



TUGAS AKHIR - MO184804

**MANAJEMEN RISIKO KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT DI
BALIKPAPAN DENGAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* DAN
*HAZARD AND OPERABILITY ANALYSIS***

Adriawan A.P. Hamami

NRP. 04311540000138

Dosen Pembimbing :

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

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

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknolgi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019



TUGAS AKHIR - MO184804

**MANAJEMEN RISIKO KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT DI
BALIKPAPAN DENGAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* DAN
*HAZARD AND OPERABILITY ANALYSIS***

Adriawan A.P. Hamami

NRP. 04311540000138

Dosen Pembimbing :

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

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

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknolgi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019



FINAL PROJECT - MO184804

**RISK MANAGEMENT OF A DAMAGED OFFSHORE PIPELINE IN
BALIKPAPAN USING FAULT TREE ANALYSIS & HAZARD AND
OPERABILITY ANALYSIS METHODS**

Adriawan A.P. Hamami

SRN. 04311540000138

Supervisors:

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

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

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2019

LEMBAR PENGESAHAN

MANAJEMEN RISIKO KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT DI BALIKPAPAN DENGAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* DAN *HAZARD AND OPERABILITY ANALYSIS*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada
program studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Adriawan A.P. Hamami NRP. 04311540000138

Disetujui oleh:

1. Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)
2. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D. (Pembimbing 2)
3. Dr.Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T. (Penguji 1)



SURABAYA, 2019

**MANAJEMEN RISIKO KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT DI
BALIKPAPAN DENGAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* DAN
*HAZARD AND OPERABILITY ANALYSIS***

Nama : **Adriawan A.P. Hamami**
NRP : **04311540000138**
Departemen : **Teknik Kelautan FTK-ITS**
Dosen Pembimbing: **Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D**
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

ABSTRAK

Tugas akhir ini dilatar belakangi dengan permasalahan yang pada umumnya terjadi pada sistem pipa bawah laut (*offshore pipeline*) yang menyebabkan kegagalan operasi akibat kerusakan pada pipa pada saat beroperasi, kerusakan yang terjadi pada pipa bawah laut pada umumnya terdata atau terdokumentasi pada saat dilakukan inspeksi rutin. Hasil inspeksi terdokumentasi beberapa faktor yang dapat menjadi kegagalan; ada jangkar yang menyangkut, coating yang terkelupas, tanda-tanda korosi pada pipa. Untuk melakukan penelitian maka untuk mengidentifikasi kegagalan yang dapat terjadi pada pipa bawah laut untuk mengalami kerusakan maka digunakan metode *fault tree analysis* (FTA) secara *top down* untuk mengetahui *top event* utama hingga *basic event*, untuk mengetahui indeks probabilitas dan keparahannya maka metode *cut set* (untuk mendapatkan probabilitas *top event*) dan metode *what if* (untuk mengetahui dampaknya), setelah mendapat angka maka hasil per kegagalan dapat dimasukkan kedalam matriks resiko untuk mengetahui tingkat risiko dan untuk menentukan penanganannya digunakan metode *HAZOP* (*Hazard and Operability*) *Analysis*. Dari hasil penelitian teridentifikasi 60 *event* yang menyebabkan kerusakan pipa tersebut dimana coating terkelupas dan korosi menjadi kegagalan yang memiliki probabilitas dan keparahan terbesar serta penanganan untuk kegagalan yang telah diidentifikasi.

Kata Kunci: **Manajemen Risiko, FTA, Matrik Risiko, HAZOP Analysis**

**RISK MANAGEMENT OF A DAMAGED OFFSHORE PIPELINE IN
BALIKPAPAN USING FAULT TREE ANALYSIS & HAZARD AND
OPERABILITY ANALYSIS METHODS**

Name : Adriawan A.P. Hamami
Student Registry Number : 04311540000138
Department : Ocean Engineering (Faculty of Marine Tech),ITS
Supervisors : Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

ABSTRACT

This thesis will tackle the problem(s) regarding a situation that normally occur to a subsea pipeline system that could cause a breakage or certain amount of damage to the pipe (itself) during operation, the damage(s) that (could) happen to a (subsea) pipeline are documented during a routine inspection. The result(s) of the inspection (according to a report by said company) found few failures that could be identified as the factors that cause the damage to the pipeline; an anchor that got stuck to the pipe, a peeled coating, and signs of corrosion on the pipe. To further analyze this problem, first the failure must be identified to a certain extent mainly that could cause a certain amount of damage to the pipeline, fault tree analysis is used a method to identify these failures, a top down approach is used to identify the top event all the way to the basic event, to obtain the probability and severity index , cut set and what if analysis methods are used to obtain the probability and effect of each failure (respectively). The results are then analyze by using risk matrix to obtain the risk level of each failure, as for how to decide the (preventive) action for each failure, HAZOP analysis is used as method for that matter. From the results of the analysis, 60 failures (event(s)) are identified to have the potential to cause damage to the pipeline with a peeled coating and corrosion as the failures that have the highest probability and severity and also a preventive action for each failure that have been identified.

Key Words: Risk Management, FTA, Risk Matrix, HAZOP Analysis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan berkah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Manajemen Risiko Kerusakan Pipa Bawah Laut di Balikpapan dengan Metode *Fault Tree Analysis* dan *Hazard and Operability Analysis*” dengan teliti dan tanpa halangan yang berarti.

Tugas Akhir ini dirangkai untuk memenuhi persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir ini meneliti berbagai kegagalan yang dapat/telah terjadi serta menganalisa penyebabnya pada sebuah pipa bawah laut dengan menggunakan metode *fault tree analysis*, dampak dan mitigasi dari kecelakaan kerja tersebut dengan metode *HAZOP analysis*.

Penulis mengharap saran dan kritik dari pembaca demi perbaikan dan kesempurnaan penyusunan dan penulisan berikutnya. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat bagi pengembangan penelitian (mahasiswa atau profesional) selanjutnya, dapat memberi referensi, menambah pengetahuan mengenai dunia teknik kelautan, serta kontribusi ilmiah.

Surabaya, Juli 2019

Adriawan A.P. Hamami

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Orang tua dan keluarga penulis atas dukungan, semangat, dan doa untuk kemudahan pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Ibu Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D. dan Prof.Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Prof. Ir. Soegiono, Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T, M.T, serta Bapak Raditya Danu, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
4. Bapak Herman Pratikno S.T,M.T selaku koordinator tugas akhir;
5. Para ahli dan teknisi serta pihak yang telah bersedia menjadi responden dalam kuisisioner Tugas Akhir ini;
6. Kawan-kawan warkop arek-arek, selaku teman-teman penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan bantuan selama penyelesaian tugas akhir ini;
7. Teman-teman sepembimbingan tugas akhir yang telah membantu penulis selama mengerjakan tugas akhir ini.
8. Teman-teman angkatan 2015 Teknik Kelautan, dan;
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Juli 2019

Adriawan A.P. Hamami

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Batasan Masalah.....	6
1.6. Lingkup Kerja Penelitian	6
1.7. Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	9
2.1. Tinjauan Pustaka	9
2.2. Dasar Teori	10
2.2.1. Pipa Bawah Laut	10
2.2.2. Coating	11
2.2.3. Hazard	13
2.2.4. Scouring	14
2.2.5. Korosi.....	15
2.2.6. Risiko	16
2.2.6.1. Identifikasi Risiko	18

2.2.6.2. Analisa Risiko	20
2.2.6.3. Evaluasi Risiko	23
2.2.6.4. Penanganan Risiko	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1. Diagram Alir.....	29
3.2. Prosedur Penelitian.....	31
3.3. Data Penelitian	33
3.4. Timeline Penelitian.....	34
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1. Pendahuluan	37
4.2. Pipa Bawah Laut PT.X di Balikpapan.....	38
4.3. Identifikasi Kegagalan.....	39
4.4. <i>Fault Tree Analysis</i>	44
4.5. Analisa Probabilitas dan Keparahan.....	54
4.5.1. Perhitungan Probabilitas Rata-Rata	55
4.5.2. Perhitungan Keparahan Rata-Rata	62
4.5.3. Analisa Matriks Risiko.....	64
4.6. <i>What If Analysis</i>	67
4.7. <i>HAZOP Analysis</i>	70
BAB V PENUTUPAN	77
5.1. Kesimpulan.....	77
5.2. Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN A KUESIONER	
LAMPIRAN B JAWABAN RESPONDEN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Ilustrasi Sumber Petroleum (Minyak & Gas Natural)	1
Gambar 1.2. <i>Flowlines & Export Lines</i>	2
Gambar 1.3. <i>Risk Analysis Diagram</i>	3
Gambar 1.4. Pipa Bawah Laut SPL 16 inch	4
Gambar 2.1. Proses Korosi Pada Pipa Bawah Laut.....	16
Gambar 2.2. Matriks Risiko	24
Gambar 2.3. Klasifikasi Angka Probabilitas	24
Gambar 2.4. Klasifikasi Angka Keparahan	25
Gambar 2.5. <i>HAZOP Analysis</i>	27
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 4.1. Pipa Bawah Laut SPL 16 inch	39
Gambar 4.2. Diagram <i>Fault Tree Analysis</i> Kerusakan Pipa Bawah Laut	45
Gambar 4.3. Diagram <i>Fault Tree Analysis</i> Terbentur Objek	48
Gambar 4.4. Diagram <i>Fault Tree Analysis Freespan</i>	49
Gambar 4.5. Diagram <i>Fault Tree Analysis Coating</i> Terkelupas	50
Gambar 4.6. Diagram <i>Fault Tree Analysis</i> Korosi	52
Gambar 4.7. Diagram <i>Fault Tree Analysis</i> Kebocoran	53
Gambar 4.8. Hasil Matriks Risiko	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis <i>Hazard</i> pada <i>Onshore Pipeline</i>	14
Tabel 2.2. Simbol Metode <i>FTA</i>	19
Tabel 3.1. Data Spesifikasi Pipa Bawah Laut PT.X.....	33
Tabel 3.2. Timeline Penelitian	34
Tabel 4.1. Data Spesifikasi Pipa Bawah Laut PT.X.....	38
Tabel 4.2. Jenis <i>Hazard</i> dan Kegagalan	39
Tabel 4.3. Kegagalan Pipa Bawah Laut PT.X.....	46
Tabel 4.4. <i>Event</i> Terbentur Objek	48
Tabel 4.5. <i>Event Freespan</i>	50
Tabel 4.6. <i>Event Coating</i> Terkelupas	51
Tabel 4.7. <i>Event</i> Korosi	52
Tabel 4.8. <i>Event</i> Kebocoran	54
Tabel 4.9. Kriteria Probabilitas	55
Tabel 4.10. Probabilitas Rata-Rata <i>Basic Event</i>	55
Tabel 4.11. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event A Level III</i>	57
Tabel 4.12. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event A Level II</i>	57
Tabel 4.13. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event A Level I</i>	57
Tabel 4.14. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event B Level II</i>	57
Tabel 4.15. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event B Level I</i>	58
Tabel 4.16. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event C Level III</i>	58
Tabel 4.17. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event C Level II</i>	58
Tabel 4.18. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event C Level I</i>	59
Tabel 4.19. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event D Level III</i>	59
Tabel 4.20. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event D Level II</i>	60
Tabel 4.21. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event D Level I</i>	60
Tabel 4.22. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event E Level III</i>	61
Tabel 4.23. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event E Level II</i>	61
Tabel 4.24. Probabilitas Rata-Rata <i>Intermediate Event E Level I</i>	61

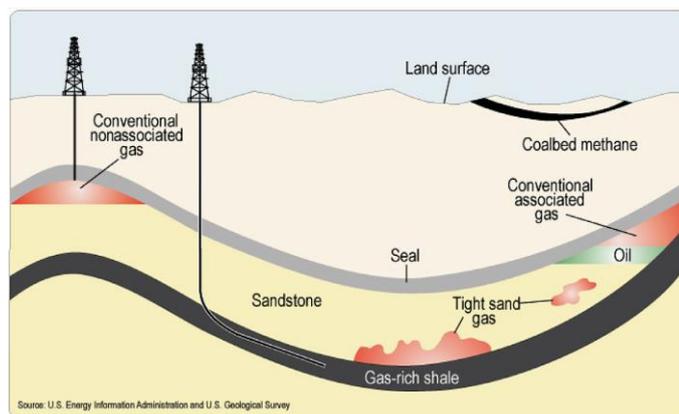
Tabel 4.25. Probabilitas Rata-Rata <i>Top Event</i>	62
Tabel 4.26. Kriteria Keparahan	62
Tabel 4.27. Keparahan Rata-Rata.....	63
Tabel 4.28. Indeks Matriks Risiko	65
Tabel 4.29. Indeks Probabilitas dan Keparahan	65
Tabel 4.30. Keterangan.....	66
Tabel 4.31. <i>What If Analysis</i>	68
Tabel 4.32. <i>HAZOP</i> Kerusakan Pipa PT.X	71

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

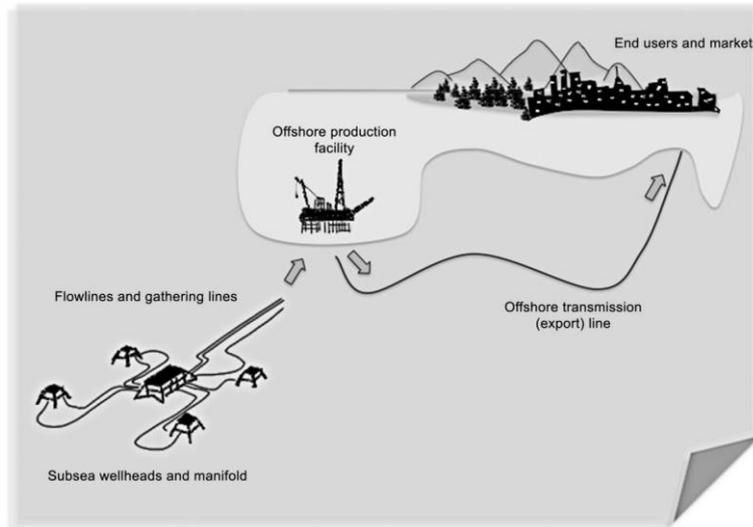
Minyak dan gas natural yang pada umumnya disebut petroleum, merupakan bahan bakar fosil yang berasal dari berbagai macam formasi geologi *sub surface*, gas natural secara umum terdiri dari metana dan beberapa variasi hidrokarbon ringan dan minyak pada umumnya terdiri dari komponen alkane, sulfur, dan hal sebagainya. Minyak mentah memiliki wujud berwarna gelap dan kental dimana istilah kondensasi bertuju pada cairan petroleum yang jernih dan mudah menguap. Sumber minyak dan gas konvensional terdapat di *source rock* yaitu bebatuan dimana hidrokarbon terbentuk dan terkumpul (Olague, 2017).



Gambar 1.1. Ilustrasi Sumber Petroleum (Minyak dan Gas Natural)

Menurut Kenny (2018), dalam industry migas, pipa bawah laut berperan dalam memindahkan produk-produk hidrokarbon di sekitar situs, dari mulai *wellheads* hingga ke fasilitas produksi melalui *flowlines/export lines* menuju ke *tie-backs* hingga ke pasar. *Flowlines* pada umumnya memindahkan hidrokarbon atau produk yang belum terproses sehingga pada umumnya memiliki ukuran pipa dengan diameter yang relative kecil (sekitar < 305mm) serta bersifat fleksible ataupun kaku dengan konfigurasi buntelan dengan panjang kurang dari 30km, dimana *export lines* berfungsi untuk memindahkan produk yang telah diproses

melalui pipa yang berdiameter besar (sekitar 508mm) serta bersifat kaku dengan kepanjangan 1500km.



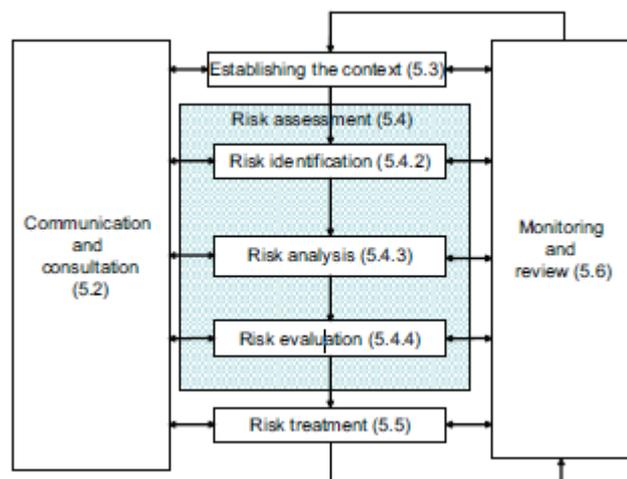
Gambar 1.2. *Flowlines & Export Lines* (Kenny, 2018)

Pada saat konstruksi dan instalasi pipa bawah laut, faktor-faktor seperti kecacatan, error, dan hal sebagainya dapat berkontribusi sebagai tahap awal kegagalan dari sistem pipa bawah laut tersebut yang pada umumnya mudah diidentifikasi dan dicegah dimana hasil laporan serta dokumentasi dapat mengembangkan regulasi dan standard, pada umumnya kegagalan yang terjadi karena faktor-faktor pihak ketiga seperti lingkungan berkondisi parah, tertimpa objek. Umur beroperasinya sebuah sistem pipa bawah laut tergantung pada banyak faktor terutama dalam hal perubahan pada kondisi operasionalnya seperti perubahan komposisi fluida yang melewati pipa tersebut dan yang terakhir adalah akibat faktor waktu seperti terjadi korosi pada pipa ataupun *fatigue*/kelelahan.

Pada saat pengoperasian suatu *pipeline* terdapat beberapa risiko yang dapat menyebabkan kegagalan/kerusakan pada saat *pipeline* tersebut beroperasi. Maka ada yang disebut dengan *Probability of Failure (likelihood)* dan *Consequence of Failure (severity)*. DNV RP-F107 menyatakan, dalam menentukan frekuensi kejadian dapat dilakukan dengan dua macam cara yaitu: Melakukan perhitungan jika informasi data yang diperlukan tersedia, melakukan estimasi berdasarkan

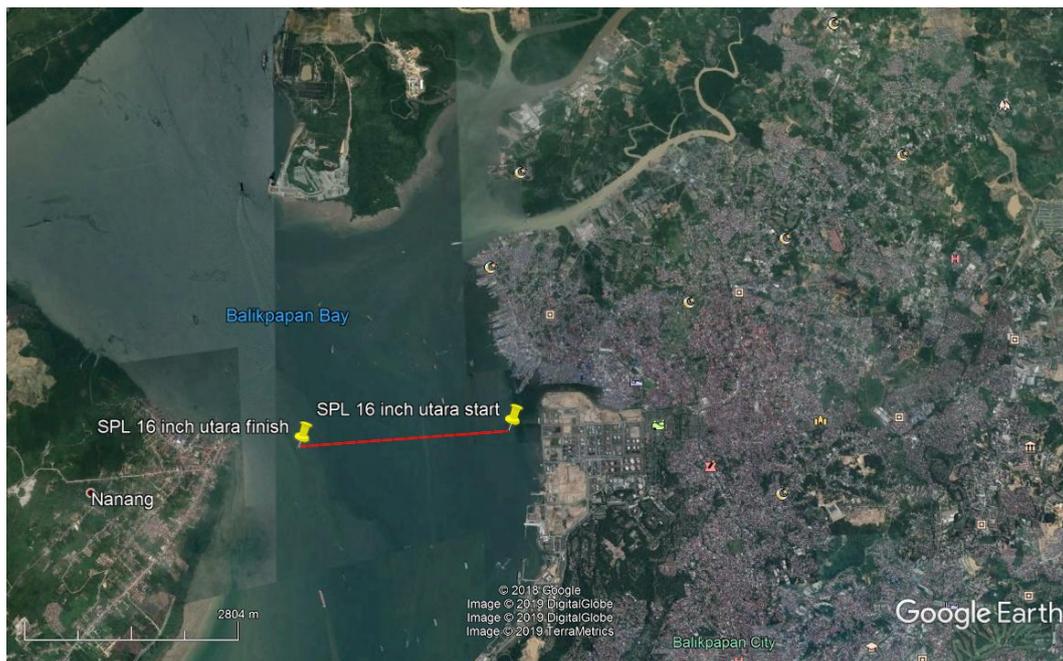
engineering/expert judgment serta pengalaman operator yang berada di lapangan, dimana konsekuensi dapat dikategorikan berdasarkan DNV RP G101 untuk tingkat keparahan dari suatu risiko.

Identifikasi risiko harus dilakukan sebagai langkah pertama manajemen risiko, dimana peristiwa yang terjadi, dampak lingkungan yang terlibat, penyebabnya hingga konsekuensi yang dapat terjadi. Tujuannya adalah untuk membuat daftar risiko yang lengkap berdasarkan peristiwa-peristiwa yang terjadi untuk membuat, mengembangkan, mencegah hal tersebut. Analisa risiko berfungsi untuk mengembangkan pemahaman dari sebuah risiko, sebagai input untuk langkah berikutnya yaitu evaluasi risiko. Analisa risiko juga berperan untuk mempertimbangkan dampak dari konsekuensi sebuah risiko serta frekuensi terjadinya risiko tersebut. Dalam penentuan risiko yang dapat terjadi maka kepastian serta komunikasi yang efektif dengan pihak perusahaan dan atau *stakeholders* dari objek yang akan diteliti. Evaluasi risiko memiliki peran untuk membantu pengambilan keputusan berdasarkan hasil dari analisa risiko dengan cara menentukan risiko yang membutuhkan penanganan terlebih dahulu, hal ini di tentukan dari tingkat per risiko yang terjadi (ISO 31000 “*Risk Management – Principles and Guidelines*”, 2009).



Gambar 1.3. *Risk Analysis Diagram* menurut ISO 31000;2009

Pada tugas akhir ini, pipa bawah laut yang akan dianalisa berasal dari laporan inspeksi pipa bawah laut oleh PT. X di Balikpapan, pipa bawah laut yang diinspeksi berdiameter 16 inch yang membentang dari pipa utara Balikpapan kearah Penajam sepanjang 2.912 meter. Dari hasil inspeksi terdokumentasi beberapa faktor yang dapat menjadi risiko; ada jangkar yang menyangkut, coating yang terkusap, tanda-tanda korosi pada pipa.



Gambar 1.4. Pipa Bawah Laut SPL 16 inch (Google Earth)

Teknik kuesioner akan digunakan mengidentifikasi risiko yang dapat/telah terjadi kepada pipa bawah laut yang akan diaplikasikan ke metode *fault tree analysis* untuk menentukan *top event*, *intermediate event*, dan *basic event*. Probabilitas dan konsekuensi akan dianalisa dengan metode *cut set* dan *what if analysis* (*respectively*) untuk menemukan indeks risiko, selanjutnya hasil perhitungan akan dimasukkan pada atriks risiko untuk mengetahui *level* risiko sebagai tahap evaluasi risiko. Untuk tahap penanganan risiko, metode *HAZOP* untuk menentukan langkah *treatment* dari setiap risiko dan konsekuensinya dengan *guide words*, *deviation*, dan *safeguard*. Tujuannya adalah untuk menentukan *level* risiko dari hasil risiko dan langkah mitigasinya untuk meminimalisir terjadinya

mode-kegagalan pada pipa bawah laut yang dapat menyebabkan kerusakan yang akan berefek ke aktivitas operasi pipa tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi bahan penelitian dalam tugas akhir ini antara lain:

1. Apa saja kegagalan yang dapat terjadi pada pipa bawah laut PT. X di Balikpapan yang sedang beroperasi?
2. Berapa *likelihood* serta *severity* kegagalan yang dapat terjadi pada pipa bawah laut PT. X di Balikpapan?
3. Apa saja dampak yang ditimbulkan oleh kegagalan terhadap pipa bawah laut PT. X?
4. Bagaimana cara menentukan penanganan risiko yang tepat untuk mencegah terjadinya kerusakan pada pipa bawah laut PT. X di Balikpapan?

