



TUGAS AKHIR - M0141326

ANALISIS RISIKO KERUSAKAN PADA  
*MOORING SYSTEM* SPM (*SINGLE POINT  
MOORING*) 035 PERTAMINA TBBM TUBAN

Bayu Susatyo

NRP. 4312 100 066

Pembimbing :

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



FINAL PROJECT - MO141326

RISK ANALYSIS OF DAMAGED MOORING  
SYSTEM SPM (SINGLE POINT MOORING) 035  
PERTAMINA TBBM TUBAN

Bayu Susatyo

NRP. 4312 100 066

Supervisor :

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016

**ANALISIS RISIKO KERUSAKAN PADA *MOORING SYSTEM* SPM  
(*SINGLE POINT MOORING*) 035 PERTAMINA TBBM TUBAN**

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh :

**BAYU SUSATYO**

NRP. 4312 100 066

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Daniel M Rosyid, Ph.D. ....(Pembimbing 1)

2. Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D. ....(Pembimbing 2)

3. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. ....(Penguji 1)

4. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. ....(Penguji 2)

SURABAYA, JULI 2016

**ANALISIS RISIKO KERUSAKAN PADA *MOORING SYSTEM* SPM  
(*SINGLE POINT MOORING*) 035 PERTAMINA TBBM TUBAN**

Nama : Bayu Susatyo  
NRP : 4312100066  
Jurusan : Teknik Kelautan – FTK ITS  
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M.RINA  
Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.

**Abstrak**

Terminal Bahan Bakar Minyak (TBBM) Pertamina Tuban merupakan salah satu dari sekian banyak fasilitas milik PT. Pertamina yang digunakan untuk pendistribusian bahan bakar minyak. Dalam pengoperasiannya, distribusi minyak dilakukan menggunakan *tanker*. Terdapat dua SPM jenis CALM (*Catenary Anchor Leg Mooring*) milik TBBM Pertamina Tuban. Salah satunya SPM 035 Pertamina memiliki kapasitas tambat maksimal sebesar 35.000 DWT. Mulai Desember 2011, SPM 035 Pertamina mulai digunakan juga oleh *tanker* dengan kapasitas 50.000 DWT. Hal ini membuat SPM 035 Pertamina memiliki banyak risiko, khususnya *mooring system*. Untuk melakukan pengelolaan terhadap risiko yang terjadi maka penelitian ini menggunakan metode *Integrated FTA-FMEA*. Dari hasil analisis risiko yang dilakukan, didapatkan risiko pada sembilan *failure mode* yaitu, *mooring lugs* patah sebesar Rp. 82.884.824,00, *shackles* terlepas sebesar Rp. 54.319.997,00, *hardwood battens* pecah sebesar Rp. 23.107.188,00, *mooring bridle* tidak berfungsi sebesar Rp. 101.065.104,00, *mooring hawser shackles* rusak sebesar Rp. 31.007.052,00, *triangular plate* pecah sebesar Rp. 103.186.521,00, *mooring hawser* terputus sebesar Rp. 406.520.199,00, *chain support buoy* sebesar Rp. 54.840.078,00, dan *samson buoy* rusak sebesar Rp. 60.997.158,00. Adapun program perbaikan pada risiko kritis dengan menambahkan dua buah *mooring hawser* atau dengan mengganti *mooring hawser* yang lebih besar.

**Kata Kunci** : *mooring system*, SPM, TBBM, *Integrated FTA-FMEA*

***RISK ANALYSIS OF DAMAGED MOORING SYSTEM SPM (SINGLE  
POINT MOORING) 035 PERTAMINA TBBM TUBAN***

*Name* : Bayu Susatyo  
*Reg. Number* : 4312100066  
*Department* : Teknik Kelautan – FTK ITS  
*Supervisors* : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M.RINA  
Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.

***Abstract***

*Fuel Terminal (TBBM) Tuban Pertamina is one of the many facilities owned by PT. Pertamina used for distributing fuel oil. In operation, the distribution is done using oil tankers. There are two types of SPM CALM (Catenary Anchor Leg Mooring) owned by Pertamina TBBM Tuban, respectively - each have different capacities. One of them SPM 035 mooring Pertamina has a maximum capacity of 35,000 DWT. Starting in December 2011, SPM 035 Pertamina began to be used also by tankers with a capacity of 50,000 DWT. This makes SPM 035 Pertamina has many risks, especially the mooring system. To take over management of the risk occurring, this study used methods Integrated FTA-FMEA. From the results of the risk analysis conducted, it was found in the risk of failure modes namely nine, mooring lugs broken Rp. 82,884,824.00, shackles regardless of Rp. 54,319,997.00, hardwood battens broke Rp. 23,107,188.00, mooring bridle not functioning Rp. 101,065,104.00, mooring hawser shackles broken Rp. 31,007,052.00, triangular plate broke Rp. 103,186,521.00, mooring hawser disconnected Rp. 406,520,199.00, support buoy chain Rp. 54,840,078.00, and damaged buoy samson Rp. 60,997,158.00. The improvement program at critical risk by adding two mooring hawser or by replacing the mooring hawser is greater.*

***Keyword*** : mooring system, SPM, TBBM, Integrated FTA-FMEA

## KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah saya ucapkan atas rasa syukur saya terhadap segala rahmat dan karunia dari Allah SWT yang telah memberikan kelancaran terhadap penulisan tugas akhir saya sehingga dapat diselesaikan tepat waktu. Laporan tugas akhir ini berjudul “**ANALISIS RISIKO KERUSAKAN PADA *MOORING SYSTEM* SPM (*SINGLE POINT MOORING*) 035 PERTAMINA TBBM TUBAN**”.

Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan Studi Strata Satu (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas akhir ini membahas tentang analisis risiko investasi kerusakan yang terjadi pada *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban yang nantinya diharapkan dapat membantu perusahaan pemberi sumber data untuk mengambil keputusan dan solusi terhadap masalah yang ada. Penulis menyadari dari penulisan dan penyusunan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu penulis berharap adanya masukan kritik ataupun saran yang membangun untuk pengembangan penelitian ini maupun penulis sendiri di masa yang akan datang.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur alhamdulillah saya ucapkan atas kenikmatan dan kemudahan yang selalu diberikan ALLAH SWT dan Sholawat Nabi selalu saya panjatkan untuk Nabi Besar Muhammad SAW. Saya mengucapkan terima kasih banyak kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan secara langsung maupun tidak, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Secara khusus saya ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Supriyo Utomo dan Ibu Dyah Purwaningsih selaku kedua orang tua saya dan Iqbal Pamungkas, Yoga Rahmat Kurniawan, Yogi Rahmat Kurniawan, mas Ganis Cahyo Utomo selaku saudara yang selalu memberikan restu dan doa yang tak pernah henti.
2. Prof. Daniel M. Rosyid PhD, M.RINA selaku Pembimbing Tugas Akhir 1 sekaligus “Guru” yang mengajarkan agar selalu berfikiran *modern*.
3. Ibu Silvianita, S.T., M. Sc., Ph.D., selaku Pembimbing Tugas Akhir II sekaligus “Ibu” kedua bagi saya yang selalu memberikan perhatian, semangat, tips dan trik dalam menghadapi pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc., selaku dosen Wali saya, yang memberikan wejangan dan nasihat agar saya tetap lurus dan tulus.
5. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D., selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS Surabaya.
6. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
7. Ibu Marsha Savira Agatha, S.ST., M.T., dan Bapak B.O.B. Wibisono selaku pembimbing yang telah memberikan penulis gambaran mengenai *Risk Analysis*.
8. Pak Bagus Wijanarto, Pak Arip Purwanto dan Pak Rakhmad Saputra selaku pembimbing yang telah memberikan penulis gambaran mengenai SPM.
9. Teman – teman Mako GL 14 dan Mabes Nginden yang selalu memberikan semangat “DOTA” nya agar Tugas Akhir ini segera selesai.

10. Ibu Risty Ayuningtyas, Amd. T., selaku pembimbing yang telah memberikan penulis sedikit gambaran mengenai pengerjaan Konstruksi.
11. Keluarga besar Bengkel Lembaga Teknologi Mahasiswa Islam yang telah memberikan motivasi dan dukungan selama pengerjaan tugas akhir ini.
12. Seluruh teman-teman di Jurusan Teknik Kelautan terutama angkatan 2012 Varuna yang selalu memberikan dukungan disaat suka maupun duka selama menjalani masa studi di teknik kelautan.
13. Bapak dan ibu dosen beserta karyawan lainnya di Jurusan Teknik Kelautan atas semua bimbingan dan ilmu yang telah diberikan. Semoga bimbingan dan ilmu dari bapak ibu yang telah berikan diberi balasan pahala oleh Allah SWT.

Surabaya, 18 Juli 2016

Bayu Susatyo

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan .....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	7
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 <i>Single Point Mooring</i> (SPM) .....	7
2.2.2 Berbagai Tipe <i>Single Point Mooring</i> (SPM).....	8
2.2.3 Bagian – bagian <i>Single Point Mooring</i> (SPM) .....	11
2.2.4 <i>Mooring System</i> .....	13
2.2.5 Manajemen Risiko .....	15
2.2.6 Proses Manajemen Risiko .....	15

2.2.7	Identifikasi Bahaya.....	16
2.2.8	Analisis Risiko .....	18
2.2.9	<i>Fault Tree Analysis (FTA)</i> .....	19
2.2.10	<i>Failure Mode Effect Analysis (FMEA)</i> .....	23
2.2.10.1	<i>Traditional FMEA</i> .....	24
2.2.10.2	<i>Probabilistic FMEA</i> .....	27
2.2.11	Analisis Frekuensi.....	29
2.2.12	Manajemen Bencana .....	31
2.2.13	<i>Critical Review</i> .....	34
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>37</b>
3.1	Diagram Alir .....	37
3.2	Prosedur Penelitian.....	38
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>41</b>
4.1	Pengumpulan Data .....	41
4.1.1	SPM 035 Pertamina TBBM Tuban .....	41
4.1.2	Data SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.....	42
4.1.3	<i>Mooring System</i> SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.....	51
4.2	Identifikasi Bahaya.....	53
4.3	Analisis Risiko .....	56
4.3.1	<i>Mooring Lugs</i> .....	56
4.3.2	<i>End Joining Shackles</i> .....	59
4.3.3	<i>Hardwood Battens</i> .....	62
4.3.4	<i>Mooring Briddle</i> .....	65
4.3.5	<i>Mooring Hawser Shackles</i> .....	68
4.3.6	<i>Triangular Plate</i> .....	71

4.3.7	<i>Mooring Hawser</i> .....	73
4.3.8	<i>Chain Support Buoy</i> .....	76
4.3.9	<i>Samson Buoy</i> .....	79
4.4	Penentuan Mitigasi Pada Risiko Kritis.....	77
4.4.1	Penentuan <i>Minimal Cut Set</i> Pada Risiko Kritis.....	84
4.4.2	Langkah Mitigasi Pada Risiko Kritis .....	88
<b>BAB V PENUTUP</b> .....		91
5.1.	Kesimpulan.....	91
5.2.	Saran.....	92
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		95
<b>BIODATA PENULIS</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

1.1. SPM ( <i>Single Point Mooring</i> ) 035 Pertamina TBBM Tuban.....	2
1.2. <i>Triangular plate</i> yang merupakan komponen <i>mooring system</i> pada SPM 035 Pertamina TBBM Tuban .....	3
1.3. <i>Mooring hawser</i> lama SPM 035 Pertamina yang diganti karena kerusakan .....	3
2.1. <i>Fixed Tower</i> .....	8
2.2. <i>Catenary anchor leg mooring (CALM)</i> .....	9
2.3. <i>Single anchor leg mooring (SALM)</i> .....	9
2.4. <i>Articulated loading platform (ALP)</i> .....	9
2.5. <i>Single point and reservoir (SPAR)</i> .....	10
2.6. <i>Single-anchor loading (SAL)</i> .....	10
2.7. <i>Turret Mooring</i> .....	10
2.8. Bagian – bagian dari SPM ( <i>Single Point Mooring</i> ) .....	11
2.9. Mooring Platform pada mooring system di SPM tipe CALM.....	14
2.10. Mooring hawser pada mooring system di SPM tipe CALM .....	14
2.11. Proses Manajemen Risiko Proyek.....	16
2.12. Prosedur Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko .....	18
2.13. Struktur dari FTA sederhana.....	21
2.14. Matriks Penyelesaian <i>Gate</i> .....	22
3.1. <i>Flow Chart</i> Pengerjaan Tugas Akhir .....	37
4.1. SPM ( <i>Single Point Mooring</i> ) 035 Pertamina TBBM Tuban.....	42
4.2. <i>Body SPM</i> .....	43
4.3. <i>Rotating Part</i> .....	44
4.4. <i>Fluid Transfer System</i> .....	45
4.5. <i>Floating Hose</i> .....	46
4.6. <i>Central Pipe Unit</i> .....	46
4.7. <i>Mooring platform</i> .....	47
4.8. <i>Mooring Hawser</i> .....	47
4.9. <i>Anchor System</i> .....	48

4.10. <i>Anchor Chain Locker</i> .....	48
4.11. <i>Pipe Line End Manifold (PLEM)</i> .....	49
4.12. Penambatan <i>tanker</i> di SPM dengan <i>mooring system</i> .....	51
4.13. <i>Fault tree</i> dari komponen <i>mooring lugs</i> .....	57
4.14. <i>Mooring Lugs</i> .....	58
4.15. <i>Fault tree</i> dari komponen <i>End Joining Shackles</i> .....	60
4.16. <i>End Joining Shackles</i> .....	61
4.17. <i>Fault tree</i> dari komponen <i>Hardwood battens</i> .....	63
4.18. <i>Hardwood Battens</i> .....	64
4.19. <i>Fault tree</i> dari komponen <i>Mooring bridle</i> .....	66
4.20. <i>Mooring Bridle</i> .....	67
4.21. <i>Fault tree</i> dari komponen <i>Mooring hawser shackles</i> .....	68
4.22. <i>Mooring Hawser Shackles</i> .....	70
4.23. <i>Fault tree</i> dari komponen <i>Triangular plate</i> .....	71
4.24. <i>Triangular Plate</i> .....	72
4.25. <i>Fault tree</i> dari komponen <i>Mooring hawser</i> .....	74
4.26. <i>Mooring Hawser</i> dan spesifikasi <i>wire rope</i> .....	75
4.27. <i>Fault tree</i> dari komponen <i>Chain support buoy</i> .....	77
4.28. <i>Chain Support Buoy</i> .....	78
4.29. <i>Fault tree</i> dari komponen <i>Samson buoy</i> .....	79
4.30. <i>Samson Buoy</i> .....	81
4.31. <i>Fault tree</i> dari komponen <i>Mooring hawser</i> .....	85
4.32. Matriks penyelesaian <i>Fault Tree</i> dari komponen <i>mooring hawser</i> .....	87

## DAFTAR TABEL

2.1. Definisi dan kategori ranking mode kegagalan untuk <i>occurrence</i> (O) ....	25
2.2. Definisi dan kategori ranking mode kegagalan untuk <i>detection</i> (D) .....	25
2.3. Definisi dan kategori ranking mode kegagalan untuk <i>severity</i> (S) .....	26
2.4. Contoh <i>Traditional</i> FMEA.....	26
2.5. <i>Occurrence of Failure Mode Probabilistic</i> FMEA.....	27
2.6. <i>Detection of Failure Mode Probabilistic</i> FMEA .....	28
4.1. Data Pokok SPM 035 Pertamina TBBM Tuban .....	50
4.2. Rekapitulasi <i>Record Service and Maintenance Mooring System</i> SPM 035 TBBM Tuban tahun 2011-2015 .....	52
4.3. Rekapitulasi Biaya yang diterima untuk <i>Record Service and</i> <i>Maintenance Mooring System</i> SPM 035 TBBM Tuban tahun 2011-2015 ....	53
4.4. Identifikasi Bahaya <i>Mooring System</i> SPM 035 Pertamina .....	55
4.5. Hasil perhitungan analisis frekuensi dari <i>mooring lugs</i> .....	58
4.6. Hasil perhitungan analisis frekuensi dari <i>end joining shackles</i> .....	61
4.7. Hasil perhitungan analisis frekuensi dari <i>hardwood battens</i> .....	64
4.8. Hasil perhitungan analisis frekuensi dari <i>mooring bridle</i> .....	67
4.9. Hasil perhitungan analisis frekuensi dari <i>mooring hawser shackles</i> .....	69
4.10. Hasil perhitungan analisis frekuensi dari <i>triangular plate</i> .....	72
4.11. Hasil perhitungan analisis frekuensi dari <i>mooring hawser</i> .....	75
4.12. Hasil perhitungan analisis frekuensi dari <i>chain support buoy</i> .....	78
4.13. Hasil perhitungan analisis frekuensi dari <i>samson buoy</i> .....	80
4.14. Hasil probabilitas dari setiap <i>failure mode</i> atau <i>top event</i> dari setiap komponen di <i>mooring system</i> SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.....	82
4.15. <i>Ranking</i> Risiko .....	84

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A <i>Piping and Instrumental Design (P &amp; ID)</i> <i>Single Point Mooring (SPM) 035 Pertamina TBBM Tuban</i> .....	99
LAMPIRAN B Hasil Rekapitulasi <i>Record Service and Maintenance</i> pada <i>Mooring System Single Point Mooring (SPM) 035 Pertamina</i> TBBM Tuban.....	100
LAMPIRAN C Rekapitulasi Biaya yang Diterima untuk <i>Service and</i> <i>Maintenance</i> pada <i>Mooring System SPM 035 Pertamina TBBM Tuban</i> .....	102
LAMPIRAN D Surat Keterangan dari CV. Banda Guna Semesta.....	103
LAMPIRAN E Notulensi Diskusi yang didapat dari CV. Banda Guna Semesta.....	104

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari analisis beberapa perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai analisis risiko kerusakan *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban. Kesimpulan tersebut diantaranya :

1. Risiko yang terpampang di *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban sebagai berikut :

a. *Mooring lugs*

*Mooring lugs* dengan *failure mode* patahnya *mooring lugs* memiliki risiko sebesar Rp. 82.884.824,00.

b. *End joining shackles*

*End joining shackles* dengan *failure mode* terlepasnya *shackles* memiliki risiko sebesar Rp. 54.319.997,00.

c. *Hardwood battens*

*Hardwood battens* dengan *failure mode* pecahnya *hardwood battens* memiliki risiko sebesar Rp. 23.107.188,00.

d. *Mooring bridle*

*Mooring bridle* dengan *failure mode* tidak berfungsinya *mooring bridle* memiliki risiko sebesar Rp. 101.065.104,00.

e. *Mooring hawser shackles*

*Mooring hawser shackles* dengan *failure mode* rusaknya *mooring hawser shackles* memiliki risiko sebesar Rp. 31.007.052,00.

f. *Triangular plate*

*Triangular plate* dengan *failure mode* pecahnya *triangular plate* memiliki risiko sebesar Rp. 103.186.521,00.

g. *Mooring hawser*

- Mooring hawser* dengan *failure mode* putusnya *mooring hawser* memiliki risiko sebesar Rp. 406.520.199,00.
- h. *Chain support buoy*  
*Chain support buoy* dengan *failure mode* putusnya *chain support buoy* memiliki risiko sebesar Rp. 54.840.078,00.
- i. *Samson buoy*  
*Samson buoy* dengan *failure mode* rusaknya *samson buoy* memiliki risiko sebesar Rp. 60.997.158,00.
2. Mitigasi yang sesuai dengan risiko kritis, *mooring hawser*, sebagai berikut :
- a. Dengan menerapkan inspeksi berkala yang lebih diperketat frekuensinya. Juga dengan menerapkan *preventive maintenance* yang sebelumnya menerapkan *corrective maintenance*.
- b. Dalam pengoperasiannya SPM 035 Pertamina TBBM Tuban yang memiliki kapasitas maksimal 35.000 DWT, seharusnya hanya digunakan oleh *tanker* dengan kapasitas maksimal 35.000 DWT juga. Untuk itu perlu memakai *mooring hawser* yang memiliki kekuatan yang lebih besar. Bisa juga dilakukan dengan menggunakan dua buah *mooring hawser* untuk penambatan satu *tanker*. Hal itu menjadi konsekuensi untuk *redesign Triangular plate* agar lebih kuat menahan *tanker*.

## 5.2. Saran

Berdasarkan analisis dari penulis maka didapatkan adanya beberapa hal yang harus ditinjau lebih lanjut agar penelitian yang dilakukan selanjutnya dapat maksimal yaitu :

1. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai *system* lain yang ada di SPM 035 Pertamina untuk mengetahui seluruh risiko yang terjadi.

2. Perlu analisis lebih lanjut mengenai total kerugian yang diterima oleh PT. Pertamina.
3. Perlu analisis lebih mendalam untuk mendapatkan usulan jadwal inspeksi agar dapat diterapkan *predictive maintenance*.
4. Perlu adanya perhitungan optimasi terkait pemilihan memakai satu *mooring hawser* yang lebih besar atau memakai dua *mooring hawser* dengan ukuran yang sama.
5. Diperlukan analisis mengenai *redesign* dari *Triangular plate* sebagai konsekuensi dari penggantian dengan satu *mooring hawser* lebih besar atau memakai dua *mooring hawser* dengan ukuran yang sama.

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Terminal Bahan Bakar Minyak (TBBM) Pertamina Tuban merupakan salah satu dari sekian banyak fasilitas milik PT. Pertamina yang digunakan untuk pendistribusian bahan bakar minyak. TBBM Pertamina Tuban menjadi Terminal Transit Utama (TTU) untuk Pertamina Region V, yang berarti kepadatan arus distribusi bahan bakar minyak. Dalam pengoperasiannya, distribusi minyak dilakukan menggunakan *tankier*. SPM (*Single Point Mooring*) merupakan salah satu bangunan lepas pantai terapung (*floating offshore structure*) yang difungsikan khusus untuk sarana *mooring-unmooring* dan *loading-unloading* dari *tanker*. Terdapat dua SPM jenis CALM (*Catenary Anchor Leg Mooring*) milik TBBM Pertamina Tuban, masing – masing memiliki kapasitas yang berbeda, yaitu SPM 035 Pertamina dan SPM 150 Pertamina. SPM 035 Pertamina memiliki kapasitas 35.000 DWT. Sedangkan SPM 150 Pertamina kapasitasnya 150.000 DWT.

SPM 035 Pertamina sudah dioperasikan mulai bulan Desember 2009. Pada awalnya SPM 035 Pertamina hanya melayani *mooring-unmooring* dan *loading-unloading* untuk *tanker* dengan kapasitas maksimum 35.000 DWT. Namun, karena semakin berkurangnya ketersediaan *tanker* dengan kapasitas 35.000 DWT mulai berkurang, akhirnya mulai semester kedua tahun 2011, SPM 035 Pertamina juga melayani *tanker* dengan kapasitas 50.000 DWT (Wijanarto, 2013). Berikut ini merupakan tampak SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.



Gambar 1.1. SPM (*Single Point Mooring*) 035 Pertamina TBBM Tuban  
(Dokumen Pribadi)

Permasalahan timbul ketika *tanker* dengan kapasitas 50.000 DWT tidak bisa maksimal dalam menjalankan proses *loading-unloading* di SPM 035 Pertamina. Karena memang kapasitas maksimal yang mampu ditahan oleh SPM 035 Pertamina sebesar 35.000 DWT. Dalam hal ini, yang paling berpengaruh terdapat pada bagian tambatan *tanker* pada SPM. Yaitu, *mooring system* yang menahan beban *tanker* pada saat proses *loading-unloading* (Wijanarto, 2013).



Gambar 1.2. *Triangular plate* yang merupakan komponen *mooring system* pada SPM 035 Pertamina TBBM Tuban  
(Dokumentasi Pribadi)



Gambar 1.3. *Mooring hawser* lama SPM 035 Pertamina yang diganti karena kerusakan  
(Dokumentasi Pribadi)

Sebagai konsekuensi dari diberlakukannya pelayanan *tanker* 50.000 DWT di SPM 035 Pertamina TBBM Tuban yang memiliki kapasitas 35.000 DWT, potensi terjadinya kegagalan pada struktur SPM, dalam hal ini *mooring system*, sangatlah besar. Tentunya akan menimbulkan kerugian yang tidak sedikit. Baik berupa kerugian secara materil maupun keselamatan. Maka dari itu, perlunya langkah inspeksi secara berkala untuk memperpanjang umur operasi dari SPM 035 Pertamina TBBM Tuban ini.

Pada perjalannya, *maintenance* yang dilakukan terhadap SPM 035 Pertamina TBBM Tuban hanya apabila terjadi kerusakan baru ditangani. Tidak ada inspeksi-inspeksi secara rutin yang dilakukan oleh *owner*, yakni PT. Pertamina, sebagai salah satu langkah yang mendukung program *maintenance* yang diharapkan akan mengurangi potensi kegagalan pada saat proses *mooring-unmooring* dan *loading-unloading*.

