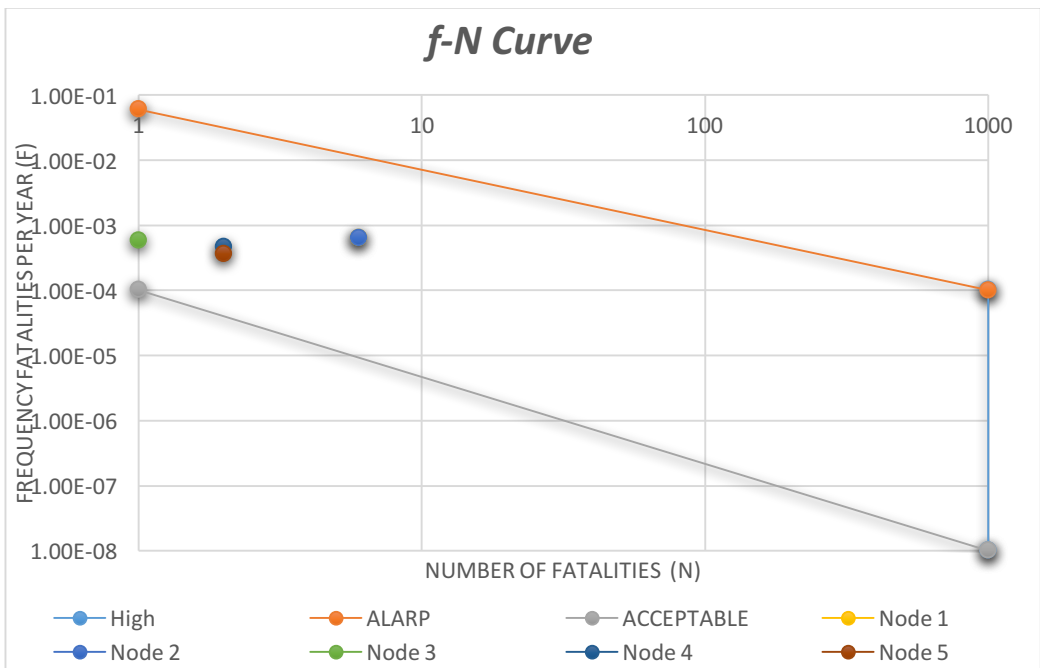
f-N Curve Jet Fire (10-50mm) – Night Time



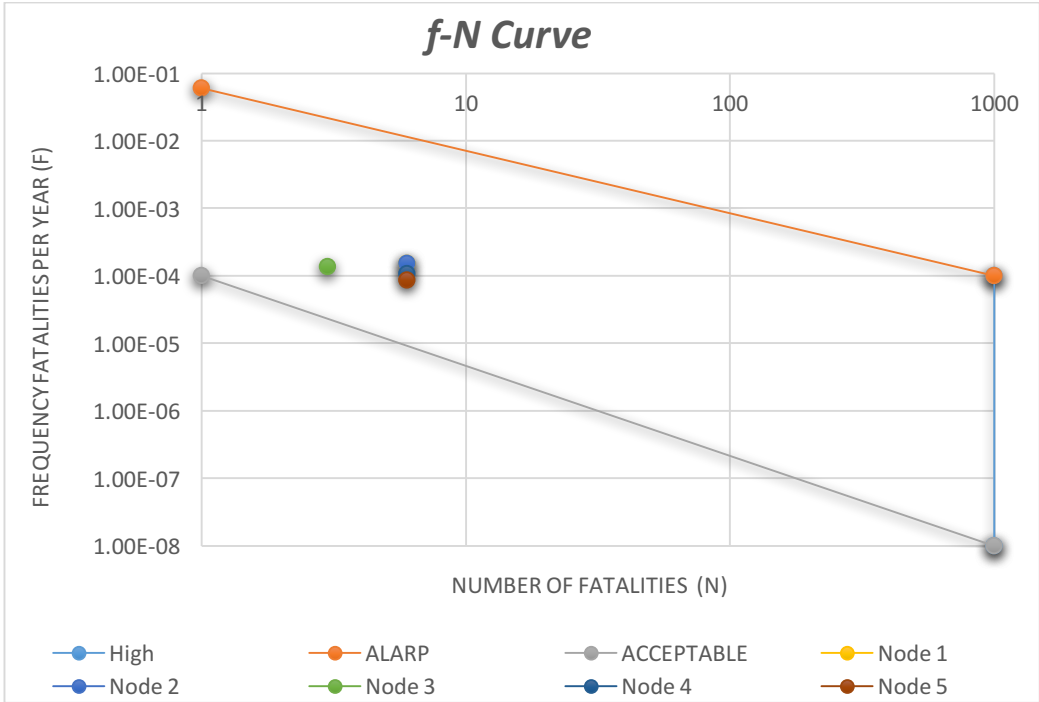
f-N Curve Jet Fire (50-150mm) – Night Time