1.3. Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah diatas, tujuan yang ingin dicapai adalah :

1. Mengetahui kegagalan yang dapat terjadi pada pipa bawah laut PT. X di Balikpapan yang sedang beroperasi.
2. Mengetahui *likelihood* serta *severity* kegagalan yang dapat terjadi ada pipa bawah laut PT. X.
3. Mengetahui dampak yang ditimbulkan oleh kegagalan terhadap pipa bawah laut PT. X
4. Mengetahui cara menentukan penanganan yang tepat untuk mencegah terjadinya kerusakan pada pipa bawah laut PT .X di Balikpapan.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengidentifikasi kegagalan yang dapat terjadi pada sebuah objek dengan menggunakan metode *fault tree analysis*.

2. Dapat menghitung likelihood serta severity sebuah kegagalan terhadap sebuah objek dengan metode *minimal cut set* serta metode *what if (respectively)*.
3. Dapat mengetahui langkah penanganan untuk mencegah terjadinya sebuah kegagalan pada sebuah objek dengan metode HAZOP menjadi sebuah safety document.
4. Sebagai referensi untuk memberikan informasi kepada peneliti, pembaca, dan perusahaan untuk mempermudah pelaksanaan penelitian ataupun proyek selanjutnya yang serupa.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak melakukan penelitian hingga perhitungan *cost* dari hasil analisa risiko.
2. Tidak menentukan *benefit* dari hasil analisa risiko.
3. Tidak melakukan manajemen risiko mengenai keselamatan pekerja.
4. Tidak menghitung sistem pipa bawah laut PT. X secara teknis.
5. Tidak menghitung *scouring/freespan* yang terjadi pada pipa bawah laut PT. X di Balikpapan.

1.6. Lingkup Kerja Penelitian

Lingkup kerja pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Risiko yang diteliti adalah faktor-faktor yang berisiko mengalami kegagalan operasi pada pipa bawah laut PT. X di Balikpapan karena kerusakan pipa.
2. Variabel pada penelitian ini merupakan kegagalan yang dikumpulkan dari hasil kuisioner ke pihak pakar.
3. Mengidentifikasi variabel yang berpotensi mengalami kegagalan operasi pada pipa bawah laut dengan merancang dengan diagram FTA.
4. Mengidentifikasi dampak tingkat *severity* dan/atau *likelihood* tertinggi terhadap pipa bawah laut dengan matriks risiko.
5. Tugas akhir ini akan menelusuri dampak serta penanganan kegagalan dengan menggunakan *Hazop Analysis*.

6. Data spesifikasi pipa bawah laut serta *scouring* berasal dari laporan inspeksi pipa bawah laut PT. X di Balikpapan
7. *Standard and Codes* yang digunakan adalah DNV RP G101, DNV RP F107, DNV RP H101, ISO 31000;2009.

1.7. Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjadi pendahuluan dari tugas akhir yang berisikan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika penulisan yang akan menjadi topik penelitian tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Tinjauan pustaka dan dasar teori berperan sebagai basis/dasar referensi dan istilah-istilah pada tugas akhir ini, tinjauan pustaka akan menjadi acuan untuk tugas akhir ini dan istilah-istilah yang akan digunakan akan dijelaskan secara rinci pada bagian dasar teori.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan menunjukkan serta memberi gambaran mengenai metode yang akan digunakan untuk melaksanakan penelitian (analisa dan kalkulasi) topik tugas akhir dalam bentuk diagram alir dan juga penjelasan langkah-langkahnya lebih rinci.

BAB IV HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bagian ini merupakan bagian utama dari tugas akhir ini yaitu hasil dan pembahasan analisa risiko dari pipa bawah laut milik PT. X di Balikpapan yang bertujuan untuk menjawab rumusan masalah tugas akhir ini.

BAB V PENUTUP

Bagian penutup dari tugas akhir yang berisi kesimpulan dari hasil analisa dan pembahasan serta saran yang bertujuan untuk mengembangkan tugas akhir ini.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Makna dari kata risiko menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah akibat yang kurang menyenangkan (merugikan, membahayakan) dari suatu perbuatan atau tindakan. Dalam proses penelitian mengenai analisa risiko, beberapa tahap dilaksanakan dari proses identifikasi, analisa, evaluasi hingga penangannya.

Menurut Santosa (2009), identifikasi risiko adalah proses pengenalan risiko dan komponen risiko yang berhubungan pada suatu aktivitas atau interaksi yang ditujukan kepada proses perhitungan dan pengelolaan risiko yang tepat, dimana dijelaskan bahwa analisa risiko sebuah rangkaian proses yang dilaksanakan untuk memahami signifikansi dari akibat yang ditimbulkan suatu risiko terhadap suatu objek penelitian.

Metode utama yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *Fault Tree Analysis* untuk mengidentifikasi kegagalan dan *HAZOP Analysis* untuk menangani kegagalan yang disebabkan oleh kerusakan pipa bawah laut PT. X di Balikpapan yang dapat menyebabkan kegagalan operasi sistem pipa bawah laut secara keseluruhan. *Fault Tree Analysis* (FTA) atau disebut analisa pohon kegagalan merupakan salah satu dari metode analisis bersifat deduktif yang dimulai dengan menetapkan kejadian puncak (*top event*) yang mungkin terjadipada suatu system (Rausand, 2011).

Pada umumnya metode *HAZOP* lebih berfungsi untuk mengidentifikasi sebuah risiko secara general, tetapi jika sebuah solusi ditemukan pada saat penelitian maka proses selanjutnya adalah untuk mengaplikasi solusi tersebut terhadap risikonya pada saat penelitian dengan bantuan *guide words, deviation, safeguard, action, etc* (Aloqaily, 2018).

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Pipa Bawah Laut

Pada zaman kini, *offshore pipeline* atau pipa bawah laut (dapat juga disebut *subsea pipeline*) telah menjadi fasilitas untuk transportasi pengiriman minyak dan gas bumi yang telah diproses ataupun yang belum terproseskan (mentah) yang aman serta ekonomis sebagai bagian dari struktur lepas pantai (yang terapung maupun yang terpancang) dibanding didistribusikan dengan curah yang berperan mendukung perkembangan teknologi kelautan dengan mengadaptasi teori hidrodinamika dan mekanika (Abdullah *et al*, 2012)

Menurut Kenny (2018), dalam industry migas, pipa bawah laut berperan dalam memindahkan produk-produk hidrokarbon di sekitar situs, dari mulai *wellheads* hingga ke fasilitas produksi melalui *flowlines/export lines* menuju ke *tie-backs* hingga ke pasar. *Flowlines* pada umumnya memindahkan hidrokarbon atau produk yang belum terproses sehingga pada umumnya memiliki ukuran pipa dengan diameter yang relative kecil (sekitar < 305mm) serta bersifat fleksible ataupun kaku dengan konfigurasi buntelan dengan panjang kurang dari 30 km, dimana *export lines* berfungsi untuk memindahkan produk yang telah diproses melalui pipa yang berdiameter besar (sekitar 508 mm) serta bersifat kaku dengan kepanjangan 1500 km.

Menurut Masduky (2003), kerusakan dapat terjadi pada pipa selama pipa bawah laut tersebut beroperasi, karena sistem saluran pipa walaupun pipa bawah laut aman dan ekonomis tetapi jika coating pada pipanya mengalami kerusakan maka biaya pemeliharaan mahal sehinggahal tersebut wajib perhatian utama dari suatu perusahaan.

2.2.2. Coating

Coating merupakan metode pelapisan yang di *apply* pada permukaan suatu objek atau benda bertujuan untuk melindungi objek atau benda tersebut dari faktor eksternal yang dapat merusak. *Coating* sendiri terdiri dari dua jenis yang pertama adalah pelapisan cairan (*liquid coating*) dan yang kedua adalah pelapisan dengan beton (*concrete coating*). Pada umumnya *liquid coating* berupa pengecatan sedangkan yang *concrete coating* pada umumnya berupa pelapisan objek dengan beton (Afandi *et al*, 2015).

Pengecatan adalah sebuah proses *liquid coating* yang pada umumnya dilakukan, pengecatan kebanyakan memiliki fungsi ganda untuk melindungi permukaan objek atau benda dari faktor eksternal yang dapat merusak, selain memiliki fungsi untuk melindungi objek atau benda, pengecatan juga berfungsi sebagai media anti korosi untuk melindungi permukaan objek seperti pagar atau badan kapal dan pada kasus ini pipa bawah laut.

Menurut Afandi, dkk (2015), *liquid coating* sendiri memiliki lima komponen dasar, yaitu *pigment*, *binder*, dan *solvent*. Dibawah ini adalah penjelasan mengenai kelima komponen yang terdapat dalam proses pengecatan:

b. *Pigment*

Pigmen yang terdapat pada proses pengecatan dasat (*primary coat*) berfungsi untuk menghambat terjadinya serangan korosi pada logam atau permukaan objek dalam hal ini permukaan pipa bawah laut yang cara kerjanya bersifat pasif, yang dimaksud dengan hal tersebut adalah bahwa pigmen yang tidak bereaksi dengan lingkungan akan membentuk suatu senyawa yang kompleks dengan oksida loga sehingga dari reaksi tersebut akan

membuat suatu lapisan yang pasif untuk melindungi pipa dari korosi.

c. *Binder*

Binder adalah polimer yang memiliki fungsi untuk menentukan sifat atau karakter dari lapisan cat yang diaplikasikan kepada suatu objek atau benda. Karena hal tersebut maka *binder* merupakan komponen yang penting dalam formulasi cat yang akan digunakan, sebagian besar komposisi cat memiliki komponen ini.

d. *Solvent*

Solvent pada lapisan cat memiliki fungsi untuk melarutkan material *binder* dan juga mengurangi kekentalan dari *coating* untuk memudahkan cat untuk diaplikasikan pada permukaan objek. *Solvent* juga memiliki fungsi untuk mengendalikan pengeringan film dan adhesi.

e. *Additive*

Additive memiliki fungsi untuk mencegah terjadinya pemisahan warna, pengendapan pigmen, terbentuknya kulit, terjadinya keripik pada lapisan cat, sebagai zat pembasah, pembunuh jasad renik, pengering, penambah sifat plastis yang ditambahkan ke dalam cat saat proses pelapisan.

f. *Extender*

Fungsinya sama dengan *additive*, yaitu memperbaiki sifat-sifat cat. Bahan *extender* ini berbentuk padat yang biasanya dipergunakan untuk membantu cara kerja *pigment*, misalnya *barite*, *talc*, senyawa CaCO_3 , dan lain-lain.

2.2.3. Hazard

Menurut KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia), bahaya (*hazard*) memiliki arti yang dapat mendatangkan kecelakaan (bencana atau kerugian). Dalam konteks analisa risiko kerusakan pipa bawah laut dan hubungannya dengan tugas akhir ini bahaya ini merupakan risiko yang mungkin terjadi yang pada akhirnya mengakibatkan kerugian pada pipa bawah laut tersebut sehingga dapat mengganggu aktivitas operasinya.

Menurut Singh (2017), *hazard* merupakan sebuah sifat atau karakteristik dari sekumpulan karakteristik yang dapat menimbulkan sebuah potensi kerugian contohnya :

- a. Kecacatan pada material
- b. *Third party damage*
- c. Lingkungan
- d. Rawan kebakaran
- e. Pipa terekspos
- f. Dan lainnya

Hazards juga dapat diartikan sebagai sesuatu yang dapat menyebabkan kecelakaan secara natural atau alami baik itu jika bahaya ini berwujud ataupun tidak, yang kedua adalah bahaya yang bersifat beracun dimana menjadi bahaya jika terekspos pada hal tersebut (Aloqaily, 2018)

Menurut Akbar (2014), pada hasil penelitian pada *onshore pipeline*, *hazard* atau bahaya yang dapat terjadi pada sebuah sistem *pipeline* dikategorikan dalam tiga jenis yaitu *natural hazard(s)*, *manmade hazard(s)*, dan *external hazard(s)*.

Tabel 2.1 Jenis *Hazard(s)* pada *Onshore Pipeline* menurut Akbar (2014)

No	Faktor Kegagalan	<i>Potential Hazard</i>
1	Natural Hazards	Korosi Eksternal
		Erosi
		Gempa Bumi
2	Mandmade Hazards	Yield Failure
		Operator Error
		Korosi Internal
		Ledakan dan Kebakaran
		<i>Fatigue Damage</i>
		Poor Quality Control
		Local Buckling
3	External Hazard	Pembukaan Lahan Tambak
		Pencurian Minyak
		Kapal Nelayan menabrak pipa
		Pohon Tumbang

2.2.4. *Scouring*

Scouring merupakan fenomena yang terjadi pada objek penelitian tugas akhir ini, *scouring* pada pipa bawah laut dapat mengakibatkan sistem *pipeline* tersebut mengalami *subsidence* pada permukaan dasar laut yang dapat mengakibatkan *freespan*. *Freespan* dapat terjadi ketika kontak antara pipa dengan *seabed* hilang dan memiliki jarak pada permukaan *seabed*.

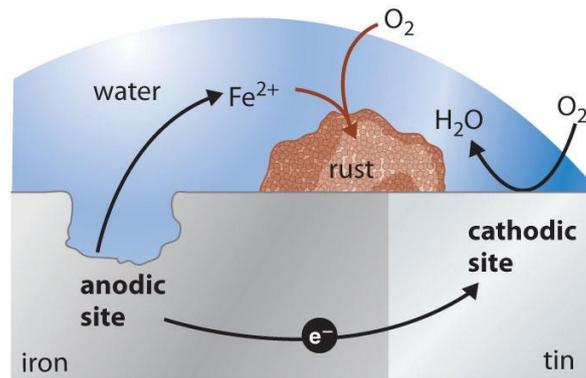
Freespan ini nantinya akan mengakibatkan terjadinya defleksi pada jaringan pipa, sehingga rentan mengalami kelelahan dan kepecahan. Selain itu akibat dari *freespan* ialah pipa akan mengalami tambahan beban yaitu beban hidrodinamis ke arah bawah dan setiap benda termasuk jaringan pipa memiliki gaya pengembali, kejadian ini akan terus menerus dan mengakibatkan *vortex* yang tidak baik untuk jaringan pipa tersebut.

2.2.5. Korosi

Menurut Azkar, dkk (2018) korosi adalah penurunan kualitas logam yang disebabkan oleh adanya reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya Tetapi korosi dapat juga diartikan sebuah proses natural yang terjadi terhadap bahan dan merupakan peristiwa kembalinya suatu bahan ke kondisi awal material yang diolah dari alam (Supriyanto, 2007)

Salah satu penyebab terjadinya korosi adalah bakteri. Bakteri hidup di lingkungan laut secara luas pada habitatnya dan membentuk koloni lalu menempel di permukaan logam dalam bentuk lapisan-lapisan tipis.

Kecepatan suatu material terkorosi bergantung dengan laju korosi sedangkan laju korosi sendiri pada lingkungan netral normalnya adalah sebesar 1 mpy (*mils penetretion per year*) atau kurang. Laju korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: air, kandungan gas dan padatan terlarut, temperatur, seleksi material, pH, bakteri pereduksi atau *Sulfat Reducing Bacteria* (Supriyanto, 2007)



Gambar 2.1. Proses Korosi pada Pipa Bawah Laut (saylordotorg.github.io)

2.2.6. Risiko

Definisi risiko menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah akibat yang kurang menyenangkan (merugikan, membahayakan) dari suatu perbuatan atau tindakan.

Dalam tugas akhir Fitriana (2018), menurut Djojosoedarso (2003) dalam bukunya “Prinsip-Prinsip Manajemen Resiko dan Asuransi” macam-macam risiko dibedakan menjadi 3 yaitu:

a. Menurut sifatnya, risiko dapat dibedakan dalam :

- Risiko yang tidak disengaja (risiko murni) adalah risiko yang tidak disengaja terjadi menimbulkan kerugian, misalnya risiko terjadinya kebakaran, gempa bumi dan sebagainya.
- Risiko yang disengaja (risiko spekulatif) adalah risiko yang sengaja ditimbulkan oleh yang bersangkutan agar terjadinya ketidakpastian memberikan keuntungan kepadanya, misalnya risiko utang piutang, perjudian dan sebagainya
- Risiko fundamental adalah risiko yang penyebabnya tidak dapat dilimpahkan kepada seseorang dan yang menderita tidak hanya satu atau beberapa orang saja, misalnya seperti banjir, tanah longsor dan sebagainya.

- Risiko khusus adalah risiko yang bersumber pada peristiwa yang mandiri dan umumnya mudah diketahui penyebabnya, misalnya kebakaran kapal, tabrakan kapal dan sebagainya.
- Risiko dinamis adalah risiko yang timbul karena dinamika masyarakat di bidang ekonomi, iptek, kesehatan dan sebagainya

b. Dapat-tidaknya risiko tersebut dialihkan kepada pihak lain, dibedakan menjadi :

- Risiko yang dapat dialihkan kepada pihak lain, dengan mempertanggungkan suatu objek yang akan terkena risiko kepada pihak asuransi dengan membayar sejumlah premi asuransi sehingga semua kerugian akan ditanggung pihak asuransi.
- Risiko yang tidak dapat dialihkan kepada pihak lain atau tidak dapat diasuransikan, umumnya meliputi semua jenis risiko spekulatif.

c. Menurut sumber atau penyebab timbulnya, dibedakan menjadi :

- Risiko intern adalah risiko yang berasal dari dalam perusahaan itu sendiri.
- Risiko ekstern adalah risiko yang berasal dari luar perusahaan.

Risiko sering kali dikaitkan dengan sebuah peristiwa dan kosekuensi konsekuensi yang mungkin terjadi karenanya (*event consequence*).

$$Risk = Event\ likelihood \times Event\ Consequence$$

Identifikasi risiko, peangkaan risiko, dan penetapan pengendalian yang diperlukan (OHSAS 18001:2007). Atau dapat diambil kesimpulan bahwa definisi risiko adalah suatu kondisi yang timbul karena ketidakpastian dengan seluruh konsekuensi tidak menguntungkan yang mungkin terjadi.

2.2.6.1. Identifikasi Risiko

Menurut Santosa (2009), identifikasi risiko adalah proses pengenalan risiko dan komponen risiko yang berhubungan pada suatu aktivitas atau interaksi yang ditujukan kepada proses perhitungan dan pengelolaan risiko yang tepat.

Proses identifikasi risiko dimulai dengan mengidentifikasi sumber masalah dengan mengenali jenis-jenis risiko yang mungkin atau umumnya terjadi. Langkah ini meliputi pendefinisian risiko mana yang mungkin mempengaruhi proyek dan mendokumentasikan karakteristik dari setiap risiko. Ketika sumber atau masalah sudah diketahui, *event* yang dipicu oleh sumber atau *event* yang dapat menimbulkan masalah dapat ditelusuri.

Hal ini dapat diperoleh dengan melakukan *brainstorming*, membuat kuisisioner kepada responden dari perusahaan mengenai kegagalan yang dapat menyebabkan kerusakan pipa bawah laut yang berefek ke kegagalan operasi pipa secara keseluruhan yang nantinya akan dirangkai dalam diagram FTA untuk mengetahui akar permasalahan yang berhubungan dengan kegagalan.

a. *Fault Tree Analysis (FTA)*

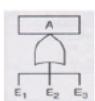
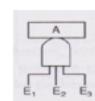
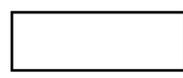
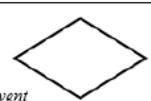
Fault tree analysis merupakan sebuah metode untuk analisa , memberikan gambaran dan mengevaluasi jalur kegagalan dalam suatu sistim, sehingga memberikan mekanisme yang efektif untuk mengevaluasi *level* risiko.

Konsep fundamental dari *fault tree analysis* adalah menerjemahkan kegagalan yang terjadi pada suatu sistim menjadi sebuah diagram visual dan model berlogika. Segmen-segem dalam diagram tersebut memberikan gambaran mudah mengenai

hubungan antara risiko dan jalur akar permasalahan yang ada dalam rangkaian sistem tersebut.

Menurut Rausand (2011), *Fault Tree* adalah *top-down logic* diagram yang menunjukkan keterkaitan antara potensial *critical event* pada suatu sistem dengan penyebab kejadian. Penyebab pada *lowest level* disebut *basic event* dan mungkin merupakan komponen kegagalan, kondisi lingkungan, *human errors* dan *normal event*. *Fault Tree Analysis* (FTA) atau disebut analisa pohon kegagalan merupakan salah satu dari metode analisis bersifat deduktif yang dimulai dengan menetapkan kejadian puncak (*top event*) yang mungkin terjadi pada suatu sistem.

Tabel 2.2 Simbol Metode FTA menurut Rausand (2011)

<i>Logic Gates</i>	<i>Keterangan</i>
 <p><i>OR-gate</i></p>	<i>OR-gate</i> menunjukkan bahwa <i>output event</i> A terjadi jika ada <i>input event</i> E ₁ terjadi
 <p><i>AND-gate</i></p>	<i>AND-gate</i> menunjukkan bahwa <i>output event</i> A terjadi jika semua <i>input event</i> E ₁ terjadi
<i>Input Event</i>	
 <p><i>Basic Event</i></p>	Basic event mempresentasikan kejadian pada level paling dasar yang penyebab keagalannya tidak dapat didefinisikan lagi
 <p><i>Intermediate Event</i></p>	Menunjukkan kejadian pada level menengah (<i>intermediate fault event</i>)
 <p><i>Undeveloped Event</i></p>	<i>Undeveloped event</i> mempresentasikan kejadian yang tidak diperiksa lebih lanjut karena informasi tidak tersedia sehingga kejadian tidak dapat didefinisikan lagi
<i>Transfer Symbols</i>	
 <p><i>Transfer-Out</i></p>	Symbol <i>transfer-out</i> menunjukkan bahwa pohon kegagalan (<i>fault tree</i>) dikembangkan lebih lanjut pada suatu kejadian di symbol <i>transfer-in</i> . (Untuk memindahkan atau meneruskan <i>fault tree</i> pada halaman lain)
 <p><i>Transfer-In</i></p>	

Penjelasan langkah pengerjaan dalam melakukan *Fault Tree Analysis* dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi *top event* (kejadian puncak)

2. Mengidentifikasi kontributor tingkat pertama
3. Menghubungkan kontributor untuk *logic gate* kejadian puncak
4. Mengidentifikasi kontributor tingkat kedua
5. Hubungkan kontributor tingkat kedua untuk *logic gate* kejadian puncak.

Fault Tree Analysis (FTA) berorientasi pada fungsi atau yang lebih dikenal dengan “*top-down*” *approach* karena analisa dari *system level (top)* dan meneruskannya ke bawah. Titik awal dari analisa ini adalah pengidentifikasian kegagalan fungsional pada *top level* dari suatu system atau subsistem.

2.2.6.2. Analisa Risiko

Menurut Santosa (2009) dalam bukunya “Manajemen Proyek: Konsep dan Implentasi”, analisa risiko adalah sebuah rangkaian proses yang dilaksanakan untuk memahami signifikansi dari akibat yang ditimbulkan suatu risiko terhadap suatu objek penelitian. Secara umum terdapat dua metodologi analisa risiko yaitu:

1. Kuantitatif, yaitu analisa berbasis angka – angka nyata (angka finansial) terhadap besarnya kerugian yang terjadi.
2. Kualitatif, yaitu peangkaan risiko dilakukan berdasarkan intuisi, tingkat keahlian dalam meangka jumlah risiko yang mungkin terjadi dan potensial kerusakannya.

Pada tugas akhir ini menggunakan analisa risiko semi kuantitatif karena melakukan proses analisa dengan memberikan hasil analisa secara numeric berdasarkan risiko yang dinilai secara kualitatif. Langkah – langkah analisa semi kuantitatif adalah :

1. Melakukan identifikasi risiko
2. Melakukan analisa kualitatif risiko yang sudah teridentifikasi
3. Melakukan peangkaan numerik pada kategori kualitatif
4. Memperoleh risiko kritis yang berpotensi terjadi
5. Melakukan mitigasi atau penanganan pada setiap risiko.