Dewasa ini telah digunakan metode analisis risiko yaitu *Integrated FTA-FMEA* yang merupakan hasil penggabungan dari FTA-FMEA (Adi, 2012). Metode *Integrated FTA-FMEA* mengidentifikasi risiko (*failure mode*) dan juga mendeteksi efek dari *failure mode* tersebut. Selain itu juga mengidentifikasi sumber risiko dan mengkuantifikasi probabilitas kejadian risiko. Penggunaan analisis risiko metode *Integrated FTA-FMEA* ini penting dalam mendukung program *maintenance* terhadap SPM 035 Pertamina TBBM Tuban. Karena dengan adanya analisis risiko metode *Integrated FTA-FMEA* nantinya diharapkan menghasilkan langkah *maintenance* agar pada saat *mooring-unmooring* dan *loading-unloading* tidak mengalami kecelakaan yang diakibatkan kegagalan pada SPM 035 Pertamina TBBM Tuban, dalam hal ini *mooring system*.

## **1.2. Permusan Masalah**

Perumusan Masalah dari tugas akhir ini adalah:

1. Berapa risiko yang terpampang pada *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban?

2. Bagaimanakah mitigasi yang sesuai dengan risiko kritis yang terpampang pada *mooring system* tersebut?

### **1.3. Tujuan**

Dari perumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui risiko yang terpampang pada *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.
2. Memperkirakan mitigasi yang sesuai dengan risiko yang terpampang pada *mooring system* tersebut.

### **1.4. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Diasumsikan perusahaan tidak melakukan inspeksi secara berkala pada *mooring system*.
2. Perhitungan risiko menggunakan analisis semi-kuantitatif.
3. Risiko tanpa memperhitungkan biaya yang dikeluarkan untuk penyewaan *tugboat* dan pembayaran *demurage*.
4. Diasumsikan *stock* dari tiap komponen sudah siap digunakan.

### **1.5. Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan rekomendasi kepada PT. Pertamina (Persero) TBBM Tuban untuk menggunakan perencanaan mitigasi berdasarkan analisis risiko dari *mooring system* sebagai akibat beban tambatan *tanker* 50.000 DWT yang sesuai dalam rangka proses *maintenance* terhadap SPM 035 Pertamina TBBM Tuban untuk memperpanjang umur operasi dari SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Dalam industri minyak dan gas, seperti instalasi lepas pantai, sistem perpipaan minyak dan gas, industri petrokimia, dan industri proses lainnya memiliki risiko terbesar untuk mengalami kegagalan yang berakibat pada terlepasnya fluida yang mudah terbakar dan fluida beracun (Tronskar, 2000). Salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis risiko kegagalan ini adalah *Integrated FTA-FMEA*. Metode *Integrated FTA-FMEA* menjadi salah satu jalan dalam menyelesaikan permasalahan risiko yang terjadi. Mengidentifikasi mode kegagalan (*failure mode*) yang ada dan sumber risiko sehingga nantinya diharapkan didapatkan rancangan mitigasi yang sesuai (Adi, 2012).

Tugas akhir yang sebelumnya membahas analisis risiko pada studi kasus instalasi/pengangkatan girder jembatan Suramadu (Adi, 2012). Hasil perhitungan didapatkan *Probability of Failure* (PF) dari Kegagalan Girder sebesar 0,82 atau 82%. Juga didapatkan nilai *Expected Value* (EV) sebesar Rp. 984 Juta. Dengan menggunakan MOCUS didapatkan *minimal cut-set* didapatkan strategi mitigasi yang sesuai. *Minimal cut-set* yang didapatkan terjadinya kegagalan girder karena adanya kelalaian operator [1], kombinasi tekanan produksi dan kurangnya tenaga kerja [2,3]. Sedangkan kegagalan girder pemasangan girder yang dipicu oleh kesalahan alat disebabkan karena adanya kesalahan operasi [4], dan kombinasi kurangnya perawatan peralatan yang sudah tua.

#### **2.2. Dasar Teori**

##### **2.2.1. Single Point Mooring (SPM)**

*Single Point Mooring* merupakan sebuah struktur bangunan lepas pantai terapung yang difungsikan untuk *mooring-unmooring* dan *loading-*

*unloading* bagi kapal *tanker*, FPSO, FSO, FSRU, FLNG, VLCC dan lainnya (Krekel and Prescott, 2005). Salah satu kelebihan SPM, mampu menangani kapal ukuran apapun, bahkan kapal pengangkut minyak yang sangat besar sekalipun dimana tidak ada fasilitas alternatif yang tersedia. Terdapat *mooring hawser* dan tali tambat pada SPM yang digunakan kapal *tanker* atau bangunan apung lainnya untuk tambat. Pada SPM juga terdapat jalur pipa dimulai dari *Floating Hose* yang difungsikan sebagai *connector* ke manifold kapal atau bangunan apung lainnya. *Flexible Hose* pada bagian bawah SPM hingga ke dasar laut yang tersambung dengan *Fixed Submarine Pipe* (Poranski and Flory, 1977).

### **2.2.2. Berbagai Tipe *Single Point Mooring* (SPM)**

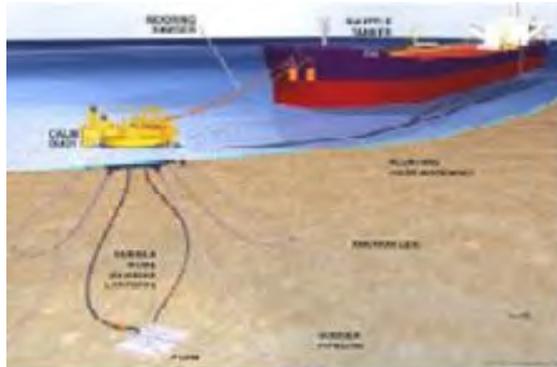
Ada berbagai macam tipe SPM yang ada, diantaranya sebagai berikut :

#### *1. Fixed Tower*



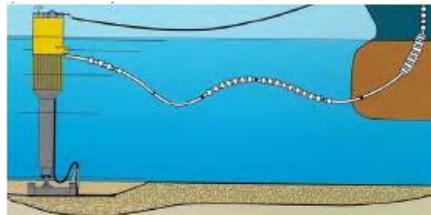
Gambar 2.1. *Fixed Tower*  
(Bureau Veritas China, 2012)

2. *Catenary anchor leg mooring (CALM)*



Gambar 2.2. *Catenary anchor leg mooring (CALM)*  
(Stella, 2012)

3. *Single-anchor leg mooring (SALM)*



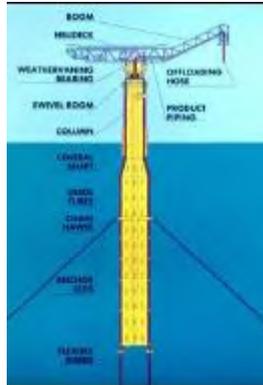
Gambar 2.3. *Single anchor leg mooring (SALM)*  
(Stella, 2012)

4. *Articulated loading platform (ALP)*



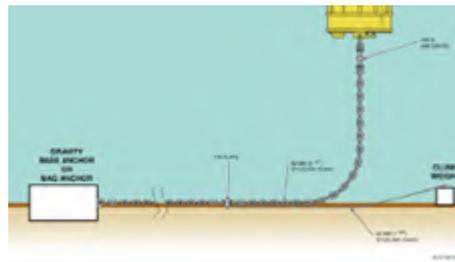
Gambar 2.4. *Articulated loading platform (ALP)*  
(Stella, 2012)

5. *Single point and reservoir (SPAR)*



Gambar 2.5. *Single point and reservoir (SPAR)*  
(Stella, 2012)

6. *Single-anchor loading (SAL)*



Gambar 2.6. *Single-anchor loading (SAL)*  
(Stella, 2012)

7. *Turret mooring*

Untuk SPM tipe *Turret mooring*, terbagi menjadi 2, yakni

a. *Internal Turret*



Gambar 2.7.a. *Internal Turret Mooring*  
(Stella, 2012)

b. *External Turret*

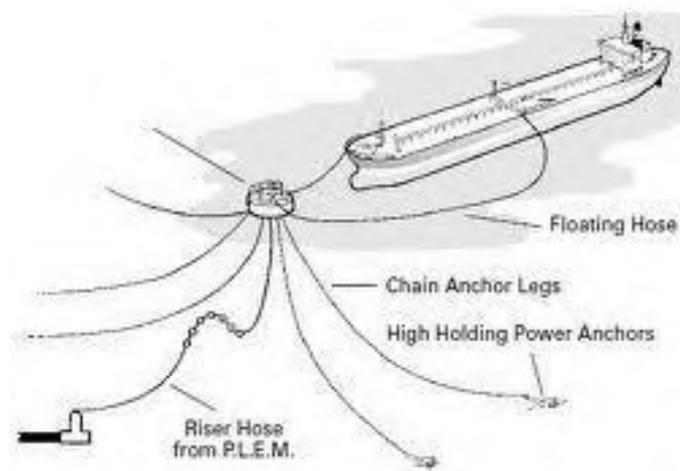


Gambar 2.7.b. *External Turret Mooring*

( Stella, 2012)

**2.2.3. Bagian – bagian *Single Point Mooring* (SPM)**

Kekuatan SPM dalam menahan beban kapal adalah parameter utama dalam menentukan kapasitasnya. Seperti contoh adalah SPM 35.000 DWT. Bisa diartikan bahwa SPM tersebut mampu menahan beban pada kapal maksimal sebesar 35.000 DWT. Kekuatan ini berasal dari *design* peralatan terutama pada bagian materialnya. (Wijanarto,2013)



Gambar 2.8. Bagian – bagian dari SPM (*Single Point Mooring*)

(Wijanarto, 2013)

Ada empat bagian utama dalam sistem *Single Point Mooring (SPM)* yaitu (Wijanarto, 2013)

a. tubuh pelampung

Bagian tubuh pelampung didukung pada kaki statis melekat pada dasar laut, dengan bagian yang dapat berputar di atas permukaan laut yang terhubung ke *tanker offloading*. Kedua bagian tersebut dihubungkan oleh sebuah bantalan, biasa disebut sebagai "bantalan utama". Kapal *tanker* ditambatkan bebas dapat *weathervane* sekitar *buoy* dan menemukan posisi yang stabil karena pengaturan ini.

b. *mooring* (tambat atau elemen penahan)

Tambatan memperbaiki pelampung ke dasar laut. Desain *Buoy* harus menjelaskan perilaku pelampung yang diberikan berlaku angin, gelombang dan kondisi saat ini dan ukuran kapal *tanker*. Ini menentukan pengaturan *mooring* optimal dan ukuran dari berbagai komponen kaki *mooring*. *Anchoring point* yang sangat tergantung pada kondisi tanah lokal. Berikut ini adalah komponen *mooring*.

i. Jangkar atau tumpukan - Untuk terhubung *mooring* ke dasar laut.

ii. *Anchor Chain*

iii. *Chainstoppers* - Untuk menghubungkan rantai ke pelampung.

c. sistem transfer

Jantung dari setiap pelampung adalah sistem transfer produk. Dari lokasi *geostatic*, misalnya ujung pipa *manifold (PLEM)* yang terletak di dasar laut, sistem ini transfer produk ke *tanker offtake*. Komponen transfer produk sistem dasar:

i. *Fleksibel Subsea Hoses*, - umumnya disebut sebagai "anak tangga".

ii. *Floating Hose String* (s) - Selang *string Floating* (s) menghubungkan pelampung ke *tanker offloading*. Selang *string* dapat dilengkapi dengan *kopling* yang memisahkan diri untuk mencegah pecahnya selang / tambang kapal dan tumpahan minyak berikutnya.

d. komponen lainnya.

Komponen lainnya ini terdiri dari beberapa, diantaranya yakni *Turntable*, Katup dan Pipa. *Turntable* adalah hubungan antara *geostatic* dan bagian berputar dari pelampung. *Swivel* ini memungkinkan sebuah kapal *tanker offloading* untuk memutar sehubungan dengan *mooring* pelampung. Produk memutar berbagai ukuran tergantung pada ukuran pipa terpasang dan anak tangga. Produk memutar dapat memberikan satu atau beberapa jalur independen untuk cairan, gas, sinyal-sinyal listrik atau kekuasaan. Berputar dilengkapi dengan pengaturan segel ganda untuk memperkecil kemungkinan kebocoran produk ke lingkungan.

#### **2.2.4. Mooring System**

*Single Point Mooring* (SPM) memiliki salah satu bagian yang penting, yaitu *mooring system*. *Mooring system* memiliki beberapa bagian, diantaranya :

a. *Mooring Platform*

*Mooring platform* terdiri dari beberapa bagian, diantaranya :

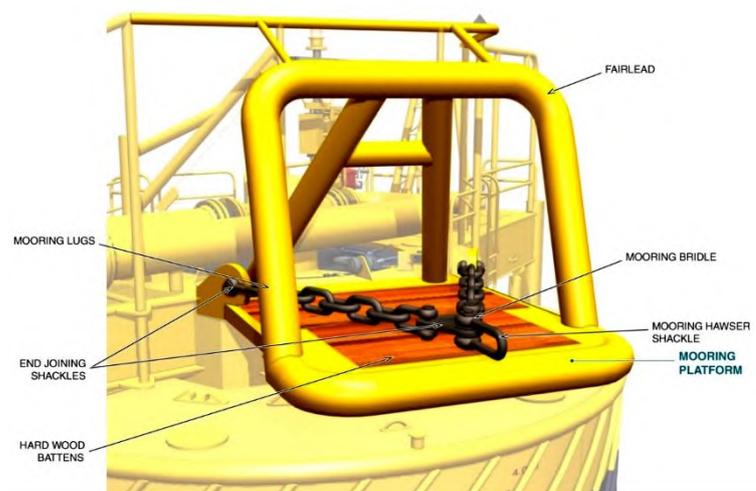
- i. *Mooring lugs*
- ii. *End joining schakles*
- iii. *Hard wood battens*
- iv. *Mooring bridle*
- v. *Mooring hawser schakle*
- vi. *Triangular Plate*

b. *Mooring Hawser*

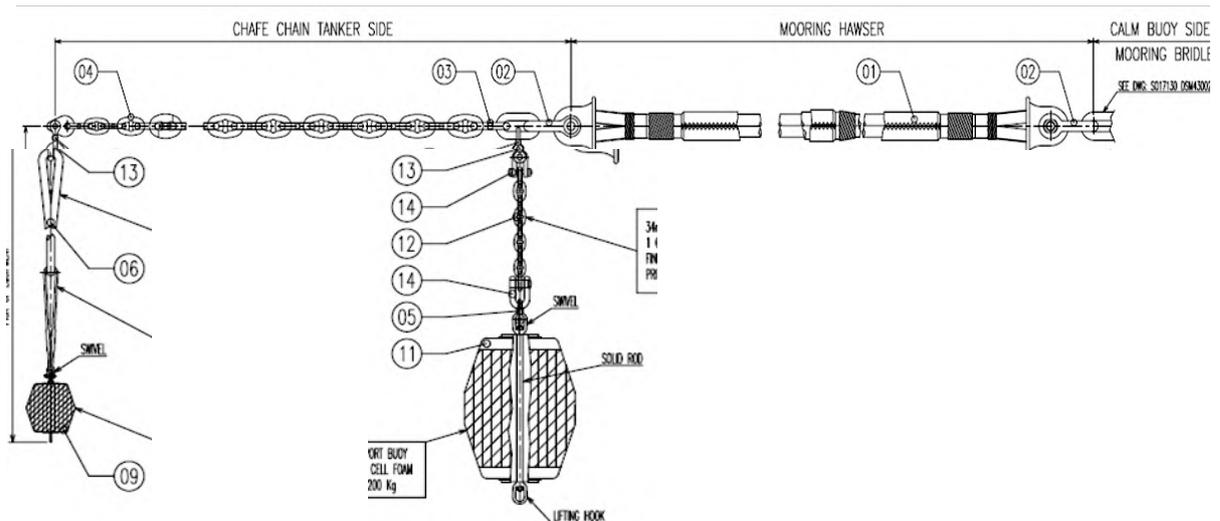
*Mooring hawser* memiliki beberapa bagian, diantaranya :

- i. *Mooring hawser*
- ii. *Chain support buoy*
- iii. *Samson buoy*

Berikut gambar *mooring system* di *Single Point Mooring (SPM)* tipe CALM.



Gambar 2.9. Mooring Platform pada mooring system di SPM tipe CALM  
(PT. Pertamina, 2008)



Gambar 2.10. Mooring hawser pada mooring system di SPM tipe CALM  
(PT. Pertamina, 2008)

### 2.2.5. Manajemen Risiko

Dalam ilmu manajemen proyek, risiko adalah suatu ukuran dari peluang dan konsekuensi atas tidak tercapainya tujuan sebuah proyek. Analisis risiko sendiri adalah proses sistematis untuk mengestimasi tingkatan risiko yang telah diidentifikasi (Kerzner, 2009). Risiko bisa didefinisikan sebagai peluang, signifikan, *near-term risk* yang menyebabkan suatu proyek gagal jika tidak dimitigasi (Dorofee et al, 1996). Berbekal dari kata signifikan inilah yang menjadikan risiko tersebut menjadi sebuah risiko. Secara matematis, risiko dirumuskan sebagai berikut.

$$\mathbf{Risk = Pof \times Cof} \dots\dots\dots 2.1$$

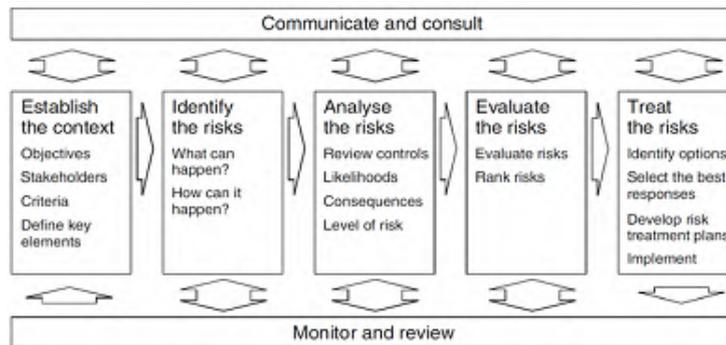
dimana

Pof : *Probability of failure*

Cof : *Consequence of failure*

### 2.2.6. Proses Manajemen Risiko

Proses manajemen risiko adalah aplikasi sistematis, prosedur dan praktik untuk tugas dalam mengidentifikasi, menganalisis, mengevaluasi, melakukan perlakuan, memantau dan mengkomunikasikan risiko. Tujuan dari manajemen risiko adalah untuk mengidentifikasi dan mengelola risiko yang signifikan. Manajemen risiko melibatkan beberapa fase kunci, dengan umpan balik melalui proses pemantauan dan peninjauan (Cooper et al, 2005). Berdasarkan standar Australia dan New Zealand (AS/NZS 4360), manajemen risiko terdiri dari lima tahap proses yang bisa dilihat pada gambar 3.11 :



Gambar 2.11. Proses Manajemen Risiko Proyek (AS/NZS, 2005)

### 2.2.7. Identifikasi Bahaya

Bahaya merupakan karakteristik fisika atau kimia dari suatu material, sistem, proses, atau pabrik dimana berpotensi mengakibatkan kerugian (AIChE-CCPS, 1992). Bahaya ditemukan disemua tempat, sayangnya tidak semua bahaya diidentifikasi hingga kecelakaan terjadi sehingga penting dilakukan identifikasi bahaya dan meminimalisir risiko untuk mencegah terjadinya kecelakaan. Identifikasi bahaya mencakup dua fungsi utama :

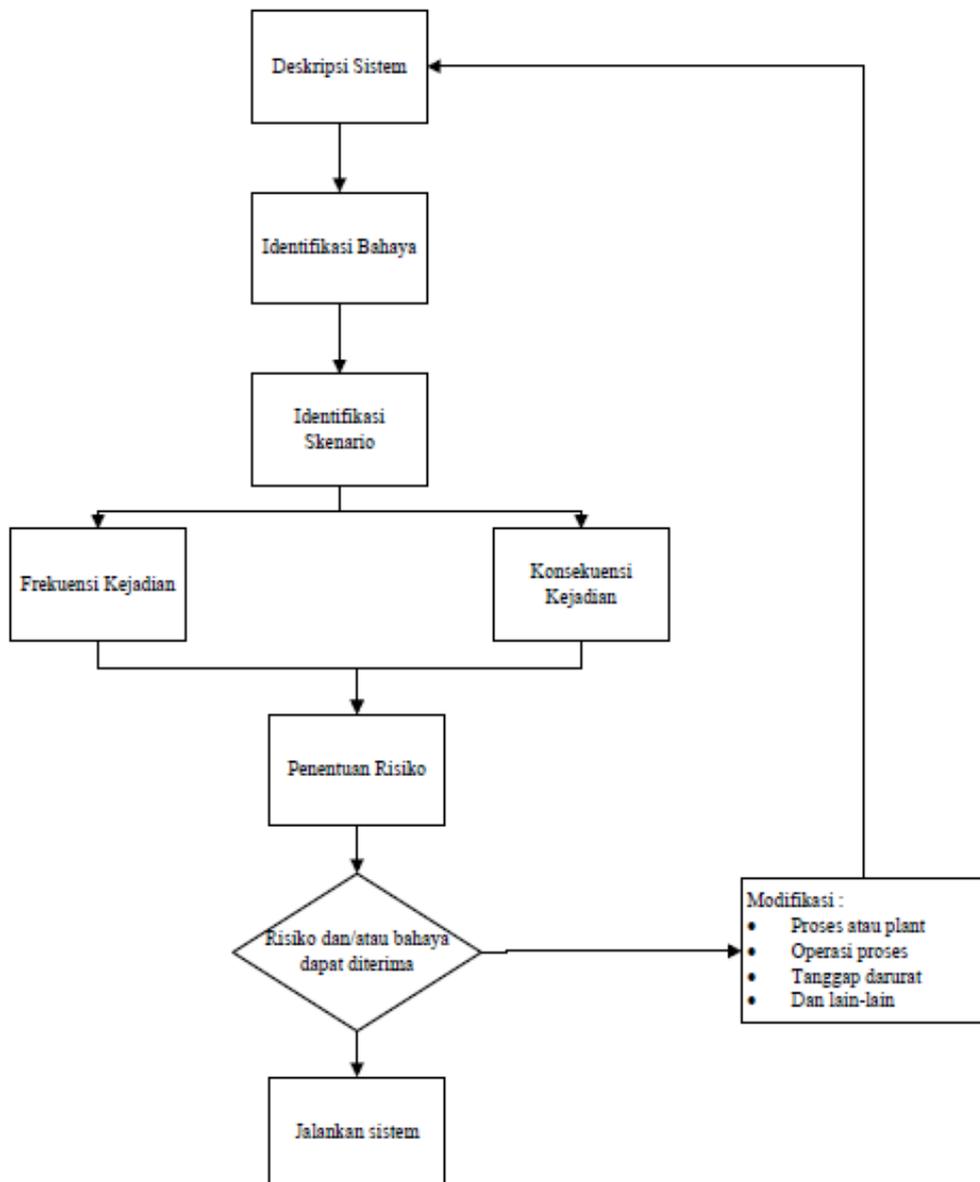
1. Untuk mengidentifikasi secara spesifik konsekuensi-konsekuensi yang tidak diinginkan.
2. Untuk mengidentifikasi karakteristik material, sistem, proses, dan pabrik yang dapat menyebabkan konsekuensi.

Bahaya proses adalah sifat kimia atau sifat fisika yang terkandung pada zat kimia yang mempunyai potensi untuk merusak lingkungan, barang, atau bahkan kesehatan manusia. Pada sistem proses, potensi bahaya tidak selalu terlihat. Potensi bahaya dapat terkandung pada bentuk yang berbeda-beda, termasuk sifat kimia (reaktifitas, sifat mudah terbakar, korosif, toksisitas), sifat mekanis (kinetis, potensial), dan panas. Potensi bahaya muncul baik pada sistem dengan level energi diatas maupun di bawah ambient, kondisi ambient adalah kondisi pada tekanan atmosfer. Semakin besar tekanan sistem diatas tekanan

atmosfir maka semakin besar energi yang tersimpan dan semakin besar potensi bahayanya. Tekanan sistem di bawah tekanan atmosfer (contoh vakum) juga dapat memicu adanya potensi bahaya, misalnya potensi bahaya untuk robohnya tangki penyimpanan.

Adapun contoh teknik identifikasi bahaya yang biasa digunakan antara lain :

- a. *Hazard and Operability Study (HAZOPS)*
- b. *Event Tree Analysis (ETA)*
- c. *Fault Tree Analysis (FTA)*
- d. *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)*
- e. *What if*
- f. *Checklist*
- g. *Hazard Identification Risk Assessment Risk Control (HIRARC)*
- h. *Safety Review*



Gambar 2.12. Prosedur Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko  
(AIChE-CCPS, 1992)

### 2.2.8. Analisis Risiko

Risiko merupakan suatu ukuran ketidakpastian untuk seberapa signifikan suatu hazard (Marhavilas et al, 2011). Risiko juga didefinisikan oleh Marhavilas et al, (2011) bahwa risiko merupakan suatu ukuran peluang serta dampaknya negatif atau merugikan. Risiko

dianggap sebagai peluang bahwa seseorang atau sesuatu dinilai akan berdampak buruk yang disebabkan oleh hazard.