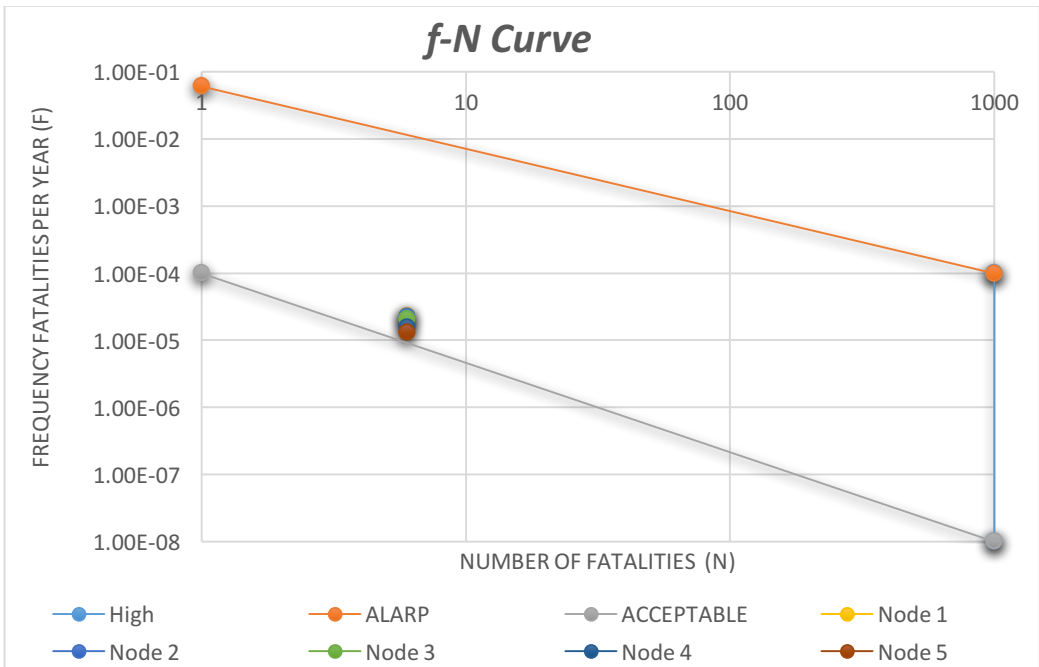
f-N Curve Jet Fire (>150mm) – Night Time



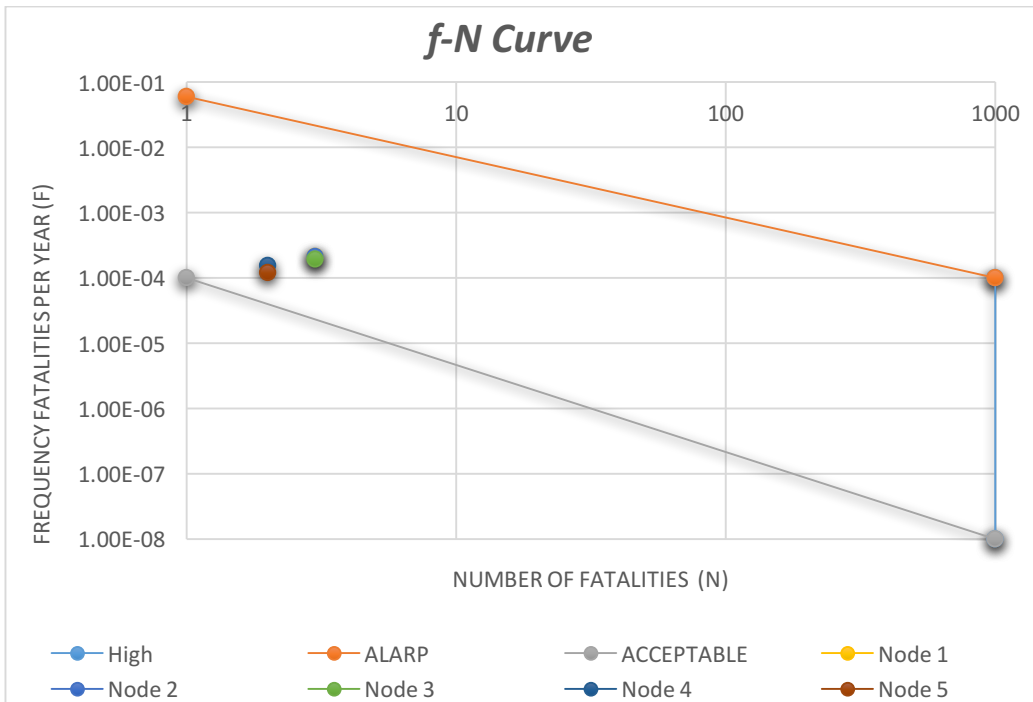
f-N Curve Flash Fire (10-50mm) – Night Time