Data skala *likelihood* dan *severity* yang dikumpulkan dari kuesioner dianalisis menggunakan *Importance Index* (IMPI) yang terdiri dari *Likelihood Index* dan *Severity Index* (Long *et.al.*, 2008). Detail dari rumus adalah sebagai berikut :

$$\text{Importance Index (IMP.I)} = \text{L.I} \times \text{S.I}$$

Hasil Indeks frekuensi dari kegagalan yang mempengaruhi kerusakan pipa bawah laut. Rumus *Likelihood Index* (L.I.) :

$$\text{L. I.} = \frac{\sum_{i=1}^5 a_{ini}}{5(N)} * 100\%$$

Severity Index menghasilkan indeks dampak tingkat keparahan dari kegagalan yang mempengaruhi kerusakan pipa bawah laut. Rumus *Severity Index* (S.I.):

$$\text{S. I.} = \frac{\sum_{i=1}^5 a_{ini}}{5(N)} * 100\%$$

Dimana:

a = konstanta peangkaan (1 s/d 5)

ni = probabilitas responden

$i = 1,2,3,4,5, \dots n$

N = total jumlah responden

Untuk memperjelas angka indeks risiko probabilitas dan konsekuensi yang akan diaplikasikan ke matriks risiko maka ada beberapa berikutnya yaitu menghitung hasil probabilitas dengan metode *cut set* yang memperhitungkan risiko serta logika yang menghubungkan risiko-risiko tersebut dan menggunakan *what if analysis* untuk mencari konsekuensi dari risiko yang ada sehingga memudahkan untuk melanjutkan ke tahap mitigasi dengan menggunakan metode *HAZOP analysis*.

a. *Minimal Cut set*

Minimal Cut Set (MCS) digunakan untuk mengetahui seberapa besar kontribusi kejadian dalam kerusakan pipa bawah laut PT. X di Balikpapan. *Minimal cut set* memiliki order yang berbeda tergantung dari hubungan *logic event* dari suatu kejadian dengan menggunakan *boolean equation*. *Boolean equation* untuk AND *logic event* memiliki persamaan sebagai berikut;

$$A' = A \times B \times \dots$$

A' = Probabilitas hasil AND *logic event*

A = Probabilitas *event* A, B = Probabilitas *event* B

Untuk *boolean equation* OR *logic event* memiliki persamaan sebagai berikut;

$$A' = A + B + \dots$$

A' = Probabilitas hasil OR *logic event*

A = Probabilitas *event* A, B = Probabilitas *event* B

b. *What if*

What if analysis merupakan teknik yang berbasis dalam menjawab pertanyaan yang berasal dari prediksi atau dugaan kumpulan *scenario* berisiko mengalami kegagalan dan

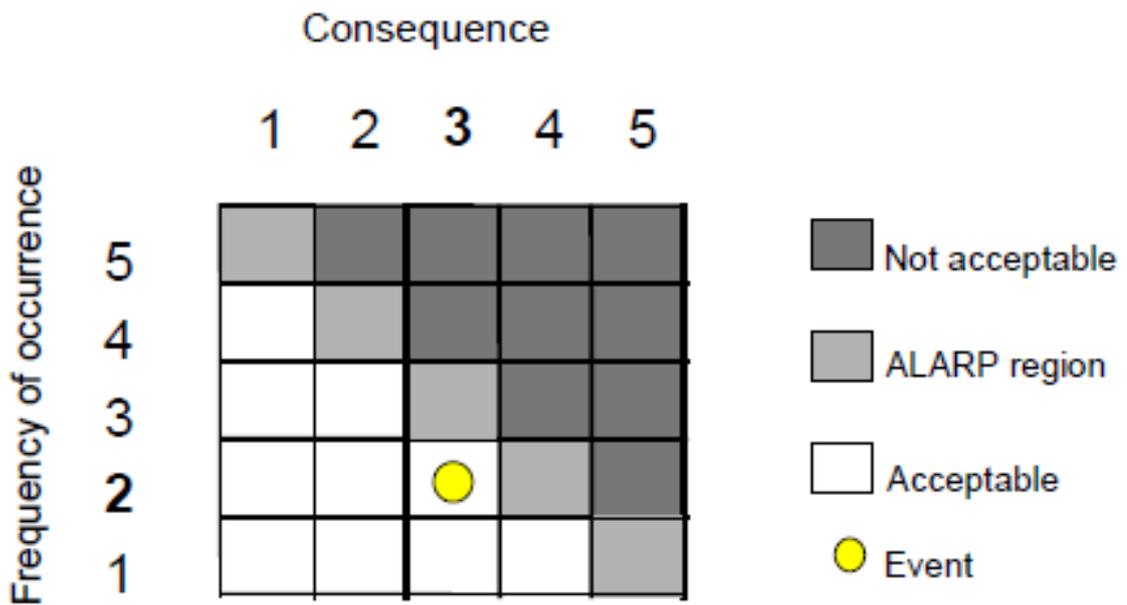
konsekuensinya. Metode ini pada umumnya digunakan untuk fasilitas yang sederhana seperti fasilitas penyimpanan produk.

Metode ini bersifat fleksibel dan mudah untuk diaplikasikan yang dapat dilakukan pada tahap operasi pipa bawah laut kapanpun. Tetapi teknik ini tidak terlalu sistematis karena hasil dari analisa dengan metode ini pada akhirnya bergantung pada pengalaman peneliti dalam menentukannya.

Bentuk dari metode ini pada umumnya terdiri dari kolom yang dialokasikan untuk mengidentifikasi risiko yang dipertimbangkan, potensi konsekuensinya, dan rekomendasinya, pada kasus tertentu juga disediakan kolom untuk menunjukkan status penyelesaian risiko tersebut.

2.2.6.3. Evaluasi Risiko

Setelah probabilitas kegagalan dan konsekuensi didapatkan dari hasil kuisisioner, kemudian selanjutnya dapat dari hasil tersebut dapat dimasukkan ke dalam matriks risiko. Pada Tugas Akhir ini, matriks risiko yang digunakan bersumber dari DNV RP H107. Menurut DNV RP F107 tingkat probabilitas dibedakan menjadi 4 yaitu *not acceptable* (A), *ALARP* (B), dan *acceptable* (C). Sedangkan untuk tingkat konsekuensi juga dibedakan menjadi 4 yaitu *extensive*, *severe*, *moderate* dan *minor*.



Gambar 2.2. Matriks Risiko (DNV RP F107)

Dari matriks di atas masing-masing risiko dapat diklasifikasikan sesuai *level*nya, langkah ini dapat dilakukan ketika angka atau indeks probabilitas dan konsekuensi dari masing-masing risiko yang didapat dari pembahasan disub-bab analisa risiko. Berikut merupakan klasifikasi angka probabilitas dan konsekuensi menurut DNV RP F107:

<i>Annual Failure Ranking for One Pipeline</i>		
<i>Category</i>	<i>Descriptions</i>	<i>Annual Frequency</i>
1	<i>So low frequency that event considered negligible</i>	$<10E-5$
2	<i>Event rarely expected to occur</i>	$10E-4 > 10E-5$
3	<i>Event Individually not expected to happen, but when summarised over a large number of pipelines have the credibility to happen once a year</i>	$10E-3 > 10E-4$
4	<i>Event individually may be expected to occur during the lifetime of the pipeline (Typically a 100 year storm)</i>	$10E-2 > 10E-3$
5	<i>Event Individually may be expected to occur more than once during lifetime</i>	$>10E-2$

Gambar 2.3. Klasifikasi Angka Probabilitas (DNV RP F107)

<i>Severity Ranking</i>		
<i>Category</i>	<i>Description</i>	<i>Downtime</i>
1	<i>Insignificant effect on operation, small or insignificant cost of repair</i>	<i>0 days</i>
2	<i>Repair can be deferred until scheduled shutdown, some repair costs will occur.</i>	<i><1 month</i>
3	<i>Failure causes extended unscheduled loss of facility or system and significant repair costs. Rectification requires unscheduled underwater operation with prequalified repair system before further production.</i>	<i>1-3 months</i>
4	<i>Failure causes indefinite shutdown and significant facility or system failure costs. Rectification requires unscheduled underwater operation without pre-qualified repair system before further production.</i>	<i>3-12 months</i>
5	<i>Total loss of pipeline and possible also loss of other structural parts of the platform. Large cost of repair including long time of shut down of production.</i>	<i>1-3 years</i>

Gambar 2.4. Klasifikasi Angka Konsekuensi (DNV RP F107)

2.2.6.4. Penanganan Risiko

Menurut Santosa (2009), penanganan risiko (*risk treatment*) merupakan proses yang dilakukan untuk mengurangi atau meminimalisasi tingkat risiko yang dihadapi sampai pada batas yang dapat. Secara umum, teknik yang sering digunakan untuk menangani risiko dikelompokkan dalam beberapa kategori sebagai berikut:

1. Menghindari Risiko
2. Menerima Risiko
3. Reduksi Risiko (Mitigasi)
4. Transfer Risiko

Pada tugas akhir ini, teknik untuk menghindari dan mereduksi risiko akan diaplikasikan melalui metode *HAZOP analysis*.

a. *Hazard and Operability Analysis (HAZOP)*

HAZOP adalah sebuah teknik atau metode yang fokus terhadap komponen pipeline dan bertujuan untuk mengembangkan serta meningkatkan *design* sebuah (dalam hal ini) *pipeline* dan mengurangi risiko inherent sebuah *pipeline* (dalam sudut pandang *design*).

HAZOP sendiri merupakan teknik procedural yang terstruktur dan langkah untuk mengidentifikasi bagaimana sebuah proses menjauh dari tujuan *design* utamanya. Pada umumnya metode *HAZOP* lebih berfungsi untuk mengidentifikasi sebuah risiko secara general, tetapi jika sebuah solusi ditemukan pada saat penelitian maka proses selanjutnya adalah untuk mengaplikasi solusi tersebut terhadap risikonya pada saat penelitian. Metode ini bergantung dengan penggunaan *guide word(s)* yang berhubungan dengan *design* tujuan awal, lalu mengidentifikasi bagaimana prosesnya bisa menjauh dari tujuannya.

Dalam penelitian dengan menggunakan metode *HAZOP*, pada umumnya dilakukan dengan cara *brainstorming* secara kelompok terlebih dahulu lalu membuat sekumpulan *guide word(s)* untuk *review* hasilnya, *brainstorming* berfungsi dalam menentukan risiko berdasarkan beberapa sudut pandang yang dapat mengakibatkan hasil penelitian atau analisa yang lebih teliti dan rinci.

Untuk melakukan metode *HAZOP* secara komprehensif maka beberapa kondisi harus ditemukan:

- a. Mendapatkan deskripsi atau informasi yang lengkap dari objek yang akan dianalisa termasuk kondisi *design* yang diharapkan.
- b. Melakukan pemeriksaan secara sistematis dari setiap risiko yang terjadi untuk mengetahui dimana deviasi objek terhadap tujuan awalnya.
- c. Menentukan jika deviasi yang telah didapat dapat menyebabkan bahaya atau masalah pada objek penelitian.

System Identification: Semi Submersible Column Stabilized Pipe Lay Barge						
Activity: Moor the vessel in a working pipe lay configuration						
Component	Guide Word	Deviation	Potential Causes	Possible Consequence	Safeguard	Action
Mooring Line	Unable to control the movement	Mooring Line Breakage	Corrosion	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Reduced the mooring capacities for example the moorings no longer meet their allowable loads ➢ Decrease the mooring line service life ➢ Broken wires ropes 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Uses heavier zinc coating to enhance corrosion protection properties ➢ The larger diameters of wires may use heavier zinc coatings to enhance the attainable design life ➢ An anti corrosion blocking compound should be applied during manufacture to increase corrosion prevention measure. ➢ Regular maintenance and inspection in order to avoid huge damage. 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Conduct visual inspection for example pitting inspection in order to determine the remaining life of the chain. ➢ Perform corrosion measurement using ROV to measure corrosion potential
			Abrasion	Decrease the service life of mooring lines	Uses braided jacket or sheathed spiral strand wire to minimize particle ingress that cause harmful abrasion of the ropes.	<ul style="list-style-type: none"> ➢ In situ water inspection is needed to inspect the touchdown zone where rocks or debris on the sea bed can cause mooring line abrasion ➢ In situ water inspection of wire rope using ROV
			Mooring line clashed	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Operation activities delayed ➢ Vessel damage 	Uses a mooring failure detector that can be attach with mooring chain or wire rope inculdes a power source which supply power to a transmitter to signal the failure by acoustic or radio frequency means.	ROV inspection in order to identify if the lines are intact and or suffer of breakage using inclinometers
			Collision	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Operation shutdown ➢ Vessel damage 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Checking the ARPA radar ➢ Checking the day vision radar 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Monitored the radar plant as a navigational aid and for weather surveillance in order to detect and to track weather fronts, storm clouds ➢ Observe the radar with antenna arrays to define the anchor location match with target acquisition

Gambar 2.5. HAZOP Analysis (Silvianita et al, 2015)

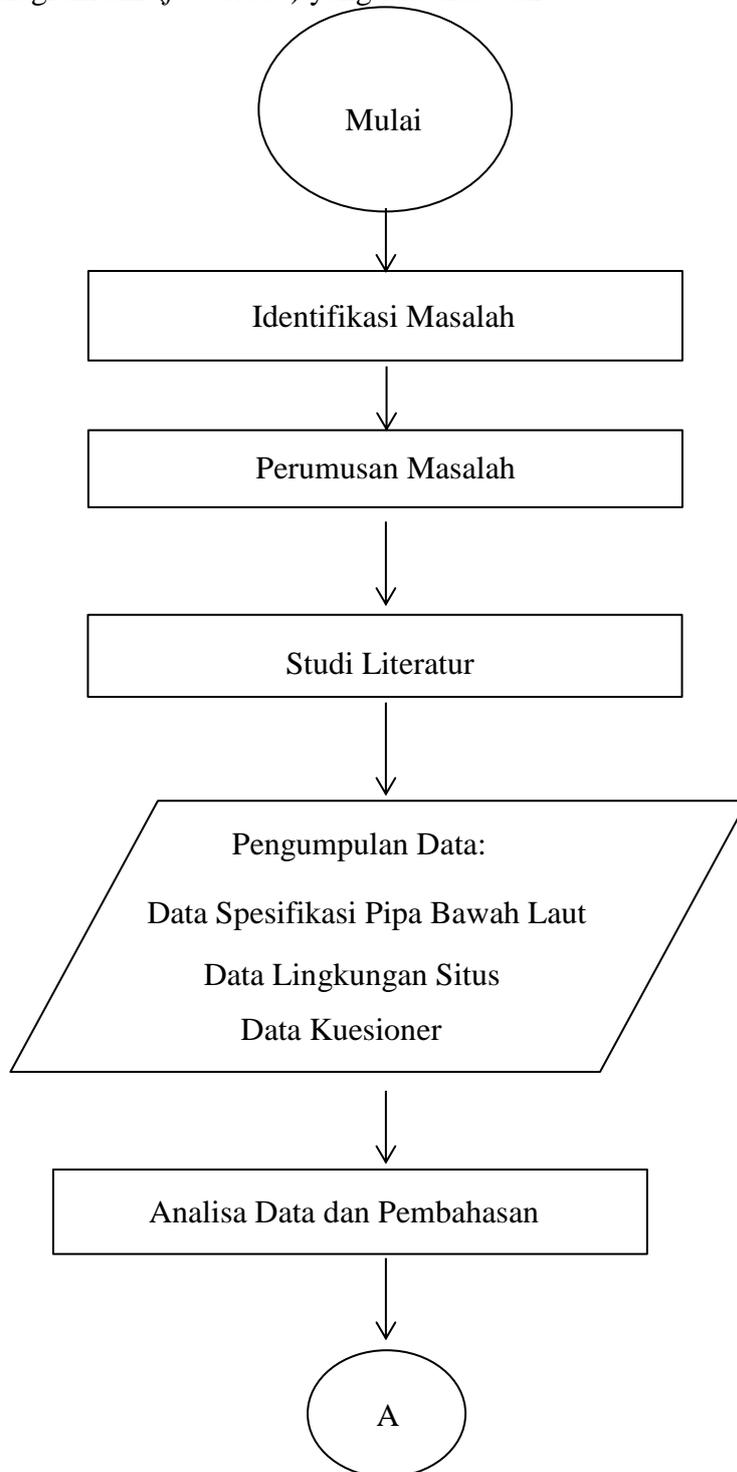
Untuk penjelasan masing-masing kolom yang lebih rinci, tertera sebagai berikut:

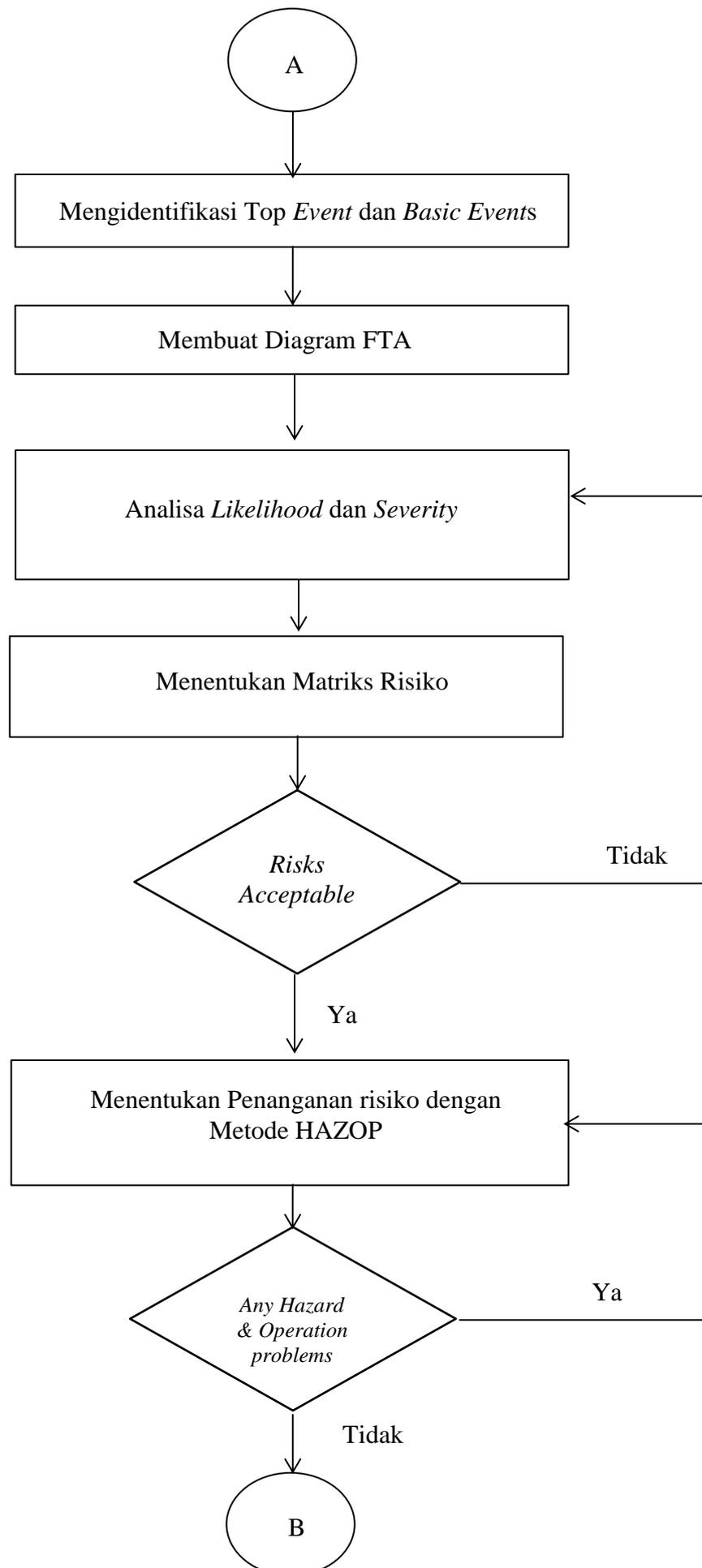
- a. *Guide word*: Kata kunci untuk membuat gambaran sebuah deviasi dari sebuah sistim.
- b. *Deviation*: Deskripsi dari sebuah sistim dimana kondisi proses mungkin menjauh dari perancangannya.
- c. *Possible Causes*: Deskripsi dari penyebab mengapa suatu deviasi terjadi yang dapat menyebabkan konsekuensi terbesar.
- d. *Possible Consequence*: Konsekuensi dari kegagalan yang terjadi atau hasil dari deviasi.
- e. *Safeguards*: Sebuah alat/fasilitas yang berfungsi untuk mencegah sebuah penyebab terhadap suatu konsekuensi.
- f. *Action*: Deskripsi sebuah langkah yang harus dilakukan ketika konsekuensi terjadi, hal ini dapat menghilangkan penyebab dan memitigasi atau mengeliminasi konsekuensi tersebut.

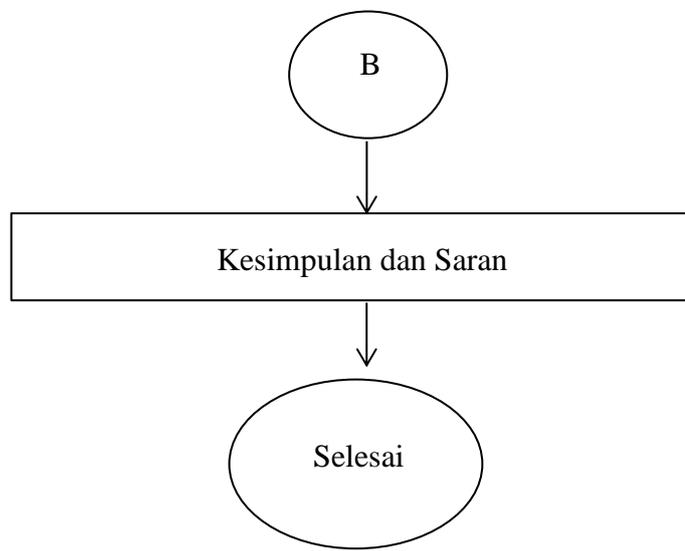
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir

Metode penelitian yang digunakan pada Tugas Akhir ini diilustrasikan dengan diagram alir (*flowchart*) yang ada dibawah:







Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Prosedur Penelitian

1. Identifikasi Masalah

Dalam melakukan sebuah penelitian tahap awal yang perlu dilakukan adalah mengidentifikasi masalah yang akan diangkat dalam topik tugas akhir. Identifikasi merupakan suatu pernyataan bahwa terdapat suatu permasalahan yang akan dijelaskan penyebabnya serta bagaimana langkah penyelesaiannya.

2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah ditetapkan tujuan penelitian agar penelitian menjadi jelas dan terarah. Selanjutnya dilakukan studi literatur dan studi lapangan untuk mencari referensi serta penelitian terdahulu yang kemudian dapat dijadikan perbandingan mengenai *gap* yang ditemukan.

3. Studi Literatur

Untuk membantu dalam penulisan tugas akhir ini diperlukan banyak literatur-literatur yang mendukung, yang berfungsi sebagai pengembangan wawasan dan analisis. Adapun studi literatur yang diperlukan antara lain:

- a. Studi mengenai manajemen risiko.
- b. Studi mengenai penentuan *event* dengan *fault tree analysis*.
- c. Studi mengenai analisa indeks likelihood dan severity dengan metode *cut set* dan *what if* (*respectively*).
- d. Studi mengenai matriks risiko.
- e. Studi mengenai menentukan penanganan dengan HAZOP.

4. Pengumpulan Data.

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang diperlukan sebagai bahan untuk mendukung hipotesa dari penelitian. Data yang akan diolah berkaitan dengan evaluasi kinerja proyek sebagai bahan analisis dan kondisi terkini dari organisasi proyek. Data yang diperlukan antara lain:

- a. Data spesifikasi pipeline milik PT. X di Balikpapan
- b. Data lingkungan yang menjadi faktor risiko yang mempengaruhi *pipeline* di situs.
- c. Data kuisisioner dengan pihak perusahaan untuk menentukan risiko yang berpotensi rendah hingga tinggi yang terjadi pada *pipeline*.

5. Analisis Data dan Pembahasan

Dari data-data yang telah diperoleh, maka akan dilakukan analisis dan pembahasan, diantaranya:

- a. Menganalisa hasil kuisisioner untuk menentukan peristiwa atau *event* yang terjadi pada *pipeline* PT. X di Balikpapan.
- b. Membuat gambar konstruksi FTA dari peristiwa atau *event* yang terjadi pada *pipeline* PT. X .
- c. Menganalisa angka *likelihood* dengan metode *cut set*.
- d. Menganalisa angka *severity* dengan menggunakan metode *what if*
- e. Menentukan matriks risiko.