Dari beberapa pemaparan mengenai risiko tersebut menunjukkan bahwa risiko merupakan peluang-peluang yang cenderung selalu memberikan dampak negatif atau kerugian bagi perusahaan maupun lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu diperlukan analisis risiko untuk mengelola risiko yang kemungkinan akan terjadi atau sering muncul. Setelah dilakukan analisis risiko maka dapat dilanjutkan jika ingin melakukan pengelolaan risiko ke tahap berikutnya yang lebih jauh yaitu dengan melakukan evaluasi risiko.

#### **2.2.9. Fault Tree Analysis (FTA)**

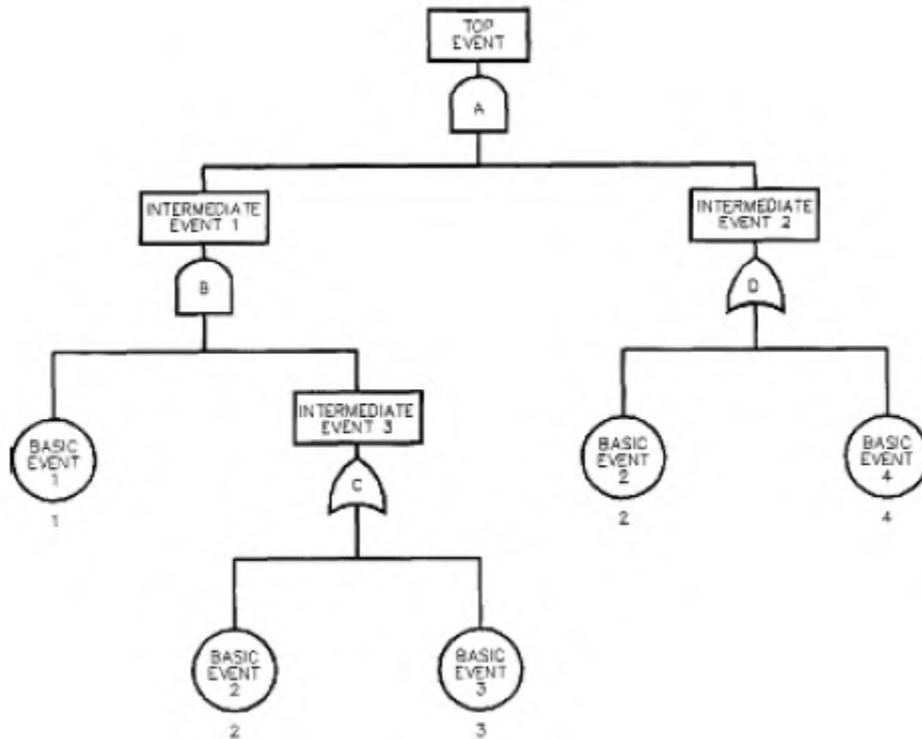
Konsep dari *Fault Tree Analysis* (FTA) telah ditemukan sejak 1961. Metode tersebut termasuk metode deduktif, yang melibatkan sebab dari umum hingga khusus, dan bekerja secara kejadian ke faktor penyebabnya dengan mengevaluasi kejadian yang memungkinkan menuju kegagalan 15 komponen. FTA biasa digunakan untuk menentukan penyebab potensial dari suatu insiden atau untuk mengetahui kegagalan sistem secara umum. Metode tersebut biasa digunakan sebagai alat untuk menentukan peluang kegagalan pada penilaian risiko secara kuantitatif.

FTA adalah contoh model grafis yang menunjukkan kombinasi logis dari beberapan kegagalan yang akan menghasilkan suatu insiden. Kombinasi tersebut dapat melibatkan kegagalan komponen, kesalahan manusia, dan kegagalan sistem manajemen. Metode ini dimulai dengan dibuatnya sebuah “*top event*” yang akan menunjukkan sebuah kecelakaan atau kondisi sistem tertentu yang diinginkan. *Top event* tersebut akan diturunkan menjadi beberapa bagian dari kejadian pendukung yang terstruktur berdasarkan peraturan dan logika tertentu. Proses dari penurunan kejadian ini bertujuan untuk mengidentifikasi

penyebab pendukung dan interaksinya hingga penyebab utamanya diketahui. Ketika FTA telah selesai maka data tersebut dapat digunakan untuk menganalisis kombinasi kegagalan manakah yang dapat menyebabkan “*top event*”.

Tujuan dari pembuatan FTA adalah untuk menemukan *minimal cut set* (MCS). MCS adalah kumpulan dari *basic events* yang akan menyebabkan terjadinya *top event*. *Cut Set* yang pertama terdiri dari *basic event* tunggal yang dapat menyebabkan terjadinya *top event* dengan sendirinya. *Cut set* yang kedua berisi dua *basic events* yang jika dikombinasikan akan menyebabkan terjadinya *top event*, *cut set* ketiga berisi tiga *basic event* dan begitu pula selanjutnya. Jelasnya, *cut set* yang pertama mewakili kegagalan paling serius yang dapat mempengaruhi sistem yang ada dan *cut set* yang kedua mewakili kombinasi kegagalan paling serius selanjutnya. Dengan menganalisis *cut set* maka tindakan pencegahan untuk mencegah terjadinya *top event* dapat diatur berdasarkan prioritas yang ada.

Terdapat beberapa aturan dalam tahapan membangun FTA yaitu *top event* harus diletakkan pada sisi atas halaman dan disambungkan dengan kejadian kegagalan awal dengan *logic gates* dan setiap pernyataan. Sebuah *logic gates* dapat memuat satu masukan atau lebih tetapi hanya memiliki satu keluaran. Terdapat dua macam *logic gates*, simbol *AND* dan simbol *OR*. Simbol *AND* dapat diartikan bahwa semua masukan harus muncul untuk membuat kelurannya terjadi sedangkan simbol *OR* hanya membutuhkan satu masukan untuk membuat keluaran terjadi. FTA dibuat berdasarkan waktu yang terjadi. Setiap level dari FTA harus mewakili periode waktu tertentu dan kejadiannya harus disusun secara urut dari kejadian awal di bagian paling bawah.



Gambar 2.13. Struktur dari FTA sederhana  
(U.S. Nuclear Regulatory Commision, 1981)

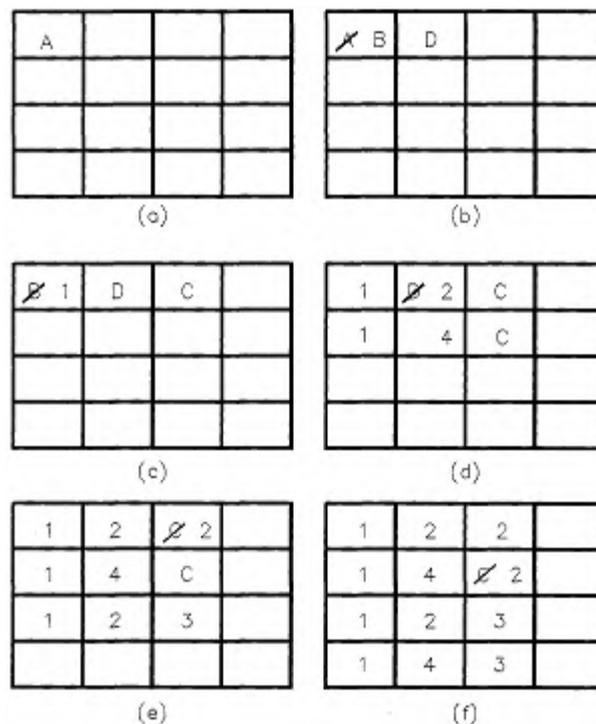
*Fault tree analysis* (FTA) menghasilkan model kegagalan yang menggunakan *Boolean logic gates* (AND, OR) untuk menjelaskan bagaimana kegagalan peralatan dan human error dapat menyebabkan kegagalan sistem utama. FTA dibangun dengan menentukan *top event* dan *basic cause* yang terkait dengan *top event* tersebut dengan menggunakan penomoran. Diagram FTA tersebut akan menghasilkan beberapa daftar kegagalan yang disebut *minimal cut set* yang menuju *top event*.

Pada bagian FTA, perhitungan *failure probability* (PF) untuk masing-masing *gate* dilakukan berdasarkan perumusan berikut ini (Adi,2012).

Untuk *gate* OR,  $PF = 1 - [(1 - P_1)(1 - P_2)]$ .....2.2

Untuk *gate* AND,  $PF = P_1 \times P_2$ .....2.3

Hal pertama yang harus dilakukan adalah mengubah seluruh *gates* yang ada menjadi *basic events*. Hal ini dilakukan dengan menggunakan matrix, dimulai dengan *top event* dan dilanjut dengan *gates* dibawahnya sehingga semua *gates* terselesaikan. AND-*gate* ditulis dengan penulisan nomor secara horizontal, sedangkan OR-*gate* ditulis dengan penulisan nomor secara vertikal.



Gambar 2.14. Matriks Penyelesaian *Gate*  
(U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981)

*Fault Tree Analysis* (FTA) pada gambar 2.13 dapat diselesaikan dengan 2 syarat (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981). Bagian (a) pada gambar 3.13 menunjukkan masukan pertama pada matrix, *gate* A merupakan *top event* pada FTA. *Gate*A adalah AND *gate* sehingga syarat AND-*gate* dapat digunakan pada 18 masukan selanjutnya yaitu *gate* B dan D yang ditunjukkan pada bagian (b). Kemudian *gate* selanjutnya dapat dipilih yaitu *gate* B yang menggunakan AND *gate* sehingga penulisan *basic cause* penggantinya secara horizontal seperti pada bagian (c). Kemudian *gate* D yang menggunakan OR *gate*

sehingga penulisan *basic cause* dilakukan secara vertical. *Gate C* yang berupa *OR gate* juga digantikan dengan *basic cause* secara vertikal. Hasil dari langkah yang telah dilakukan adalah ditetapkannya *basic events* sebagai berikut :

*Cut Set I* : 1, 2, 2

*Cut Set II* : 1, 2,4

*Cut Set III* : 1,2,3

*Cut Set IV* : 1,3,4

Langkah selanjutnya untuk menyelesaikan FTA adalah dengan menghilangkan *event* yang kembar pada *cut set* yang telah diidentifikasi, sehingga *basic events* menjadi sebagai berikut :

*Cut Set I* : 1, 2

*Cut Set II* : 1, 2,4

*Cut Set III* : 1,2,3

*Cut Set IV* : 1,3,4

Langkah terakhir yang harus dilakukan adalah menghilangkan semua *supersets* yang muncul pada rangkaian *basic events*. *Cutset II* dan *III* merupakan *superset* dari *cutset I*, karena elemen *cutset I* juga terdapat pada *cut set II* dan *III*. *Minimal cut set* dari bagan FTA diatas adalah :

*Minimal Cut Set I* : 1, 2

*Minimal Cut Set IV* : 1, 3, 4

#### **2.2.10. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)**

FMEA adalah sebuah metode sistematis untuk menganalisis dan me-ranking risiko yang terkait dengan bermacam-macam produk atau proses *failure modes* untuk yang terjadi dan yang kemungkinan akan terjadi. Memprioritaskan risiko tersebut untuk dilakukan tindakan perbaikan, tindakan pada bagian-bagian yang memiliki risiko tertinggi, mengevaluasi ulang bagian-bagian tersebut dan mengembalikan ke

langkah-langkah prioritas dalam siklus berkelanjutan (Waradiba, 2007).

FMEA juga dikenal dengan FMECA. Hal tersebut juga dipaparkan oleh Jun dan Huibin (2012) dimana FMECA merupakan metode untuk menganalisis kemungkinan terjadinya *failure* pada masing- masing kejadian. Jun dan Huibin (2012) juga menjelaskan bahwa FMEA memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan metode *risk assessment* yang lain seperti FTA dan ETA yaitu lebih *feasible* dan efektif untuk perbaikan operasional serta mampu menganalisis risiko dalam skala yang lebih besar dan kompleks. FMEA terdiri dari beberapa jenis, antara lain seperti *Traditional FMEA* dan *Probabilistic FMEA*. Berikut ini akan diuraikan mengenai kedua jenis metode FMEA tersebut.

#### **2.2.10.1. *Traditional FMEA***

*Traditional FMEA* merupakan metode analisis risiko atau jenis FMEA yang umum digunakan. Pada metode ini akan diberikan perhitungan/pembobotan dengan menggunakan skala tertentu terhadap *failure modes* atau risiko yang terjadi dimana perhitungan tersebut biasanya akan dinilai oleh *expert* atau *expert judgment* yang bersangkutan. Perhitungan atau pembobotan yang dilakukan mengacu pada tiga aspek yaitu *occurrence* (O), *detection* (D), dan *severity* (S) sebagaimana yang dipaparkan oleh Barends et al., (2012). *Occurrence* merupakan seberapa sering *failure mode* terjadi, *detection* merupakan terdeteksi suatu risiko dengan kontrol yang digunakan saat ini atau dengan kontrol yang ada *failure mode* dapat terdeteksi, dan *severity* merupakan dampak yang muncul dari risiko.

Adapun pembobotan tersebut ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.1. Definisi dan kategori ranking mode kegagalan untuk *occurrence* (O)

<b>Definition of occurrence of failure mode</b>	<b>(O)</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Negligible</i>	1	0-1x setahun
<i>Very low</i>	2	1-2x setahun
<i>Low</i>	3	2-3x setahun
<i>Occasionally</i>	4	3-4x setahun
<i>Now and then</i>	5	4-5x setahun
<i>Regularly</i>	6	5-6x setahun
<i>Very regularly</i>	7	6-7x setahun
<i>Often</i>	8	7-8x setahun
<i>Very Often</i>	9	8-9x setahun
<i>Extremely often</i>	10	9-10x setahun

(Barends et al., 2012)

Tabel 2.2. Definisi dan kategori ranking mode kegagalan untuk *detection* (D)

<b>Definition of detection of failure mode</b>	<b>(D)</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Certainly</i>	1	0-1 bulan
<i>Very likely</i>	2	1-2 bulan
<i>Likely</i>	3	2-3 bulan
<i>More than average</i>	4	3-4 bulan
<i>Average</i>	5	4-5 bulan
<i>Low</i>	6	5-6 bulan
<i>Very low</i>	7	6-7 bulan
<i>Unlikely</i>	8	7-8 bulan
<i>Very unlikely</i>	9	8-9 bulan
<i>Excluded</i>	10	9-12 bulan

(Barends et al., 2012)

Tabel 2.3. Definisi dan kategori ranking mode kegagalan untuk *severity* (S)

<i>Definition of severity of failure Mode</i>	<i>Consequence of failure mode with this severity</i>	(S)
<i>None</i>	Tidak memberikan dampak	1
<i>Almost none</i>	Memberikan dampak kecil	2
<i>Extremely low</i>	Melakukan tindakan ekstra tetapi tanpa <i>delay</i>	3
<i>Very low</i>	Terjadinya <i>delay</i> dalam waktu yang singkat	4
<i>Low</i>	Terjdainya <i>delay</i> yang cukup lama	5
<i>Moderate</i>	<i>Delay</i> yang lama untuk melakukan perbaikan	6
<i>High</i>	<i>Reject</i> hasil produksi	7
<i>Very high</i>	Kesalahan produk ke konsumen	8
<i>Extremely high</i>	Kualitas produksi sangat menurun (melebihi batas toleransi)	9
<i>Dangerously high</i>	Jumlah produksi sangat rendah (melebihi batas toleransi)	10

(Barends et al., 2012)

Setelah dilakukan pembobotan *occurrence* (O), *detection* (D), dan *severity* (S) kemudian dilakukan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) menggunakan persamaan berikut :

$$\text{RPN} = \text{Occurrence (O)} \times \text{Detection (D)} \times \text{Severity (S)} \dots 2.4$$

Berikut adalah contoh perhitungan untuk *Risk Priority Number* (RPN) pada *Traditional FMEA*.

Tabel 2.4. Contoh *Traditional FMEA*

<i>Failure mode</i>	O	D	S	RPN
<i>cutting wheel broken</i>	5	3	8	120
<i>leak on connection</i>	4	3	5	60
<i>leakage on gasket Flange</i>	5	3	8	120
<i>overflow from vent tank 1 P to the deck of vessel</i>	4	3	3	36
<i>vessel was strucked</i>	4	7	8	224

### 2.2.10.2. Probabilistic FMEA

*Probabilistic FMEA* merupakan pengembangan dari metode *Traditional FMEA* atau FMEA yang umum digunakan. Pada *Probabilistic FMEA* untuk penentuan risiko terbesar tidak hanya tergantung pada *Risk Priority Number (RPN)* tetapi juga memperhatikan *probability* dari masing-masing risiko dimana hal tersebut menjadi berbeda dengan *Traditional FMEA* yang lebih ditentukan dengan bobot yang subjektif atau skala-skala tertentu yang digunakan. Sehingga pada *Probabilistic FMEA* perhitungan lebih bersifat kuantitatif dibanding penggunaan FMEA pada umumnya.

Pada *Probabilistic FMEA* diperlukan *frequency of occurrence (P(O))*, *detection failure modes (P(D))* dimana perhitungan tersebut akan digunakan untuk menghitung peluang dari masing-masing risiko yang dianalisis. Berikut ini adalah *categorical scoring* untuk (P(O)) dan (P(D)) yang dipaparkan oleh Barends et al., (2012).

Tabel 2.5. Occurrence of Failure Mode Probabilistic FMEA

<i>Definition of occurrence of failure mode</i>	(O)	P(O)
<i>Negligible</i>	1	0.0000000005
<i>Very low</i>	2	0.000000002
<i>Low</i>	3	0.0000006
<i>Occasionally</i>	4	0.000006
<i>Now and then</i>	5	0.0001
<i>Regularly</i>	6	0.003
<i>Very regularly</i>	7	0.01
<i>Often</i>	8	0.05
<i>Very Often</i>	9	0.3
<i>Extremely often</i>	10	0.6

(Barends et al., 2012)

Tabel 2.6. *Detection of Failure Mode Probabilistic*  
FMEA

<i>Definition of detection of failure mode</i>	<b>(D)</b>	<b>P(D)</b>	<b>(1-P(D))</b>
<i>Certainly</i>	1	1	0
<i>Very likely</i>	2	0.99	0.01
<i>Likely</i>	3	0.96	0.04
<i>More than average</i>	4	0.93	0.07
<i>Average</i>	5	0.9	0.1
<i>Low</i>	6	0.75	0.25
<i>Very low</i>	7	0.5	0.5
<i>Unlikely</i>	8	0.3	0.7
<i>Very unlikely</i>	9	0.1	0.9
<i>Excluded</i>	10	0	1

(Barends et al., 2012)

*Probabilistic* FMEA juga dapat digunakan jika ingin mengetahui atau untuk memperkirakan peluang kejadian untuk sebuah *failure mode* atau risiko yang tidak terdeteksi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Barends,2012).

$$P(\text{uf}) = P(o) \times (1 - P(D)) \dots\dots\dots 2.5$$

dengan : P(uf) = peluang kejadian yang tidak terdeteksi

P(o) = peluang kejadian

P(D) = peluang deteksi

Disamping itu *Probabilistic* FMEA juga dapat digunakan dalam memperkirakan tingkat kejadian pertahun untuk *failure mode* atau risiko yang tidak terdeteksi. Perkiraan tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Undetected failure mode.} = 1 / (P(\text{uf}) \times (\text{samples analyzed per year})) \dots\dots 2.6$$

dengan :

*Undetected failure mode* = tingkat kejadian pertahun

$P(uf)$  = peluang kejadian yang tidak terdeteksi

Dapat diambil sebuah contoh, misalkan dalam satu tahun terdapat 100 *samples* dari suatu *failure mode* yang dianalisis. *Failure mode* tersebut memiliki  $P(uf)$  sebesar  $3 \times 10^{-6}$ . Dengan menggunakan persamaan maka didapatkan bahwa *undetected failure mode* tersebut akan terjadi setidaknya sekali dalam 3333 tahun. Sehingga penggunaan *probabilistic FMEA* dapat memberikan gambaran yang lebih bersifat kuantitatif dalam melakukan pengelolaan risiko.

#### 2.2.11. Analisis Frekuensi

Perhitungan empiris untuk menentukan frekuensi kejadian dari *basic event* yang ditentukan sebagai skenario dilakukan dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis (FTA)*. Data-data yang dibutuhkan untuk melakukan analisis dengan FTA dan menghitung frekuensi salah satu diantaranya adalah (U.S. *Nuclear Regulatory Commission*, 1981):

- a. Proses Fisik dan Kimia yang terjadi dalam sistem.
- b. Informasi secara spesifik mengenai keseluruhan proses atau tiap bagian (meliputi kimia, termodinamika, hidrolik dan sebagainya).
- c. Properti dari material.
- d. Gambar *Lay out Plant* dan *Site*.
- e. *Process Flow Diagram* dan *Process & Instrument Diagram*.
- f. Spesifikasi Komponen/peralatan serta data keandalan (jika ada).

- g. Prosedur operasi (perawatan, *Start up, shut down, emergency*)
- h. Kondisi Lingkungan.

Data frekuensi kejadian adalah hasil dari estimasi berdasarkan kejadian sebenarnya dan kemungkinan lainnya. Kejadian yang dimaksud, memiliki beberapa tipe, seperti *minor incident* yang berpotensi menyebabkan kecelakaan, kegagalan komponen atau *near miss*. Sebagai contoh adalah kebocoran pipa, kegagalan pompa, serta kecelakaan menggunakan peralatan alat angkut angkut. Sementara kejadian yang berkaitan adalah jumlah populasi secara keseluruhan dari suatu kejadian yang telah didokumentasikan. Biasanya dalam bentuk jumlah dari item atau jumlah dalam tahun. Perhitungan penentuan probabilitas, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981) :

- a. Menentukan *failure rate* ( $\mu$ )

Menggunakan persamaan

$$\mu = \frac{n}{\tau} \dots\dots\dots 2.7$$

- dimana :  $\mu$  : *failure rate*
- n : jumlah kegagalan
- $\tau$  : waktu penggunaan komponen

- b. Menentukan Reliabilitas (R)

Menggunakan persamaan

$$R(t) = e^{-\mu t} \dots\dots\dots 2.8$$

- dimana : R(t) : Reliabilitas
- $\mu$  : *constant failure rate*
- t : nilai tak hingga (untuk asumsi *constant failure rate*)

c. Menentukan Probabilitas Kegagalan (P)

Menggunakan persamaan

$$P(t) = 1 - R(t) \dots\dots\dots 2.9$$

dimana :  $P(t)$  : Probabilitas kegagalan

$R(t)$  : Reliabilitas

### 2.2.12. Manajemen Bencana

*Disaster* dapat diartikan sebagai bencana. Bencana merupakan suatu peristiwa dimana industri atau masyarakat pada saat terjadinya bencana mengalami kerugian moril dan materiil. Dimana bencana akan dapat terjadi apabila terdapat bahaya dan kerentanan yang ada dalam suatu sistem, yang kemudian tidak dihadapi dengan pencegahan, mitigasi, dan kesiapsiagaan dari sistem tersebut maka akan timbul suatu risiko terjadinya bencana.

Bencana atau risiko bencana berbanding lurus dengan bahaya dan kerentanan industri atau masyarakat. Jika tingkat bahaya dan tingkat kerentanan industri atau masyarakat tinggi, maka risiko bencana akan tinggi dan bencana pasti akan terjadi ketika ada kejadian bertemunya bahaya dan kerentanan. Sedangkan bencana/risiko bencana berbanding terbalik dengan kapasitas/kemampuan suatu industri atau masyarakat. Risiko bencana akan menjadi rendah, atau efek bencana akan dapat dibatasi atau dikurangi apabila industri atau masyarakat memiliki kapasitas atau kemampuan untuk menanggulangi bencana.

Menurut Crowl and Louvar (2002), bencana diklasifikasikan menjadi:

1. *Natural Disaster*

a. *Geological*

- Gempa bumi
- Tsunami
- Gunung meletus

- Tanah longsor
- Gletser

*b. Meteorological*

- Banjir
- Musim kemarau
- Kebakaran hutan

*c. Biological*

- Bencana yang berdampak pada manusia dan hewan
- Kerumunan serangga

*2. Human Caused Event*

*a. Accidental*

- Bahan yang berbahaya (kimia, radiologis, biologis)
- Ledakan atau kebakaran
- Kecelakaan transportasi
- Runtuhnya bangunan
- Kegagalan energy/tenaga/utilitas
- Polusi dan kontaminasi air dan udara

*b. Intentional*

- Teroris
- Perang
- Kriminal

*Disaster management* adalah sekumpulan kebijakan dan keputusan-keputusan administrative dan aktifitas-aktifitas operasional yang berhubungan dengan berbagai tahapan dari semua tingkatan bencana. Manajemen bencana juga diartikan sebagai kegiatan-kegiatan yang dilakukan untuk mengendalikan bencana dan keadaan darurat, sekaligus memberikan kerangka kerja untuk

menolong masyarakat atau suatu industri dalam keadaan beresiko tinggi agar dapat menghindari ataupun pulih dari dampak bencana.