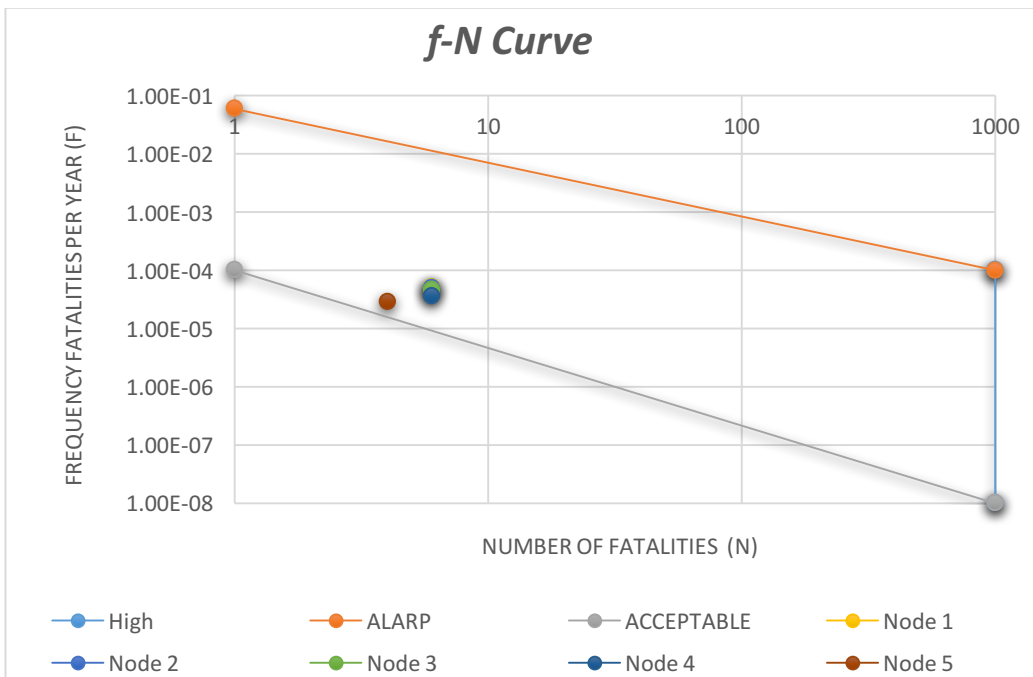
f-N Curve Flash Fire (50-150mm) – Night Time