- f. Menentukan langkah penanganan risiko dari kegagalan yang terjadi pada *pipeline* PT. X di Balikpapan dengan metode HAZOP.

6. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap akhir penelitian dibutuhkan analisa dari pengolahan data yang telah dilakukan. Dengan adanya kesimpulan dari penelitian maka dapat disusun saran-saran yang berguna bagi peningkatan kinerja organisasi, proyek dan bagi pengembangan penelitian selanjutnya.

3.3. Data Penelitian

Berikut merupakan data spesifikasi pipa bawah laut PT. X yang menjadi objek penelitian analisa risiko tugas akhir ini:

Tabel 3.1 Data Spesifikasi Pipa Bawah Laut PT. X

Data Pipa Bawah Laut PT. X	
Location	Balikpapan - Penajam
Design Code	ASME B16.49
Type	Gathering Line
Contractor	
Material	API 5L Grade X42
OD	16" (406.4 mm)
Wall Thickness	12.7 mm
Length	2912 m
Service	Oil
External Corrosion System	Half Shell Bracelet
Design Life	20 years
Design Pressure	4.52 Mpa
Operating Pressure	1.177 Mpa
MAOP	7.318 Mpa
Hydrotest pressure	5.65 Mpa
Design Temperature	93.3 °C
Max. Operating Temperature	48.9 °C
Corrosion Allowance	3mm

3.4. Timeline Penelitian

Tabel 3.2 Timeline Penelitian

No.	Jadwal Kegiatan	Januari				Februari				Maret				April				Mei					
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV		
1.	Menentukan Bidang Studi yang Ingin Dipilih																						
2.	Studi Literatur																						
3.	Menentukan Judul Tugas Akhir																						
4.	Mengerjakan Proposal P1																						
5.	Sidang Proposal P1																						
6.	Mengasumsikan Risiko Kegagalan pada Pipa PT.X																						
7.	Membuat Diagram FTA untuk Mengidentifikasi Risiko																						
8.	Validasi Diagram FTA																						
9.	Membuat Kuisioner Mengenai Event Risiko yang dapat terjadi pada pipa																						
10.	Mengolah Hasil Kuisioner																						
11.	Analisa Probabilitas dan Keperahan Rata-Rata																						
12.	Membuat Matriks Risiko																						
13.	Mengerjakan Laporan P2																						
14.	Sidang Tugas Akhir P2																						

Keterangan

	Durasi Pengerjaan
	Sidang

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini diperoleh dari PT.X mengenai pipa bawah laut perusahaan tersebut yang terletak di Balikpapan (sampai Penajam). Setelah ditelusuri data pipa bawah laut tersebut maka langkah berikutnya adalah untuk mengidentifikasi dan menganalisa kegagalan yang terjadi dari laporan inspeksi PT.X mengenai pipa bawah laut tersebut untuk mengetahui kegagalan yang telah/dapat terjadi serta penyebabnya yang nantinya akan dilaksanakan dengan merancang diagram FTA (*Fault Tree Analysis*).

Kemudian dari hasil diagram FTA, akan dicari probabilitas (*likelihood*) dan konsekuensi (*severity*) yang akan diperoleh dari hasil kuisioner yang telah dibagikan ke pihak/pakar perusahaan (PT.X) lalu dilakukan metode *cut set* serta *what if analysis* untuk mengetahui konsekuensi dari kegagalan yang telah ditetapkan, lalu dimasukkan ke dalam matriks risiko untuk mengetahui tingkat setiap kegagalan.

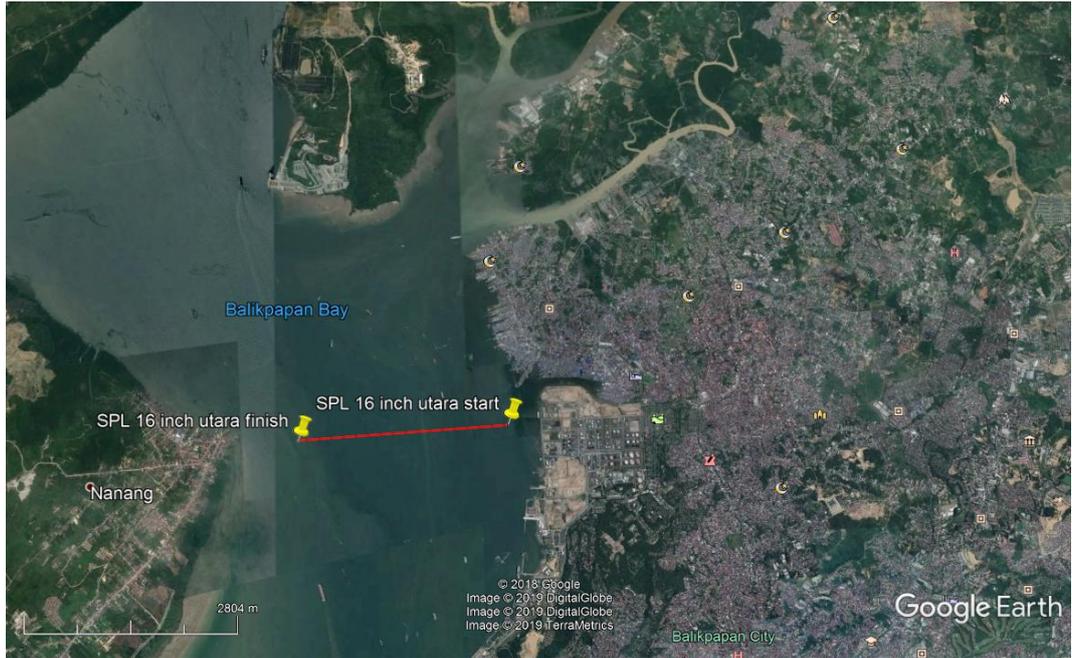
Setelah diperoleh probabilitas dan konsekuensi dari setiap kegagalan maka dapat dilakukan tahap berikutnya yaitu penanganan risiko dengan menggunakan metode HAZOP (*Hazard and Operability Analysis*) untuk mencari *safeguard* dan *action* untuk menangani konsekuensi yang terjadi dari hasil deviasinya.

4.2. Pipa Bawah Laut PT.X di Balikpapan

Pada bagian ini akan menjelaskan mengenai pipa bawah laut PT.X di Balikpapan yang akan dianalisa, berikut merupakan data spesifikasi dari pipa bawah laut tersebut yang diperoleh dari laporan inspeksi PT.X:

Tabel 4.1 Data Spesifikasi Pipa Bawah Laut PT. X

Data Pipa Bawah Laut PT. X	
Location	Balikpapan - Penajam
Design Code	ASME B16.49
Type	Gathering Line
Contractor	
Material	API 5L Grade X42
OD	16" (406.4 mm)
Wall Thickness	12.7 mm
Length	2912 m
Service	Oil
External Corrosion System	Half Shell Bracelet
Design Life	20 years
Design Pressure	4.52 Mpa
Operating Pressure	1.177 Mpa
MAOP	7.318 Mpa
Hydrotest pressure	5.65 Mpa
Design Temperature	93.3 °C
Max. Operating Temperature	48.9 °C
Corrosion Allowance	3mm



Gambar 4.1. Pipa Bawah Laut SPL 16 inch (Google Earth)

4.3. Identifikasi Kegagalan

Menurut DNV RP F107 yang membahas mengenai penilaian risiko perlindungan pipa bawah laut, beberapa kegagalan yang pada umumnya terjadi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Jenis *Hazard* dan Kegagalan (DNV RP F107)

Kegagalan	Jenis <i>Hazard</i>
Buckling	<i>Internal Hazard</i>
Coating	
Fluid Overpressure	
Crossing	
Leakage	
Welding Defect	
Corrosion	

Tabel 4.2 Jenis *Hazard* dan Kegagalan (DNV RP F107)

Kegagalan	Jenis <i>Hazard</i>
Scouring	<i>External Hazard</i>
Freespan	
Dropped Object(s)	
Collision	
On Bottom Instability	

Dari laporan inspeksi pipa bawah laut di Balikpapan oleh PT.X, terdapat beberapa kegagalan yang terjadi pada pipa yang menjadi basis penelitian tugas akhir ini, beberapa hal yang terjadi yang menyebabkan kerusakan pipa tertera dibawah:

1. Tersangkut jangkar pada pipanya
2. Scouring pada beberapa koordinat pipa yang menyebabkan freespan 10 m.
3. Coating pada pipa terkelupas
4. Korosi pada pipa.

Dapat diasumsikan bahwa keempat faktor tersebut adalah kegagalan yang menyebabkan kerusakan pipa bawah laut PT.X di Balikpapan, untuk sementara keempat faktor tersebut menjadi *intermediate event* yang mengakibatkan *top event* yaitu kerusakan pipa bawah laut PT.X di Balikpapan. Sebelum dibentuk dalam diagram maka akan dibuat dalam bentuk daftar seperti berikut:

1. *Top Event*:
 - a. Kerusakan Pipa Bawah Laut

2. *Intermediate Level I*
 - a. Terbentur Objek
 - b. *Freespan*
 - c. *Coating* Terkelupas
 - d. Korosi pada pipa.

e. Kebocoran

3. *Intermediate Event Level II:*

a. Terbentur Objek:

- Kejatuhan Kargo
- Pipa Tersangkut Jangkar

b. *Freespan:*

- Scouring

c. *Coating* Terkelupas

- *Man-made Causes*
- *Natural Causes*
- Keretakan pada Pipa

d. Korosi:

- Internal
- Eksternal

e. Kebocoran:

- Tersangkut Jangkar yang Melintas
- Kegagalan Penutupan Katup
- Tekanan Internal yang Berlebih

4. *Intermediate Event Level III:*

a. Kargo Terjatuh:

- *Human Error*
- *Natural Causes*

b. Pipa Tersangkut Jangkar:

- Menjatuhkan Jangkar di atas Pipa
- *Anchor Dragging*

c. Scouring

d. Man-made (*Coating* Terkelupas):

- Terjatuh Jangkar yang Menggesek Pipa

e. Natural (*Coating* Terkelupas):

- Umur *Coating*

- Arus Mengikis *Coating*
- f. Keretakan pada Pipa:
 - Tekanan dari Gelombang
 - Tekanan Internal yang Berlebih
- g. Internal:
 - *Wall Thickness* Mengalami Penipis
 - Umur Pipa Melewati Batas
 - Proteksi Internal Pipa Rusak
- h. Eksternal:
 - Korosi pada *Coating* yang Terkelupas
 - Lingkungan yang Korosif
- i. Tersangkut Jangkar yang Melintas:
 - *Human Error* saat Menjatuhkan Jangkar
- j. Kegagalan Penutupan Katup:
 - Katup Tersumbat
 - Tidak Sengaja ditinggal Terbuka
 - Tidak Sengaja Terbuka
- k. Tekanan Internal yang Berlebih:
 - *Overfilling*

5. Basic Event

- a. *Human Error* (Terbentur Objek):
 - Harness yang Mengikat Kargo dipasang secara Longgar
- b. *Natural Causes*:
 - Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal
- c. Menjatuhkan Jangkar di atas Pipa:
 - *Human Error* saat Menjatuhkan Jangkar
- d. *Anchor Dragging*:
 - Momentum Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan
- e. *Scouring*:
 - Arus Mengikis *Seabed*
 - Bebatuan Mengikis *Seabed*

- f. Terjatuh Jangkar yang Menggesek
 - *Human Error* saat Menjatuhkan Jangkar
- g. Umur *Coating* Melewati Batas:
 - Jadwal *Maintenance* yang Terlewatkan
- h. Arus Mengikis *Coating*:
 - Material *Coating* tidak Sesuai Standar
- i. Tekanan dari Gelombang
 - Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang
 - Penutupan Katup akibat Tekanan
- j. Tekanan Internal yang Berlebih
 - Overfilling akibat Aliran yang Tersumbat
 - Kegagalan Regulasi Katup
- k. *Wall Thickness* pipa mengalami penipisan
 - Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif
- l. Umur Pipa Melewati Batas
 - Jadwal *Maintenance* yang Terlewatkan
- m. Proteksi Internal Pipa Rusak
 - Overpressure akibat Aliran yang Tersumbat
- n. Korosi pada *Coating* yang Terkelupas
 - Jangkar yang Tersangkut Mengelupas *Coating*
- o. Lingkungan yang Korosif
 - Kesalahan pada saat Konsep Perancangan
 - Kesalahan pada Saat Instalasi
 - *Maintenance* yang Kurang Mendalam Mendalam Mendalam
 - Sifat Korosif Air Laut
- p. *Human Error* saat Menjatuhkan Jangkar
 - Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang
- q. Katup Tersumbat
 - Debris yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran
- r. Tidak Sengaja ditinggal Terbuka
 - *Human Error* Karena Kesalahan Prosedur
- s. Tidak Sengaja Terbuka

- Human Error Saat Membuka Katup

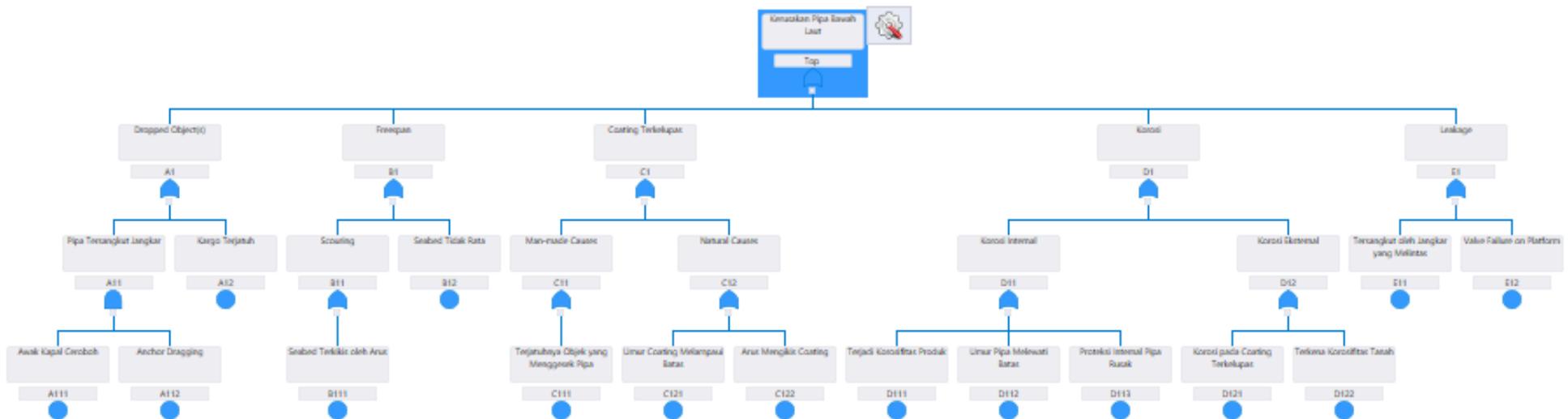
t. *Overfilling*

- Fluida yang Mengalir Melebihi Batas

4.4. *Fault Tree Analysis*

Pada bagian ini, akan dirancang diagram FTA untuk mendeskripsikan kegagalan pada pipa bawah laut PT.X di Balikpapan. *Fault Tree Analysis* adalah suatu teknik yang digunakan untuk menganalisis risiko yang berperan terhadap terjadinya suatu kegagalan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top down*, yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (*top event*) kemudian merinci sebab-sebab mengapa *top event* terjadi sampai pada suatu kegagalan dasar (*basic event*). Setelah mengidentifikasi potensi kecelakaan pada bagian sebelumnya, selanjutnya akan dilakukan analisa dengan menggunakan metode FTA (*Fault Tree Analysis*). *Top event* atau kejadian puncak akan dianalisa hingga *lowest level* yang disebut *basic event*. Setelah penggambaran diagram *fault tree*, selanjutnya akan dilakukan analisa *minimal cut set* dari hasil kuisioner untuk menemukan *probability* dan *severity* dari masing-masing kegagalan, lalu menganalisa *severity* dengan metode *what if analysis* untuk mencari dampak dari masing-masing kegagalan.

Diagram FTA adalah sebagai berikut:



Gambar 4.2. Diagram Fault Tree Analysis Kerusakan Pipa Bawah Laut

Berikut merupakan daftar kegagalan dari hasil identifikasi kerusakan pipa bawah laut PT.X di Balikpapan:

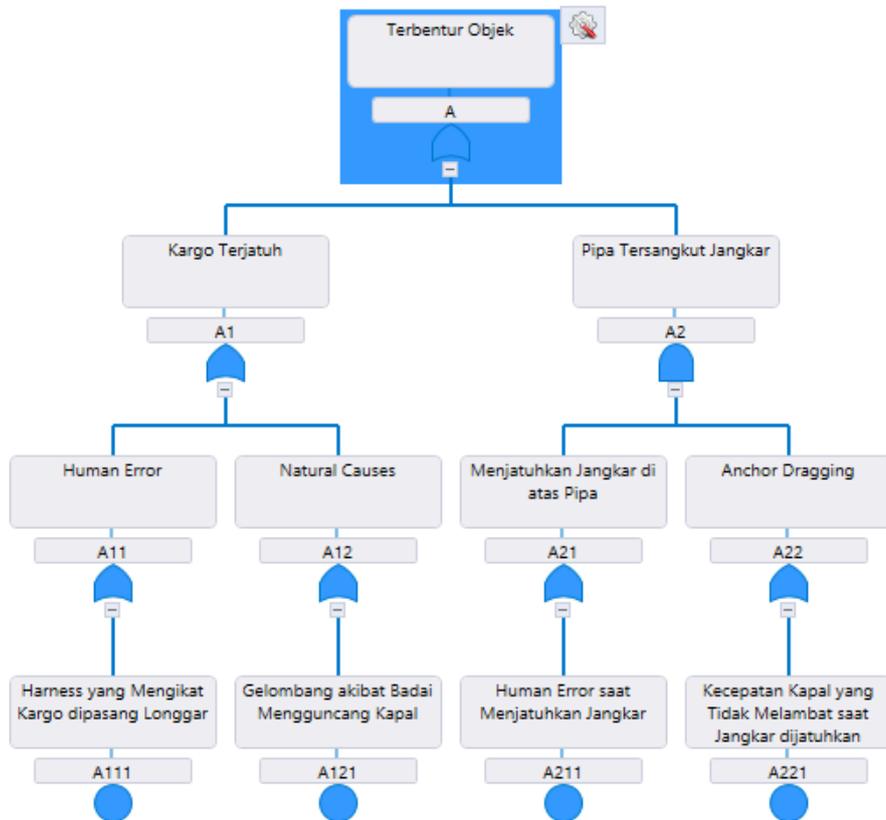
Tabel 4.3 Kegagalan Pipa Bawah Laut PT.X

<i>Level Event</i>	Kode	Deskripsi <i>Event</i>
<i>Top Event</i>	.	Kerusakan Pipa Bawah Laut
<i>Intermediate Event Level I</i>	A	Terbentur Objek
	B	<i>Freespan</i>
	C	<i>Coating</i> Terkelupas
	D	Korosi
	E	Kebocoran
<i>Intermediate Event Level II</i>	A1	Kargo Terjatuh
	A2	Pipa Tersangkut Jangkar
	B1	<i>Scouring</i>
	C1	<i>Man Made Causes</i>
	C2	<i>Natural Causes</i>
	C3	Keretakan pada pipa
	D1	Korosi Internal
	D2	Korosi Eksternal
	E1	Tersangkut Jangkar yang Melintas
	E2	Kegagalan Penutupan Katup
E3	Tekanan Internal Berlebih	
<i>Intermediate Event Level III</i>	A11	<i>Human Error</i>
	A12	<i>Natural Causes</i>
	A21	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa
	A22	<i>Anchor Dragging</i>
	C11	Terjatuh Jangkar yang Menggesek
	C21	Umur <i>Coating</i> Melewati Batas
	C22	Arus Mengikis <i>Coating</i>
	C31	Tekanan dari Gelombang
	C32	Tekanan Internal yang Berlebih
	D11	<i>Wall Thinckness</i> Mengalami Penipisan
	D12	Umur Pipa Melewati Batas
	D13	Proteksi Internal Pipa Rusak
	D21	Korosi pada <i>Coating</i> yang Terkelupas
	D22	Lingkungan yang Korosif
	E11	<i>Human Error</i> saat Menjatuhkan Jangkar
	E21	Katup Tersumbat
	E22	Tidak Sengaja ditinggal Terbuka
	E23	Tidak Sengaja terbuka
E31	<i>Overfilling</i>	

Tabel 4.3 Kegagalan Pipa Bawah Laut PT.X

Level Event	Kode	Deskripsi Event
Basic Event	A111	<i>Harness</i> yang Mengikat Kargo dipasang Longgar
	A112	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal
	A211	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar
	A221	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan
	B11	Arus yang Mengikis <i>Seabed</i>
	B12	Bebatuan yang Mengikis <i>Seabed</i>
	C111	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar
	C211	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan
	C221	Material <i>Coating</i> Tidak Sesuai Standar
	C311	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang
	C312	Penutupan Katup akibat Tekanan
	C321	<i>Overfilling</i> akibat Aliran yang Tersumbat
	C322	Kegagalan Regulasi Katup
	D111	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif
	D121	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan
	D131	<i>Overpressure</i> akibat Aliran yang Tersumbat
	D211	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas <i>Coating</i>
	D221	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan
	D222	Kesalahan pada Saat Instalasi
	D223	<i>Maintenance</i> yang Kurang
	D224	Sifat Korosif Air Laut
	E111	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang
	E211	<i>Debris</i> yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran
	E221	<i>Human Error</i> Karena Kesalahan Prosedur
	E231	<i>Human Error</i> Saat Membuka Katup
	E311	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas

Selanjutnya, kegagalan yang telah ditentukan akan dijabarkan per tingkat dari *intermediate event level I*, *level II*, *level III*, dan *basic event*. Pada kegagalan berkode A yang memiliki 1 kegagalan *intermediate level I*, 2 kegagalan *intermediate level II*, 4 kegagalan *intermediate event level III* dan 4 *root cause* sebagai *basic event* akan berbentuk sebagai berikut:



Gambar 4.3. Diagram Fault Tree Analysis Terbentur Objek

Dengan keterangan kegagalan sebagai berikut:

Tabel 4.4 Event Terbentur Objek

Level Event	Kode	Deskripsi Event
Intermediate Event Level I	A	Terbentur Objek
Intermediate Event Level II	A1	Kargo Terjatuh
	A2	Pipa Tersangkut Jangkar
Intermediate Event Level III	A11	Human Error
	A12	Natural Causes
	A21	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa
	A22	Anchor Dragging
Basic Event	A111	Harness yang Mengikat Kargo dipasang Longgar
	A112	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal
	A221	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar
	A221	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan

Tabel di atas menggambarkan bahwa salah satu kerusakan pipa bawah laut PT.X di Balikpapan yang terjadi akibat kejatuhan objek memiliki beberapa

penyebab hingga ke *root causenya*, kegagalan yang tercantum di atas berasal dari referensi DNV RP F107, The Global CCS Institute, dan jurnal Aramis Project yang membahas mengenai *subsea pipeline failure*.

Pada laporan inspeksi pipa bawah laut PT.X di Balikpapan salah satu kegagalan yang menyebabkan kerusakan pipa yang terjadi adalah terjatuhnya objek pada pipa yang dapat dijabarkan sesuai table di atas yaitu karena tersangkut oleh jangkar hal tersebut memiliki potensi bahwa ada awak kapal yang ceroboh ketika menurunkan jangkar dan dapat terjadi akibat anchor dragging. Terjatuhnya kargo dari kapal juga dapat menjadi potensi kerusakan pipa bawah laut PT.X di Balikpapan.