*Disaster management* merupakan suatu kesatuan fase penanggulangan bencana yang di dalamnya terdapat fase *mitigation*, *preparedness*, *response*, dan *recovery* (Crowl and Louvar, 2002).

a. *Mitigation*

Mitigasi merupakan aktifitas yang dilakukan untuk mengeliminasi atau mereduksi kemungkinan dari suatu kejadian, atau untuk mereduksi akibat atau konsekuensi, baik sebelum ataupun mengikuti suatu bencana. Mitigasi sendiri terdiri dari mitigasi struktural dan mitigasi non-struktural. Mitigasi struktural berupa rekomendasi yang diberikan meliputi segala sesuatu yang berbentuk fisik seperti pendekatan teknologi yang mampu memprediksi, mengatasi, dan menangani risiko bencana. Teknologi tersebut berupa alat pengaman dan perlengkapan yang dapat melindungi peralatan. Mitigasi non struktural berupa rekomendasi yang diberikan meliputi hal-hal yang berbentuk administrasi seperti pembuatan prosedur penanganan keadaan darurat serta peraturan lain yang terkait bencana tersebut.

b. *Preparedness*

Persiapan adalah tindakan-tindakan, program, sistem pengembangan dan penerapan sebelum terjadi bencana untuk mendukung dan meningkatkan pencegahan, mitigasi, respon, dan pemulihan bencana.

c. *Response*

Respon merupakan aplikasi dari disaster management yang dirancang untuk menanggapi atau merespon bencana yang terjadi.

d. *Recovery*

Pemulihan adalah tindakan-tindakan atau program-program yang dirancang untuk kembali ke tingkat kondisi yang dapat diterima.

### **2.2.13. Critical Review**

Pada pengerjaan penelitian Tugas Akhir ini juga dilakukan *review* terhadap penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Pada penelitian tersebut Filihan (2015) melakukan analisis risiko kerusakan jaringan pipa bawah laut transmisi Sumatera Jawa. Pada penelitian ini, Filihan (2015) mencoba untuk menganalisis risiko atau *undetected failure mode* yang terjadi pada jaringan pipa bawah laut transmisi Sumatera Jawa. Penelitian yang dilakukan menggunakan metode *Probabilistic FMEA* yang merupakan pengembangan dari metode *FMEA/Traditional FMEA*. Pada penelitian tersebut peneliti berusaha untuk melakukan analisis risiko yang lebih kuantitatif, dimana diketahui sebelumnya bahwa penggunaan FMEA masih cenderung bersifat kualitatif.

Selain itu, pengerjaan Tugas Akhir ini juga melakukan *review* terhadap penelitian yang dilakukan Adi (2012). Penelitian yang dilakukan Adi merupakan penelitian yang berdekatan dengan Tugas Akhir ini. Pada penelitian tersebut Adi (2012) mencoba untuk mengintegrasikan metode analisis risiko FTA (*Fault Tree Analysis*) dengan FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) yang diaplikasikan pada sebuah studi kasus berupa salah satu tahap pembangunan Jembatan Suramadu. Pada studi kasus tersebut, menunjukkan bahwa metode *Integrated FTA-FMEA* dapat diaplikasikan secara efektif.

*Review* dari Tugas Akhir dilaksanakan kepada Tugas Akhir dari Setyadi (2013). Pada penelitian tersebut Setyadi (2013) mencoba menggabungkan metode analisis risiko FTA (*Fault Tree Analysis*)

dengan FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) yang diaplikasikan pada sebuah studi kasus berupa proses produksi celana jeans. Pada studi kasus tersebut, menunjukkan bahwa metode penggabungan FTA-FMEA dapat diaplikasikan secara baik untuk mencari risiko paling tinggi dan memberikan penyelesaian dari risiko yang terjadi.

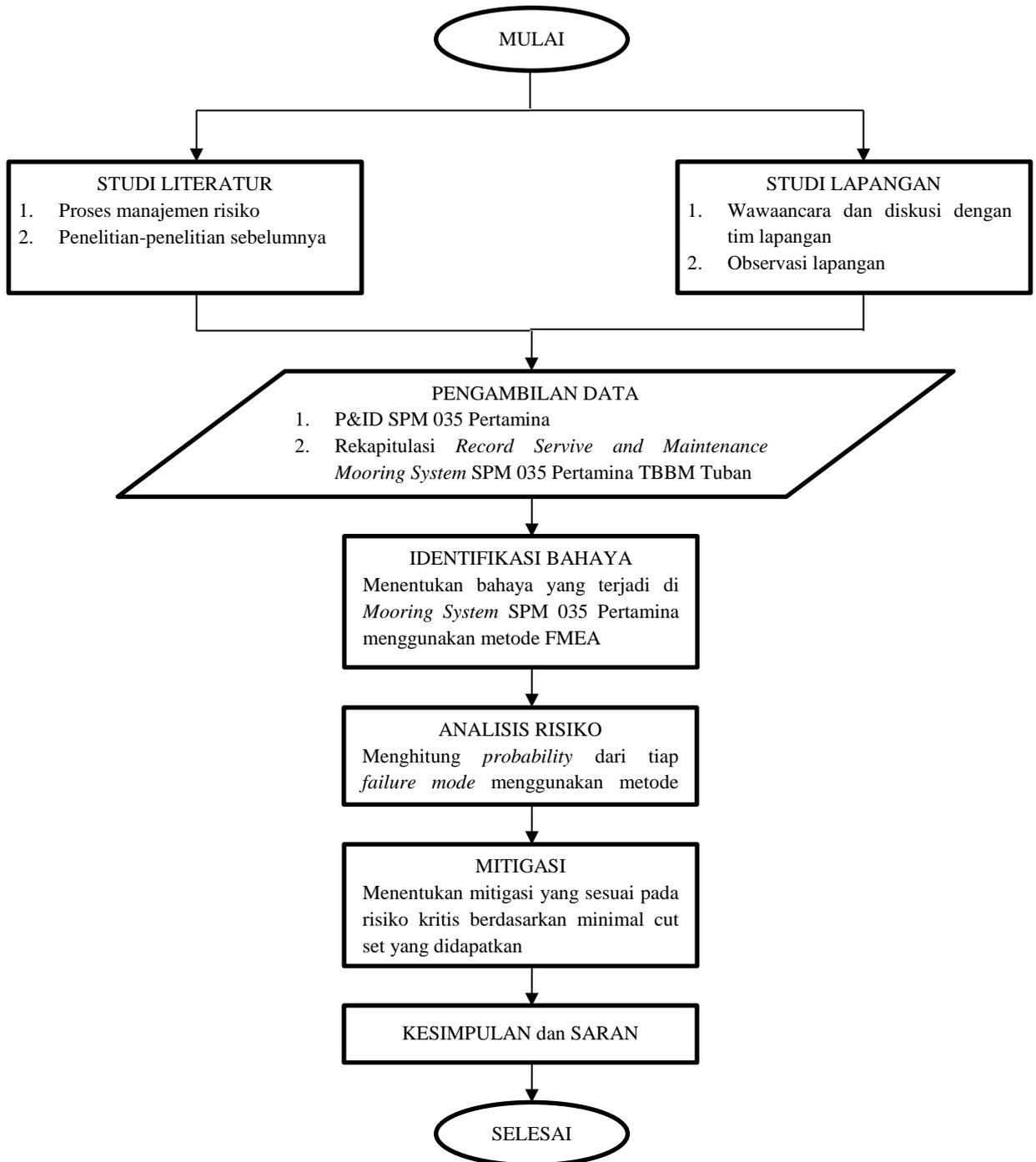
Beberapa penelitian yang lain juga menjadi *review* pada penelitian Tugas Akhir ini dimana pada penelitian tersebut menunjukkan FMEA sudah banyak digunakan untuk menyelesaikan berbagai studi kasus yang terkait dengan *risk assessment*. Beberapa diantaranya yaitu FMEA digunakan untuk memperkirakan tingkat kegagalan dalam mengkombinasikan komponen-komponen secara otomatis (Price dan Taylor, 2001). Pada studi kasus lain (Hoseynabadi et al.,2010) FMEA juga digunakan untuk *design improvements* pada *wind turbine* yang akan digunakan pada masa mendatang dimana desain-desain yang dibuat akan diteliti lebih lanjut dengan menggunakan FMEA. Selain itu masih terdapat penelitian lain yang terkait dengan FMEA, dimana FMEA digunakan untuk menganalisis prosedur analitis dan pengendalian kualitas obat (Oldenhof et al.,2011).

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Metode Penelitian



Gambar 3.1. Flow Chart pengerjaan Tugas Akhir

### 3.2. Prosedur Penelitian

Tahapan – tahapan dalam melaksanakan penelitian ini meliputi :

#### 1. Tinjauan Pustaka

Pada tahapan ini dibagi menjadi dua tahapan, yaitu tahapan studi literatur dan studi lapangan. Adapun penjelasan dari tahapan tersebut adalah sebagai berikut :

##### a. Studi Literatur

Studi literatur adalah studi terhadap literatur – literatur terkait dengan penelitian yang akan membantu proses analisis dalam menyelesaikan permasalahan yang di dapat. Adapun literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi meliputi *Fault Tree Handbook*, *Risk management guidelines companion to AS/NZS 4360:2004* dan beberapa penelitian sebelumnya yang ada keterkaitan dengan penelitian ini.

##### b. Studi Lapangan

Studi lapangan merupakan tahapan yang digunakan untuk mengetahui kondisi dari suatu objek atau sistem yang dijadikan bahan penelitian dalam penulisan tugas akhir ini. Studi lapangan akan memberikan gambaran mengenai proses kerja dari *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban yang akan dijadikan objek dan juga akan menjelaskan fungsi dari komponen – komponen yang terdapat pada *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban maka dari itu akan didapatkan gambaran secara detail mengenai bahaya – bahaya pada sistem tersebut. Proses studi lapangan dilakukan dengan melakukan wawancara dengan tim lapangan di perusahaan yang terkait dengan *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.

## 2. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data merupakan tahap akan dilakukan pengumpulan data yang berhubungan dengan permasalahan yang didapat. Data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder. Adapun data primer yang dikumpulkan berupa data identifikasi bahaya proses pada operasi *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban, untuk data sekunder yang diperoleh berupa P&ID SPM 035 Pertamina dan Rekapitulasi *Record Service and Maintenance Mooring System* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.

## 3. Identifikasi Bahaya

Pada tahap ini dilakukan identifikasi bahaya yang terjadi pada *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban. Identifikasi dilakukan dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Dengan menggunakan FMEA, tiap komponen dalam *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban diidentifikasi bahaya dan dicari *failure mode*-nya.

## 4. Analisis Risiko

Pada tahap ini dilakukan analisis risiko menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA). *Failure mode* yang telah didapatkan dari identifikasi bahaya sebelumnya menggunakan metode FMEA dijadikan sebagai *Top Event*. Untuk nantinya dicari probabilitas tiap *failure mode* yang menjadi representasi dari kegagalan tiap komponen di *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.

Untuk mendapatkan probabilitas dari *Basic Event*, digunakan data yang didapatkan dari Rekapitulasi *Record Service and Maintenance Mooring System* SPM 035 Pertamina TBBM

Tuban. Kemudian didapatkan risiko kritis yang nantinya akan dicari *minimal cut set* untuk penentuan proses mitigasi yang sesuai.

#### 5. **Mitigasi**

Tahap selanjutnya adalah penentuan mitigasi pada risiko kritis. Dari analisis risiko sebelumnya didapatkanlah risiko kritis, yaitu yang memiliki probabilitas kegagalan paling tinggi. Kemudian dicari *minimal cut set* untuk dapat dilakukan penentuan mitigasi yang sesuai.

#### 6. **Kesimpulan dan Saran**

Tahap ini merupakan tahap terakhir yang memberikan kesimpulan dan saran dari penelitian Tugas Akhir ini. Pada tahap ini akan menjawab tujuan dari dilakukannya penelitian Tugas Akhir ini dan juga memberikan saran untuk perbaikan maupun masukan yang membangun Tugas Akhir ini sehingga memberikan manfaat yang lebih.

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Pengumpulan Data**

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dengan melakukan studi lapangan atau observasi langsung pada objek penelitian Tugas Akhir terkait yaitu *mooring system* pada SPM 035 Pertamina TBBM Tuban. Pengumpulan data dilakukan dengan bertemu langsung pihak-pihak terkait di perusahaan tersebut yakni CV. Banda Guna Semesta selaku subkontraktor dari PT. Pertamina TBBM Tuban yang khusus melayani *service and maintenance* dari SPM 035 dan SPM 150 Pertamina TBBM Tuban, yang perlu ditemui dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini. Pengumpulan data juga dilakukan dengan melakukan wawancara dengan tim lapangan dari CV. Banda Guna Semesta.

##### **4.1.1. SPM 035 Pertamina TBBM Tuban**

SPM atau *Single Point Mooring* dalam Tugas Akhir ini merupakan struktur terapung yang digunakan dan dioperasikan pada lepas pantai Tuban, Jawa Timur. SPM ini dimiliki oleh PT. Pertamina dan dioperasikan oleh TTU (Terminal Transit Utama) TBBM (Terminal Bahan Bakar Minyak) Tuban. Terdapat 2 SPM yang digunakan dan dioperasikan oleh TBBM Pertamina Tuban, yaitu SPM 035 dan SPM 150. SPM 035 memiliki kapasitas 35.000 DWT dan SPM 150 memiliki kapasitas 150.000 DWT. Kapasitas yang dimaksudkan disini adalah kapasitas maksimal dari *Tanker* yang dibolehkan untuk melakukan proses *loading-unloading*. Pada tugas akhir ini yang menjadi pembahasan pada SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.



Gambar 4.1. SPM (*Single Point Mooring*) 035 Pertamina TBBM Tuban  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

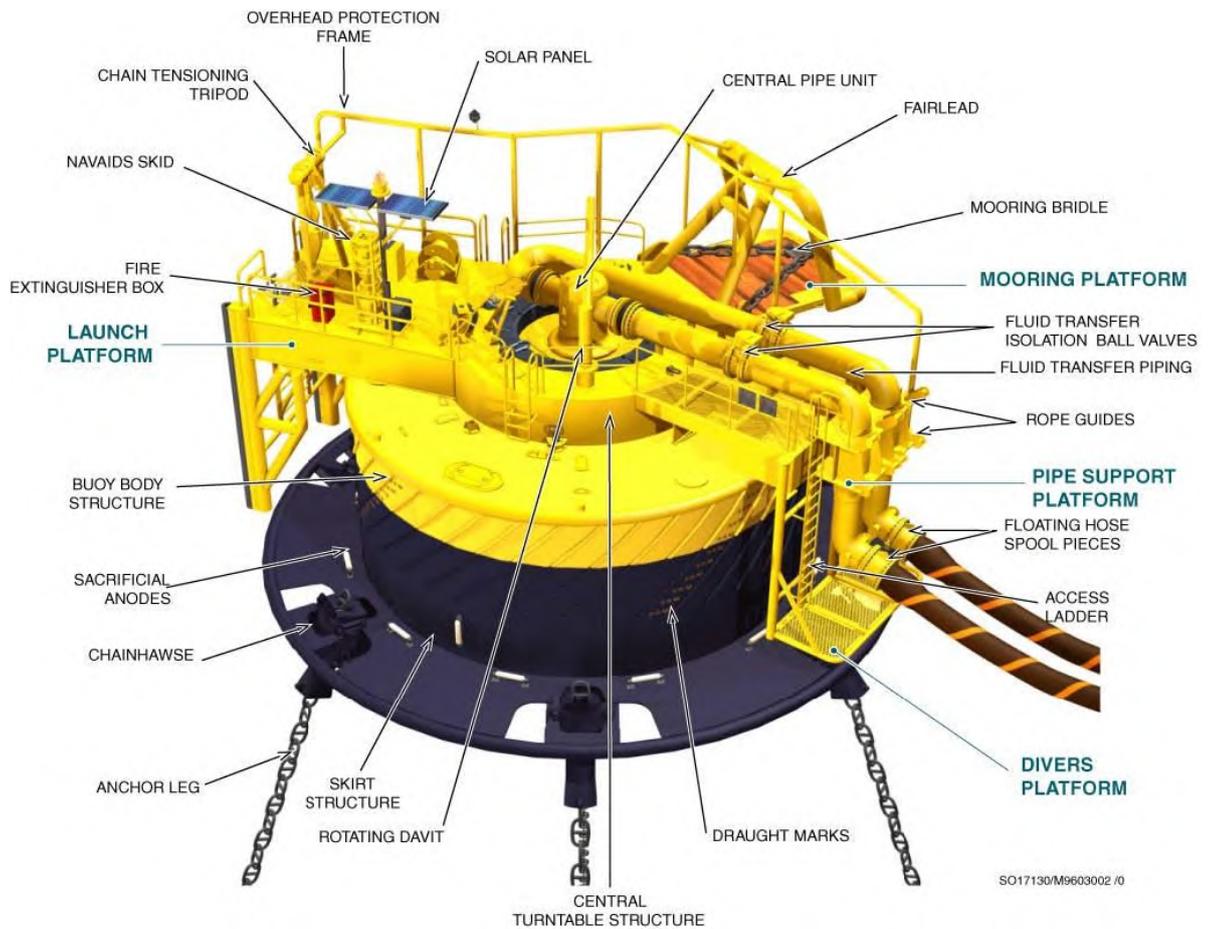
#### 4.1.2. Data SPM 035 Pertamina TBBM Tuban

Dalam proses *loading-unloading* dari tanker ke fasilitas produksi atau distribusi di darat, diperlukan juga proses *mooring-unmooring*. Untuk itulah diperlukan sebuah fasilitas di laut yang menunjang proses tersebut di atas. Fasilitas ini berupa struktur bangunan yang mampu memberikan proses *loading-unloading* dan *mooring-unmooring* yang memadai. Salah satu struktur yang sering dipakai dalam hal memberikan fasilitas untuk dilakukan proses tersebut di atas adalah *Single Point Mooring* atau biasa disingkat menjadi SPM.

Single Point Mooring atau SPM merupakan sebuah struktur terapung di lepas pantai yang memiliki beberapa komponen atau subsistem. Diantaranya sebagai berikut.

## 1. *Body SPM*

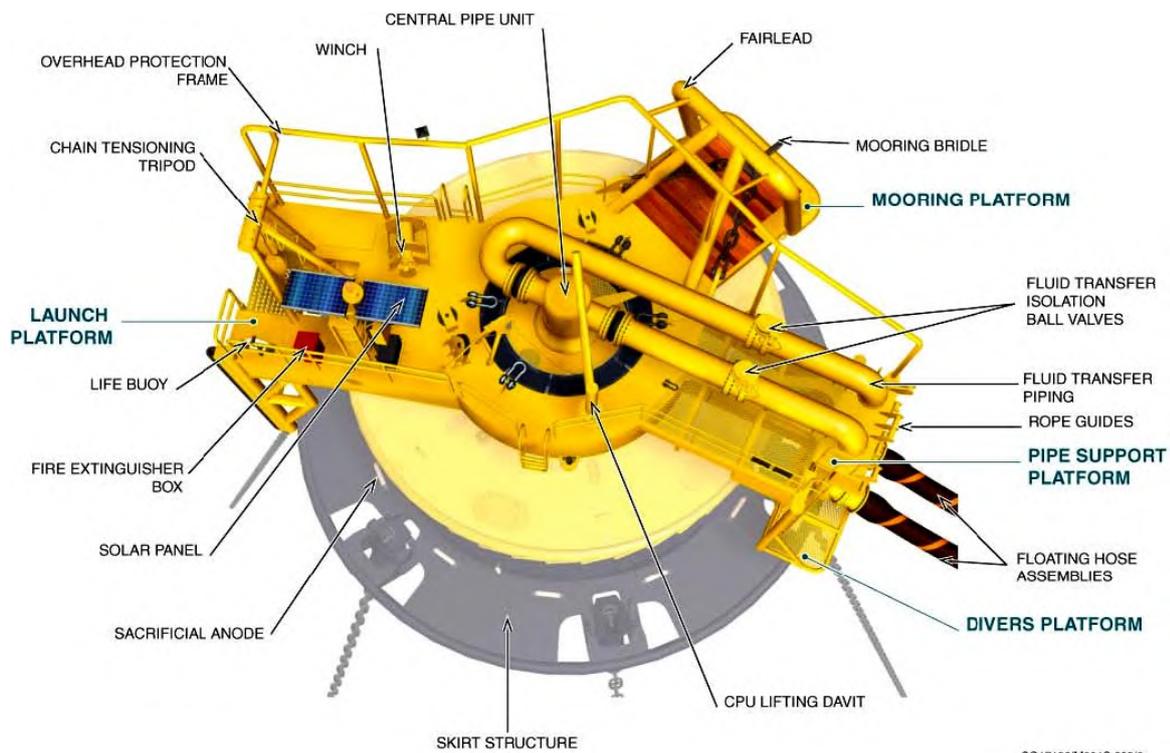
*Buoy body* yang diikat pada sistem penjangkaran (*anchor system*) yang merupakan struktur utama *Single Point Mooring*.



Gambar 4.2. *Body SPM*  
(PT. Pertamina, 2008)

## 2. Rotating Part

*Turntable (rotating part)* yang merupakan struktur untuk menyalurkan fluida (*fluid transfer system*) dan menyalurkan beban SPM.

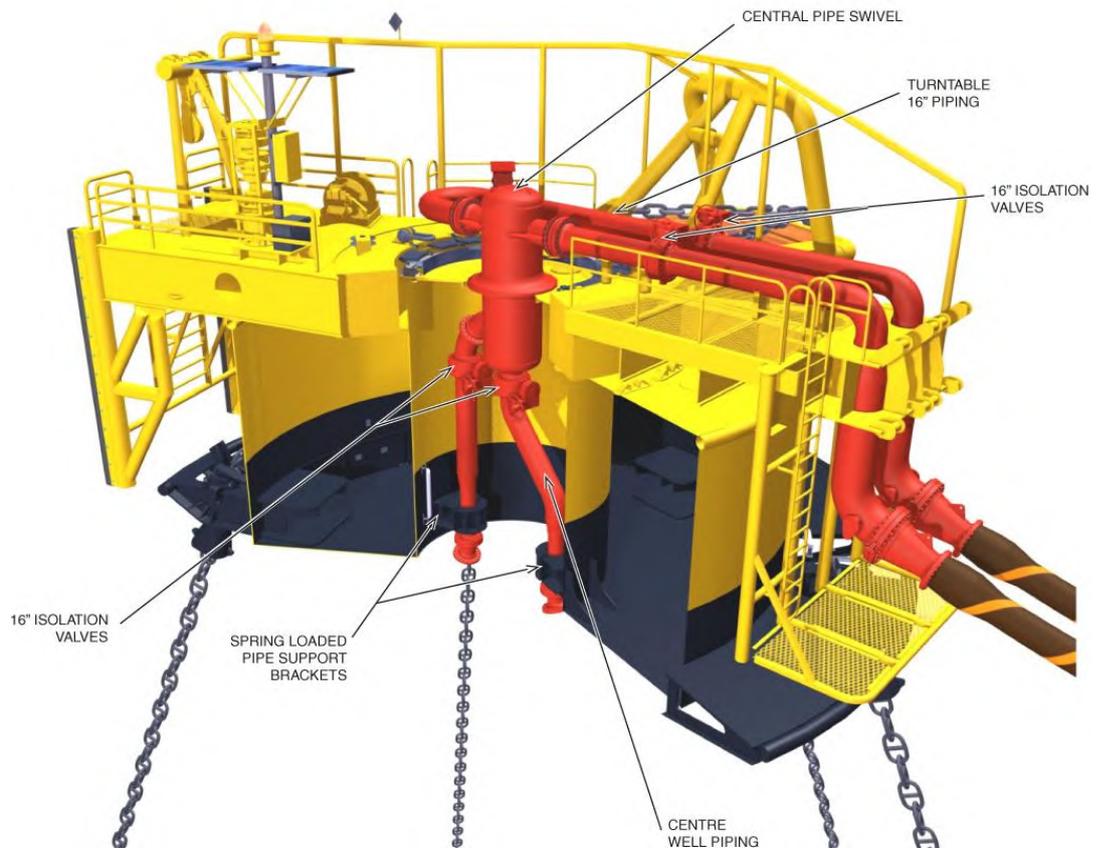


Gambar 4.3. *Rotating Part*

(PT. Pertamina, 2008)

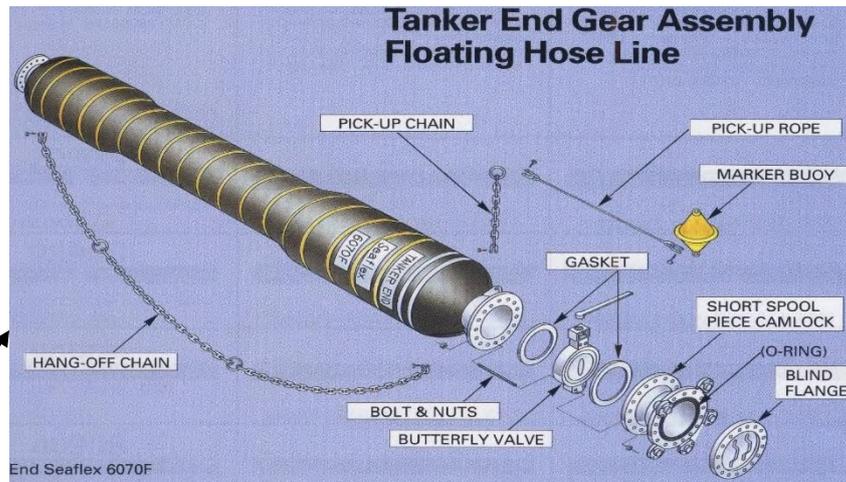
### 3. *Fluid Transfer System*

Merupakan sebuah sistem dalam SPM yang memiliki fungsi untuk *transfer* fluida dari *tanker* ke fasilitas produksi atau distribusi di darat.