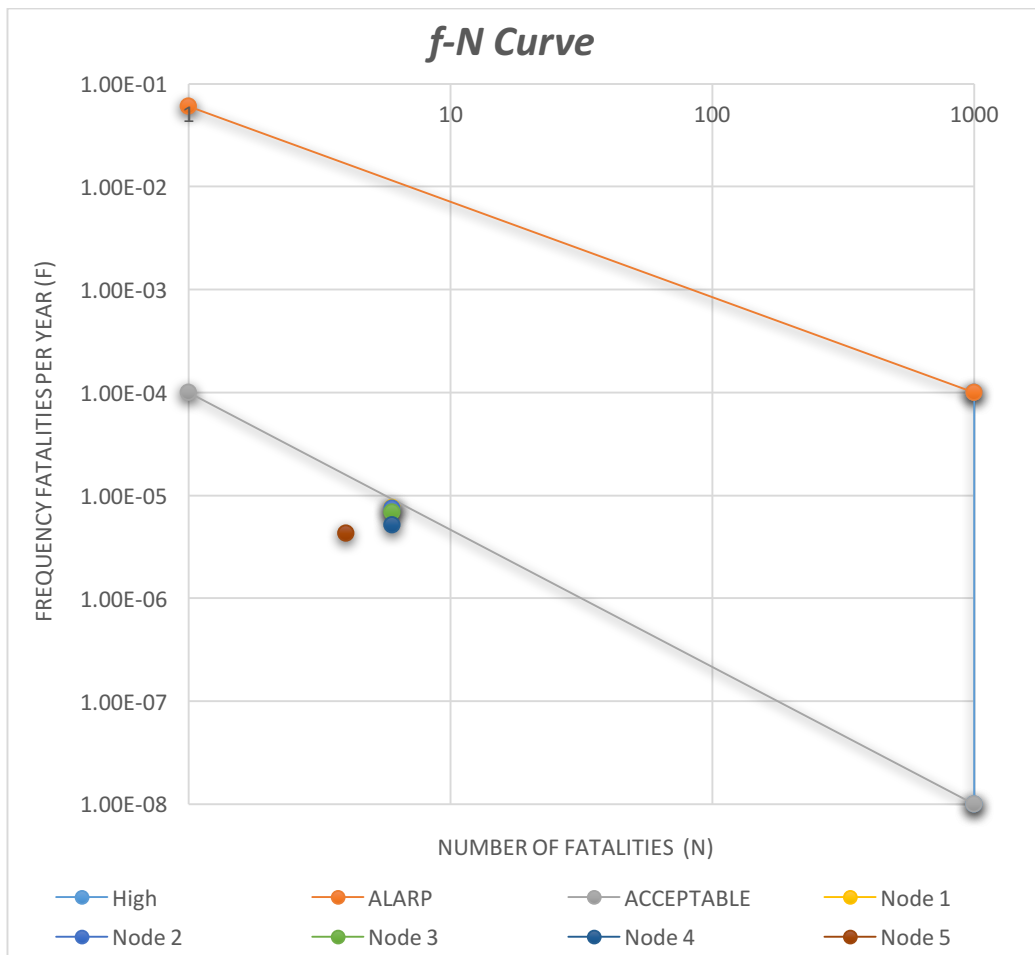
f-N Curve Flash Fire (>150mm) – Night Time



f-N Curve Gas Dispersion (10-50mm) – Night Time



f-N Curve Gas Dispersion (50-150mm) – Night Time



f-N Curve Gas Dispersion (>150mm) – Night Time

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Nicholas Dionisius Hugo Baskoro yang lahir di Jakarta tanggal 7 April 1998. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Johannes Chrisostomus Sudjatmoko dan Irene Akasia Oktariana. Selama hidupnya penulis telah menempuh pendidikan formal di TK St. Agatha Palembang, SD Xaverius 4 Palembang, SDS ASISI Jakarta, SMP Tarakanita 1 Jakarta dan Kolese Gonzaga. Pada tahun 2015 penulis diterima sebagai mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS melalui jalur mandiri. Dalam menunjang kegiatan *soft skill* mahasiswa, penulis merupakan komandan tinggi angkatan 2015 di Keluarga Mahasiswa Katolik (KMK) St. Ignatius Loyola, Institut Teknologi

Sepuluh Nopember (ITS). Dalam kegiatan KMK ITS penulis aktif dalam kegiatan kepanitiaan di acara Kemah Rohani, Catholic Community Cup dan Paskah. Penulis juga banyak menginisiasi budaya organisasi baru selama tiga kepengurusan berlangsung di KMK ITS. Penulis juga merupakan anggota aktif Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL), FTK-ITS. Selama di HIMASISKAL pada tahun pertama penulis mengikuti kegiatan *character building* 2015 dan berkesempatan menjadi panitia Marine Icon sebagai anggota *closing event*. Memasuki tahun kedua penulis berkesempatan menjadi *Steering Committee* (SC) *character building* 2016. Memasuki tahun ketiga penulis berkesempatan menjadi calon ketua HIMASISKAL. Selama di ITS penulis mengikuti kaderisasi dalam bidang pelatihan yaitu Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa (LKMM). LKMM yang diikuti antara lain LKMM Pra Tingkat Dasar, LKMM Tingkat Dasar, LKMM Tingkat Menengah. Memasuki tahun terakhir di perkuliahan penulis juga aktif sebagai anggota Laboratorium *Reliability, Availability, Management and Safety* (RAMS). Penulis juga diberi kesempatan untuk melaksanakan kerja praktik di PT. Daya Radar Utama Jakarta (Shipyards) untuk mempelajari langsung kegiatan proses pembuatan kapal dan di China National Offshore Oil Corporation (CNOOC) South East Sumatera Ltd. untuk mempelajari *supply chain* industri minyak dan gas di Indonesia serta turun langsung melakukan *offshore activity* di *Floating Storage and Offloading* (FSO) Federal II.

Dionisius Hugo Baskoro

04211540000076

hugobaskoro@gmail.com