Selanjutnya pada kegagalan B, bentuk diagram FTA adalah sebagai berikut:



Gambar 4.4. Diagram Fault Tree Analysis Freespan

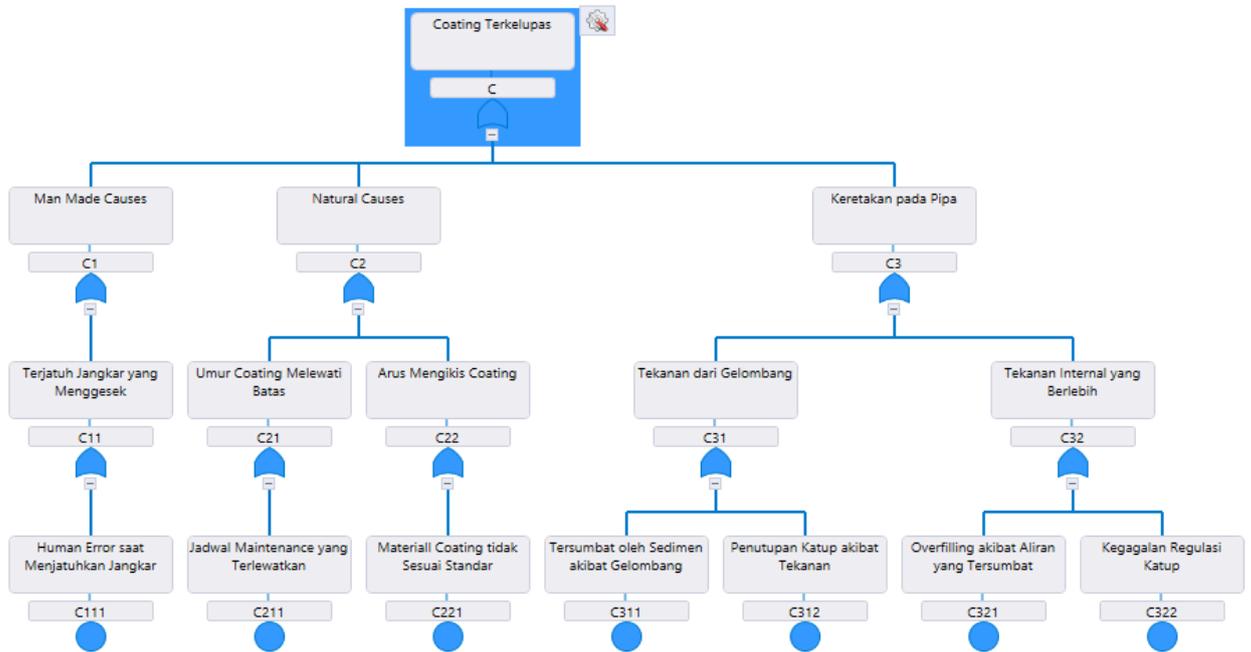
Dengan keterangan kegagalan sebagai berikut:

Tabel 4.5 *Event Freespan*

Level Event	Kode	Kegagalan
<i>Intermediate Event Level I</i>	B	<i>Freespan</i>
<i>Intermediate Event Level II</i>	B1	<i>Scouring</i>
<i>Basic Event</i>	B11	Arus yang Mengikis <i>Seabed</i>
	B12	Bebatuan yang Mengikis <i>Seabed</i>

Pada diagram FTA bagian kegagalan berkode B, kegagalan yang memiliki potensi untuk menyebabkan *freespan* pada pipa bawah laut PT.X di Balikpapan adalah terjadinya *scouring* akibat seabed yang terkikis oleh arus laut dan bebatuan.

Pada kegagalan berkode C bentuk diagram FTA nya adalah sebagai berikut:



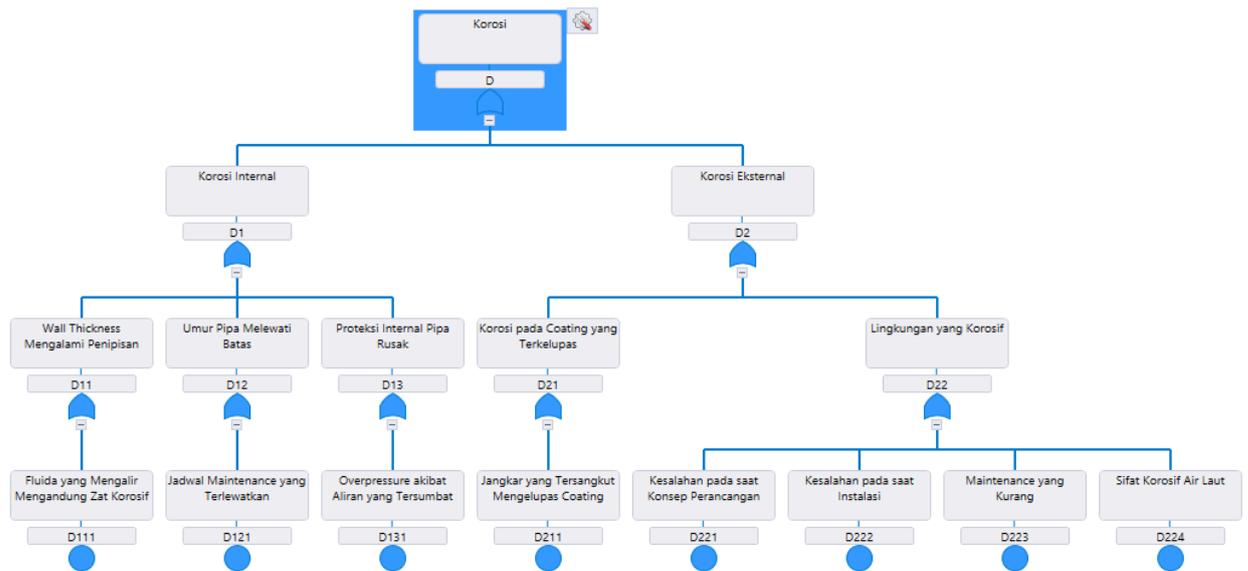
Gambar 4.5. Diagram Fault Tree Analysis Coating Terkelupas

Tabel 4.6 *Event Coating* Terkelupas

<i>Level Event</i>	Kode	Deskripsi <i>Event</i>
<i>Intermediate Event Level I</i>	C	<i>Coating</i> Terkelupas
<i>Intermediate Event Level II</i>	C1	<i>Man Made Causes</i>
	C2	<i>Natural Causes</i>
	C3	Keretakan pada pipa
<i>Intermediate Event Level III</i>	C11	Terjatuh Jangkar yang Menggesek
	C21	Umur <i>Coating</i> Melewati Batas
	C22	Arus Mengikis <i>Coating</i>
	C31	Tekanan dari Gelombang
	C32	Tekanan Internal yang Berlebih
<i>Basic Event</i>	C111	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar
	C211	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan
	C221	Material <i>Coating</i> Tidak Sesuai Standar
	C311	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang
	C312	Penutupan Katup akibat Tekanan
	C321	<i>Overfilling</i> akibat Aliran yang Tersumbat
	C322	Kegagalan Regulasi Katup

Lalu, pada diagram FTA berkode C yang menjabarkan kegagalan kerusakan pipa bawah laut akibat coating yang terkelupas terdapat beberapa kegagalan yang memiliki potensi sebagai dibagi menjadi dua pada tingkat *intermediate event level II* yaitu kerusakan akibat natural, akibat perbuatan manusia, serta terjadinya keretakan pada pipa, pada bagian yang terjadinya secara alami terdapat dua kegagalan yaitu umur coating melewati batas dan arus laut mengikis coating. Pada kegagalan yang disebabkan oleh perbuatan manusia, terdapat root cause yaitu terjatuhnya objek yang terjatuh dan menggesek coating pada pipa bawah laut PT.X di Balikpapan, serta adanya tekanan balik dari gaya gelombang dan tekanan internal yang menyebabkan keretakan pada pipa sehingga *coating* memiliki potensi untuk terkelupas.

Pada kegagalan berkode D bentuk diagram FTA nya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.6. Diagram Fault Tree Analysis Korosi

Dengan keterangan kegagalan sebagai berikut:

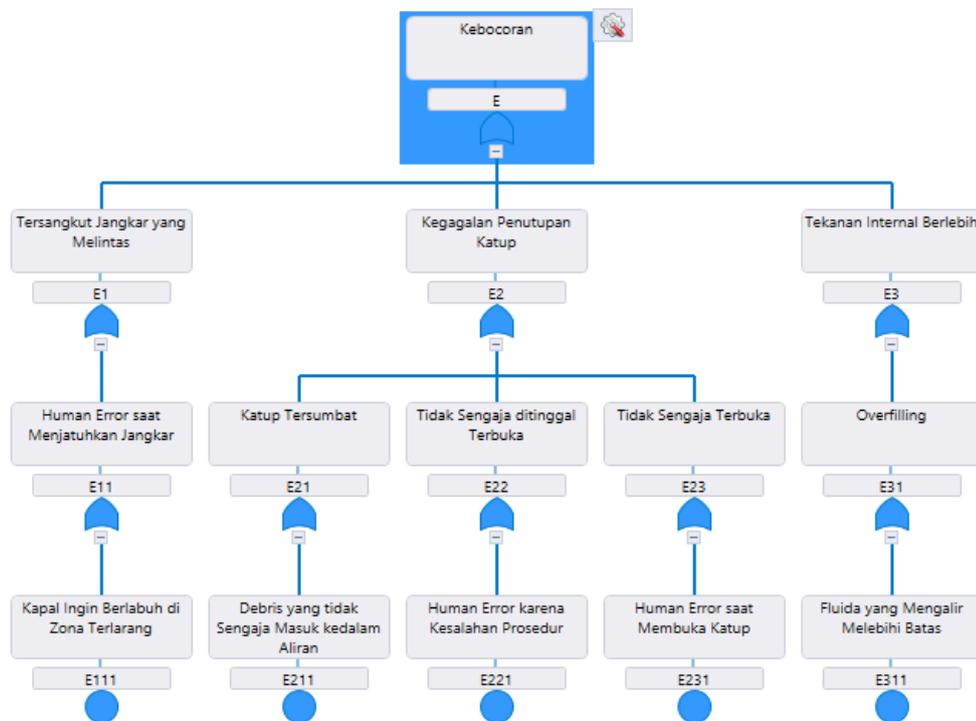
Tabel 4.7 Event Korosi

<i>Level Event</i>	Kode	Deskripsi Event
<i>Intermediate Event Level I</i>	D	Korosi
<i>Intermediate Event Level II</i>	D1	Korosi Internal
	D2	Korosi Eksternal
<i>Intermediate Event Level III</i>	D11	<i>Wall Thinckness</i> Mengalami Penipisan
	D12	Umur Pipa Melewati Batas
	D13	Proteksi Internal Pipa Rusak
	D21	Korosi pada <i>Coating</i> yang Terkelupas
	D22	Lingkungan yang Korosif
<i>Basic Event</i>	D111	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif
	D121	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan
	D131	<i>Overpressure</i> akibat Aliran yang Tersumbat
	D211	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas <i>Coating</i>
	D221	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan
	D222	Kesalahan pada Saat Instalasi
	D223	<i>Maintenance</i> yang Kurang Mendalam
D224	Sifat Korosif Air Laut	

Diagram FTA berkode D mengenai korosi yang terjadi pada pipa bawah laut PT.X di Balikpapan terdiri dari beberapa kegagalan pada tingkat *intermediate*

level II yang dibagi menjadi dua yaitu korosi internal yang terdiri dari produk memiliki korosifitas yang tidak cocok dengan fluida yang melewatinya, proteksi internal pipa yang rusak, umur pipa yang telah melewati batas dan yang kedua adalah korosi eksternal yang terdiri akibat air laut yang menyebabkan korosi pada bagian pipa yang coatingnya terkelupas dan korosi yang terjadi akibat lingkungan yang bersifat korosif terhadap material pipa..

Pada kegagalan berkode E bentuk diagram FTA nya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.7. Diagram Fault Tree Analysis Kebocoran

Tabel 4.8 *Event* Kebocoran

<i>Level Event</i>	Kode	Deskripsi <i>Event</i>
<i>Intermediate Event Level</i> I	E	Kebocoran
<i>Intermediate Event Level</i> II	E1	Tersangkut Jangkar yang Melintas
	E2	Kegagalan Penutupan Katup
	E3	Tekanan Internal Berlebih
<i>Intermediate Event Level</i> III	E11	<i>Human Error</i> saat Menjatuhkan Jangkar
	E21	Katup Tersumbat
	E22	Tidak Sengaja ditinggal Terbuka
	E23	Tidak Sengaja terbuka
	E31	<i>Overfilling</i>
<i>Basic Event</i>	E111	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang
	E211	<i>Debris</i> yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran
	E221	<i>Human Error</i> Karena Kesalahan Prosedur
	E231	<i>Human Error</i> Saat Membuka Katup
	E311	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas

Pada diagram FTA mengenai kebocoran pipa, terdapat dua kegagalan yaitu kebocoran yang terjadi akibat jangkar yang tersangkut dan kegagalan penutupan katup, dan tekanan internal yang berlebih akibat *overfilling*.

4.5. Analisa Probabilitas dan Keparahan

Setelah diagram FTA dan kegagalan yang dapat terjadi pada pipa bawah laut PT.X di Balikpapan telah teridentifikasi. Maka langkah berikutnya adalah untuk menganalisa probabilitas dan keparahan tiap kegagalan yang telah teridentifikasi, untuk menganalisa probabilitas rata-rata dan keparahan rata-rata maka kuesioner mengenai tingkat probabilitas dan keparahan disebarkan dan diisi oleh responden yang memiliki pengalaman atau sedang bekerja pada bidang yang menjadi topik penelitian tugas akhir ini. Dari dua hasil kuesioner (sementara) maka dapat diperoleh probabilitas dan keparahan (rata-rata) dari masing-masing kegagalan.

Kuesioner tersebut berisi kriteria probabilitas dan keparahan yang mengacu pada DNV RP F107 mengenai *risk assessment* pipa bawah laut yang berskala dari 1 hingga 5 per masing-masing kegagalan.

4.5.1. Perhitungan Probabilitas Rata-Rata

Pada tahap ini, probabilitas yang akan diperoleh berasal dari hasil kuesioner yang telah diisi oleh responden, perhitungan akan mengacu pada kriteria probabilitas yang bersumber dari DNV RP F107 sebagai berikut:

Tabel 4.9. Kriteria Probabilitas DNV RP F107

<i>Annual Failure Ranking for One Pipeline</i>		
<i>Category</i>	<i>Descriptions</i>	<i>Annual Frequency</i>
1	<i>So low frequency that event considered negligible</i>	$<10E-5$
2	<i>Event rarely expected to occur</i>	$10E-4 > 10E-5$
3	<i>Event Individually not expected to happen, but when summarised over a large number of pipelines have the credibility to happen once a year</i>	$10E-3 > 10E-4$
4	<i>Event individually may be expected to occur during the lifetime of the pipeline (Typically a 100 year storm)</i>	$10E-2 > 10E-3$
5	<i>Event Individually may be expected to occur more than once during lifetime</i>	$>10E-2$

Berdasarkan tabel di atas masing-masing tingkat probabilitas memiliki frekuensi, untuk tingkat kedua hingga keempat maka diambil nilai rata-rata sehingga perhitungan dapat dilakukan lebih mudah. Selanjutnya hasil kuesioner dari responden diolah untuk mendapatkan probabilitas rata-rata seperti berikut:

Tabel 4.10. Probabilitas Rata-Rata *Basic Event*

Level Event	Kode	Deskripsi Event	P BE
Basic Event	A111	<i>Harness yang Mengikat Kargo dipasang Longgar</i>	3.40E-03
	A112	<i>Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal</i>	3.95E-03
	A221	<i>Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar</i>	1.82E-02
	A221	<i>Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan</i>	3.40E-03
	B11	<i>Arus yang Mengikis Seabed</i>	1.25E-01
	B12	<i>Bebatuan yang Mengikis Seabed</i>	2.31E-02
	C111	<i>Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar</i>	2.31E-02
	C211	<i>Jadwal Maintenance yang Terlewatkan</i>	3.40E-03
	C221	<i>Material Coating Tidak Sesuai Standar</i>	3.30E-03
	C311	<i>Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang</i>	3.85E-03
	C312	<i>Penutupan Katup akibat Tekanan</i>	3.85E-03
	C321	<i>Overfilling akibat Aliran yang Tersumbat</i>	2.31E-02

Tabel 4.10. Probabilitas Rata-Rata *Basic Event*

Level Event	Kode	Deskripsi Event	P BE
Basic Event	C322	Kegagalan Regulasi Katup	4.95E-03
	D111	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif	1.28E-02
	D121	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan	2.76E-02
	D131	<i>Overpressure</i> akibat Aliran yang Tersumbat	4.95E-03
	D211	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas <i>Coating</i>	3.30E-03
	D221	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan	3.85E-03
	D222	Kesalahan pada Saat Instalasi	1.28E-02
	D223	<i>Maintenance</i> yang Kurang	2.27E-02
	D224	Sifat Korosif Air Laut	1.77E-02
	E111	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang	1.23E-02
	E211	<i>Debris</i> yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran	2.85E-03
	E221	<i>Human Error</i> Karena Kesalahan Prosedur	2.95E-03
	E231	<i>Human Error</i> Saat Membuka Katup	2.95E-03
	E311	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas	2.40E-03

Setelah probabilitas rata-rata pada *basic event* telah diperoleh maka untuk mendapatkan probabilitas rata-rata pada tingkat *event* selanjutnya hingga top *event* maka dilakukan metode *minimal cut set* dengan *Boolean equation* dimana perhitungan probabilitas akan bergantung pada gerbang logika masing-masing *event*.

Boolean equation untuk AND *logic event* memiliki persamaan sebagai berikut:

$$A' = A \times B \times \dots$$

A' = Probabilitas hasil AND *logic event*

A = Probabilitas *event* A, B = Probabilitas *event* B

Untuk *boolean equation* OR *logic event* memiliki persamaan sebagai berikut:

$$A' = A + B + \dots$$

A' = Probabilitas hasil OR *logic event*

A = Probabilitas *event* A, B = Probabilitas *event* B

Dengan menggunakan rumus Boolean maka probabilitas rata-rata untuk tingkat *event* selanjutnya, berikut merupakan hasil perhitungan probabilitas rata-rata untuk kegagalan (*event*) berkode A yaitu terbentur objek:

Tabel 4.11. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event A Level III*

P BE	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE III
3.40E-03	OR	Intermediate Event Level III	A11	Human Error	0.0034
3.95E-03	OR		A12	Natural Causes	0.00395
1.82E-02	OR		A21	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa	0.01815
3.40E-03	OR		A22	Anchor Dragging	0.0034

Tabel 4.12. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event A Level II*

P IE III	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE II
0.0034	OR	Intermediate Event Level II	A1	Kargo Terjatuh	0.00735
0.00395					
0.01815	AND		A2	Pipa Tersangkut Jangkar	0.00006171
0.0034					

Tabel 4.13. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event A Level I*

P IE II	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE I
0.00735	OR	Intermediate Event Level I	A	Terbentur Objek	0.00741171
0.00006171					

Pada tabel-tabel di atas, diperoleh probabilitas rata-rata dari setiap tingkat *event* dari *basic event* hingga *intermediate event level I* dengan probabilitas $7.4E-3$ (tingkat 3). Berikut merupakan nilai probabilitas rata-rata untuk kegagalan (*event*) berkode B:

Tabel 4.14. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event B Level II*

P BE	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE II
4.40E-03	OR	Intermediate Event Level II	B1	Scouring	0.0275
2.31E-02					

Tabel 4.15. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event B Level I*

P IE II	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE I
0.0275	OR	Intermediate Event Level I	B	Freespan	0.0275

Pada tabel-tabel di atas, diperoleh probabilitas rata-rata dari setiap tingkat *event* dari *basic event* hingga *intermediate event level I* dengan hasil 2.7E-2 (tingkat 4). Berikut merupakan nilai probabilitas rata-rata untuk kegagalan (*event*) berkode C:

Tabel 4.16. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event C Level III*

P BE	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE III
2.31E-02	OR	Intermediate Event Level III	C11	Terjatuh Jangkar yang Menggesek	0.0231
3.40E-03	OR		C21	Umur Coating Melewati Batas	0.0034
3.30E-03	OR		C22	Arus Mengikis Coating	0.0033
3.85E-03	OR		C31	Tekanan dari Gelombang	0.0077
3.85E-03					
2.31E-02	OR		C32	Tekanan Internal yang Berlebih	0.0077
4.95E-03					

Tabel 4.17. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event C Level II*

P IE III	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE II
0.0231	OR	Intermediate Event Level II	C1	Man Made Causes	0.0231
0.0034	OR		C2	Natural Causes	0.0067
0.0033					
0.0077	OR		C3	Keretakan pada pipa	0.0154
0.0077					

Tabel 4.18. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event C Level I*

P IE II	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE I
0.0231	OR	Intermediate Event Level I	C	Coating Terkelupas	0.0452
0.0067					
0.0154					

Pada tabel-tabel di atas, diperoleh probabilitas rata-rata dari setiap tingkat *event* dari *basic event* hingga *intermediate event level I* dengan hasil $4.5E-2$ (tingkat 4). Berikut merupakan nilai probabilitas rata-rata untuk kegagalan (*event*) berkode D:

Tabel 4.19. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event D Level III*

P BE	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE III
1.28E-02	OR	Intermediate Event Level III	D11	Wall Thickness Mengalami Penipisan	1.28E-02
2.76E-02	OR		D12	Umur Pipa Melewati Batas	2.76E-02
4.95E-03	OR		D13	Proteksi Internal Pipa Rusak	4.95E-03
3.30E-03	OR		D21	Korosi pada Coating yang Terkelupas	3.30E-03
3.85E-03	OR		D22	Lingkungan yang Korosif	5.70E-02
1.28E-02					
2.27E-02					
1.77E-02					

Tabel 4.20. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event D Level II*

P IE III	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE II
1.28E-02	OR	Intermediate Event Level II	D1	Korosi Internal	4.53E-02
2.76E-02					
4.95E-03					
3.30E-03	OR		D2	Korosi Eksternal	
5.70E-02					

Tabel 4.21. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event D Level I*

P IE II	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE I
4.53E-02	OR	Intermediate Event Level I	D	Korosi	1.06E-01
6.03E-02					

Pada tabel-tabel di atas, diperoleh probabilitas rata-rata dari setiap tingkat *event* dari *basic event* hingga *intermediate event level I* dengan hasil 1.06E-1 (tingkat 5). Berikut merupakan nilai probabilitas rata-rata untuk kegagalan (*event*) berkode E:

Tabel 4.22. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event E Level III*

P BE	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE III
1.23E-02	OR	Intermediate Event Level III	E11	Human Error saat Menjatuhkan Jangkar	1.23E-02
2.85E-03	OR		E21	Katup Tersumbat	2.85E-03
2.95E-03	OR		E22	Tidak Sengaja ditinggal Terbuka	2.95E-03
2.95E-03	OR		E23	Tidak Sengaja terbuka	2.95E-03
2.40E-03	OR		E31	Overfilling	2.40E-03

Tabel 4.23. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event E Level II*

P IE III	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE II
1.23E-02	OR	Intermediate Event Level II	E1	Tersangkut Jangkar yang Melintas	1.23E-02
2.85E-03	OR		E2	Kegagalan Penutupan Katup	8.75E-03
2.95E-03					
2.95E-03					
2.40E-03	OR		E3	Tekanan Internal Berlebih	2.40E-03

Tabel 4.24. Probabilitas Rata-Rata *Intermediate Event E Level I*

P IE II	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P IE I
1.23E-02	OR	Intermediate Event Level I	E	Kebocoran	2.35E-02
8.75E-03					
2.40E-03					

Pada tabel-tabel di atas, diperoleh probabilitas rata-rata dari setiap tingkat *event* dari *basic event* hingga *intermediate event level I* dengan hasil 2.35E-02 (tingkat 4). Berikut merupakan nilai probabilitas rata-rata untuk *top event*:

Tabel 4.25. Probabilitas Rata-Rata *Top Event*

P IE I	Logic Gate	Level Event	Kode	Deskripsi Event	P TE
7.4E-03	OR	Top Event	TOP	Kerusakan Pipa Bawah Laut	2.09E-01
2.7E-02					
4.5E-02					
1.06E-01					
2.35E-02					

Pada tabel di atas diperoleh nilai probabilitas rata-rata *top event* yaitu kerusakan pipa bawah laut, 2.09E-01 yang jika dilihat kriteria probabilitas DNV RP F107 maka *top event* berada di tingkat 5.