Gambar 4.4. *Fluid Transfer System*

(PT. Pertamina, 2008)

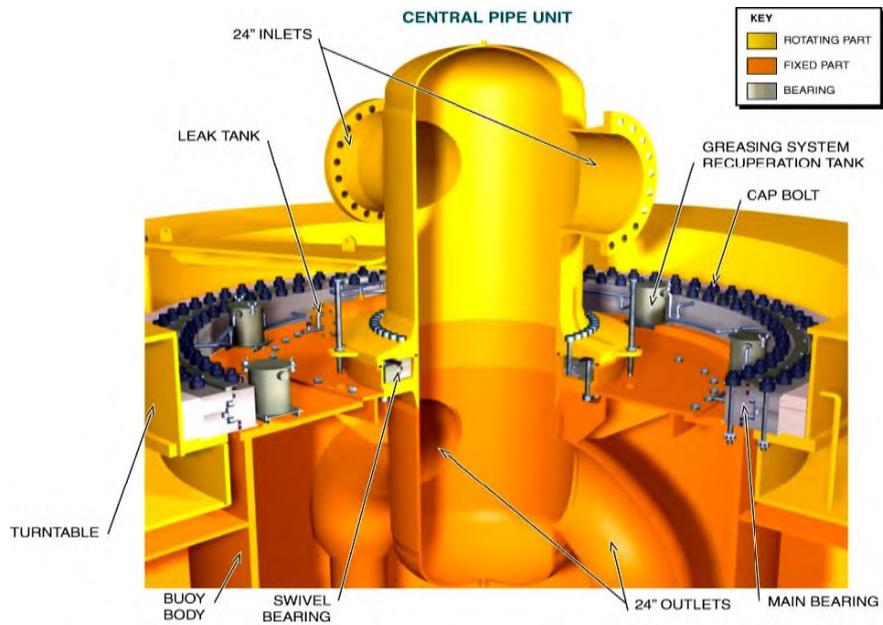


TANKER RAIL HOSE

Gambar 4.5. *Floating Hose*  
(PT. Pertamina, 2008)

#### 4. *Central Pipe Unit ( CPU )*

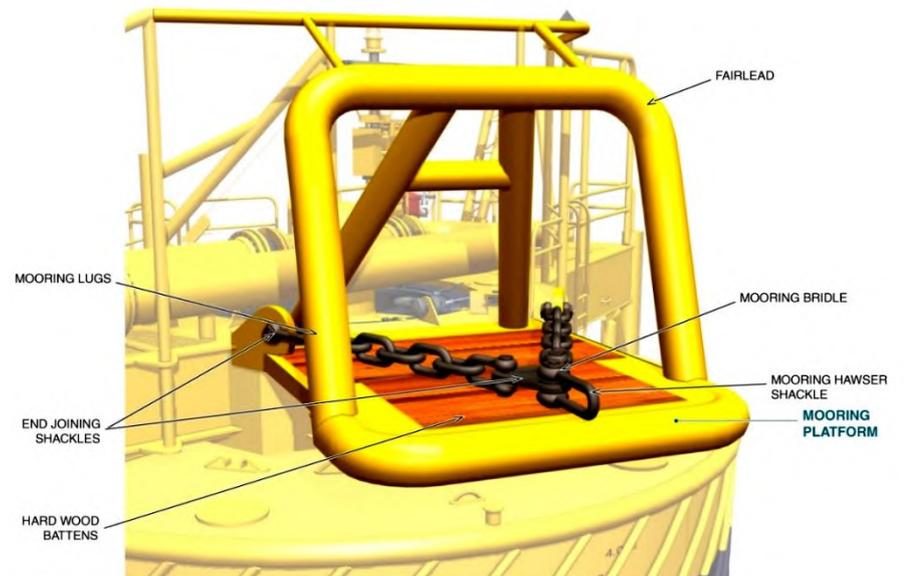
Merupakan bagian tengah SPM yang berbentuk pipa dan merupakan sebuah unit.



Gambar 4.6. *Central Pipe Unit*  
(PT. Pertamina, 2008)

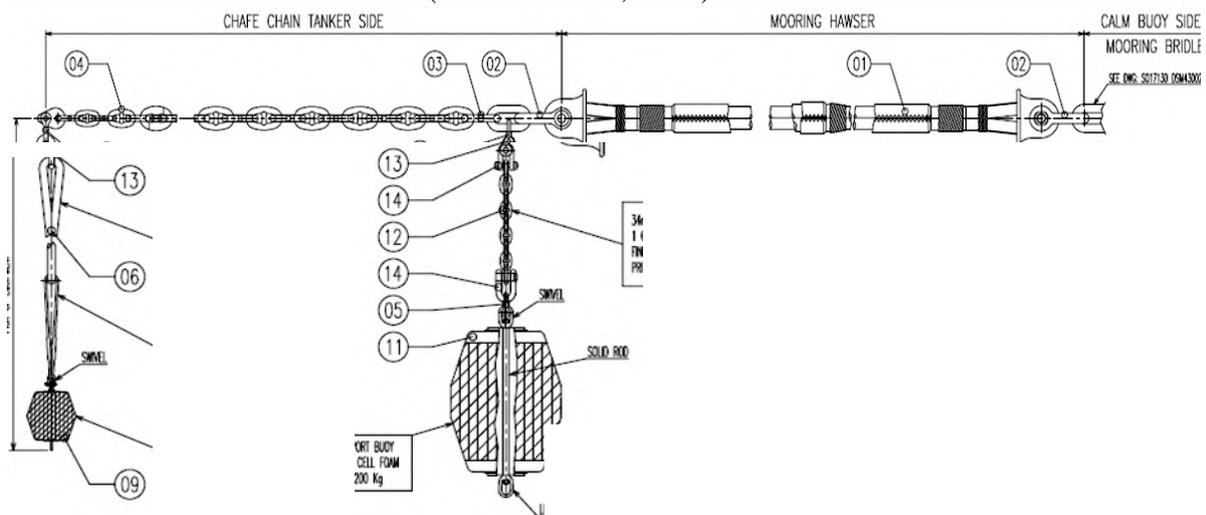
## 5. Mooring System

Merupakan sebuah sistem dalam SPM yang berfungsi pada saat tanker melakukan *mooring-unmooring* agar posisi *tanker* saat *loading-unloading* tidak bergerak terlampau jauh.



Gambar 4.7. *Mooring platform*

(PT. Pertamina, 2008)

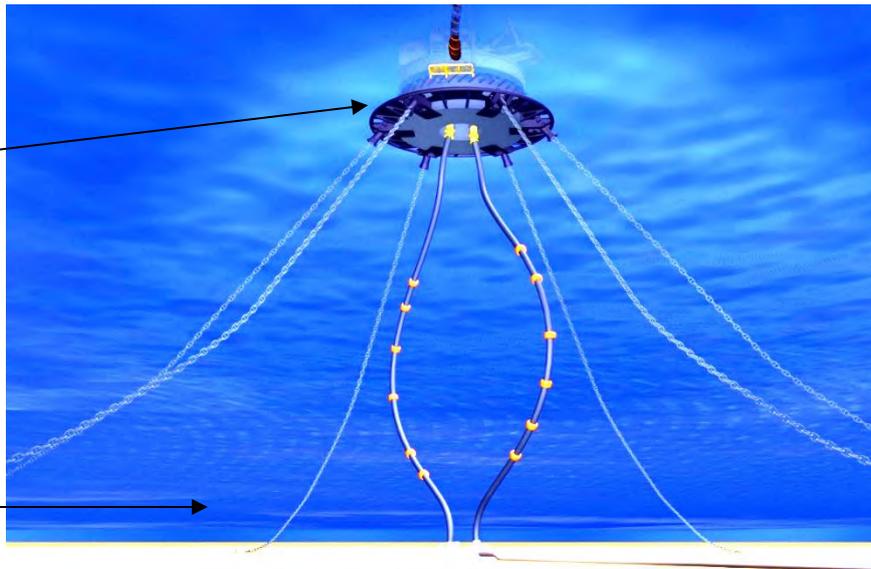


Gambar 4.8. *Mooring Hawser*

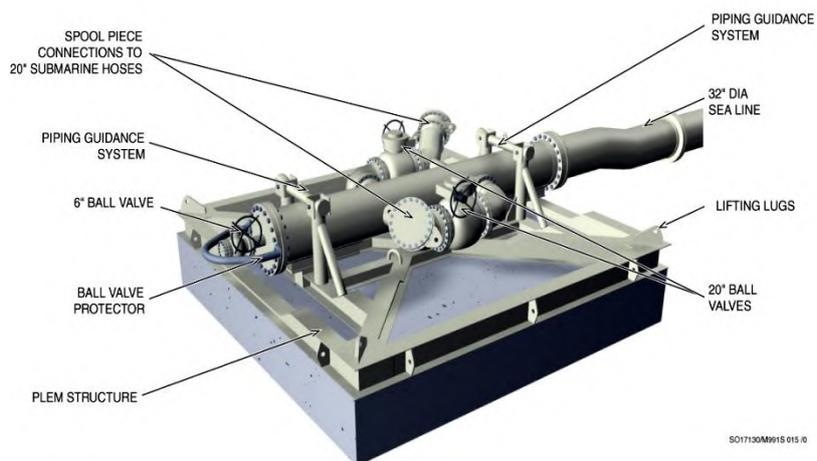
(PT. Pertamina, 2008)

## 6. Anchor System

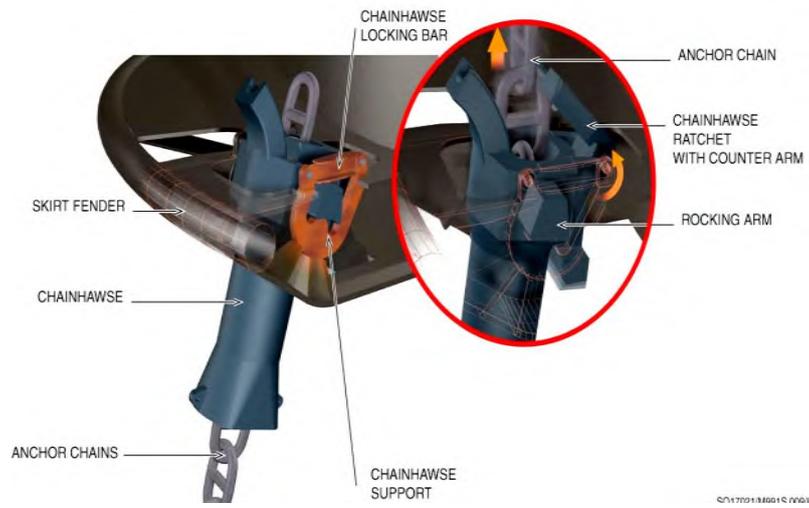
Sebuah sistem dalam SPM yang berfungsi agar SPM tetap pada posisinya dan tidak bergerak terlampaui jauh.



Gambar 4.9. *Anchor System*  
(PT. Pertamina, 2008)



Gambar 4.10. *Anchor Chain Locker*  
(PT. Pertamina, 2008)



Gambar 4.11. *Pipe Line End Manifold (PLEM)*  
(PT. Pertamina, 2008)

Berikut ini adalah data yang didapat tentang data pokok dari SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.

Tabel 4.1. Data Pokok SPM 035 Pertamina TBBM Tuban

NO.	DATA POKOK	KETERANGAN
1. 2. 3.	<b>DIBANGUN</b> <b>MANUFACTUR</b> <b>KAPASITAS TAMBAT</b>	1976/1984 (Pengganti d/h CBM 6.500 DWT) SBM INC. 35.000 DWT
4.	<b>UKURAN CALM BUOY</b>	Dia. 8 m Height 3.7 m, Weight 81.20 ton
5. 6. 7.	<b>CHAIN LEG</b> <b>WATER DEPTH</b> <b>PRODUCT LINE</b>	Dia. 2 1/4" x 4 Unit @ 240.31 Meter Grade U3 14 m (LWS) 1 Line : White Product
8.	<b>MAX. PRESSURE RATING</b>	4 Kg/Cm <sup>2</sup>
9.	<b>FLOW RATE</b>	700 m <sup>3</sup> /hours
10.	<b>SUBMARINE HOSE</b>	1 String @ 2 joint 16" x 35 ft ANSI 150
11.	<b>FLOATING HOSE</b>	1 String @ 20 joint (excl. Reducer) Size 16" x 30" ANSI 150
12.	<b>CAMLOCK &amp; BUTTERFLY VALVE</b>	12" ASA 150 (White Product)
13.	<b>MOORING HAWSER</b>	2 Pcs @ 150 ft, size Circl. 12" NDBS 135 ton
14.	<b>NAVIGATION AID</b> - Focal Height - Solar Module - Winker Light	Dia. 85 mm / LBEA 12 MK Twin Filament 10.3 V, 2 W to 60 W 145 mm
15.	<b>PIPE LINE</b>	1 Line @ 9.663 Meter - White Product 1 x 20" - 7.163 m dibangun tahun 1976 (CBM II) - 2.500 M dibangun tahun 1984
16.	<b>DOCKING TERAKHIR</b>	Tahun 2003

(PT. Pertamina, 2008)

#### 4.1.3. *Mooring System* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban

Dalam proses *loading-unloading*, tanker harus melakukan *mooring* terlebih dahulu ke SPM. Agar pada saat proses *transfer* fluida tanker tidak bergerak terlampaui jauh sehingga menyebabkan *floating hose* lepas dan akhirnya menimbulkan risiko yang besar. Untuk itulah komponen atau subsistem dalam SPM yaitu *mooring system* digunakan.



Gambar 4.12. Penambatan *tanker* di SPM dengan *mooring system*  
(Dokumentasi Pribadi)

*Mooring system* ini sangat penting fungsinya, karena komponen itulah yang menghubungkan antara *tanker* dengan SPM, agar pada saat proses *loading-unloading*, *tanker* tidak terlampaui jauh bergerak. Mekanisme dari *mooring system* awalnya *tanker* menambatkan *wire rope* pada *bollard*. Kemudian dari *Mooring Master* mengikat dengan kuat pada *bollard tanker*. Maka *tanker* sudah tertambat dengan SPM. Setelah itu terjadi tegangan karena menahan beban *tanker* pada *mooring system*.

Didapatkan juga rekapitulasi selama 5 tahun *record service and maintenance mooring system SPM 035 Pertamina TBBM Tuban*. Di bawah ini rekapitulasinya.

Tabel 4.2. Rekapitulasi *Record Service and Maintenance Mooring System SPM 035 TBBM Tuban* tahun 2011-2015

No.	Komponen	Service and Maintenance	Deskripsi	Jumlah
1	Mooring hawser	Penggantian <i>wire rope</i>	<i>wire rope</i> terputus akibat beban dari <i>Tanker</i> yang terlalu besar kapasitasnya	3
		Penggantian <i>wire rope</i>	<i>wire rope</i> terputus akibat karena beberapa serat terputus	1
		Penggantian <i>chafe chain tanker side</i>	<i>chafe chain tanker side</i> terputus yang membuat <i>Pertamina</i> harus membayar <i>demorage</i>	1
2	End joining shackles	Pengelasan kembali <i>shackles</i>	<i>end join shackles</i> yang terlihat renggang ditakutkan akan membuat terlepas semua <i>join</i> -nya	3
		Penggantian <i>shackles</i>	<i>shackles</i> yang mengalami patah namun tidak membuat semua <i>join</i> terlepas	1
3	Mooring lugs	Pengecatan ulang <i>mooring lugs</i>	pelapisan dari <i>mooring lugs</i> banyak yang terkelupas, ditakutkan terjadi korosi yang berlebihan	3
		Pengecekan berkala di struktur <i>mooring lugs</i>	pengecekan secara berkala pada struktur dalam material menggunakan <i>Ultrasonik Testing</i>	2
4	Hardwood Battens	Penggantian beberapa <i>hardwood battens</i>	kerusakan akibat umur pemakaian yang terlalu lama	1
		Pengencangan kembali penahan kayu	penahan susunan kayu di sampingnya longgar, dan menjadi geser kayunya	2
		Penggantian beberapa <i>hardwood battens</i>	kerusakan susunan kayu seperti kayu berlubang dll akibat dari cacat material kayunya	1
5	Mooring Briddle	Penggantian <i>stopper</i> penahan	<i>stopper</i> penahan patah, implikasi dari material yang cacat dan pengelasan yang kurang sempurna	2
		Penggantian <i>stopper</i> penahan	penggantian <i>stopper</i> penahan karena memang sudah waktunya diganti	1
6	Triangular plate	Penggantian <i>Triangular plate</i>	<i>triangular plate</i> mengalami pecah akibat beban dari <i>tanker</i> yang terlalu besar kapasitasnya	1
		Pengecekan berkala di struktur <i>triangular plate</i>	pengecekan secara berkala pada struktur dalam material menggunakan <i>Ultrasonik Testing</i>	2
7	Mooring hawser Shackles	Pengecatan ulang <i>mooring hawser shackles</i>	pelapisan dari <i>mooring hawser shackles</i> banyak yang terkelupas, ditakutkan terjadi korosi yang berlebihan	2
		Pengecekan berkala <i>mooring hawser shackles</i>	pengecekan secara berkala pada struktur dalam material menggunakan <i>Ultrasonik Testing</i>	2
8	Chain support buoy	Penggantian <i>chain support buoy</i>	penggantian <i>chain support buoy</i> karena memang sudah waktunya perlu diganti	1
		Pengecekan berkala <i>chain support buoy</i>	pengecekan secara berkala pada struktur dalam material menggunakan <i>Ultrasonik Testing</i>	2
9	Samson buoy	Penggantian <i>samson buoy</i>	kerusakan lapisan pelindung yang membuat merembesnya air dan <i>samson buoy</i> tidak mengambang sempurna	2
		Penggantian <i>samson buoy</i>	penggantian <i>samson buoy</i> karena memang sudah waktunya perlu diganti	1

(CV. Banda Guna Semesta)

Selain itu biaya yang didapatkan dari *service and maintenance mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban selama tahun 2011 – 2015 juga didapatkan yang nantinya digunakan sebagai konsekuensi pada perhitungan risiko. Berikut adalah hasilnya.

Tabel 4.3. Rekapitulasi Biaya *Record Service and Maintenance Mooring System* SPM 035 TBBM Tuban tahun 2011-2015

No.	Komponen	Jumlah (dalam Rp.)
1.	<i>Mooring hawser</i>	735.117.900,00
2.	<i>End Joining shackles</i>	236.173.900,00
3.	<i>Mooring lugs</i>	376.749.200,00
4.	<i>Hardwood battens</i>	385.119.800,00
5.	<i>Mooring bridle</i>	374.315.200,00
6.	<i>Triangular plate</i>	382.172.300,00
7.	<i>Mooring hawser shackles</i>	258.392.100,00
8.	<i>Chain support buoy</i>	203.111.400,00
9.	<i>Samson buoy</i>	225.915.400,00

(CV. Banda Guna Semesta)

#### 4.2. Identifikasi Bahaya

Setelah mengetahui kondisi SPM 035 Pertamina dan data yang dimiliki dilakukan identifikasi bahaya terhadap *mooring system* pada SPM 035 Pertamina. Untuk mendapat bahaya apa saja yang ada maka perlu dilakukan pemahaman terhadap aktivitas-aktivitas yang berlangsung pada *mooring system* di SPM 035 Pertamina tersebut, yakni dengan melakukan wawancara dengan pihak terkait dan juga dengan observasi secara langsung.

Identifikasi bahaya bisa dilakukan dengan berbagai macam metode, salah satunya adalah menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Pada *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban, tiap komponen diidentifikasi apa saja bahaya yang terjadi. Sehingga didapatkan *failure mode* yang nantinya akan dilakukan analisis terhadap probabilitas terjadinya *failure mode*

tersebut. Berikut ini adalah tabel identifikasi bahaya yang terjadi di *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.

Tabel 4.4. Identifikasi Bahaya *Mooring System* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban

Information Worksheet		Sistem : <i>Single Point Mooring</i> (SPM) 035 Pertamina TBBM Tuban						
		Sub-sistem : <i>Mooring System</i>						
		Fungsi Sub-sistem : Menahan tanker agar tertambat ke SPM saat <i>loading-unloading</i> minyak						
No.	Equipment	Function	Functional failure	Description of Failure			Effect of Failure	
				Failure Mode	Failure Mechanism	Detection of Failure		
1	Mooring Lugs	1 penopang dari mooring platform	A Gagal menopang mooring platform	1 struktur mooring lugs patah	mooring lugs berkarat/kotor	Visual : kondisi pelapisnya terkelupas	struktur kegagalan mengarah pada terjadinya hancurnya struktur mooring platform	
2	End Joining shackles	1 Pengunci dari setiap chain yang tersambung	A tidak dapat menahan tiap rantai yang terpasang di mooring platform	1 Shackle terlepas	longgar saat dioperasikan karena korosi	Visual : terkisanya sebagian strukturnya	lepasnya mooring hawser	
3	Hardwood Battens	1 Pondasi dari triangular plate	A Gagal menahan triangular plate	1 Hardwood battens pecah	Pelapukan	Visual : susunan kayu renggang dan berlubang	lepasnya triangular plate yang menjadi tempat menempelnya mooring hawser	
4	Mooring Briddle	1 Penahan dari bertemunya end joining schakle, triangular plate, dan mooring hawser schakle	A Tidak dapat menahan mooring hawser	1 Mooring bridle tidak berfungsi	Umur pemakaian	Visual : terkisanya stopper penahan	Dapat mengganggu proses mooring tanker ke spm	
5	Mooring Hawser Schakle	1 Pengunci dari ujung mooring hawser yang tersambung di triangular plate	A tidak dapat menahan mooring hawser	1 Shackle mengalami kerusakan	Umur pemakaian dan kekuatas las yang sudah melemah	Visual : terlepasnya mooring hawser dari triangular plate	gangguan pada proses mooring tanker ke spm yang menyebabkan keterlambatan loading - unloading	
6	Triangular Plate	1 komponen utama dari tersambungannya mooring hawser dengan body SPM	A tidak dapat menahan mooring hawser	1 body triangular plate pecah	Terkikis karena korosi dan kekuatannya berkurang karena load cycle	Visual : Retakan yang terjadi pada lubang tempat menempelnya mooring hawser	lepasnya mooring hawser dan mengarah pada lepasnya juga tanker yang sedang tambat di spm	
7	Mooring Hawser	1 Komponen utama yang menghubungkan tanker dengan SPM agar tidak bergerak, sehingga dapat melakukan loading-unloading	A Tidak dapat menahan tanker yang sedang tambat di spm	1 terputusnya mooring hawser	Umur pemakaian/ kapasitas tanker melebihi kapasitas tambat yang dimiliki spm	Visual : beberapa serat dari wire rope terputus	gangguan pada proses mooring tanker ke spm yang menyebabkan keterlambatan loading - unloading	
8	Chain Support Buoy	1 Rantai yang digunakan untuk menghubungkan mooring hawser dengan samson buoy	A tidak dapat menahan samson buoy	1 terputusnya rantai yang mengikat samson buoy	rantai mengalami korosi	Visual : menipisnya struktur rantai	proses awal saat tanker akan mengalami gangguan karena mooring hawser tenggelam	
9	Samson Buoy	1 Pengambang dari mooring hawser	A gagal mengambang mooring hawser	1 kondisi samson buoy rusak	lapisan pelindung samson buoy terkelupas	Visual : mooring hawser tidak mengambang secara sempurna	proses awal saat tanker akan mengalami gangguan karena mooring hawser tenggelam	

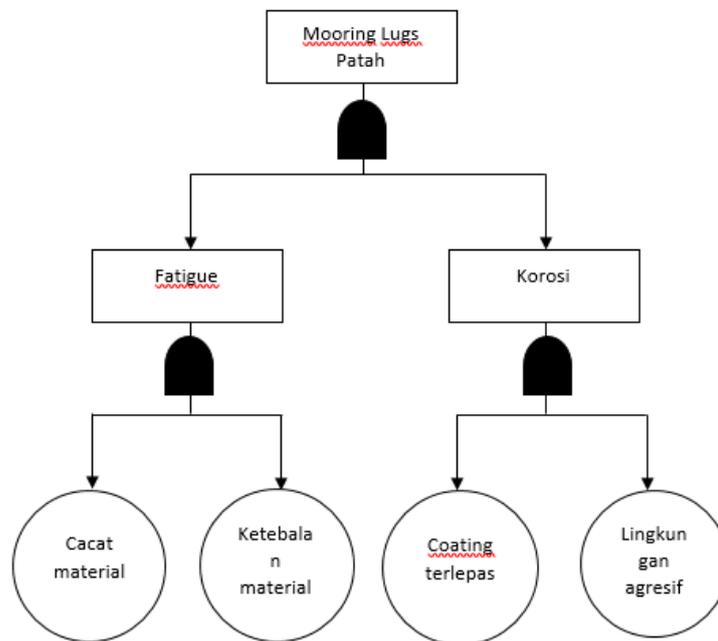
### 4.3. Analisis Risiko

Pada tahap ini akan dilakukan pengolahan data terkait dengan risiko yang akan dianalisis. Risiko yang menjadi analisis akan dilakukan perhitungan lebih lanjut untuk mengetahui peluang risiko tersebut. Dalam analisis risiko pada pengerjaan Tugas Akhir ini, *Failure mode* yang telah didapatkan dari identifikasi bahaya sebelumnya menggunakan metode FMEA dijadikan sebagai *Top Event*. Untuk nantinya dicari probabilitas tiap failure mode yang menjadi representasi dari kegagalan tiap komponen di *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.