4.5.2. Perhitungan Keparahan Rata-Rata

Pada tahap ini, keparahan diperoleh dari hasil kuesioner yang berisi kegagalan, perbedaan dengan perhitungan probabilitas rata-rata adalah kriteria yang menjadi acuan responden untuk mengisinya. Untuk memperoleh keparahan rata-rata, DNV RP F107 bertindak sebagai acuan responden untuk mengisi. Kriterianya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.26. Kriteria Keparahan DNV RP F107

<i>Severity Ranking</i>		
<i>Category</i>	<i>Description</i>	<i>Downtime</i>
1	<i>Insignificant effect on operation, small or insignificant cost of repair</i>	<i>0 days</i>
2	<i>Repair can be deferred until scheduled shutdown, some repair costs will occur.</i>	<i><1 month</i>
3	<i>Failure causes extended unscheduled loss of facility or system and significant repair costs. Rectification requires unscheduled underwater operation with prequalified repair system before further production.</i>	<i>1-3 months</i>
4	<i>Failure causes indefinite shutdown and significant facility or system failure costs. Rectification requires unscheduled underwater operation without pre-qualified repair system before further production.</i>	<i>3-12 months</i>
5	<i>Total loss of pipeline and possible also loss of other structural parts of the platform. Large cost of repair including long time of shut down of production.</i>	<i>1-3 years</i>

Berdasarkan tabel di atas masing-masing tingkat keparahan memiliki *downtime* atau waktu reparasi, untuk tingkat kedua hingga keempat maka diambil nilai rata-rata sehingga perhitungan dapat dilakukan lebih mudah. Selanjutnya hasil kuesioner dari responden diolah untuk mendapatkan keparahan rata-rata seperti berikut:

Tabel 4.27. Keparahan Rata-Rata

<i>Level Event</i>	Kode	Deskripsi <i>Event</i>	S BE
<i>Basic Event</i>	A111	<i>Harness</i> yang Mengikat Kargo dipasang Longgar	1.58E-01
	A112	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal	1.08E-01
	A221	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar	5.00E-01
	A221	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan	1.42E-01
	B11	Arus yang Mengikis <i>Seabed</i>	1.92E-01
	B12	Bebatuan yang Mengikis <i>Seabed</i>	1.83E-01
	C111	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar	5.42E-01
	C211	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan	6.25E-01
	C221	Material <i>Coating</i> Tidak Sesuai Standar	5.00E-01
	C311	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang	1.75E-01
	C312	Penutupan Katup akibat Tekanan	1.75E-01
	C321	<i>Overflowing</i> akibat Aliran yang Tersumbat	5.42E-01
	C322	Kegagalan Regulasi Katup	6.25E-01
	D111	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif	6.25E-01
	D121	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan	7.75E-01
	D131	<i>Overpressure</i> akibat Aliran yang Tersumbat	6.25E-01
	D211	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas <i>Coating</i>	7.50E-01
	D221	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan	3.50E+00
	D222	Kesalahan pada Saat Instalasi	2.44E+00
	D223	<i>Maintenance</i> yang Kurang	7.75E-01
	D224	Sifat Korosif Air Laut	1.92E-01
	E111	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang	1.23E+00
	E211	<i>Debris</i> yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran	1.75E-01
	E221	<i>Human Error</i> Karena Kesalahan Prosedur	1.75E-01
	E231	<i>Human Error</i> Saat Membuka Katup	6.25E-01
	E311	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas	5.42E-01

Dari hasil kalkulasi keparahan rata-rata, kegagalan yang memiliki *severity* terbesar (menurut responden) adalah pada *event* berkode D yaitu ketika kerusakan pipa terjadi akibat kesalahan pada saat perancangan

dengan *downtime* untuk *maintenance* atau *reparasi* (dari hasil perhitungan) sekitar 3.5 tahun, jika sesuai dengan kriteria DNV RP F107 merupakan keparahan rata-rata tingkat 5.

4.5.3. Analisa Matriks Risiko

Dari hasil kuesioner dapat dilakukan analisa matriks risiko dimana kegagalan yang telah diidentifikasi dapat ditentukan letaknya pada matriks risiko sehingga dapat ditentukan indeks probabilitas dan keparahan dari kegagalan yang diolah.

Indeks *likelihood* dan *severity* yang dikumpulkan dari kuesioner dianalisa menggunakan *Importance Index* (IMPI) yang terdiri dari *Likelihood Index* dan *Severity Index* (Long *et.al.*, 2008). Detail dari rumus adalah sebagai berikut :

Hasil Indeks probabilitas dari kegagalan yang mempengaruhi kerusakan pipa bawah laut. Rumus *Likelihood Index* (L.I.) :

$$L.I. = \frac{\sum_{i=1}^5 aini}{5(N)} * 100\%$$

Severity Index menghasilkan indeks keparahan dari kegagalan yang mempengaruhi kerusakan pipa bawah laut. Rumus *Severity Index* (S.I.):

$$S.I. = \frac{\sum_{i=1}^5 aini}{5(N)} * 100\%$$

Dimana:

a = konstanta peangkaan (1 s/d 5)

ni = probabilitas responden

$i = 1,2,3,4,5 \dots n$

N = total jumlah responden

Menurut Al-Hammad (2003), *rating index* didapat dari penggolongan *likelihood index* dan *severity index* yang di sesuaikan dengan acuan (Davis dan Cosenza,1988) seperti pada tabel berikut:

Tabel 4.28. Indeks Matriks Risiko (Davis dan Cosenza, 1988)

Rating	Kelas	Index
1	Extremely Ineffective	$0% < I \leq 20%$
2	Ineffective	$20% < I \leq 40%$
3	Moderately Effective	$40% < I \leq 60%$
4	Very Effective	$60% < I \leq 80%$
5	Extremely Effective	$80% < I \leq 100%$

Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.29. Indeks Probabilitas dan Keparahan

Kode	Deskripsi <i>Event</i>	LI (%)	Rank	SI (%)	Rank
A111	<i>Harness</i> yang Mengikat Kargo dipasang Longgar	44	3	40	2
A112	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal	48	3	40	2
A211	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar	52	3	52	3
A221	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan	44	3	48	3
B11	Arus yang Mengikis <i>Seabed</i>	52	3	48	3
B12	Bebatuan yang Mengikis <i>Seabed</i>	56	3	52	3
C111	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar	56	3	56	3
C211	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan	44	3	56	3
C221	<i>Material Coating</i> Tidak Sesuai Standar	44	3	60	3
C311	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang	48	3	56	3
C312	Penutupan Katup akibat Tekanan	48	3	56	3
C321	<i>Overflowing</i> akibat Aliran yang Tersumbat	56	3	56	3
C322	Kegagalan Regulasi Katup	56	3	64	4
D111	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif	44	3	64	4
D121	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan	56	3	56	3
D131	<i>Overpressure</i> akibat Aliran yang Tersumbat	56	3	64	4
D211	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas <i>Coating</i>	44	3	68	4
D221	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan	48	3	84	5
D222	Kesalahan pada Saat Instalasi	44	3	80	4
D223	<i>Maintenance</i> yang Kurang	52	3	56	3
D224	Sifat Korosif Air Laut	48	3	48	3
E111	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang	40	2	60	3
E211	<i>Debris</i> yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran	40	2	56	3

Tabel 4.29. Indeks Probabilitas dan Keparahan

Kode	Deskripsi Event	LI (%)	Rank	SI (%)	Rank
E221	<i>Human Error</i> Karena Kesalahan Prosedur	40	2	56	3
E231	<i>Human Error</i> Saat Membuka Katup	40	2	52	3
E311	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas	36	2	56	3

Setelah melakukan penilaian secara kuantitatif, untuk mengetahui kategori dari masing-masing kegagalan, indeks probabilitas dan keparahan dari setiap kegagalan akan diplotkan ke matriks risiko sebagai berikut:

Matriks Risiko		Severity				
		1	2	3	4	5
DNV RP F107		0	<1 Bulan	1-3 Bulan	3-12 Bulan	1-3 Tahun
Likelihood	5 >10E-2					
	4 10E-2>10E-3					
	3 10E-3>10E-4		A111; A112	A211; A221; B11; B12; C111; C211; C221; C311; C312; C321; D121; D223; D224	C322; D111; D131; D211; D222	D221
	2 10E-4>10E-5			E111; E211; E221; E231; E311		
	1 <10E-5					

Gambar 4.8. Hasil Matriks Risiko

Dengan Keterangan:

Tabel 4.30. Keterangan Matrik Risiko 5x5 (DNV RP F107)

Rating	Likelihood	Severity
1	<i>Impropable</i>	<i>Insignificant</i>
2	<i>Remote</i>	<i>Minor</i>
3	<i>Likely</i>	<i>Moderate</i>
4	<i>Very Likely</i>	<i>Major</i>
5	<i>Frequent</i>	<i>Catastrophic</i>

Rank	Deskripsi
Low Risk	<i>Acceptable</i>
Medium Risk	<i>ALARP</i>
High Risk	<i>Non Acceptable</i>

Dapat dilihat dari hasil matriks risiko bahwa beberapa kegagalan (*event*) berkode D yaitu kerusakan pipa bawah laut yang disebabkan oleh korosi memiliki tingkat *severity* yang *major* dan bahkan *catastrophic* walaupun memiliki tingkat probabilitas *likely*, sehingga dapat diartikan bahwa korosi merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap kerusakan pipa bawah laut dalam kasus ini.

4.6. What If Analysis

What if analysis merupakan teknik yang berbasis dalam menjawab pertanyaan yang berasal dari prediksi atau dugaan kumpulan scenario berisiko mengalami kegagalan dan konsekuensinya.

Bentuk dari metode ini pada umumnya terdiri dari kolom yang dialokasikan untuk mengidentifikasi risiko yang dipertimbangkan, potensi konsekuensinya, dan rekomendasinya, pada kasus tertentu juga disediakan kolom untuk menunjukkan status penyelesaian risiko tersebut sehingga memudahkan penelitian untuk lanjut ke proses berikutnya saat *HAZOP analysis*.

Hasil identifikasi kegagalan yang terjadi pada pipa akan dianalisa konsekuensinya dalam bentuk kualitatif yang dalam hal ini dikarenakan telah dilalui *fault tree analysis* pada tahap sebelumnya maka kurang lebih konsekuensinya dari masing-masing *root cause* dapat di *trace back* pada *intermediate event* masing-masing kode event/kegagalan yang (berpotensi atau telah) terjadi.

Tabel 4.31. What If Analysis

Kode	What If?	Consequences	Likelihood	Severity
A111	<i>Harness</i> yang Mengikat Kargo dipasang Longgar	Kargo akan terjatuh akibat pengikat yang kuat	3	2
A112	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal	Kargo memiliki potensi untuk jatuh dari kapal akibat pergerakan kapal yang tidak stabil	3	2
A211	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar	Jangkar terjatuh diatas jangkar yang dapat menyebabkan jangkar dapat tersangkut pada pipa	3	3
A221	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan	Memiliki potensi untuk menyebabkan <i>anchor dragging</i> yang dapat menyebabkan jangkar tersangkut pada pipa	3	3
B11	Arus yang Mengikis <i>Seabed</i>	Dapat menyebabkan <i>scouring</i> yang dapat menyebabkan freespan pada pipa	3	3
B12	Bebatuan yang Mengikis <i>Seabed</i>	Menyebabkan <i>scouring</i> yang dapat menyebabkan freespan pada pipa	3	3
C111	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar	Dapat menyebabkan jangkar yang menggesek pipa sehingga merusak <i>coating</i>	3	3
C211	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan	Dapat menyebabkan tidak adanya informasi bahwa umur <i>coating</i> pipa sudah lewat batas	3	3
C221	Material <i>Coating</i> Tidak Sesuai Standar	Menyebabkan <i>coating</i> mudah terkikis oleh arus	3	3
C311	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang	Dapat menyebabkan tekanan yang besar dan meretakan pipa sehingga merusak <i>coating</i>	3	3
C312	Penutupan Katup akibat Tekanan	Dapat menyebabkan tekanan yang besar dan meretakan pipa sehingga merusak <i>coating</i>	3	3
C321	<i>Overfilling</i> akibat Aliran yang Tersumbat	Dapat menyebabkan tekakan internal pipa yang berlebih sehingga pipa retak dan merusak <i>coating</i>	3	3
C322	Kegagalan Regulasi Katup	Dapat menyebabkan tekakan internal pipa yang berlebih sehingga pipa retak dan merusak <i>coating</i>	3	4
D111	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif	Dapat menyebabkan penipisan <i>wall thickness</i> yang menyebabkan	3	4
D121	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan	Dapat menyebabkan tidak adanya informasi bahwa umur pipa sudah lewat batas	3	3
D131	<i>Overpressure</i> akibat Aliran yang Tersumbat	Dapat menyebabkan kerusakan proteksi internal pipa	3	4

Tabel 4.31. What If Analysis

Kode	What If?	Consequences	Likelihood	Severity
D211	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas <i>Coating</i>	Dapat menyebabkan gesekan yang merusak pipa sehingga terekpos terhadap lingkungan	3	4
D221	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan	Menyebabkan pipa yang tidak cocok atau tidak dapat beroperasi di situs	3	5
D222	Kesalahan pada Saat Instalasi	Menyebabkan peletakan pipa yang tidak cocok untuk beroperasi di situs	3	4
D223	<i>Maintenance</i> yang Kurang	Menyebabkan pipa yang rentan untuk terjadi kerusakan akibat kondisi lingkungan	3	3
D224	Sifat Korosif Air Laut	Menyebabkan pipa mudah mengalami korosi	3	3
E111	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang	Dapat menyebabkan penjatuhan jangkar yang salah sehingga membentur pipa	2	3
E211	<i>Debris</i> yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran	Dapat menyebabkan penyumbatan pada pipa sehingga kebocoran pada pipa	2	3
E221	<i>Human Error</i> Karena Kesalahan Prosedur	Menyebabkan katup pipa tidak tertutup sehingga dapat terjadi <i>overflowing</i>	2	3
E231	<i>Human Error</i> Saat Membuka Katup	Menyebabkan katup pipa tidak sengaja terbuka sehingga dapat terjadi <i>overflowing</i>	2	3
E311	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas	Daat menyebabkan <i>overflowing</i> yang dapat menyebabkan <i>overpressure</i>	2	3

Pada tabel hasil analisa *what if* yang telah diproses, dapat dilihat bahwa hasil analisa terdiri dari skenario *what if* yang berasal dari *root cause* dan konsekuensi yang berpotensi untuk terjadi serta tingkat *likelihood* dan *severity* menurut Aloqaily (2018) mengenai *what if analysis* yang terdiri dari 3 tingkat yaitu L (*low*), M (*medium*), dan H (*high*).

Hasil analisa *what if* di atas memudahkan penelitian untuk melanjutkan ke proses analisa HAZOP dikarenakan *possible causes* serta *possible consequences* telah ditentukan.

4.7. HAZOP (*Hazard and Operability*) Analysis

Pada tahap analisa *HAZOP*, sebelumnya PT.X telah melakukan penanggulangan terhadap kasus kerusakan pipa bawah laut di Balikpapan dengan mengganti pipa yang rusak dengan ukuran yang kurang lebih sama dengan pipa sebelumnya sehingga untuk menganalisa *HAZOP* untuk pipa bawah laut PT.X terutama pada bagian *safeguard* dan *action*, penentuan kedua hal akan ditinjau dari berbagai sumber (jurnal dan responden) sesuai dengan kegagalan yang terjadi pada pipa bawah laut PT.X di Balikpapan. Hasil analisa *HAZOP* ada dihalaman selanjutnya.

Tabel 4.32. HAZOP Kerusakan Pipa PT.X

<i>Component</i>	<i>Failure Description</i>	<i>Guideword</i>	<i>Parameter</i>	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequence</i>	<i>Likelihood</i>	<i>Severity</i>	<i>Risk</i>	<i>Safeguard</i>	<i>Action</i>
Pipa Bawah Laut	Terbentur Objek	<i>Less</i>	<i>Safety</i>	Tingkat <i>Safety</i> yang Rendah Terhadap Kargo Kapal	<i>Harness</i> yang Mengikat Kargo dipasang Longgar	Kargo akan terjatuh akibat pengikat yang kuat	3	2	L	Menguburkan Pipa (Jika Pipa Berada di atas <i>Seabed</i>)	Pemandaman <i>Trenching</i> Sedalam 2 meter Memasang Lempengan Beton sebagai Proteksi Eksternal
		<i>More</i>	<i>Level</i>	Tingkat Kondisi Lingkungan yang Tinggi pada di Situs	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal	Kargo memiliki potensi untuk jatuh dari kapal akibat pergerakan kapal yang tidak stabil	3	2	L	Memasang <i>Crash Barrier</i> pada Bagian Luar Pipa	
		<i>None</i>	<i>Information</i>	Kurangnya Informasi yang diberikan kepada Awak Kapal	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar	Jangkar terjatuh diatas jangkar yang dapat menyebabkan jangkar dapat tersangkut pada pipa	3	3	M	<i>Sailing Safety Regulation</i> dan <i>Security Patrol Procedure</i>	
			<i>Procedure</i>	Prosedur yang Salah dilakukan oleh Awak Kapal	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan	Memiliki potensi untuk menyebabkan <i>anchor dragging</i> yang dapat menyebabkan jangkar tersangkut pada pipa	3	3	M		

Tabel 4.32. HAZOP Kerusakan Pipa PT.X

<i>Component</i>	<i>Failure Description</i>	<i>Guideword</i>	<i>Parameter</i>	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequence</i>	<i>Likelihood</i>	<i>Severity</i>	<i>Risk</i>	<i>Safeguard</i>	<i>Action</i>
Pipa Bawah Laut	Freespan	More	Level	Tingkat Kondisi Lingkungan yang Tinggi pada di Situs	Arus yang Mengikis <i>Seabed</i>	Dapat menyebabkan <i>scouring</i> yang dapat menyebabkan freespan pada pipa	3	3	M	Analisa Prediksi <i>Freespan</i>	Melakukan Pemodelan Prediksi <i>Freespan</i> dengan <i>Software</i>
				Tingkat Kondisi Arus yang Tinggi pada di Situs	Bebatuan yang Mengikis <i>Seabed</i>	Menyebabkan <i>scouring</i> yang dapat menyebabkan freespan pada pipa	3	3	M	<i>Rock Protection</i> pada <i>Pipeline</i>	Pemendaman <i>Trenching</i> Sedalam 13 meter jika berada di daerah pelabuhan

Tabel 4.32. HAZOP Kerusakan Pipa PT.X

<i>Component</i>	<i>Failure Description</i>	<i>Guideword</i>	<i>Parameter</i>	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequence</i>	<i>Likelihood</i>	<i>Severity</i>	<i>Risk</i>	<i>Safeguard</i>	<i>Action</i>
Pipa Bawah Laut	Coating Terkelupas	None	Information	Kurangnya Informasi yang diberikan kepada Awak Kapal	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar	Dapat menyebabkan jangkar yang menggesek pipa sehingga merusak <i>coating</i>	3	3	M	Flow Indicator & Pressure Gauge pada Pipeline	Memasang Indikator Posisi Katup untuk Monitoring Valve
				Kurangnya Informasi yang diberikan kepada Maintenance Crew	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan	Dapat menyebabkan tidak adanya informasi bahwa umur <i>coating</i> pipa sudah lewat batas	3	3	M	Valve Monitor pada Bagian Operator	Melapiskan Concrete Weight Coating untuk melindungi Anti-Corrosion Coating
		Other Than	Material	Material yang digunakan Salah	Material Coating Tidak Sesuai Standar	Menyebabkan <i>coating</i> mudah terkikis oleh arus	3	3	M	Regulasi Maintenance yang Telah dibentuk	Pertimbangan Untuk Menambahkan Corrosion Allowance pada Material Coating
		More	Pressure	Tingkat Tekanan yang Tinggi Terjadi di luar Pipa	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang	Dapat menyebabkan tekanan yang besar dan meretakan pipa sehingga merusak <i>coating</i>	3	3	M	Seleksi Kelas Material yang Sesuai Standar	Memasang Alarm Indikator Tekanan pada Ketika Tekanan Telah Melebihi MAOP pipa

Tabel 4.32. HAZOP Kerusakan Pipa PT.X

Component	Failure Description	Guideword	Parameter	Deviation	Cause	Consequence	Likelihood	Severity	Risk	Safeguard	Action
Pipa Bawah Laut	Korosi	More	Level	Tingkat korosifitas yang Tinggi di dalam Pipa	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif	Dapat menyebabkan penipisan <i>wall thickness</i> yang menyebabkan	3	4	H	Pigging/Scraping	Mempertahankan Kecepatan Desain Air untuk Mengindari Terjadinya akumulasi air dibagian bawah pipa
		None	Information	Kurangnya Informasi yang diberikan kepada <i>Maintenance Crew</i>	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan	Dapat menyebabkan tidak adanya informasi bahwa umur pipa sudah lewat batas	3	3	M	Proteksi Eksternal Pipa	Pemendaman <i>Trenching</i> Sedalam 2 meter
		More	Pressure	Tingkat Tekanan yang Tinggi Terjadi di dalam Pipa	<i>Overpressure</i> akibat Aliran yang Tersumbat	Dapat menyebabkan kerusakan proteksi internal pipa	3	4	H	<i>Corrosion Management Program</i>	Pertimbangan Untuk Menambahkan <i>Corrosion Allowance</i> pada Material Pipa
		None	Information	Kurangnya Informasi yang diberikan kepada Awak Kapal	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas <i>Coating</i>	Dapat menyebabkan gesekan yang merusak pipa sehingga terekpos terhadap lingkungan	3	4	H	Inspeksi <i>In-line</i>	Melakukan Evaluasi Inspeksi dengan CRA untuk mengendalikan korosi yang dapat/terjadi
				Kurangnya Informasi yang diberikan pada Saat Merancang dan Memasang Pipa	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan	Menyebabkan pipa yang tidak cocok atau tidak dapat beroperasi di situs	3	5	H		
					Kesalahan pada Saat Instalasi	Menyebabkan peletakan pipa yang tidak cocok untuk beroperasi di situs	3	4	H		
				Kurangnya Informasi yang diberikan kepada <i>Maintenance Crew</i>	<i>Maintenance</i> yang Kurang	Menyebabkan pipa yang rentan untuk terjadi kerusakan akibat kondisi lingkungan	3	3	H		
		More	Level	Tingkat korosifitas yang Tinggi di Situs	Sifat Korosif Air Laut	Menyebabkan pipa mudah mengalami korosi	3	3	M		

Tabel 4.32. HAZOP Kerusakan Pipa PT.X

<i>Component</i>	<i>Failure Description</i>	<i>Guide word</i>	<i>Parameter</i>	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequence</i>	<i>Likelihood</i>	<i>Severity</i>	<i>Risk</i>	<i>Safeguard</i>	<i>Action</i>
Pipa Bawah Laut	Kebocoran	<i>None</i>	<i>Information</i>	Kurangnya Informasi yang diberikan Saat Berlabuh	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang	Dapat menyebabkan penjatuhan jangkar yang salah sehingga membentur pipa	2	3	L	<i>Sailing Safety Regulation dan Security Patrol Procedure</i>	Memasang <i>Leak Detection System (LDS)</i> untuk mendeteksi kebocoran awal Memasang <i>SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)</i> Memasang <i>Relief Valve, Pressure Regulator, dan Marine Breakaway Coupling</i>
		<i>More</i>	<i>Pressure</i>	Tingkat Tekanan yang Tinggi Terjadi di dalam Pipa	<i>Debris</i> yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran	Dapat menyebabkan penyumbatan pada pipa sehingga kebocoran pada pipa	2	3	L	<i>Flow Indicator & Pressure Gauge pada Pipeline</i>	
		<i>None</i>	<i>Procedure</i>	Prosedur yang Salah dilakukan oleh Operator Pipa	<i>Human Error</i> Karena Kesalahan Prosedur	Menyebabkan katup pipa tidak tertutup sehingga dapat terjadi <i>overflowing</i>	2	3	L	<i>Operating and Security Procedure pada Area Operasi Pipa</i>	
			<i>Information</i>	Kurangnya Informasi yang diberikan Kepada Operator Pipa	<i>Human Error</i> Saat Membuka Katup	Menyebabkan katup pipa tidak sengaja terbuka sehingga dapat terjadi <i>overflowing</i>	2	3	L	<i>Emergency Shutdown System (ESD)</i>	
		<i>More</i>	<i>Pressure</i>	Tingkat Tekanan yang Tinggi Terjadi di dalam Pipa	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas	Dapat menyebabkan <i>overflowing</i> yang dapat menyebabkan <i>overpressure</i>	2	3	L	<i>Emergency Response Planning (ERP)</i>	

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUPAN

5.1. Kesimpulan

Bagian ini akan membahas mengenai hasil dari penelitian melalui identifikasi kegagalan, hasil kuesioner yang diisi oleh responden, dan hasil analisa *fault tree analysis*, *what if analysis*, dan *HAZOP analysis* untuk menjawab rumusan masalah yang menjadi topik penelitian dalam tugas akhir. Dapat disimpulkan bahwa:

1. Kerusakan yang terjadi pada pipa bawah laut PT.X di Balikpapan diakibatkan oleh lima hal yang tercantum pada laporan inspeksi PT.X yaitu pipa terbentur objek (A), pipa mengalami *freespan* (B), *coating* pada pipa terkelupas (C), pipa mengalami korosi (D), dan pipa mengalami kebocoran (E). Untuk lebih rinci mengenai kegagalan hingga penyebabnya dapat dilihat pada tabel 4.3 di bab 4 mengenai identifikasi kegagalan.
2. Dari hasil perhitungan *likelihood* dan *severity*, kegagalan yang memiliki probabilitas tertinggi adalah kerusakan pipa akibat *coating* yang terkelupas dengan $4.5E-02$ (tingkat 4) dan korosi dengan $1.06E-01$ (tingkat 5), menghasilkan probabilitas kerusakan pipa bawah laut dengan $2.09E-1$ (tingkat 5).