Adapun sebelum menghitung probabilitasnya, maka ditentukan terlebih dahulu, *fault tree* dari tiap *failure mode* yang sudah didapatkan kemudian akan dihitung frekuensi kejadian kerusakan *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban. Di bawah ini adalah pengerjaannya.

#### 4.3.1. *Mooring Lugs*

Komponen pertama yang akan dianalisis adalah *mooring lugs*. *Mooring lugs* memiliki fungsi untuk menopang dari *mooring platform*. Berdasarkan *review* dari identifikasi bahaya yang sudah didapatkan, *failure mode* pada *mooring lugs* ini adalah strukturnya yang patah. Yang bisa mengakibatkan hancurnya struktur *mooring platform*. Berikut adalah *fault tree* dari komponen *mooring lugs* ini.



Gambar 4.13. *Fault tree* dari komponen *mooring lugs*

Berdasarkan *fault tree* di atas dan data yang didapat, maka akan dilakukan analisis frekuensi untuk mendapatkan probabilitas dari setiap *basic event*. Perhitungan menggunakan rumus

- *Failure rate* yang terjadi pada *mooring lugs* untuk cacat material

$$\mu = \frac{n}{\tau} \Rightarrow \frac{2}{5} = 0,4$$

- *Reliability* yang terjadi pada *mooring lugs* untuk cacat material

$$R(t) = e^{-\mu t} \Rightarrow e^{-0,4} = 0,67$$

- *Probability* yang terjadi pada *mooring lugs* untuk cacat material

$$P(t) = 1 - R(t) \Rightarrow 1 - 0,67 = 0,33$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama, juga dilakukan analisis frekuensi terhadap *basic event* yang lainnya. Hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.5. Hasil perhitungan analisis frekuensi dari *mooring lugs*

No.	Komponen	Basic Event	Frekuensi	Failure Rate	Reliability	Probability
				(per year)		
1	Mooring Lugs	cacat material	2	0,4	0,670	0,330
		ketebalan material	2	0,4	0,670	0,330
		coating terlepas	3	0,6	0,549	0,451
		lingkungan agresif	3	0,6	0,549	0,451



Gambar 4.14. *Mooring lugs*  
(Dokumentasi Pribadi)

Dengan menggunakan persamaan (2.2) dan (2.3), dicari probabilitas *top event*. Berikut ini adalah penyelesaiannya.

- a. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event fatigue*

Karena di *fatigue* memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

$$PF = 0,33 \times 0,33$$

$$PF = 0,109$$

- b. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event* korosi

Karena di korosi memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

$$PF = 0,451 \times 0,451$$

$$PF = 0,204$$

- c. Mencari nilai probabilitas dari *top event*, yaitu *mooring lugs* patah

Karena di *top event* memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

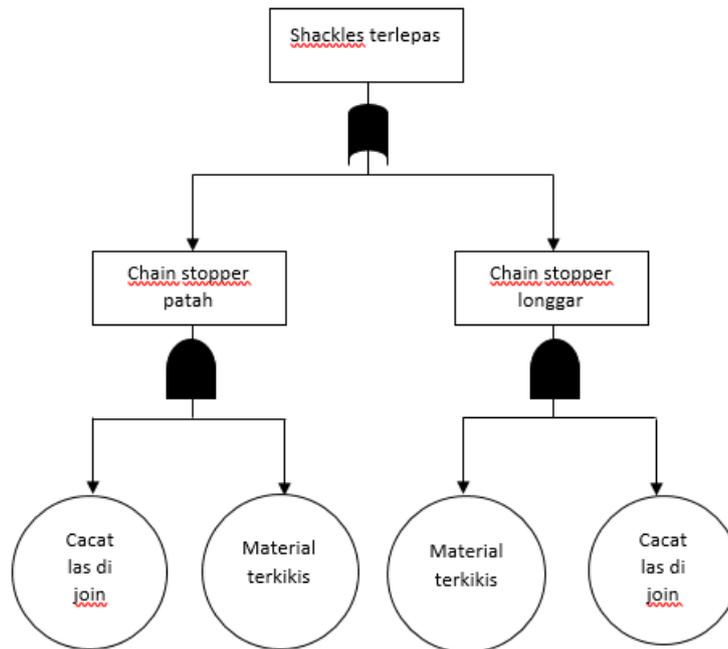
$$PF = 0,109 \times 0,204$$

$$PF = 0,022$$

Hasil yang didapat adalah, probabilitas terjadinya *mooring lugs* patah sebesar 0,022.

#### 4.3.2. *End Joining Shackles*

Komponen kedua yang akan dianalisis adalah *end joining shackles*. *End joining shackles* memiliki sebagai pengunci dari setiap *chain* yang tersambung di *triangular plate*. Berdasarkan *review* dari identifikasi bahaya yang sudah didapatkan, *failure mode* pada *end joining shackles* ini adalah *shackles* yang terlepas. Yang bisa mengakibatkan lepasnya *mooring hawser*. Berikut adalah *fault tree* dari komponen *end joining shackles* ini.



Gambar 4.15. *Fault tree* dari komponen *End Joining Shackles*

Berdasarkan *fault tree* di atas dan data yang didapat, maka akan dilakukan analisis frekuensi untuk mendapatkan probabilitas dari setiap *basic event*. Perhitungan menggunakan rumus

- *Failure rate* yang terjadi pada *end joining shackles* untuk cacat las di *join*

$$\mu = \frac{n}{\tau} \Rightarrow \frac{1}{5} = 0,2$$

- *Reliability* yang terjadi pada *end joining shackles* untuk cacat las di *join*

$$R(t) = e^{-\mu t} \Rightarrow e^{-0,2} = 0,819$$

- *Probability* yang terjadi pada *end joining shackles* untuk cacat las di *join*

$$P(t) = 1 - R(t) \Rightarrow 1 - 0,819 = 0,181$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama, juga dilakukan analisis frekuensi terhadap *basic event* yang lainnya. Hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.6. Hasil analisis frekuensi dari komponen *end joining shackles*

No.	Komponen	Basic Event	Frekuensi	Failure Rate	Reliability	Probability
				(per year)		
2	End Joining Shackles	cacat las di join	1	0,2	0,819	0,181
		material terkikis	1	0,2	0,819	0,181
		cacat las di join	3	0,6	0,549	0,451
		material terkikis	3	0,6	0,549	0,451



Gambar 4.16. End Joining Shackles (Dokumentasi Pribadi)

Dengan menggunakan persamaan (2.2) dan (2.3) , dicari probabilitas *top event*. Berikut ini adalah penyelesaiannya.

- a. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event chain stopper* patah

Karena di *chain stopper* patah memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

$$PF = 0,181 \times 0,181$$

$$PF = 0,033$$

- b. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event chain stopper* longgar

Karena di *chain stopper* longgar memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

$$PF = 0,451 \times 0,451$$

$$PF = 0,204$$

- c. Mencari nilai probabilitas dari *top event*, yaitu *mooring lugs* patah

Karena di *top event* memiliki *gate or*, maka

$$PF = 1 - [(1 - P_1)(1 - P_2)]$$

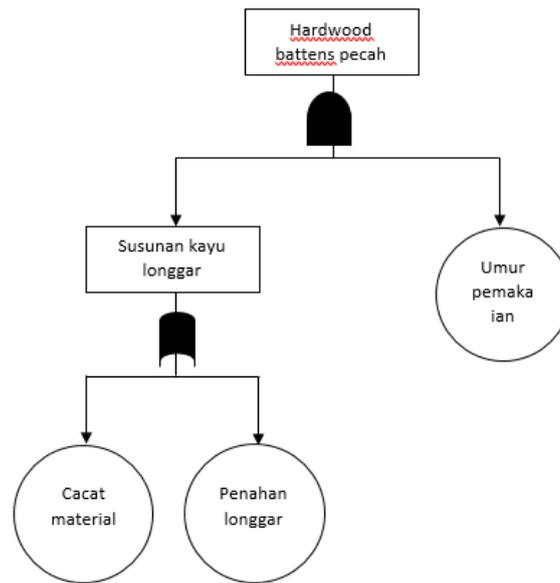
$$PF = 1 - [(1 - 0,033) \times (1 - 0,204)]$$

$$PF = 0,230$$

Hasil yang didapat adalah, probabilitas terjadinya *shackles* terlepas sebesar 0,230.

#### 4.3.3. *Hardwood Battens*

Komponen ketiga yang akan dianalisis adalah *hardwood battens*. *Hardwood battens* memiliki fungsi untuk pondasi dari *triangular plate*. Berdasarkan *review* dari identifikasi bahaya yang sudah didapatkan, *failure mode* pada *hardwood battens* ini adalah strukturnya yang pecah. Yang bisa mengakibatkan lepasnya *triangular plate* yang menjadi tempat menempelnya *mooring hawser*. Berikut adalah *fault tree* dari komponen *end joining shackles*.



Gambar 4.17. *Fault tree* dari komponen *Hardwood battens*

Berdasarkan *fault tree* di atas dan data yang didapat, maka akan dilakukan analisis frekuensi untuk mendapatkan probabilitas dari setiap *basic event*. Perhitungan menggunakan rumus

- *Failure rate* yang terjadi pada *hardwood battens* untuk cacat material

$$\mu = \frac{1}{5} = 0,2 \quad \frac{n}{\tau} \Rightarrow$$

- *Reliability* yang terjadi pada *end joining shackles* untuk cacat las di *join*

$$R(t) = e^{-\mu t} \Rightarrow e^{-0,2} = 0,819$$

- *Probability* yang terjadi pada *end joining shackles* untuk cacat las di *join*

$$P(t) = 1 - R(t) \Rightarrow 1 - 0,819 = 0,181$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama, juga dilakukan analisis frekuensi terhadap *basic event* yang lainnya.

Hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.7. Hasil analisis frekuensi dari komponen *hardwood battens*

No.	Komponen	Basic Event	Frekuensi	Failure Rate	Reliability	Probability
				(per year)		
3	Hardwood Battens	cacat material	1	0,2	0,819	0,181
		penahan longgar	2	0,4	0,670	0,330
		umur pemakaian	1	0,2	0,819	0,181



Gambar 4.18. *Hardwood battens*  
(Dokumentasi Pribadi)

Dengan menggunakan persamaan (2.2) dan (2.3) , dicari probabilitas *top event*. Berikut ini adalah penyelesaiannya.

- a. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event* susunan kayu longgar

Karena di susunan kayu longgar memiliki *gate or*, maka

$$PF = 1 - [(1 - P_1)(1 - P_2)]$$

$$PF = 1 - [(1 - 0,181) \times (1 - 0,330)]$$

$$PF = 0,033$$

- b. Mencari nilai probabilitas dari *top event*, yaitu *hardwood battens* pecah

Karena di *top event* memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

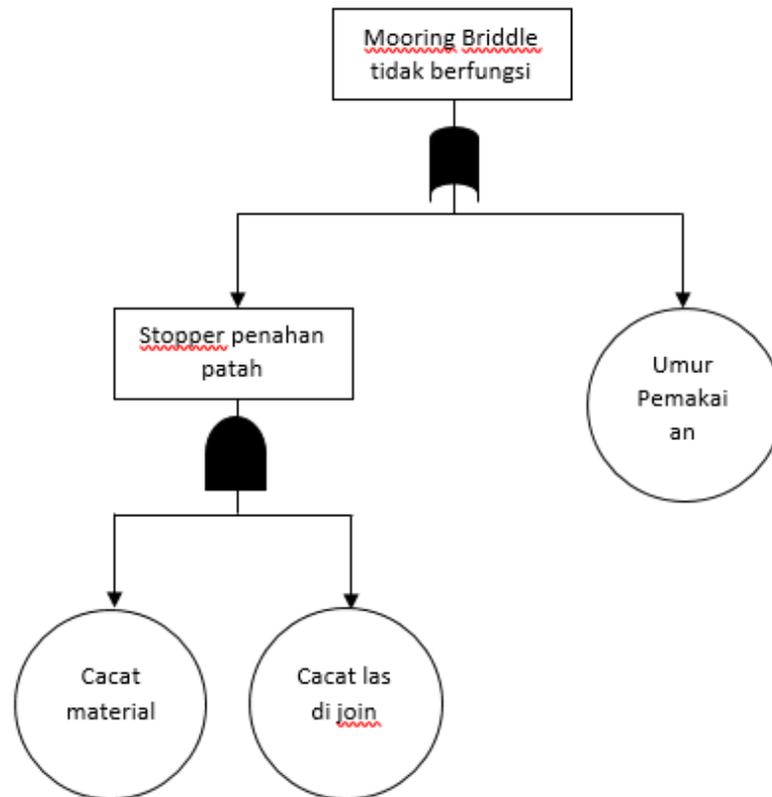
$$PF = 0,33 \times 0,181$$

$$PF = 0,060$$

Hasil yang didapat adalah, probabilitas terjadinya *hardwood battens* pecah sebesar 0,060.

#### **4.3.4. Mooring Briddle**

Komponen keempat yang akan dianalisis adalah *mooring bridle*. *Mooring bridle* memiliki fungsi sebagai penahan dari bertemunya *end joining shackles*, *mooring hawser shackles* dan *triangular plate*. Berdasarkan *review* dari identifikasi bahaya yang sudah didapatkan, *failure mode* pada *mooring bridle* ini adalah tidak berfungsinya *mooring bridle* untuk menahan *mooring hawser*. Yang bisa mengakibatkan terganggunya proses *mooring* atau tambatnya *tanker* ke SPM. Di bawah ini adalah *fault tree* dari komponen *mooring bridle*.



Gambar 4.19. *Fault tree* dari komponen *mooring bridle*

Berdasarkan *fault tree* di atas dan data yang didapat, maka akan dilakukan analisis frekuensi untuk mendapatkan probabilitas dari setiap *basic event*. Perhitungan menggunakan rumus

- *Failure rate* yang terjadi pada *mooring bridle* untuk cacat material

$$\mu = \frac{n}{\tau} \Rightarrow \frac{2}{5} = 0,4$$

- *Reliability* yang terjadi pada *mooring bridle* untuk cacat material

$$R(t) = e^{-\mu t} \Rightarrow e^{-0,4} = 0,670$$

- *Probability* yang terjadi pada *mooring bridle* untuk cacat material

$$P(t) = 1 - R(t) \Rightarrow 1 - 0,330 = 0,670$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama, juga dilakukan analisis frekuensi terhadap *basic event* yang lainnya. Hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.8. Hasil analisis frekuensi dari komponen *mooring bridle*

No.	Komponen	Basic Event	Frekuensi	Failure Rate	Reliability	Probability
				(per year)		
4	Mooring Briddle	cacat material	2	0,4	0,670	0,330
		cacat las di join	2	0,4	0,670	0,330
		umur pemakaian	1	0,2	0,819	0,181



Gambar 4.20. *Mooring bridle* (Dokumentasi Probad)

Dengan menggunakan persamaan (2.2) dan (2.3) , dicari probabilitas *top event*. Berikut ini adalah penyelesaiannya.

- a. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event stopper* penahan patah

Karena di *stopper* penahan patah memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

$$PF = 0,330 \times 0,330$$

$$PF = 0,109$$

- b. Mencari nilai probabilitas dari *top event*, yaitu *mooring bridle* tidak berfungsi

Karena di *top event* memiliki *gate or*, maka

$$PF = 1 - [(1 - P_1)(1 - P_2)]$$

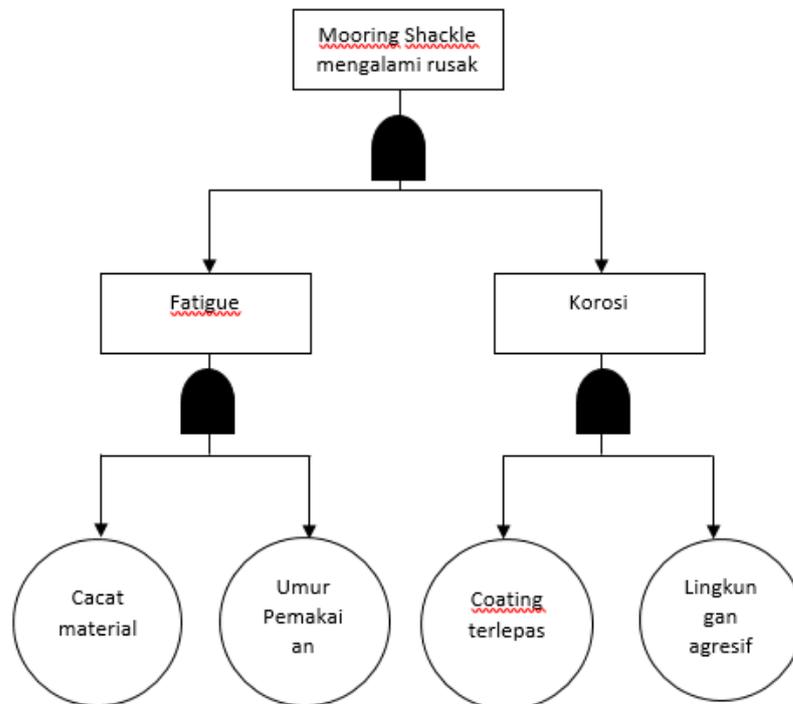
$$PF = 1 - [(1 - 0,109)(1 - 0,181)]$$

$$PF = 0,270$$

Hasil yang didapat adalah, probabilitas terjadinya *mooring bridle* tidak berfungsi sebesar 0,270.

#### 4.3.5. *Mooring Hawser Shackles*

Komponen kelima yang akan dianalisis adalah *mooring hawser shackles*. *Mooring hawser shackles* memiliki fungsi sebagai pengunci dari ujung *mooring hawser* yang tersambung di *triangular plate*. Berdasarkan *review* dari identifikasi bahaya yang sudah didapatkan, *failure mode* pada *mooring hawser shackles* ini adalah *mooring hawser* mengalami kerusakan. Yang bisa mengakibatkan terganggunya proses *mooring* atau tambatnya *tanker* ke SPM. Di bawah ini adalah *fault tree* dari komponen *mooring hawser shackles*.



Gambar 4.21. *Fault tree* dari komponen *mooring hawser shackles*

Berdasarkan *fault tree* di atas dan data yang didapat, maka akan dilakukan analisis frekuensi untuk mendapatkan probabilitas dari setiap *basic event*. Perhitungan menggunakan rumus

- *Failure rate* yang terjadi pada *mooring hawser shackles* untuk cacat material

$$\mu = \frac{n}{\tau} \Rightarrow \frac{2}{5} = 0,4$$

- *Reliability* yang terjadi pada *mooring hawser shackles* untuk cacat material

$$R(t) = e^{-\mu t} \Rightarrow e^{-0,4} = 0,670$$

- *Probability* yang terjadi pada *mooring hawser shackles* untuk cacat material

$$P(t) = 1 - R(t) \Rightarrow 1 - 0,670 = 0,330$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama, juga dilakukan analisis frekuensi terhadap *basic event* yang lainnya. Hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.9. Hasil analisis frekuensi dari komponen *mooring hawser shackles*

No.	Komponen	Basic Event	Frekuensi	Failure Rate	Reliability	Probability
				(per year)		
5	Mooring Hawser Shackles	cacat material	2	0,4	0,670	0,330
		ketebalan material	2	0,4	0,670	0,330
		coating terlepas	2	0,4	0,670	0,330
		lingkungan agresif	2	0,4	0,670	0,330



Gambar 4.22. *Mooring Hawser Shackles*  
(Dokumentasi Pribadi)

Dengan menggunakan persamaan (2.2) dan (2.3) , dicari probabilitas *top event*. Berikut ini adalah penyelesaiannya.

- a. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event fatigue*

Karena di *fatigue* memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

$$PF = 0,33 \times 0,33$$

$$PF = 0,109$$

- b. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event korosi*

Karena di korosi memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

$$PF = 0,33 \times 0,33$$

$$PF = 0,109$$

- c. Mencari nilai probabilitas dari *top event*, yaitu *mooring hawser shackles* rusak

Karena di *top event* memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

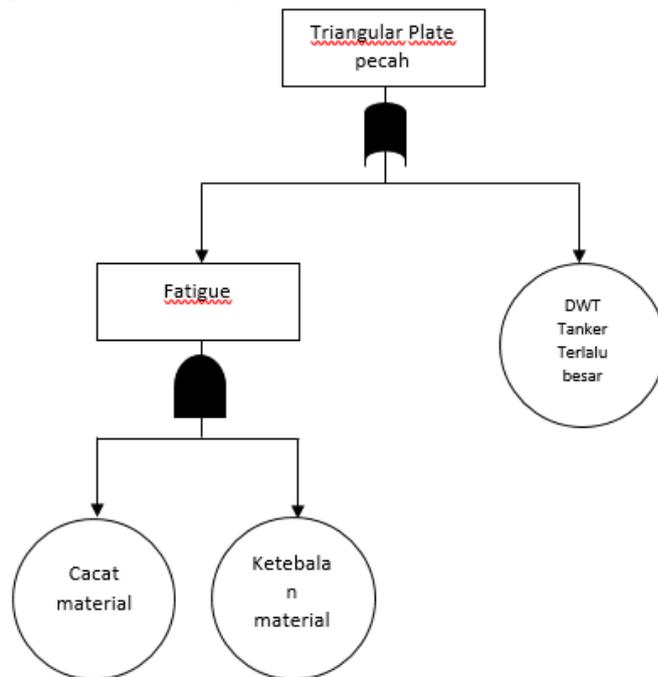
$$PF = 0,33 \times 0,33$$

$$PF = 0,012$$

Hasil yang didapat adalah, probabilitas terjadinya *mooring hawser shackles* rusak sebesar 0,012.

#### 4.3.6. *Triangular Plate*

Komponen keenam yang akan dianalisis adalah *triangular plate*. *Triangular plate* memiliki fungsi sebagai komponen utama tersambunganya *mooring hawser* ke *mooring platform*. Berdasarkan *review* dari identifikasi bahaya yang sudah didapatkan, *failure mode* pada *triangular plate* ini adalah *triangular plate* mengalami pecah. Yang bisa mengakibatkan terlepasnya *mooring hawser* dan mengarah ke lepasnya *tanker* yang sedang tambat di SPM. Di bawah ini adalah *fault tree* dari komponen *triangular plate*.