Keparahan yang memiliki hasil terbesar adalah kegagalan akibat korosi yang disebabkan oleh kesalahan pada saat perancangan dan instalasi dengan *downtime* untuk *maintenance* atau reparasi selama 3.5 tahun.

Hasil dari matriks risiko dimana kegagalan dihitung untuk mendapatkan indeks probabilitas dan keparahan menunjukkan bahwa *root cause (basic event)* yang menyebabkan korosi berada pada area ALARP dan non acceptable risk.

3. Dari hasil *what if analysis* (untuk lebih rinci hasil tercantum pada tabel 4.30.), dampak dari mayoritas root cause (basic event) adalah terjadinya overfilling yang dapat menyebabkan overpressure, informasi dan prosedur yang salah atau kurang menyebabkan kesalahan dalam hal operasional serta perancangan dan instalasi pipa.

4. Hasil analisa *HAZOP* menunjukkan beberapa penanganan kerusakan pipa bawah laut akibat kegagalan yang telah teridentifikasi, penanganan ini bersumber dari jurnal mengenai analisa *HAZOP* pipa bawah laut serta rekomendasi dari responden yang pakar dalam bidang pipa bawah laut dan bekerja di PT.X. Sehingga hasilnya adalah sebagai berikut:
 - a. Terbentur Objek:

Menguburkan pipa dengan kedalaman 2 meter dan 13 meter jika terletak pada area pelabuhan serta memasang lempengan beton sebagai proteksi eksternal pipa.

 - b. Freespan:

Melakukan pemodelan prediksi freespan dengan menggunakan software untuk mengantisipasi terjadinya freespan pada pipa serta menguburkan pipa dengan kedalaman 2 meter dan 13 meter jika terletak pada area pelabuhan.

 - c. Coating Terkelupas:

Mengaplikasikan concrete weight coating untuk melindungi anti corrosion coating pipa, konsiderasi untuk meningkatkan corrosion allowance untuk material coating, dan untuk mencegah terjadi pengelupasan coating akibat overpressure yang menyebabkan keretakan maka dapat menginstalasi alarm indicator tekanan dan indicator posisi valve untuk monitoring.

d. Korosi:

Meningkatkan corrosion allowance untuk material pipa, melakukan inspeksi atau evaluasi pipa dengan CRA untuk mengendalikan korosi yang dapat atau telah terjadi pada pipa, mempertahankan kecepatan desain air untuk menghindari akumulasi air yang dapat menyebabkan korosi pada pipa.

e. Kebocoran:

Menginstalasi LDS untuk mendeteksi kebocoran, SCADA, serta memasang relief valve system, pressure regulator dan marine breakaway coupling.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian untuk tugas akhir ini, ada beberapa saran yang dapat disampaikan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian berikutnya yang berkaitan dengan tugas akhir ini ataupun mengenai manajemen risiko secara umum sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan untuk tugas akhir ini adalah FTA dan HAZOP dimana masing-masing memiliki peran untuk mengidentifikasi kegagalan dan cara penanganan dari kegagalan tersebut. Saran yang bisa dilakukan adalah jika mencoba untuk melakukan penelitian mengenai hal yang sama dengan kombinasi yang berbeda sehingga hasil akhirnya dapat dibandingkan.
2. Selain melakukan penelitian dengan metode yang berbeda, penelitian ini dapat dilanjutkan jika keparahan (severity) ditinjau dari berbagai aspek (ekonomi, lingkungan, dan workers safety) serta perhitungan biaya dan penentuan benefit dari hasil analisa.
3. Untuk keterlibatan responden (expert) selain memberi tanggapan mengenai cara penanganan mengenai penelitian ini, untuk tahap

identifikasi kegagalan yang telah/dapat terjadi bisa dilakukan dengan wawancara dengan responden tersebut dan tidak hanya meminta tanggapan mereka mengenai kegagalan yang telah ditentukan sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar. 2018. “*Analisa Risiko Kegagalan Operasi dengan Menggunakan Metode HAZOP Analysis pada Onshore Pipeline*”. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan – Institiut Teknik Kelautan.
- Aloqaily. 2018. “*Cross Country Pipeline Risk Assessments and Mitigation Strategies*”.
- D. Davis *et al.* 1993. *Business Research For Decision Making* (3rd ed). Belmont, CA.: Wadsworth Inc.
- Dacosta, *et al.* 2017. “*Hazop Study and Fault Tree Analysis for Calculation Safety Integrity Level on Reactor-C.5-01, Oil Refinery Unit at Balikpapan-Indonesia*”. **Asian Journal of Applied Science ISSN: 2321 – 0893**
- Det Norske Veritas (DNV) RP-H101. 2003. “*Risk Management in Marine and Subsea Operation*”. **Norway: International Standard.**
- Det Norske Veritas (DNV) OS-F101. 2000. *Submarine Pipeline System*
- Det Norske Veritas (DNV) RP-G101. 2010. “*Risk Based Inspection Of Offshore Topside Static Mechanical Equipment*”
- Fitriana. 2018. “*Analisa Risiko Kerusakan Kapal Saat Undocking Menggunakan Airbag (Studi Kasus: Undocking Kapal Kargo 1209 GT di PT. Adiluhung)*”. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan – Institiut Teknik Kelautan.
- ISO. 2009. ISO 31010. “*Risk Management – Risk Assessment Technique*”. **Switzerland: International Standard.**

Kenny. 2018. “*Offshore Pipeline – Element of Managing Risks*”.

Olague. 2017. “*A Brief History of Oil and Gas Development From an Environmental Perspective*”.

Noriyati, et al. 2017. “*HAZOP Study and Determination of Safety Integrity Level Using Fault Tree Analysis on Fuel Gas Superheat Burner, Ammonia Unit, Petrochemical Plant –East Java*”. **Asian Journal of Applied Science**

OHSAS 18001:2007. *Occupational Health and Safety Assessment Series*. OH&S Safety Management Systems Requirements.

Rausand, Marvin. 2011. *Risk Assessment: Theory, Methods, and Application*. United State. Wiley.

Santosa, Budi. 2009. “*Manajemen Proyek: Konsep dan Implementasi*”. Yogyakarta. Graha Ilmu.

Silvianita, et al. 2015. “*Hazard and Operability Analysis (HAZOP) of Mobile Mooring System*”. **Journal Procedia Earth and Planetary Science 14 : 208-211**.

Singh. 2017. “*Hazard and Threats to a Pipeline System*”.

LAMPIRAN A
KUESIONER

(halaman ini sengaja dikosongkan)



**KUISIONER SURVEI TINGKAT RISIKO KERUSAKAN
PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER (ITS)
SURABAYA**

Kepada Yth. Bapak/Ibu/Sdr/i
di Tempat

Dengan hormat,

Saya Adriawan A.P. Hamami NRP 04311540000138 adalah mahasiswa Program Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Departemen Teknik Kelautan, bermaksud untuk melakukan penelitian dalam rangka penyusunan tugas akhir yang berjudul “Manajemen Risiko Kerusakan Pipa Bawah Laut di Balikpapan dengan Metode *Fault Tree Analysis* dan *Hazard and Operability Analysis*”. Sehubungan dengan hal tersebut, maka saya mengharapkan bantuan Bapak/Ibu/Sdr/i responden kiranya bersedia mengisi kuesioner ini dengan se-obyektif mungkin sesuai dengan kenyataan yang dilihat dan dirasakan oleh Bapak/Ibu/Sdr/i responden tentang risiko kerusakan pipa bawah laut PT.X di Balikpapan.

Dalam melakukan pengisian kuesioner ini, dimohon Bapak/Ibu/Sdr/i responden untuk membaca petunjuk terlebih dahulu yang tertera agar memudahkan dalam memberikan jawaban serta keakuratan jawaban yang diberikan. Apapun jawaban Bapak/Ibu/Sdr/i responden akan sangat berharga dan bermanfaat bagi penelitian ini. Saya sangat menjunjung tinggi komitmen dan memegang teguh kerahasiaan dan kepercayaan yang telah Bapak/Ibu/Sdr/i responden berikan.

Atas segala perhatian dan kerjasama Bapak/Ibu/Sdr/i responden, saya ucapkan terima kasih.

Hormat saya,

Adriawan A.P. Hamami



**KUISIONER SURVEI TINGKAT RISIKO KERUSAKAN
PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER (ITS)
SURABAYA**

I. PENDAHULUAN

Resiko merupakan kemungkinan (probabilitas) atau ketidakpastian terjadinya peristiwa diluar yang diharapkan yang dapat menimbulkan dampak negatif. Dalam objek yang menjadi bahan/topic penelitian dari tugas akhir ini, PT.X memiliki pipa bawah laut di Balikpapan yang menjalar hingga Penajam, dalam laporan inspeksi pipa tersebut terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan kerusakan pada pipa tersebut..

Kerusakan ini jika dibiarkan dapat menyebabkan kegagalan operasi pipa tersebut. Kuisisioner ini berfungsi sebagai salah satu tahap analisa untuk mengetahui kemungkinan dan tingkat keparahan kegagalan yang berpotensi untuk terjadi terhadap pipa tersebut yang selanjutnya akan dicari tingkat risikonya masing-masing mode kegagalan.

II. TUJUAN KUISISIONER

1. Mengetahui tingkat probabilitas (*Likelihood*) berdasarkan penyebab (*failure cause*) dari setiap mode kegagalan yang telah teridentifikasi melalui Diagram *Fault Tree*.
2. Mengetahui tingkat keparahan (*severity*) dari efek yang ditimbulkan dari setiap mode kegagalan.
3. Mengolah hasil kuisisioner untuk menentukan tingkat risiko per mode kegagalan melalui matriks risiko sesuai DNV RP F107.

III. KERAHASIAAN INFORMASI

Data dan informasi yang diberikan dalam kuisisioner ini dijamin kerahasiaannya dan hanya dipakai untuk keperluan penelitian.

IDENTITAS RESPONDEN

Nama Responden :
Jabatan dalam Perusahaan :
Lama Bekerja :



**KUISIONER SURVEI TINGKAT RISIKO KERUSAKAN
PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER (ITS)
SURABAYA**

IV. PETUNJUK PENGISIAN KUISIONER

1. Pilihlah jawaban dengan memberi huruf (X) sebagai tanda pada kolom tingkat keparahan (*severity*) dan tingkat probabilitas kejadian (*Likelihood*) **berdasarkan *root cause* (basic event)** yang telah tersedia.
2. Pengisian jawaban tingkat keparahan (*severity*) dan tingkat probabilitas (*Likelihood*) akan disertakan dalam lampiran.
3. Berikut adalah beberapa pengertian/penjelasan untuk mempermudah para responden dalam mengisi kuisisioner,
 - Mode Kegagalan (*Failure Mode*) merupakan segala kejadian diluar yang direncanakan yang dapat menimbulkan terjadinya kecelakaan kerja, mode kegagalan ini akan dibagi menjadi dua level (*Intermediate Level I dan II*) agar memperdetail masing-masing penyebab kegagalan (*Root Cause*).
 - Penyebab Kegagalan (*Root Cause*) merupakan mode kegagalan yang bertindak sebagai penyebab (*Basic Event*) dari mode kegagalan sebelumnya. Efek Kegagalan (*Failure Effect*) merupakan dampak yang ditimbulkan dari mode kegagalan yang dalam penelitian ini dikhususkan pada potensi yang dapat terjadi terhadap kerusakan pipa.
 - *Severity* merupakan tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan dari suatu mode kegagalan

Tabel 4.1 Kriteria Penilaian Tingkat Keparahan (*Severity*)

Rating	Kriteria
1	Kegagalan yang dapat diabaikan. Tidak membutuhkan perbaikan sehingga pipa dapat berlanjut beroperasi dan tidak menimbulkan polusi.
2	Kegagalan yang ringan. Akibat yang ditimbulkan Membutuhkan perbaikan dengan <1 bulan pengerjaan dan menimbulkan polusi yang dapat dibersihkan dengan mudah.
3	Kegagalan yang moderat. Membutuhkan perbaikan dengan 1-3 bulan pengerjaan dan menimbulkan polusi dengan waktu 1 minggu untuk pembersihan dan maintenance.
4	Kegagalan dengan tingkat yang tinggi. Membutuhkan perbaikan dengan 3-12 bulan pengerjaan serta maintenance dan menimbulkan polusi berdampak pada ekosistem lingkungan.
5	Kegagalan yang bersifat sangat tinggi. Membutuhkan perbaikan dengan 1-3 tahun pengerjaan serta maintenance dan menimbulkan polusi yang mengakibatkan kerusakan yang besar terhadap ekosistem lingkungan.

- *Likelihood* merupakan tingkat probabilitas terjadinya kegagalan yang dinilai berdasarkan penyebab yang terjadi dari mode kegagalan tersebut.

Tabel 4.2 Kriteria Penilaian Tingkat Kejadian (*Likelihood*)

Rating	Kriteria
1	Kegagalan sangat jarang terjadi. Terjadi hanya pada keadaan tertentu
2	Kejadian kegagalan sesekali terjadi dan sewaktu-waktu pada suatu kegiatan
3	Intensitas terjadinya kegagalan medium (mungkin dapat terjadi) dan dapat terjadi sewaktu-waktu pada semua keadaan
4	Kegagalan cenderung untuk terjadi pada semua keadaan
5	Kegagalan hampir pasti terjadi pada semua keadaan dalam suatu kegiatan



**KUISIONER SURVEI TINGKAT LIKELIHOOD
KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER (ITS)
SURABAYA**

No	Intermediate Event Level I	Intermediate Event Level II	Intermediate Event Level III	Basic Event (Root Cause)	Likelihood (Probabilitas)				
					1	2	3	4	5
1	Terbentur Objek	Kargo Terjatuh	<i>Human Error</i>	<i>Harness</i> yang Mengikat Kargo dipasang Longgar					
			<i>Natural Causes</i>	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal					
		Pipa Tersangkut Jangkar	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar					
			<i>Anchor Dragging</i>	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan					
2	<i>Freespan</i>	<i>Scouring</i>		Arus yang Mengikis <i>Seabed</i>					
				Bebatuan yang Mengikis <i>Seabed</i>					
3	Coating Terkelupas	<i>Man Made Causes</i>	Terjatuh Jangkar yang Menggesek	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar					
		<i>Natural Causes</i>	Umur <i>Coating</i> Melewati Batas	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan					
		Keretakan pada pipa	Arus Mengikis <i>Coating</i>	Material <i>Coating</i> Tidak Sesuai Standar					
			Tekanan dari Gelombang	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang					
			Tekanan Internal yang Berlebih	Penutupan Katup akibat Tekanan					
			<i>Overfilling</i> akibat Aliran yang Tersumbat						
			Kegagalan Regulasi Katup						
4	Korosi	Korosi Internal	<i>Wall Thickness</i> Mengalami Penipisan	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif					
			Umur Pipa Melewati Batas	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan					
			Proteksi Internal Pipa Rusak	<i>Overpressure</i> akibat Aliran yang Tersumbat					
		Korosi Eksternal	Korosi pada <i>Coating</i> yang Terkelupas	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas <i>Coating</i>					
			Lingkungan yang Korosif	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan					
				Kesalahan pada Saat Instalasi					
		<i>Maintenance</i> yang Kurang							
			Sifat Korosif Air Laut						
5	Kebocoran	Tersangkut Jangkar yang Melintas	<i>Human Error</i> saat Menjatuhkan Jangkar	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang					
		Kegagalan Penutupan Katup	Katup Tersumbat	<i>Debris</i> yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran					
			Tidak Sengaja ditinggal Terbuka	<i>Human Error</i> Karena Kesalahan Prosedur					
			Tidak Sengaja terbuka	<i>Human Error</i> Saat Membuka Katup					
	Tekanan Internal Berlebih	<i>Overfilling</i>	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas						

**KUISIONER SURVEI TINGKAT SEVERITY
KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER (ITS)
SURABAYA**

No	Intermediate Event Level I	Intermediate Event Level II	Intermediate Event Level III	Basic Event (Root Cause)	Severity (Keparahan)				
					1	2	3	4	5
1	Terbentur Objek	Kargo Terjatuh	<i>Human Error</i>	<i>Harness</i> yang Mengikat Kargo dipasang Longgar					
			<i>Natural Causes</i>	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal					
		Pipa Tersangkut Jangkar	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar					
			<i>Anchor Dragging</i>	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan					
2	<i>Freespan</i>	<i>Scouring</i>		<i>Arus</i> yang Mengikis <i>Seabed</i>					
				Bebatuan yang Mengikis <i>Seabed</i>					
3	Coating Terkelupas	<i>Man Made Causes</i>	Terjatuh Jangkar yang Menggesek	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar					
		<i>Natural Causes</i>	Umur <i>Coating</i> Melewati Batas	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan					
		Keretakan pada pipa	<i>Arus</i> Mengikis <i>Coating</i>	Material <i>Coating</i> Tidak Sesuai Standar					
			Tekanan dari Gelombang	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang					
			Tekanan Internal yang Berlebih	Penutupan Katup akibat Tekanan					
				<i>Overfilling</i> akibat Aliran yang Tersumbat					
		Kegagalan Regulasi Katup							
4	Korosi	Korosi Intimal	<i>Wall Thickness</i> Mengalami Penipisan	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif					
			Umur Pipa Melewati Batas	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan					
			Proteksi Intimal Pipa Rusak	<i>Overpressure</i> akibat Aliran yang Tersumbat					
		Korosi Eksternal	Korosi pada <i>Coating</i> yang Terkelupas	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas <i>Coating</i>					
			Lingkungan yang Korosif	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan					
				Kesalahan pada Saat Instalasi					
				<i>Maintenance</i> yang Kurang					
		Sifat Korosif Air Laut							
5	Kebocoran	Tersangkut Jangkar yang Melintas	<i>Human Error</i> saat Menjatuhkan Jangkar	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang					
		Kegagalan Penutupan Katup	Katup Tersumbat	<i>Debris</i> yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran					

LAMPIRAN B
JAWABAN RESPONDEN

(halaman ini sengaja dikosongkan)

I. **KERAHASIAAN INFORMASI**

Data dan informasi yang diberikan dalam kuisisioner ini dijamin kerahasiaannya dan hanya dipakai untuk keperluan penelitian.

IDENTITAS RESPONDEN

Nama Responden : Amanda Mitzi P

Jabatan dalam Perusahaan : Structure Engineer

Lama Bekerja : 5 tahun

Nama Responden : Ulfa Chairunnisa

Jabatan dalam Perusahaan : Associate Cost Control Administrator

Lama Bekerja : 4 tahun

Nama Responden : Annas Humaidy Faqih

Jabatan dalam Perusahaan : Pipeline Engineer

Lama Bekerja : 11 tahun

Nama Responden : M.Catur Imam Afandi

Jabatan dalam Perusahaan : Piping Engineer

Lama Bekerja : 13 tahun

Nama Responden : Ratna Nita Perwitasari

Jabatan dalam Perusahaan : Naval & Marine Engineer

Lama Bekerja : 6 tahun



**KUISIONER SURVEI TINGKAT LIKELIHOOD
KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER (ITS)
SURABAYA**

1. Amanda Mitzi P, Structure Engineer (5 tahun)

No	Failure Mode (Intermediate Level I)	Failure Mode (Intermediate Level II)	Failure Mode (Intermediate Level III)	Root Cause (Basic Event)	Likelihood (Probabilitas)				
					0	1	2	3	4
1	Terbentur Objek	Kargo Terjatuh	Human Error	Harness yang Mengikat Kargo dipasang Longgar	X				
			Natural Causes	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal	X				
		Pipa Tersangkut Jangkar	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar		X			
			Anchor Dragging	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan		X			
2	Freespan	Scouring		Arus yang Mengikis Seabed			X		
				Bebatuan yang Mengikis Seabed			X		
3	Coating Terkelupas	Man Made Causes	Terjatuh Jangkar yang Menggesek	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar		X			
		Natural Causes	Umur Coating Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan		X			
			Arus Mengikis Coating	Material Coating Tidak Sesuai Standar		X			
		Keretakan pada pipa	Tekanan dari Gelombang	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang			X		
				Penutupan Katup akibat Tekanan			X		
			Tekanan Internal yang Berlebih	Overfilling akibat Aliran yang Tersumbat			X		
			Kegagalan Regulasi Katup		X				
4	Korosi	Korosi Internal	Wall Thickness Mengalami Penipisan	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif		X			
			Umur Pipa Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan			X		
			Proteksi Internal Pipa Rusak	Overpressure akibat Aliran yang Tersumbat			X		
		Korosi Eksternal	Korosi pada Coating yang Terkelupas	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas Coating		X			
			Lingkungan yang Korosif	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan		X			
				Kesalahan pada Saat Instalasi		X			
	Maintenance yang Kurang			X					
	Sifat Korosif Air Laut		X						
5	Kebocoran	Tersangkut Jangkar yang Melintas	Human Error saat Menjatuhkan Jangkar	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang	X				
		Kegagalan Penutupan Katup	Katup Tersumbat	Debris yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran		X			
			Tidak Sengaja ditinggal Terbuka	Human Error Karena Kesalahan Prosedur		X			
			Tidak Sengaja terbuka	Human Error Saat Membuka Katup		X			
	Tekanan Internal Berlebih	Overfilling	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas			X			



**KUISIONER SURVEI TINGKAT SEVERITY
KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER (ITS)
SURABAYA**

1. Amanda Mitzi P, Structure Engineer (5 tahun)

No	Failure Mode (Intermediate Level I)	Failure Mode (Intermediate Level II)	Failure Mode (Intermediate Level III)	Root Cause (Basic Event)	Severity (Keparahan)				
					0	1	2	3	4
1	Terbentur Objek	Kargo Terjatuh	Human Error	Harness yang Mengikat Kargo dipasang Longgar		X			
			Natural Causes	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal	X				
		Pipa Tersangkut Jangkar	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar		X			
			Anchor Dragging	Kecepatan Kapal tidak Melambatsa at Jangkar diturunkan		X			
2	Freespan	Scouring		Arus yang Mengikis Seabed			X		
				Bebatuan yang Mengikis Seabed			X		
3	Coating Terkelupas	Man Made Causes	Terjatuh Jangkar yang Menggesek	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar			X		
		Natural Causes	Umur Coating Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan			X		
		Keretakan pada pipa	Arus Mengikis Coating	Material Coating Tidak Sesuai Standar		X			
			Tekanan dari Gelombang	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang			X		
				Penutupan Katup akibat Tekanan				X	
			Tekanan Internal yang Berlebih	Overfilling akibat Aliran yang Tersumbat				X	
Kegagalan Regulasi Katup						X			
4	Korosi	Korosi Internal	Wall Thickness Mengalami Penipisan	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif			X		
			Umur Pipa Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan				X	
			Proteksi Internal Pipa Rusak	Overpressure akibat Aliran yang Tersumbat				X	
	Korosi Eksternal	Korosi pada Coating yang Terkelupas	Lingkungan yang Korosif	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas Coating				X	
				Kesalahan pada saat Konsep Perancangan					X
			Kesalahan pada Saat Instalasi						X
			Maintenance yang Kurang						X
		Sifat Korosif Air Laut		X					
5	Kebocoran	Tersangkut Jangkar yang Melintas	Human Error saat Menjatuhkan Jangkar	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang				X	
		Kegagalan Penutupan Katup	Katup Tersumbat	Debris yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran			X		
			Tidak Sengaja ditinggal Terbuka	Human Error Karena Kesalahan Prosedur				X	
			Tidak Sengaja terbuka	Human Error Saat Membuka Katup				X	
		Tekanan Internal Berlebih	Overfilling	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas				X	



**KUISIONER SURVEI TINGKAT LIKELIHOOD
KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER (ITS)
SURABAYA**

2. Ulfa Chairunnisa, Associate Cost Control Administration (4 tahun)

No	Failure Mode (Intermediate Level I)	Failure Mode (Intermediate Level II)	Failure Mode (Intermediate Level III)	Root Cause (Basic Event)	Likelihood (Probabilitas)				
					1	2	3	4	5
1	Terbentur Objek	Kargo Terjatuh	<i>Human Error</i>	<i>Harness</i> yang Mengikat Kargo dipasang Longgar		x			
			<i>Natural Causes</i>	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal		x			
		Pipa Tersangkut Jangkar	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar		x			
			<i>Anchor Dragging</i>	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan		x			
2	<i>Freespan</i>	<i>Scouring</i>		Arus yang Mengikis <i>Seabed</i>		x			
				Bebatuan yang Mengikis <i>Seabed</i>		x			
3	Coating Terkelupas	<i>Man Made Causes</i>	Terjatuh Jangkar yang Menggesek	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar		x			
			<i>Natural Causes</i>	Umur <i>Coating</i> Melewati Batas	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan			x	
		Keretakan pada pipa	Arus Mengikis <i>Coating</i>	Material <i>Coating</i> Tidak Sesuai Standar		x			
			Tekanan dari Gelombang	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang		x			
			Tekanan Internal yang Berlebih	Penutupan Katup akibat Tekanan	<i>Overflowing</i> akibat Aliran yang Tersumbat			x	
				Kegagalan Regulasi Katup				x	
4	Korosi Internal	<i>Wall Thickness</i> Mengalami Penipisan	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif		x				
		Umur Pipa Melewati Batas	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan			x			
		Proteksi Internal Pipa Rusak	<i>Overpressure</i> akibat Aliran yang Tersumbat			x			
	Korosi Eksternal	Korosi pada <i>Coating</i> yang Terkelupas	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas <i>Coating</i>		x				
		Lingkungan yang Korosif	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan				x		
			Kesalahan pada Saat Instalasi		x				
			<i>Maintenance</i> yang Kurang				x		
	Sifat Korosif Air Laut					x			
5	Kebocoran	Tersangkut Jangkar yang Melintas	<i>Human Error</i> saat Menjatuhkan Jangkar	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang	x				
		Kegagalan Penutupan Katup	Katup Tersumbat	<i>Debris</i> yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran	x				
			Tidak Sengaja ditinggal Terbuka	<i>Human Error</i> Karena Kesalahan Prosedur	x				
			Tidak Sengaja terbuka	<i>Human Error</i> Saat Membuka Katup	x				
		Tekanan Internal Berlebih	<i>Overflowing</i>	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas	x				



**KUISIONER SURVEI TINGKAT SEVERITY
KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER (ITS)
SURABAYA**

2. Ulfa Chairunnisa, Associate Cost Control Administration (4 tahun)

No	Failure Mode (Intermediate Level I)	Failure Mode (Intermediate Level II)	Failure Mode (Intermediate Level III)	Root Cause (Basic Event)	Severity (Keparahan)				
					1	2	3	4	5
1	Terbentur Objek	Kargo Terjatuh	Human Error	Harness yang Mengikat Kargo dipasang Longgar		x			
			Natural Causes	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal	x				
		Pipa Tersangkut Jangkar	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar	x				
			Anchor Dragging	Kecepatan Kapal tidak Melambatsaat Jangkar diturunkan	x				
2	Freespan	Scouring		Arus yang Mengikis Seabed		x			
				Bebatuan yang Mengikis Seabed		x			
3	Coating Terkelupas	Man Made Causes	Terjatuh Jangkar yang Menggesek	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar		x			
		Natural Causes	Umur Coating Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan			x		
			Arus Mengikis Coating	Material Coating Tidak Sesuai Standar				x	
		Keretakan pada pipa	Tekanan dari Gelombang	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang				x	
			Tekanan Internal yang Berlebih	Penutupan Katup akibat Tekanan				x	
				Overfilling akibat Aliran yang Tersumbat					
		Kegagalan Regulasi Katup					x		
4	Korosi	Korosi Internal	Wall Thickness Mengalami Penipisan	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif				x	
			Umur Pipa Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan			x		
			Proteksi Internal Pipa Rusak	Overpressure akibat Aliran yang Tersumbat				x	
	Korosi Eksternal	Lingkungan yang Korosif	Korosi pada Coating yang Terkelupas	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas Coating				x	
			Kesalahan pada saat Konsep Perancangan					x	
			Kesalahan pada Saat Instalasi					x	
			Maintenance yang Kurang				x		
			Sifat Korosif Air Laut				x		
5	Kebocoran	Tersangkut Jangkar yang Melintas	Human Error saat Menjatuhkan Jangkar	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang	x				
		Kegagalan Penutupan Katup	Katup Tersumbat	Debris yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran				x	
			Tidak Sengaja ditinggal Terbuka	Human Error Karena Kesalahan Prosedur		x			
			Tidak Sengaja terbuka	Human Error Saat Membuka Katup		x			
	Tekanan Internal Berlebih	Overfilling	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas		x				



**KUISIONER SURVEI TINGKAT LIKELIHOOD
KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER (ITS)
SURABAYA**

3. Annas Humaidy Faqih, Pipeline Engineer (11 tahun)

No	Failure Mode (Intermediate Level I)	Failure Mode (Intermediate Level II)	Failure Mode (Intermediate Level III)	Root Cause (Basic Event)	Likelihood (Probabilitas)				
					1	2	3	4	5
1	Terbentur Objek	Kargo Terjatuh	Human Error	Harness yang Mengikat Kargo dipasang Longgar			x		
			Natural Causes	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal			X		
		Pipa Tersangkut Jangkar	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar		X			
			Anchor Dragging	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan				x	
2	Freespan	Scouring	Arus yang Mengikis Seabed				X		
			Bebatuan yang Mengikis Seabed				X		
3	Coating Terkelupas	Man Made Causes	Terjatuh Jangkar yang Menggesek	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar			x		
			Natural Causes	Umur Coating Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan	X			
		Keretakan pada pipa	Arus Mengikis Coating	Material Coating Tidak Sesuai Standar		x			
			Tekanan dan Gelombang	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang		X			
				Penutupan Katup akibat Tekanan		X			
			Tekanan Internal yang Berlebih	Overfilling akibat Aliran yang Tersumbat		X			
Kegagalan Regulasi Katup					x				
4	Korosi	Korosi Internal	Wall Thickness Mengalami Penipisan	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif		X			
			Umur Pipa Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan			x		
			Proteksi Internal Pipa Rusak	Overpressure akibat Aliran yang Tersumbat			X		
		Korosi Eksternal	Korosi pada Coating yang Terkelupas	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas Coating			X		
			Lingkungan yang Korosif	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan			X		
				Kesalahan pada Saat Instalasi					x
				Maintenance yang Kurang			X		
Sifat Korosif Air Laut			X						
5	Kebocoran	Tersangkut Jangkar yang Melintas	Human Error saat Menjatuhkan Jangkar	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang		X			
			Katup Tersumbat	Debris yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran		X			
		Kegagalan Penutupan Katup	Tidak Sengaja ditinggal Terbuka	Human Error Karena Kesalahan Prosedur		X			
			Tidak Sengaja terbuka	Human Error Saat Membuka Katup		X			
Tekanan Internal Berlebih	Overfilling	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas		X					



**KUISIONER SURVEI TINGKAT SEVERITY
KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER (ITS)
SURABAYA**

3. Annas Humaidy Faqih, Pipeline Engineer (11 tahun)

No	Failure Mode (Intermediate Level I)	Failure Mode (Intermediate Level II)	Failure Mode (Intermediate Level III)	Root Cause (Basic Event)	Severity (Keparahan)				
					1	2	3	4	5
1	Terbentur Objek	Kargo Terjatuh	Human Error	Harness yang Mengikat Kargo dipasang Longgar			X		
			Natural Causes	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal			x		
		Pipa Tersangkut Jangkar	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar			x		
			Anchor Dragging	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan			x		
2	Freespan	Scouring		Arus yang Mengikis Seabed		X			
				Bebatuan yang Mengikis Seabed		X			
3	Coating Terkelupas	Man Made Causes	Terjatuh Jangkar yang Menggesek	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar			X		
			Umur Coating Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan	X				
		Natural Causes	Arus Mengikis Coating	Material Coating Tidak Sesuai Standar				x	
			Keretakan pada pipa	Tekanan dari Gelombang	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang			X	
				Penutupan Katup akibat Tekanan			X		
		Tekanan Internal yang Berlebih		Overfilling akibat Aliran yang Tersumbat			X		
4	Korosi	Korosi Internal	Wall Thickness Mengalami Penipisan	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif		X			
Umur Pipa Melewati Batas			Jadwal Maintenance yang Terlewatkan	X					
Proteksi Internal Pipa Rusak			Overpressure akibat Aliran yang Tersumbat			X			
Korosi Eksternal		Korosi pada Coating yang Terkelupas	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas Coating			X			
		Lingkungan yang Korosif	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan				x		
			Kesalahan pada Saat Instalasi				X		
	Maintenance yang Kurang		X						
5	Kebocoran	Tersangkut Jangkar yang Melintas	Human Error saat Menjatuhkan Jangkar	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang		X			
Katup Tersumbat			Debris yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran		X				
Kegagalan Penutupan Katup		Tidak Sengaja ditinggal Terbuka	Human Error Karena Kesalahan Prosedur			X			
		Tidak Sengaja terbuka	Human Error Saat Membuka Katup			X			
Tekanan Internal Berlebih		Overfilling	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas			x			

3. Komentar dan Rekomendasi Annas Humaidy Faqih:

- Dengan pemendaman trenching 2m, Desain baru mengacu PM 129 Tahun 2016 (Tentang Alur Pelayaran di Laut), Pasal 64; Untuk water depth < 20m, maka pipeline dipendam 2m, Kedalaman laut sekitar pelabuhan < 13m.
- Dengan pemendaman trenching 2m
- Dengan pemendaman 2m, Pipeline offshore berdiameter 24" umumnya dilapis concrete weight coating sehingga juga melindungi lapisan anti-corrosion coatingnya
- Note: hanya apabila pipeline tsb di-instalasi secara hdd (horizontal directional drilling), maka pipeline tsb mungkin tanpa perlu concrete coating. Pada hdd pipeline, coating tebal, dan kedalaman tanam hdd > 15m di bawah seabed
- Korosi Internal:
- Pipeline tsb mengalirkan fluida hasil akhir processing, dengan chemical composition sesuai requirement buyer, non-corrosive,
- Korosi external:
- Dengan pemendaman 2m,
- Dengan aturan pelarangan labuh jangkar yang ketat dan pemendaman pipeline 2m, maka Likelihood & Severity ----> Kegagalan yang ringan, & Kegagalan sangat jarang terjadi
- Note: Untuk mencegah terjadi kejadian Kebocoran akibat tekanan internal berlebih, dipasang peralatan seperti shut down valve, relief valve, pressure regulator, marine breakaway coupling
- Untuk mencegah terjadi kejadian Kegagalan penutupan katup, dipasang SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)



**KUISIONER SURVEI TINGKAT LIKELIHOOD
KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER (ITS)
SURABAYA**

4. M Catur Imam Afandi, Piping Engineer (13 tahun)

No	Failure Mode (Intermediate Level I)	Failure Mode (Intermediate Level II)	Failure Mode (Intermediate Level III)	Root Cause (Basic Event)	Likelihood (Probabilitas)				
					1	2	3	4	5
1	Terbentur Objek	Kargo Terjatuh	Human Error	Harness yang Mengikat Kargo dipasang Longgar		x			
			Natural Causes	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal			x		
		Pipa Tersangkut Jangkar	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar				x	
			Anchor Dragging	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan			x		
2	Freespan	Scouring		Arus yang Mengikis Seabed		x			
				Bebatuan yang Mengikis Seabed		x			
3	Coating Terkelupas	Man Made Causes	Terjatuh Jangkar yang Menggesek	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar				x	
			Umur Coating Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan			x		
		Natural Causes	Arus Mengikis Coating	Material Coating Tidak Sesuai Standar		x			
			Keretakan pada pipa	Tekanan dari Gelombang	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang		x		
		Tekanan Internal yang Berlebih		Tekanan dari Katup	Penutupan Katup akibat Tekanan		x		
			Overfilling akibat Aliran yang Tersumbat			x			
4	Korosi	Korosi Internal	Wall Thickness Mengalami Penipisan	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif				x	
			Umur Pipa Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan				x	
			Proteksi Internal Pipa Rusak	Overpressure akibat Aliran yang Tersumbat			x		
		Korosi Eksternal	Korosi pada Coating yang Terkelupas	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas Coating		x			
				Kesalahan pada saat Konsep Perancangan		x			
			Lingkungan yang Korosif	Kesalahan pada Saat Instalasi			x		
				Maintenance yang Kurang				x	
				Sifat Korosif Air Laut			x		
5	Kebocoran	Tersangkut Jangkar yang Melintas	Human Error saat Menjatuhkan Jangkar	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang				x	
		Kegagalan Penutupan Katup	Katup Tersumbat	Debris yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran		x			
			Tidak Sengaja ditinggal Terbuka	Human Error Karena Kesalahan Prosedur			x		
			Tidak Sengaja terbuka	Human Error Saat Membuka Katup			x		
Tekanan Internal Berlebih	Overfilling	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas		x					



**KUISIONER SURVEI TINGKAT SEVERITY
KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER (ITS)
SURABAYA**

4,M Catur Imam Afandi, Piping Engineer (13 tahun)

No	Failure Mode (Intermediate Level I)	Failure Mode (Intermediate Level II)	Failure Mode (Intermediate Level III)	Root Cause (Basic Event)	Severity (Keparahan)				
					1	2	3	4	5
1	Terbentur Objek	Kargo Terjatuh	Human Error	Harness yang Mengikat Kargo dipasang Longgar	x				
			Natural Causes	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal		x			
		Pipa Tersangkut Jangkar	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar				x	
			Anchor Dragging	Kecepatan Kapal tidak Melambatsaat Jangkar diturunkan			x		
2	Freespan	Scouring		Arus yang Mengikis Seabed			x		
				Bebatuan yang Mengikis Seabed			x		
3	Coating Terkelupas	Man Made Causes	Terjatuh Jangkar yang Menggesek	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar			x		
			Natural Causes	Umur Coating Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan			x	
		Keretakan pada pipa	Arus Mengikis Coating	Material Coating Tidak Sesuai Standar		x			
			Tekanan dari Gelombang	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang		x			
			Tekanan Internal yang Berlebih	Penutupan Katup akibat Tekanan		x			
				Overfilling akibat Aliran yang Tersumbat		x			
	Kegagalan Regulasi Katup				x				
4	Korosi Internal	Wall Thickness Mengalami Penipisan	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif				x		
		Umur Pipa Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan					x	
		Proteksi Internal Pipa Rusak	Overpressure akibat Aliran yang Tersumbat		x				
	Korosi Eksternal	Korosi pada Coating yang Terkelupas	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas Coating			x			
		Lingkungan yang Korosif	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan				x		
			Kesalahan pada Saat Instalasi				x		
			Maintenance yang Kurang			x			
	Sifat Korosif Air Laut			x					
5	Kebocoran	Tersangkut Jangkar yang Melintas	Human Error saat Menjatuhkan Jangkar	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang				x	
		Kegagalan Penutupan Katup	Katup Tersumbat	Debris yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran		x			
			Tidak Sengaja ditinggal Terbuka	Human Error Karena Kesalahan Prosedur		x			
			Tidak Sengaja terbuka	Human Error Saat Membuka Katup		x			
	Tekanan Internal Berlebih	Overfilling	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas		x				



**KUISIONER SURVEI TINGKAT LIKELIHOOD
KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER (ITS)
SURABAYA**

5. Ratna Nita Perwitasari, Naval & Marine Engineer (6 tahun)

No	Failure Mode (Intermediate Level I)	Failure Mode (Intermediate Level II)	Failure Mode (Intermediate Level III)	Root Cause (Basic Event)	Likelihood (Probabilitas)				
					1	2	3	4	5
1	Terbentur Objek	Kargo Terjatuh	Human Error	Harness yang Mengikat Kargo dipasang Longgar			X		
			Natural Causes	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal			x		
		Pipa Tersangkut Jangkar	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar			x		
			Anchor Dragging	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan	x				
2	Freespan	Scouring		Arus yang Mengikis Seabed			x		
				Bebatuan yang Mengikis Seabed				x	
3	Coating Terkelupas	Man Made Causes	Terjatuh Jangkar yang Menggesek	Human Error Saat Menjatuhkan Jangkar			x		
		Natural Causes	Umur Coating Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan		X			
			Arus Mengikis Coating	Material Coating Tidak Sesuai Standar			x		
		Keretakan pada pipa	Tekanan dari Gelombang	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang			X		
			Tekanan Internal yang Berlebih	Penutupan Katup akibat Tekanan		X			
				Overfilling akibat Aliran yang Tersumbat					x
		Kegagalan Regulasi Katup		x					
4	Korosi Internal	Wall Thickness Mengalami Penipisan	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif	X					
		Umur Pipa Melewati Batas	Jadwal Maintenance yang Terlewatkan	X					
		Proteksi Internal Pipa Rusak	Overpressure akibat Aliran yang Tersumbat		x				
	Korosi Eksternal	Korosi pada Coating yang Terkelupas	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas Coating		X				
		Lingkungan yang Korosif	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan		X				
			Kesalahan pada Saat Instalasi		X				
			Maintenance yang Kurang		x				
		Sifat Korosif Air Laut			X				
5	Kebocoran	Tersangkut Jangkar yang Melintas	Human Error saat Menjatuhkan Jangkar	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang		X			
		Kegagalan Penutupan Katup	Katup Tersumbat	Debris yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran			x		
			Tidak Sengaja ditinggal Terbuka	Human Error Karena Kesalahan Prosedur			x		
			Tidak Sengaja terbuka	Human Error Saat Membuka Katup			x		
		Tekanan Internal Berlebih	Overfilling	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas		X			



**KUISIONER SURVEI TINGKAT SEVERITY
KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT PT. X DI BALIKPAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER (ITS)
SURABAYA**

No	Failure Mode (Intermediate Level I)	Failure Mode (Intermediate Level II)	Failure Mode (Intermediate Level III)	Root Cause (Basic Event)	Severity (Keparahan)				
					1	2	3	4	5
1	Terbentur Objek	Kargo Terjatuh	<i>Human Error</i>	<i>Harness</i> yang Mengikat Kargo dipasang Longgar		X			
			<i>Natural Causes</i>	Gelombang akibat Badai Mengguncang Kapal			x		
		Pipa Tersangkut Jangkar	Menjatuhkan Jangkar diatas Pipa	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar				X	
			<i>Anchor Dragging</i>	Kecepatan Kapal tidak Melambat saat Jangkar diturunkan					X
2	<i>Freespan</i>	<i>Scouring</i>		Arus yang Mengikis <i>Seabed</i>		X			
				Bebatuan yang Mengikis <i>Seabed</i>			x		
3	Coating Terkelupas	<i>Man Made Causes</i>	Terjatuh Jangkar yang Menggesek	<i>Human Error</i> Saat Menjatuhkan Jangkar				x	
		<i>Natural Causes</i>	Umur <i>Coating</i> Melewati Batas	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan				x	
			Arus Mengikis <i>Coating</i>	Material <i>Coating</i> Tidak Sesuai Standar				X	
		Keretakan pada pipa	Tekanan dari Gelombang	Tersumbat oleh Sedimen akibat Gelombang				x	
				Penutupan Katup akibat Tekanan					X
			Tekanan Internal yang Berlebih	<i>Overfilling</i> akibat Aliran yang Tersumbat				X	
		Kegagalan Regulasi Katup				X			
4	Korosi Internal	<i>Wall Thinckness</i> Mengalami Penipisan	Fluida yang Mengalir Mengandung Zat Korosif				x		
		Umur Pipa Melewati Batas	Jadwal <i>Maintenance</i> yang Terlewatkan				X		
		Proteksi Internal Pipa Rusak	<i>Overpressure</i> akibat Aliran yang Tersumbat					x	
	Korosi Eksternal	Korosi pada <i>Coating</i> yang Terkelupas	Jangkar yang Tersangkut Mengelupas <i>Coating</i>					X	
		Lingkungan yang Korosif	Kesalahan pada saat Konsep Perancangan					x	
			Kesalahan pada Saat Instalasi						x
			<i>Maintenance</i> yang Kurang					X	
		Sifat Korosif Air Laut				X			
5	Kebocoran	Tersangkut Jangkar yang Melintas	<i>Human Error</i> saat Menjatuhkan Jangkar	Kapal ingin Berlabuh di Zona Terlarang				x	
		Kegagalan Penutupan Katup	Katup Tersumbat	<i>Debris</i> yang Tidak Sengaja Masuk Kedalam Aliran				x	
			Tidak Sengaja ditinggal Terbuka	<i>Human Error</i> Karena Kesalahan Prosedur					x
			Tidak Sengaja terbuka	<i>Human Error</i> Saat Membuka Katup				X	
		Tekanan Internal Berlebih	<i>Overfilling</i>	Fluida yang Mengalir Melebihi Batas				x	

BIODATA PENULIS



Adriawan A.P. Hamami lahir di Kota Jakarta, DKI Jakarta pada tanggal 24 April 1997, penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Tarakanita 2 Jakarta, lalu melanjutkan pendidikan di SMP Tarakanita 5 Jakarta. Setelah penulis menyelesaikan pendidikan di SMA Al-Izhar Pondok Labu, Jakarta pada tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan Perguruan Tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya mengambil program studi gelar S-1 di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan.

Selama di perkuliahan penulis aktif dalam bidang akademis dan non-akademis baik itu dalam skala regional, nasional, maupun internasional. Pada tahun 2016, penulis mengikuti *paper competition* mengenai *sustainable conventional energy* (skala internasional) yang di gelar oleh Petrofest 2014 di Semarang dan meraih juara harapan I. Di tahun berikutnya, penulis ikut terlibat sebagai panitia *paper competition* yang digelar oleh OCEANO 2017 yang merupakan acara kompetisi dan eksibisi tahunan Departemen Teknik Kelautan dan ikut serta dalam acara PETROLIDA 2017 (oleh SPE SC ITS) sebagai *liaison officer* delegasi dari Malaysia. Pada tahun 2016, penulis menerima jabatan sebagai *project officer* OCEANO 2018 dan pada tahun yang sama penulis berkesempatan untuk menjalankan kerja praktik selama dua bulan di perusahaan konsultan *engineering* multinasional HATCH Ltd. (Canada), Jakarta. Penulis juga berkesempatan untuk ikut serta kepanitian ISOCEEN 2018 bertindak sebagai *master of ceremonies* pada akhir tahun 2018. Penulis menyelesaikan pendidikan dengan Tugas Akhir yang berjudul “Manajemen Risiko Kerusakan Pipa Bawah Laut di Balikpapan dengan Metode *Fault Tree Analysis* dan *Hazard and Operability Analysis*. Jika pembaca berminat untuk memberi kritik dan saran, bisa hubungi penulis diemail yang tertera di bawah ini.

Email: adriawan_hamami@hotmail.com