Gambar 4.23. *Fault tree* dari komponen *triangular plate*

Berdasarkan *fault tree* di atas dan data yang didapat, maka akan dilakukan analisis frekuensi untuk mendapatkan probabilitas dari setiap *basic event*. Perhitungan menggunakan rumus

- *Failure rate* yang terjadi pada *triangular plate* untuk cacat material

$$\mu = \frac{n}{\tau} \Rightarrow \frac{2}{5} = 0,4$$

- *Reliability* yang terjadi pada *triangular plate* untuk cacat material

$$R(t) = e^{-\mu t} \Rightarrow e^{-0,4} = 0,670$$

- *Probability* yang terjadi pada *triangular plate* untuk cacat material

$$P(t) = 1 - R(t) \Rightarrow 1 - 0,819 = 0,330$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama, juga dilakukan analisis frekuensi terhadap *basic event* yang lainnya. Hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.10. Hasil analisis frekuensi dari komponen *triangular plate*

No.	Komponen	Basic Event	Frekuensi	Failure Rate	Reliability	Probability
				(per year)		
6	Triangular Plate	cacat material	2	0,4	0,670	0,330
		ketebalan material	2	0,4	0,670	0,330
		DWT Tanker terlalu besar	1	0,2	0,819	0,181



Gambar 4.24. *Triangular Plate*  
(Dokumentasi Pribadi)

Dengan menggunakan persamaan (2.2) dan (2.3) , dicari probabilitas *top event*. Berikut ini adalah penyelesaiannya.

- a. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event fatigue*

Karena di *fatigue* memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

$$PF = 0,33 \times 0,33$$

$$PF = 0,109$$

- b. Mencari nilai probabilitas dari *top event*, yaitu *triangular plate* pecah

Karena di *top event* memiliki *gate or*, maka

$$PF = 1 - [(1 - P_1)(1 - P_2)]$$

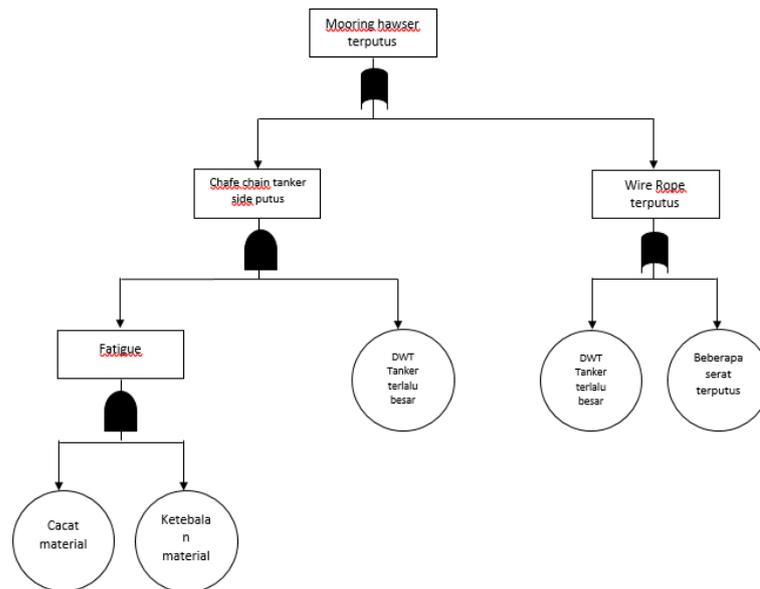
$$PF = 1 - [(1 - 0,109)(1 - 0,181)]$$

$$PF = 0,270$$

Hasil yang didapat adalah, probabilitas terjadinya *triangular plate* pecah sebesar 0,270.

#### 4.3.7. *Mooring Hawser*

Komponen ketujuh yang akan dianalisis adalah *mooring hawser*. *Mooring hawser* memiliki fungsi sebagai komponen utama tersambunganya *tanker* ke SPM agar tidak bergerak sehingga dapat melakukan *loading – unloading* dengan aman. Berdasarkan *review* dari identifikasi bahaya yang sudah didapatkan, *failure mode* pada *mooring hawser* ini adalah *mooring hawser* mengalami putus. Yang bisa mengakibatkan gangguan pada proses *loading – unloading* dan mengarah kepada kecelakaan kerja dimana saat *tanker* melakukan *loading – unloading* kemudian *mooring hawser* terputus. Di bawah ini adalah *fault tree* dari komponen *mooring hawser*.



Gambar 4.25. *Fault tree* dari komponen *Mooring Hawser*

Berdasarkan *fault tree* di atas dan data yang didapat, maka akan dilakukan analisis frekuensi untuk mendapatkan probabilitas dari setiap *basic event*. Perhitungan menggunakan rumus

- *Failure rate* yang terjadi pada *mooring hawser* untuk cacat material

$$\mu = \frac{n}{\tau} \Rightarrow \frac{1}{5} = 0,2$$

- *Reliability* yang terjadi pada *mooring hawser* untuk cacat material

$$R(t) = e^{-\mu t} \Rightarrow e^{-0,2} = 0,819$$

- *Probability* yang terjadi pada *mooring hawser* untuk cacat material

$$P(t) = 1 - R(t) \Rightarrow 1 - 0,819 = 0,181$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama, juga dilakukan analisis frekuensi terhadap *basic event* yang lainnya. Hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.11. Hasil analisis frekuensi dari komponen *mooring hawser*

No.	Komponen	Basic Event	Frekuensi	Failure Rate	Reliability	Probability
				(per year)		
7	Mooring Hawser	cacat material	1	0,2	0,819	0,181
		ketebalan material	1	0,2	0,819	0,181
		DWT Tanker terlalu besar	1	0,2	0,819	0,181
		beberapa serat terputus	1	0,2	0,819	0,181
		DWT Tanker terlalu besar	3	0,6	0,549	0,451



Gambar 4.26. *Mooring Hawser* dan spesifikasi *wire rope* (Dokumentasi Pribadi)

Dengan menggunakan persamaan (2.2) dan (2.3) , dicari probabilitas *top event*. Berikut ini adalah penyelesaiannya.

- a. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event fatigue*

Karena di *fatigue* memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

$$PF = 0,181 \times 0,181$$

$$PF = 0,033$$

- b. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event chafe chain tanker side terputus*

Karena di *chain tanker side* terputus memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

$$PF = 0,033 \times 0,181$$

$$PF = 0,006$$

- c. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event wire rope* terputus

Karena di *wire rope* terputus memiliki *gate or*, maka

$$PF = 1 - [(1 - P_1)(1 - P_2)]$$

$$PF = 1 - [(1 - 0,181)(1 - 0,451)]$$

$$PF = 0,551$$

- d. Mencari nilai probabilitas dari *top event*, yaitu *mooring hawser* putus

Karena di *top event* memiliki *gate or*, maka

$$PF = 1 - [(1 - P_1)(1 - P_2)]$$

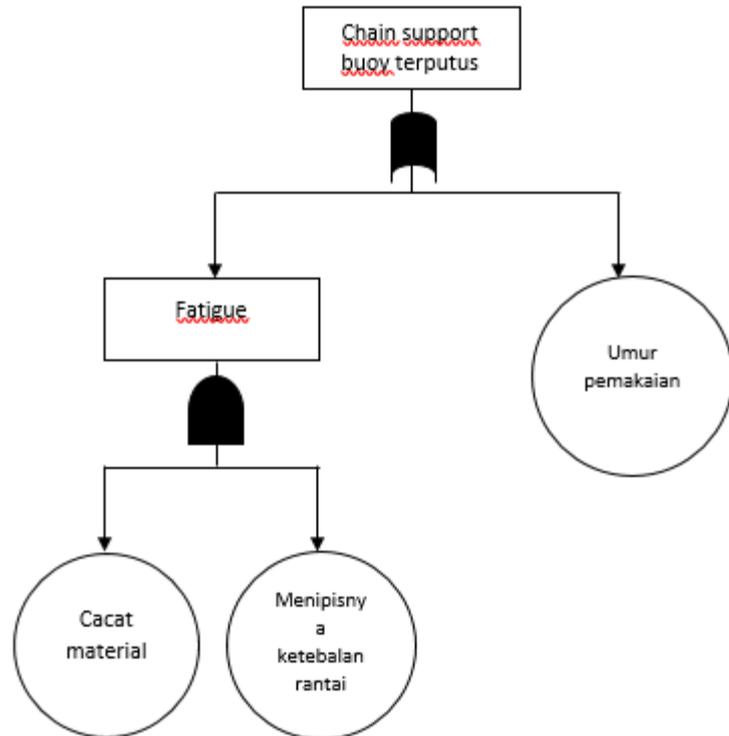
$$PF = 1 - [(1 - 0,006)(1 - 0,551)]$$

$$PF = 0,553$$

Hasil yang didapat adalah, probabilitas terjadinya *mooring hawser* putus sebesar 0,553.

#### 4.3.8. *Chain Support Buoy*

Komponen kedelapan yang akan dianalisis adalah *chain support buoy*. *Chain support buoy* memiliki fungsi sebagai penghubung antara *mooring hawser* dengan *samson buoy*. Berdasarkan *review* dari identifikasi bahaya yang sudah didapatkan, *failure mode* pada *chain support buoy* ini adalah *chain support buoy* mengalami putus. Yang bisa mengakibatkan lamanya proses *mooring* pada *tanker* ke SPM karena *mooring hawser* tenggelam. Di bawah ini adalah *fault tree* dari komponen *chain support buoy*.



Gambar 4.27. *Fault tree* dari komponen *Chain support buoy*

Berdasarkan *fault tree* di atas dan data yang didapat, maka akan dilakukan analisis frekuensi untuk mendapatkan probabilitas dari setiap *basic event*. Perhitungan menggunakan rumus

- *Failure rate* yang terjadi pada *chain support buoy* untuk cacat material

$$\mu = \frac{2}{5} = 0,4 \quad \frac{n}{\tau} \Rightarrow$$

- *Reliability* yang terjadi pada *chain support buoy* untuk cacat material

$$R(t) = e^{-\mu t} \Rightarrow e^{-0,4} = 0,670$$

- *Probability* yang terjadi pada *chain support buoy* untuk cacat material

$$P(t) = 1 - R(t) \Rightarrow 1 - 0,670 = 0,330$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama, juga dilakukan analisis frekuensi terhadap *basic event* yang lainnya. Hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.12. Hasil analisis frekuensi dari komponen *chain support buoy*

No.	Komponen	Basic Event	Frekuensi	Failure Rate	Reliability	Probability
				(per year)		
8	Chain Support Buoy	Cacat material	2	0,4	0,670	0,330
		ketebalan material	2	0,4	0,670	0,330
		umur pemakaian	1	0,2	0,819	0,181



Gambar 4.28. Chain Support Buoy (Dokumentasi Pribadi)

Dengan menggunakan persamaan (2.2) dan (2.3) , dicari probabilitas *top event*. Berikut ini adalah penyelesaiannya.

- a. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event fatigue*

Karena di *fatigue* memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

$$PF = 0,330 \times 0,330$$

$$PF = 0,109$$

- b. Mencari nilai probabilitas dari *top event*, yaitu *chain support buoy* putus

Karena di *top event* memiliki *gate or*, maka

$$PF = 1 - [(1 - P_1)(1 - P_2)]$$

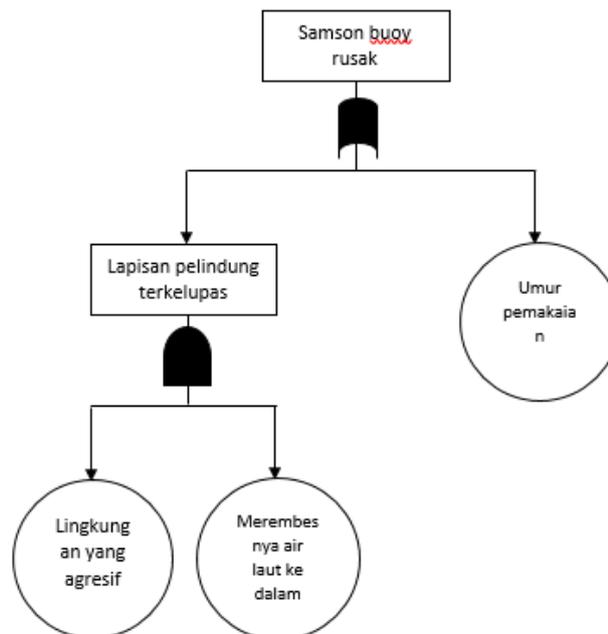
$$PF = 1 - [(1 - 0,109)(1 - 0,181)]$$

$$PF = 0,270$$

Hasil yang didapat adalah, probabilitas terjadinya *chain support buoy* putus sebesar 0,270.

#### 4.3.9. Samson Buoy

Komponen terakhir yang akan dianalisis adalah *samson buoy*. *Samson buoy* memiliki fungsi sebagai pengambang dari *mooring hawser*. Berdasarkan *review* dari identifikasi bahaya yang sudah didapatkan, *failure mode* pada *samson buoy* ini adalah *samson buoy* mengalami putus. Yang bisa mengakibatkan proses awal saat *tanker* akan mengalami gangguan karena *mooring hawser* tenggelam. Di bawah ini adalah *fault tree* dari komponen *samson buoy*.



Gambar 4.29. *Fault tree* dari komponen *samson buoy*

Berdasarkan *fault tree* di atas dan data yang didapat, maka akan dilakukan analisis frekuensi untuk mendapatkan probabilitas dari setiap *basic event*. Perhitungan menggunakan rumus

- *Failure rate* yang terjadi pada *samson buoy* untuk lingkungan yang agresif

$$\mu = \frac{n}{\tau} \Rightarrow \frac{2}{5} = 0,4$$

- *Reliability* yang terjadi pada *samson buoy* untuk lingkungan yang agresif

$$R(t) = e^{-\mu t} \Rightarrow e^{-0,4} = 0,670$$

- *Probability* yang terjadi pada *samson buoy* untuk lingkungan yang agresif

$$P(t) = 1 - R(t) \Rightarrow 1 - 0,670 = 0,330$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama, juga dilakukan analisis frekuensi terhadap *basic event* yang lainnya. Hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.13. Hasil analisis frekuensi dari komponen *chain support buoy*

No.	Komponen	Basic Event	Frekuensi	Failure Rate	Reliability	Probability
				(per year)		
9	Samson Buoy	lingkungan agresif	2	0,4	0,670	0,330
		merembesnya air laut ke dalam	2	0,4	0,670	0,330
		umur pemakaian	1	0,2	0,819	0,181



Gambar 4.30. *Samson Buoy*  
(Dokumentasi Pribadi)

Dengan menggunakan persamaan (2.2) dan (2.3) , dicari probabilitas *top event*. Berikut ini adalah penyelesaiannya.

- a. Mencari nilai probabilitas dari *intermediate event* lapisan pelindung terkelupas

Karena di lapisan pelindung terkelupas memiliki *gate and*, maka

$$PF = P_1 \times P_2$$

$$PF = 0,330 \times 0,330$$

$$PF = 0,109$$

- b. Mencari nilai probabilitas dari *top event*, yaitu *samson buoy* putus

Karena di *top event* memiliki *gate or*, maka

$$PF = 1 - [(1 - P_1)(1 - P_2)]$$

$$PF = 1 - [(1 - 0,109)(1 - 0,181)]$$

$$PF = 0,270$$

Hasil yang didapat adalah, probabilitas terjadinya *samson buoy* putus sebesar 0,270.

Dari hasil analisis frekuensi yang telah dilakukan pada setiap komponen yang memiliki masing – masing *failure mode*, didapatkanlah probabilitasnya. Berikut adalah hasilnya.

Tabel 4.14. Hasil probabilitas dari setiap *failure mode* atau *top event* dari setiap komponen di *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban

No.	Komponen	<i>Failure Mode</i>	Probabilitas Terjadinya Kegagalan
1	<i>Mooring Lugs</i>	<i>Mooring lugs</i> patah	0,22
2	<i>End Joining Shackles</i>	<i>Shackles</i> terlepas	0,23
3	<i>Hardwood Battens</i>	<i>Hardwood battens</i> pecah	0,06
4	<i>Mooring Briddle</i>	<i>Mooring bridle</i> tidak berfungsi	0,27
5	<i>Mooring Hawser Shackles</i>	<i>Mooring shackles</i> mengalami rusak	0,012
6	<i>Triangular Plate</i>	<i>Triaangular plate</i> pecah	0,27
7	<i>Mooring Hawser</i>	<i>Mooring hawser</i> terputus	0,553
8	<i>Chain Support Buoy</i>	<i>Chain support buoy</i> terputus	0,27
9	<i>Samson Buoy</i>	<i>Samson buoy</i> rusak	0,27

Langkah selanjutnya adalah dengan melakukan perhitungan risikonya. Risiko yang dipilih adalah *lost of invesment*. Sesuai dengan rumus (2.1), maka dilalukan perhitungan risiko pada masing – masing *failure mode*-nya di setiap komponen dengan.

1. *Mooring lugs* patah.

$$Risk = Pof \times Cof$$

$$Risk = 0,22 \times Rp. 376.749.200,00$$

$$Risk = Rp. 82.884.824,00$$

2. *Shackles* terlepas.

$$Risk = Pof \times Cof$$

$$Risk = 0,23 \times Rp. 236.173.900,00$$

$$Risk = Rp. 54.319.997,00$$

3. *Hardwood battens* pecah.

$$Risk = Pof \times Cof$$

$$Risk = 0,06 \times Rp. 385.119.800,00$$

$$Risk = Rp. 23.107.188,00$$

4. *Mooring bridle* tidak berfungsi.

$$\text{Risk} = \text{Pof} \times \text{Cof}$$

$$\text{Risk} = 0,27 \times \text{Rp. } 374.315.200,00$$

$$\text{Risk} = \text{Rp. } 101.065.104,00$$

5. *Mooring hawser shackles* mengalami rusak.

$$\text{Risk} = \text{Pof} \times \text{Cof}$$

$$\text{Risk} = 0,012 \times \text{Rp. } 258.392.100,00$$

$$\text{Risk} = \text{Rp. } 31.007.052,00$$

6. *Triangular plate* pecah.

$$\text{Risk} = \text{Pof} \times \text{Cof}$$

$$\text{Risk} = 0,27 \times \text{Rp. } 382.172.300,00$$

$$\text{Risk} = \text{Rp. } 103.186.521,00$$

7. *Mooring hawser* terputus.

$$\text{Risk} = \text{Pof} \times \text{Cof}$$

$$\text{Risk} = 0,553 \times \text{Rp. } 735.117.900,00$$

$$\text{Risk} = \text{Rp. } 406.520.199,00$$

8. *Chain support buoy* terputus.

$$\text{Risk} = \text{Pof} \times \text{Cof}$$

$$\text{Risk} = 0,27 \times \text{Rp. } 203.111.400,00$$

$$\text{Risk} = \text{Rp. } 54.840.078,00$$

9. *Samson buoy* rusak.

$$\text{Risk} = \text{Pof} \times \text{Cof}$$

$$\text{Risk} = 0,27 \times \text{Rp. } 225.915.400,00$$

$$\text{Risk} = \text{Rp. } 60.997.158,00$$

Hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka didapatkan *ranking* risiko. Risiko kritis adalah *mooring hawser* terputus yaitu sebesar Rp. 406.520.199,00. Berikut tabel *ranking* risiko.

Tabel 4.16. *Ranking* Risiko

No.	<i>Failure Mode</i>	Risiko	<i>Ranking</i>
1	<i>Mooring lugs</i> patah	Rp. 82.884.824,00	4
2	<i>Shackles</i> terlepas	Rp. 54.319.997,00	7
3	<i>Hardwood battens</i> pecah	Rp. 23.107.188,00	9
4	<i>Mooring bridle</i> tidak berfungsi	Rp. 101.065.104,00	3
5	<i>Mooring shackles</i> mengalami rusak	Rp. 31.007.052,00	8
6	<i>Triaangular plate</i> pecah	Rp. 103.186.521,00	2
7	<i>Mooring hawser</i> terputus	Rp. 406.520.199,00	1
8	<i>Chain support buoy</i> terputus	Rp. 54.840.078,00	6
9	<i>Samson buoy</i> rusak	Rp. 60.997.158,00	5

#### 4.4. Penentuan Langkah Mitigasi pada Risiko Kritis

*Mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban merupakan komponen yang sangat penting dalam keberlangsungan proses *mooring – unmooring* dan *loading – unloading tanker* ke SPM 035 Pertamina TBBM Tuban. Oleh karena itu, pastilah banyak bahaya – bahaya yang dapat mengganggu operasi dari *mooring system* ini. Perawatan dan perbaikan mutlak diperlukan mengingat pentingnya fungsi dari *mooring system* ini. Langkah mitigasi apabila terjadi kegagalan pada operasi juga harus tepat. Berikut ini adalah penentuan langkah mitigasi yang sesuai pada risiko kritis.

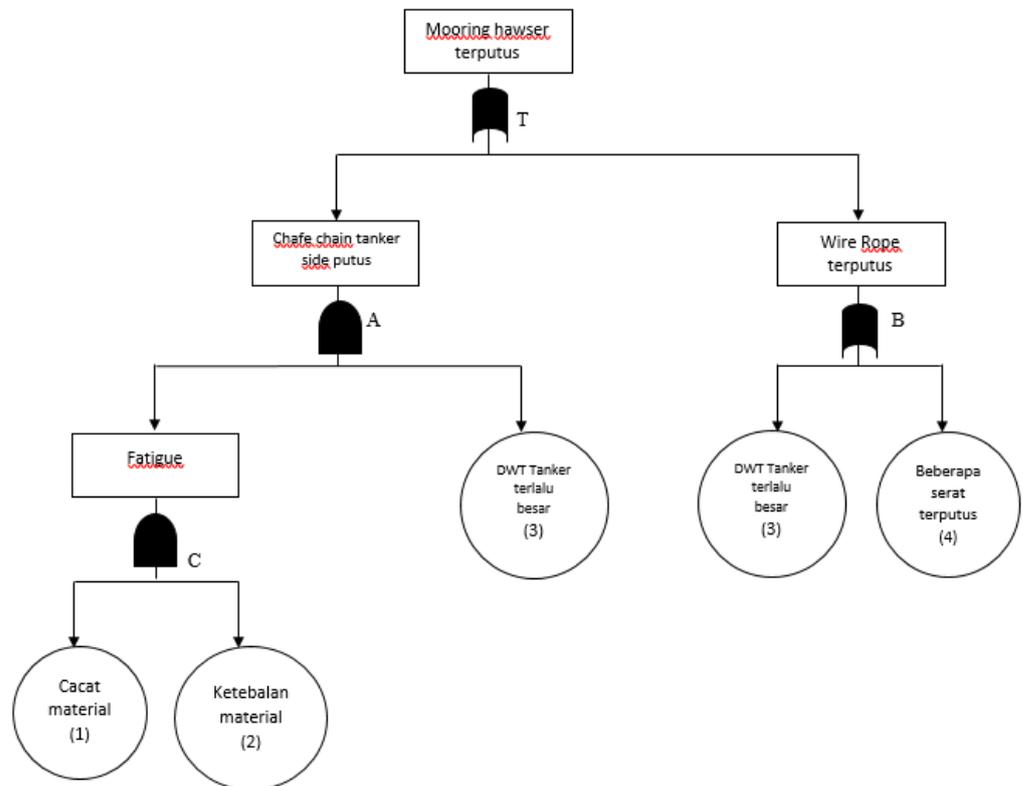
##### 4.4.1. Penentuan *Minimal Cut Set* pada Risiko Kritis

Pada sub bab sebelumnya telah dijelaskan dan dilakukan analisis mengenai probabilitas dari masing – masing *failure mode* dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Sehingga didapatkanlah *failure mode* atau *top event* yang paling tinggi. Berikut ini adalah daftar *top event* atau *failure mode* dari tiap komponen di *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban.

Pada tabel 4.16 di atas terlihat bahwa komponen yang memiliki risiko paling tinggi adalah *mooring hawser*. *Mooring*

*hawser* pada *mooring system* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban memiliki probabilitas terjadinya kegagalan atau terjadi putus sebesar 55,3% dan risiko sebesar Rp. 406.520.199,00. Untuk itu perlu penanganan lebih lanjut.

Penentuan *minimal cut set* pada risiko kritis yakni pada komponen *mooring hawser* yang memiliki *failure mode* terputusnya *mooring hawser*. Minimal cut set digunakan untuk identifikasi efek gabungan dari sumber risiko (*basic event*) yang menyebabkan risiko puncak (*top event*).



Gambar 4.31. *Fault tree* dari komponen *mooring hawser*

Berikut ini adalah penjelasan secara detail dari *fault tree* untuk kegagalan berupa *mooring hawser* dari SPM 035 Pertamina TBBM Tuban :

- a. Putusnya *chafe chain tanker side* dapat menyebabkan putusnya *mooring hawser* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban. Bahkan dapat membuat kecelakaan kerja yang fatal apabila hal itu terjadi pada saat *tanker* sedang melakukan *loading – unloading*. *Chafe chain tanker side* terbuat dari baja, dan hal itulah yang membuat terjadi *fatigue* pada *chafe chain tanker side*. Kelelahan atau *fatigue* ini disebabkan adanya kombinasi karena adanya cacat material dan ketebalan material dari *chafe chain tanker side* yang semakin menipis. Kombinasi kejadian DWT *tanker* yang tambat di SPM 035 Pertamina, yang melebihi kapasitas maksimum yaitu 35.000 DWT, dengan *fatigue* atau kelelahan struktur inilah yang membuat *chafe chain tanker side* terputus.
- b. Putusnya beberapa serat dari *wire rope* juga dapat membuat terputusnya *mooring hawser* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban. *Wire rope* merupakan komponen yang diikatkan pada *bollard* di *tanker*. Komponen ini rentan terkena kegagalan. Penyebab dari terputusnya *wire rope* ini karena ada beberapa serat dari *wire rope* terputus, sehingga membuat kekuatan dari *wire rope* tersebut tidak terlalu kuat. Selain itu, hal lain yang membuat *wire rope* terputus karena kapasitas *tanker* yang sedang tambat di SPM 035 Pertamina TBBM Tuban melebihi kapasitas yang dimiliki SPM 035 Pertamina TBBM Tuban tersebut, yaitu 35.000 DWT.

*Fault tree* pada gambar 4.22 dapat diidentifikasi efek gabungan dari sumber risiko (*basic event*) yang menyebabkan

risiko puncak (*top event*). Di bawah ini adalah penentuan *minimal cut set* untuk komponen *mooring hawser* pada SPM 035 Pertamina TBBM Tuban yang memiliki risiko kritis, yaitu sebesar 0,553 atau 55,3 %.

T
A
B

(a)

C	3
3	3
4	4

(b)

1	2	3
3		
4		

(c)

Gambar 4.32. Matriks penyelesaian *Fault Tree* dari komponen *mooring hawser*

Penyelesaian dari matriks *fault tree* dari komponen *mooring hawser* di atas adalah.

*Cut set I* : 1, 2, 3

*Cut set II* : 3

*Cut set II* : 4

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan *cut set* dari *basic event* adalah menghilangkan rangkaian *cut set* yang berulang. Karena pada *cut set* yang didapatkan tidak ada *cut set* yang berulang, maka didapatkanlah *minimal cut set* dari *fault tree* pada komponen *mooring hawser* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban. Maka *minimal cut set* nya sebagai berikut.

*Minimal Cut set I* : 1, 2, 3

*Minimal Cut set II* : 3

*Minimal Cut set II* : 4

Maka *minimal cut set* terjadinya kegagalan berupa terputusnya *mooring hawser* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban

adalah, [1, 2, 3], [3], dan [4]. Angka – angka tersebut dapat diinterpretasikan sebagai berikut. Kegagalan berupa terputusnya *mooring hawser* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban dapat disebabkan karena kombinasi kecacatan material dan meipisnya ketebalan material struktur dari *chafe chain tanker side* serta kapasitas *tanker* yang sedang tambat di SPM 035 Pertamina melebihi kapasitas SPM 035 Pertamina, yaitu 35.000 DWT [1, 2, 3]. Sedangkan kegagalan berupa terputusnya *mooring hawser* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban yang dipicu terputusnya *wire rope*, disebabkan karena kapasitas *tanker* yang sedang tambat di SPM 035 Pertamina melebihi kapasitas SPM 035 Pertamina, yaitu 35.000 DWT [3], atau bisa juga disebabkan karena ada beberapa serat *wire rope* yang terputus [4].

#### **4.4.2. Langkah Mitigasi pada Risiko Kritis**

Pada sub bab sebelumnya, telah didapatkan identifikasi efek gabungan dari sumber risiko (*basic event*) yang menyebabkan risiko puncak (*top event*). Yaitu yang tergambar dalam *minimal cut set* yang telah didapatkan. Interpretasi dari *minimal cut set* tersebut adalah kegagalan berupa terputusnya *mooring hawser* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban dapat disebabkan karena kombinasi kecacatan material dan meipisnya ketebalan material struktur dari *chafe chain tanker side* serta kapasitas *tanker* yang sedang tambat di SPM 035 Pertamina melebihi kapasitas SPM 035 Pertamina, yaitu 35.000 DWT [1, 2, 3]. Sedangkan kegagalan berupa terputusnya *mooring hawser* SPM 035 Pertamina TBBM Tuban yang dipicu terputusnya *wire rope*, disebabkan karena kapasitas *tanker* yang sedang tambat di SPM 035 Pertamina melebihi kapasitas SPM 035 Pertamina, yaitu 35.000 DWT [3], atau bisa juga disebabkan karena ada

beberapa serat *wire rope* yang terputus [4]. Maka dari itu diperlukan langkah mitigasi yang sesuai untuk *mooring hawser* agar tidak terjadi kegagalan kembali.

Sesuai dengan SOLAS (2012), langkah mitigasi yang seharusnya diambil untuk mereduksi penyebab yang digambarkan oleh *minimal cut set* adalah

- a. Dengan menerapkan inspeksi berkala yang lebih diperketat frekuensinya. Juga dengan menerapkan *preventive maintenance* yang sebelumnya menerapkan *corrective maintenance*.
- b. Dalam pengoperasiannya SPM 035 Pertamina TBBM Tuban yang memiliki kapasitas maksimal 35.000 DWT, seharusnya hanya digunakan oleh *tanker* dengan kapasitas maksimal 35.000 DWT juga. Untuk itu perlunya memakai *mooring hawser* yang memiliki kekuatan yang lebih besar. Bisa juga dilakukan dengan menggunakan dua buah *mooring hawser* untuk penambatan satu *tanker*. Hal itu menjadi konsekuensi untuk *redesign Triangular plate* agar lebih kuat menahan *tanker*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*

# LAMPIRAN



LAMPIRAN B

Hasil Rekapitulasi *Record Service and Maintenance* pada *Mooring System* SPM

035 Pertamina TBBM Tuban

**CV. BANDA GUNA SEMESTA**

Jln. Kajongan 413, Jenggolo, Jenu  
 Tuban – Jawa Timur 62352  
 Telp / Fax : (0356) 712311  
 Email : bandagunase mesta@gmail.com

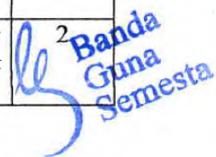


**Hasil Rekapitulasi *Record Service and Maintenance* pada *Mooring System***

**SPM 035 Pertamina TBBM Tuban**

**Tahun 2011-2015**

No.	Komponen	Service and Maintenance	Deskripsi	Jumlah
1	Mooring hawser	Penggantian <i>wire rope</i>	<i>wire rope</i> terputus akibat beban dari <i>Tanker</i> yang terlalu besar kapasitasnya	3
		Penggantian <i>wire rope</i>	<i>wire rope</i> terputus akibat karena beberapa serat terputus	1
		Penggantian <i>chafe chain tanker side</i>	<i>chafe chain tanker side</i> terputus yang membuat Pertamina harus membayar <i>demurage</i>	1
2	End joining shackles	Pengelasan kembali <i>shackles</i>	<i>end join shackles</i> yang terlihat renggang ditakutkan akan membuat terlepas semua <i>join</i> -nya	3
		Penggantian <i>shackles</i>	<i>shackles</i> yang mengalami patah namun tidak membuat semua <i>join</i> terlepas	1
3	Mooring lugs	Pengecatan ulang <i>mooring lugs</i>	pelapisan dari <i>mooring lugs</i> banyak yang terkelupas, ditakutkan terjadi korosi yang berlebihan	3
		Pengecekan berkala di struktur <i>mooring lugs</i>	pengecekan secara berkala pada struktur dalam material menggunakan <i>Ultrasonik Testing</i>	2
4	Hardwood Battens	Penggantian beberapa <i>hardwood battens</i>	kerusakan akibat umur pemakaian yang terlalu lama	1
		Pengencangan kembali penahan kayu	penahan susunan kayu di sampingnya longgar, dan menjadi geser kayunya	2
		Penggantian beberapa <i>hardwood battens</i>	kerusakan susunan kayu seperti kayu berlubang dll akibat dari cacat material kayunya	1
5	Mooring Briddle	Penggantian <i>stopper</i> penahan	<i>stopper</i> penahan patah, implikasi dari material yang cacat dan pengelasan yang kurang sempurna	2
		Penggantian <i>stopper</i> penahan	penggantian <i>stopper</i> penahan karena memang sudah waktunya diganti	1
6	Triangular plate	Penggantian <i>Triangular plate</i>	<i>triangular plate</i> mengalami pecah akibat beban dari <i>tanker</i> yang terlalu besar kapasitasnya	1
		Pengecekan berkala di struktur <i>triangular plate</i>	pengecekan secara berkala pada struktur dalam material menggunakan <i>Ultrasonik Testing</i>	2



# CV. BANDA GUNA SEMESTA

Jln. Kajongan 413, Jenggolo, Jenu  
Tuban – Jawa Timur 62352  
Telp / Fax : (0356) 712311  
Email : bandagunasemesta@gmail.com



7	<i>Mooring hawser Shackles</i>	Pengecatan ulang <i>mooring hawser shackles</i>	pelapisan dari <i>mooring hawser shackles</i> banyak yang terkelupas, ditakutkan terjadi korosi yang berlebihan	2
		Pengecekan berkala <i>mooring hawser shackles</i>	pengecekan secara berkala pada struktur dalam material menggunakan <i>Ultrasonik Testing</i>	2
8	<i>Chain support buoy</i>	Penggantian <i>chain support buoy</i>	penggantian <i>chain support buoy</i> karena memang sudah waktunya perlu diganti	1
		Pengecekan berkala <i>chain support buoy</i>	pengecekan secara berkala pada struktur dalam material menggunakan <i>Ultrasonik Testing</i>	2
9	<i>Samson buoy</i>	Penggantian <i>samson buoy</i>	kerusakan lapisan pelindung yang membuat merembesnya air dan <i>samson buoy</i> tidak mengambang sempurna	2
		Penggantian <i>samson buoy</i>	penggantian <i>samson buoy</i> karena memang sudah waktunya perlu diganti	1



info@bandagunasemesta.com

## LAMPIRAN C

Rekapitulasi Biaya yang Diterima untuk *Service and Maintenance* pada *Mooring System SPM 035 Pertamina TBBM Tuban*

### **CV. BANDA GUNA SEMESTA**

Jln. Kajongan 413, Jenggolo, Jenu  
Tuban – Jawa Timur 62352  
Telp / Fax : (0356) 712311  
Email : bandagunastemesta@gmail.com



**Rekapitulasi Biaya yang Diterima untuk *Service and Maintenance* pada *Mooring System SPM 035 Pertamina TBBM Tuban***  
**Tahun 2011-2015**

<b>No.</b>	<b>Komponen</b>	<b>Jumlah (dalam Rp.)</b>
1.	<i>Mooring hawser</i>	735.117.900,00
2.	<i>End Joining shackles</i>	236.173.900,00
3.	<i>Mooring lugs</i>	376.749.200,00
4.	<i>Hardwood battens</i>	385.119.800,00
5.	<i>Mooring bridle</i>	374.315.200,00
6.	<i>Triangular plate</i>	382.172.300,00
7.	<i>Mooring hawser shackles</i>	258.392.100,00
8.	<i>Chain support buoy</i>	203.111.400,00
9.	<i>Samson buoy</i>	225.915.400,00



LAMPIRAN D

Surat Keterangan dari CV. Banda Guna Semesta

## CV. BANDA GUNA SEMESTA

Jln. Kajongan 413, Jenggolo, Jenu  
Tuban – Jawa Timur 62352  
Telp / Fax : (0356) 712311  
Email : bandagunasemesta@gmail.com



Tuban, 1 Juli 2016

### SURAT KETERANGAN

**Dengan hormat,**

Kami selaku direksi dan jajaran CV. Banda Guna Semesta memberitahukan, bahwa yang bersangkutan di bawah ini :

Nama : **Bayu Susatyo**  
Jurusan/Fakultas : **Teknik Kelautan/FTK-ITS**

Telah melaksanakan wawancara, diskusi dan pengambilan data di Perusahaan kami untuk digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir pada 1 Juli 2016. Adapun data yang diberikan tidak diperbolehkan untuk kepentingan lain selain pengerjaan bidang akademik.

Demikian surat keterangan ini kami buat. Semoga dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

**Hormat kami,**

CV. BANDA GUNA SEMESTA

**Bagus Wijanarto**

Direktur Utama

## LAMPIRAN E

Notulensi Wawancara dan Diskusi yang didapat dari CV. Banda Guna Semesta

### CV. BANDA GUNA SEMESTA

Jln. Kajongan 413, Jenggolo, Jenu  
Tuban – Jawa Timur 62352  
Telp / Fax : (0356) 712311  
Email : bandagunase mesta@gmail.com



#### NOTULENSI DISKUSI

**Agenda** : Pembahasan Permasalahan untuk Data Tugas Akhir  
**Waktu Pelaksanaan** : Jumat, 1 Juli 2016/ 09.00 – 09.30 WIB  
**Tempat Pelaksanaan** : Ruang Rapat CV. Banda Guna Semesta  
**Moderator** : Bagus Wijanarto, S.T.  
(Direktur Utama CV. Banda Guna Semesta)

**Peserta** :

1. Rakhmad Saputra, S.T. (Project Manager)
2. Arip Purwanto, S.T. (Project Engineer)
3. Bayu Susatyo (Mahasiswa Teknik Kelautan FTK-ITS)

#### Ringkasan Diskusi :

Diskusi dengan Mahasiswa Teknik Kelautan FTK-ITS ini dipimpin langsung oleh Bapak Bagus Wijanarto, S.T.

#### 1. Bayu Susatyo

Assalamualaikum, terima kasih banyak saya sudah diberikan kesempatan bertemu dengan bapak – bapak sekalian untuk membantu pengambilan data Tugas Akhir saya. Langsung saja, menurut bapak – bapak sekalian selama 2011 – 2015 dalam rangka *service and maintenance* di SPM 035 Pertamina lebih banyak apa penyebabnya terutama di *mooring system*?

#### 2. Rakhmad Saputra, S.T.

Jadi selama 5 tahun tersebut, penyebab permasalahan yang terjadi di SPM 035 Pertamina khususnya di *mooring system* terjadi akibat peraturan terbaru yang diterapkan pada akhir 2011 oleh pihak Pertamina pusat agar SPM dengan kapasitas tambat maksimal 35.000 DWT akan melayani juga *Tanker* dengan kapasitas 50.000 DWT karena memang ketersediaan *Tanker* 35.000 DWT milik PT. Pertamina sudah berkurang karena usia. Dari situlah permasalahan yang selama ini terjadi.

#### 3. Arip Purwanto, S.T.

Memang betul, selama pengerjaan *service and maintenance* di SPM 035 Pertamina, kira – kira 70% *Tanker* yang tambat kapasitasnya 50.000 DWT. Awal diterapkan peraturan tersebut sering sekali terjadi kerusakan, khususnya di bagian *mooring system*. Selama awal diterapkan peraturan tersebut sering sekali kita harus berangkat ke laut. Apalagi sewaktu ada kondisi *emergency*, untung saja tidak pernah memakan korban jiwa sampai saat ini.

#### 4. Bayu Susatyo

Pada *mooring system*, tentunya terdapat beberapa komponen. Sepengalaman bapak – bapak sekalian selama 5 tahun menangani *service and maintenance* di SPM 035 Pertamina tersebut, apa saja disfungsi dan dampak yang terjadi pada tiap komponen di *mooring system* akibat dari penerapan peraturan tersebut?

# CV. BANDA GUNA SEMESTA

Jln. Kajongan 413, Jenggolo, Jenu  
Tuban – Jawa Timur 62352  
Telp / Fax : (0356) 712311  
Email : bandagunasemesta@gmail.com



## 5. Arip Purwanto, S.T.

Kalau untuk itu, nanti dari kita akan kasih data apa – apa saja yang dibutuhkan. Yang jelas, hampir semua komponen dari *mooring system* tersebut mengalami disfungsi. Pada awalnya, kita kelabakan karena memang terjadi perubahan drastis dari 35.000 DWT ke 50.000 DWT. Namun, semakin ke depan akhirnya kita memutuskan untuk melakukan inspeksi – inspeksi ke beberapa komponen yang memang begitu vital. Terlebih komponen yang rentan terkena *fatigue* dan korosi. Mas, Bayu tahu kan *fatigue* itu apa? Untuk apa saja komponennya, nanti kita kasihkan.

## 6. Bayu Susatyo

Alhamdulillah, saya tahu pak Arip. Di kuliah semester 8 kemarin saya ada mata kuliahnya. Kalau begitu, awalnya menggunakan *corrective maintenance* ya pak untuk *service and maintenance*? Apa tidak ada langkah pencegahan yang dilakukan?

## 7. Rakhmad Saputra, S.T.

Ya, betul mas Bayu. Kita menggunakan *corrective maintenance*. Untuk langkah pencegahan sebenarnya kita sudah mulai merancang pada pertengahan 2015. Namun, belum selesai pengerjaannya, karena kontrak kita sudah terlanjur habis.. Maka dari itu, dari kita pada waktu mas Bayu melaksanakan kerja praktek di sini tahun lalu, sudah saya mintain tolong untuk dibantu dicarikan solusi lewat pengerjaan Tugas Akhir atau semacamnya yang memang bisa diakui.

## 8. Arip Purwanto, S.T.

Betul mas Bayu, siapa tahu bisa kita jadikan bahan untuk diterapkan di SPM, bukan hanya di SPM 035 Pertamina TBBM Tuban. Bahkan kalau bisa SPM yang lainnya.

## 9. Bayu Susatyo

Iya pak, ini saya juga buat jadi Tugas Akhir. Dan dalam Tugas Akhir, saya menggunakan metode *Integrated FTA-FMEA*. Pada tahap awal, saya harus mendapatkan *failure mode* atau moda kegagalan pada setiap komponen. Kemudian *failure mode* tersebut dijadikan *top event* pada FTA untuk dicari risikonya. Untuk kemudian dicari risiko kritis dan dilakukan mitigasi. Yang saya butuhkan juga, berapa yang diterima selama 2011 - 2015 untuk pekerjaan *service and maintenance* yang dilakukan pada SPM 035 Pertamina khususnya *mooring system*?

## 10. Arip Purwanto, S.T.

Untuk hal itu, akan kita kasih datanya kepada mas Bayu selesai diskusi ini.

## 11. Bayu Susatyo

Terima kasih banyak pak Bagus. Saya kira saya dapat dicukupkan diskusi ini. Terima kasih bapak – bapak sekalian atas waktunya dalam diskusi yang singkat ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adi, Tri Joko Wahyu. 2012. Analisis Risiko Menggunakan Integrated FTA-FMEA. *Seminar Nasional VIII Teknik Sipil ITS : Pembangunan Berkelanjutan Transportasi dan Infrastruktur*. Paper No. 85-92. Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya.
- AICHe-CCPS.1992. *Guideline for Hazards Evaluation Procedures, Second Edition*. New York : CCPS.
- AS/NZS 4360:2004. 2005. "Risk management guidelines companion to AS/NZS 4360:2004. Wellington: Standard Australia International and Standard New Zealand.
- Barends, D.M., Oldenhof, M.T., Vredendregt, M.J., Nauta, M.J. 2012. *Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of FMEA*. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, Vol. 64, hal. 82-86.
- Bureau Veritas Cina. 2012. *What does Bureau Veritas do for Single Point Mooring System?*. China : Bureau Veritas China
- Cooper, D., Grey, S., Raymond, G., & Walker, P. 2005. *Project Risk Management Guidelines*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Crowl, D. A dan Louvar J.2002. *Chemical Process Safety, Second Edition*. Prentice Hall International Series, USA
- Dorofee, A. J., Walker, J. A., Albert, C. J., Higuera, R. P., Murphy, L. R., & Williams, C. R. 1996. *Countinous Risk Management Guidebook*. Carnegie Mellon University.
- Filihan, J. 2015. *Analisis Risiko Kerusakan Offshore Pipelines Transimi Sumatera Jawa*. Sumatera. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS.
- Flory, John F., Poranski, Peter F. 1977. The Design of Single Point Moorings. *Proceedings of the 9<sup>th</sup> Annual Offshore Technologies*

- Conferences*, Paper No. OTC 2827, pp 169-176, May 2<sup>th</sup>-5<sup>th</sup> 1977. USA : Houston.
- Hoseynabadi, A., Oraee, Tavner. 2010. "Failure Modes and Effects Anaylis (FMEA) for Wind Turbins", *Electrical Power and Energy System*, Vol 32, hal. 817-824.
- Jun, L., Huibin, X. 2012. Reliability Analysis of Aircraft Equipment Based on FMECA. *Physics Procedia* Vol. 25, Hal. 1816-1822.
- Kerzner, H. 2009. *Project Management = A System Approach to Planning, Scheduling and Controlling*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Krekel, Max., Prescott, Neal. 2005. Single Point Mooring System (SPM) for an Offshore LNG Terminal. *Public Lecturer of the 7<sup>th</sup> GASTECH*, March 15<sup>th</sup> 2005. Spain : Bilbao.
- Kurniawan, I. (2013). *Analisis Risiko Kerusakan Peralatan Dengan Metode Probabilistik FMEA Pada Industri Minyak dan Gas*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri ITS.
- Marhavilas, P.K., Kouloriotis, D., Gemini, V. 2011. Risk Analysis and Assessment Methodologies in the Work Site: On a Review, Classification and Comparative Study of the Scientific Literature of the Period 2000-2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 24, hal. 477-523.
- Oldenhof, M.T., et al. (2011). Consistency of FMEA Used in the Validation of Analytical Procedures. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, Vol. 54, hal. 592-595.
- Price, C.J., Taylor, N.S. 2002. Automated Multiple Failure FMEA. *Reliability Engineering and Sytem Safety*, Vol. 76, hal. 1-10.
- PT. Pertamina. 2008. Buku Sistem Tata Kerja Pemeliharaan Single Point Mooring. Direktorat Umum Dan Sdm PT. Pertamina.
- Rosyid, D.M. dan Mukhtasor. 2002. *Diktat Mata Kuliah Keandalan dan Risiko*. Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS. Surabaya.
- Setyadi, Indra. 2013. *Analisis Penyebab Kecacatan Produk Celana Jeans Dengan Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Failure*

- Mode and Effect Analysis (FMEA) di CV Fragile Din Co.* Bandung. Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri Universitas Widyatama.
- SOLAS. 2012. *SOLAS Consolidated Edition*. London : IMO (International Maritime Organization).
- Stein, W.E., Keblis, M.F. 2009. "A New Method To Simulate The Triangular Distribution", *Mathematical and Computer Modelling*.
- Stella, Cedric. 2012. *An Overview of SBM Mooring System*. Porto : SBM Offshore.
- Tronskar, J.P. 2000. *Benefits of Risk Based Inspection to the Oil and Gas Industri*. Det Norske Veritas. Singapore.
- U.S. Nuclear Regulatory Commision. (1981). *Fault Tree Handbook*. Washington DC : U.S. Government Printing Office.
- Waradiba, Safarina. 2007. *Analisis Reliability Instrument Menggunakan Metode Failure Modes And Effect Analysis (FMEA) Pada Boiler Feed Pump Turbin (BFPT) Untuk Memperbaiki Kinerja Terencana Di PT. Ipmomi*. Surabaya. Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
- Wijanarto, Bagus. 2013. *Analisis Desain Struktur Integritas Single Point Mooring ( SPM ) 35000 Dwt PT.Pertamina (Persero) Terminal Bbm Tuban Dengan Metode Elemen Hingga*. Surabaya. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS.

## BIODATA PENULIS



**Bayu Susatyo**, dilahirkan di Rembang pada 21 Juni 1994. Penulis merupakan anak kedua dari lima bersaudara yang kesemuanya adalah laki – laki. Pendidikan formal yang ditempuh berawal dari SD N Kutoharjo 4 Rembang, SMP N 2 Rembang dan SMA N 1 Rembang. Pada tahun 2012, penulis memasuki jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, Fakultas Teknologi Kelautan, Jurusan Teknik Kelautan. Penulis terdaftar dengan NRP 4312 100 066.

Selama di ITS Surabaya penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Islam, tercatat sebagai Wakil Sekretaris Umum Bidang Penelitian, Pengembangan dan Pembinaan Anggota Komisariat Perkapalan periode 2013/2014, Sekretaris Umum Komisariat Perkapalan periode 2014/2015. Penulis juga aktif di Unit Kegiatan Mahasiswa Olahraga Air ITS tercatat sebagai Ketua Umum periode 2013/2014 dan 2014/2015 dan sempat mewakili ITS pada Kompetisi Dayung pada *Marine Icon* pada 2013 di Surabaya. Penulis juga tercatat sebagai Direktur Administrasi dan Keuangan Lembaga Teknologi Mahasiswa Islam Cabang Surabaya. Selain itu penulis juga tercatat sebagai Pengurus Aktif Forum Anggota Muda (FAM) Persatuan Insinyur Indonesia (PII) sebagai staff Bidang Humas periode 2016 – 2018. Hobi penulis adalah menulis dan berdiskusi. Untuk dapat berkorespondensi dengan penulis silahkan hubungi [susatyo12@gmail.com](mailto:susatyo12@gmail.com).