



TUGAS AKHIR - MO184804

# MANAJEMEN RISIKO PADA PIPA BAWAH LAUT DI PENAJAM - BALIKPAPAN DENGAN METODE *BOWTIE ANALYSIS*

FRANKIE SAMUEL MARCELLO

NRP. 04311540000140

Dosen Pembimbing :

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

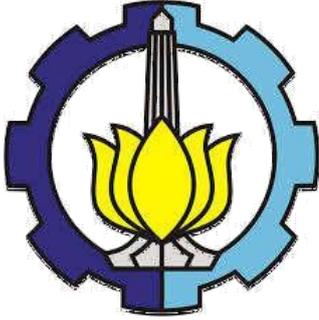
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - MO184804

**MANAJEMEN RISIKO PADA PIPA BAWAH  
LAUT DI PENAJAM - BALIKPAPAN DENGAN  
METODE *BOWTIE ANALYSIS***

FRANKIE SAMUEL MARCELLO

NRP. 04311540000140

Dosen Pembimbing :

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

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

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2019

TUGAS AKHIR - MO184804

# **APPLICATION OF BOWTIE ANALYSIS METHOD ON RISK MANAGEMENT OF PENAJAM - BALIKPAPAN SUBSEA PIPELINE**

FRANKIE SAMUEL MARCELLO

NRP. 04311540000140

Supervisors :

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

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

Ocean Engineering Department

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2019

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**MANAJEMEN RISIKO PADA PIPA BAWAH LAUT DI**  
**PENAJAM-BALIKPAPAN DENGAN METODE *BOWTIE***  
***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:

Frankie Samuel Marcello      NRP. 04311540000140

Disetujui oleh:

1. Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)



2. Prof. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M.RINA (Pembimbing 2)

3. Dr.Eng. Shade Rahmawati, ST, MT (Penguji 1)

SURABAYA, 29 Juli 2019

## MANAJEMEN RISIKO PADA PIPA BAWAH LAUT DI PENAJAM-BALIKPAPAN MENGGUNAKAN METODE *BOWTIE ANALYSIS*

**Nama Mahasiswa** : Frankie Samuel Marcello  
**NRP** : 043115 40000 140  
**Departemen** : Teknik Kelautan – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Silvianita S.T., MS.c, Ph.D  
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

### ABSTRAK

Pipa bawah laut atau biasa disebut *offshore pipelines* merupakan moda transportasi fluida dari satu tempat ke tempat lainnya yang terbukti ekonomis dan efisien. Dalam masa operasinya, pipa dapat mengalami risiko dan memberikan dampak pada berbagai macam aspek, mulai dari lingkungan (*environment*), bisnis (*business/asset*), dan keselamatan kerja (*safety*). Analisis dan manajemen risiko merupakan hal utama yang harus dipertimbangkan oleh setiap dalam perancangan dan masa operasi pipa. Tugas akhir ini membahas tentang pipa bawah laut di daerah Penajam – Balikpapan berdasarkan data inspeksi yang didapatkan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui risiko dominan serta penyebab (*cause*) dan dampak (*effect*) lalu dilanjutkan pengendalian risiko dengan menggunakan metode *Bowtie Analysis*. Penelitian ini juga mengetahui besaran *likelihood* (kemungkinan) dan *severity* (keparahan) untuk masing masing risiko dan digabungkan menggunakan matriks risiko (*risk matrix*). Dari hasil penelitian ini ditemukan kegagalan coating sebagai risiko dominan untuk aspek safety, lingkungan dan bisnis, serta *free span* sebagai risiko dominan untuk aspek bisnis. Dimana *coating failure* membutuhkan perhatian khusus dan risiko dominan ini membutuhkan tindakan mitigasi untuk mencegah dan mengurangi potensi terjadinya risiko dan kecelakaan.

**Kata kunci:** *Bowtie Analysis, offshore pipelines, Manajemen Risiko, likelihood, severity, risk matrix.*

**APPLICATION OF BOWTIE ANALYSIS METHOD ON RISK  
MANAGEMENT OF PENAJAM – BALIKPAPAN SUBSEA PIPELINE**

**Name** : Frankie Samuel Marcello  
**NRP** : 043115 40000 140  
**Department** : Ocean Engineering – ITS  
**Supervisors** : Silvianita S.T., MS.c, Ph.D  
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

**ABSTRACT**

Subsea pipeline or offshore pipelines is one of the fluid transportation methods that are proven to be efficient in the past years. In its operational period, pipes can experience risks and have an impact on various aspects, starting from the safety aspect, environmental aspect, and the business aspect. Risk analysis and management are the main things that must be considered by every parties, starting from the design until the operation period of the pipeline. This final project will discuss the offshore pipeline in the Penajam-Balikpapan area based on the inspection data obtained. This research was conducted to determine the most dominant risk on the project, the causes, the effects, and then mitigate the risk using the Bowtie Analysis method. This study also knows the likelihood (probability) and severity for each risk which will be combined using the risk matrix to determine which one is the most dominant risk on the project. The result of the study show the dominant risk for safety aspect, with coating failure as the dominant risk on safety, environment, and business aspect, and free span on the business aspect. The study shows that coating failure needs special attention as this risk shows on every aspect and every dominant risk requires mitigation measures to prevent and reduce potential risk and accidents.

**Keywords:** Bowtie Analysis, offshore pipelines, risk management, likelihood, severity, risk matrix.

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena hanya oleh berkat-Nya penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir yang berjudul MANAJEMEN RISIKO PADA PIPA BAWAH LAUT DI PENAJAM-BALIKPAPAN DENGAN METODE BOWTIE ANALYSIS ini disusun sebagai salah satu syarat kelulus dalam program Strata Satu (S1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Tugas akhir ini berisi tentang ide dan gagasan mengenai manajemen risiko pada pipa bawah laut di Penajam-Balikpapan menggunakan metode *Expert Judgement*, *Likelihood Index and Severity Index*, *Risk Matrix*, dan *Bowtie Analysis*. Diharapkan dengan selesainya penulisan tugas akhir ini, dapat memerikan manfaat pada dunia manajemen risiko khususnya untuk rekayasa teknologi kelautan. Penulis sadar masih terdapat kekurangan dan penulisan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bahan koreksi untuk penelitian selanjutnya agar menjadi lebih baik. Penulis berharap tugas akhir ini bermanfaat bagi pihak terkait, pembaca pada umumnya, dan penulis.

Surabaya, Juli 2019

Frankie Samuel Marcello

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena bisa selesainya tugas akhir ini hanya karena berkat dan karunia-Nya. Penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada banyak pihak yang telah turut andil dalam mendukung penulis dalam penyusunan tugas akhir ini. Maka dari itu penulis ingin berterimakasih kepada:

1. Ayah, Ibu, Kakak Ruth, Patrick, dan Andrew serta seluruh saudara keluarga besar yang telah memberikan dukungan dan doa bagi penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
2. Ibu Silvianita S.T., M.Sc., Ph.D. Selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, masukan, saran, dan nasihat kepada penulis sejak penulisan awal hingga penyelesaian tugas akhir ini.
3. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph. D. Selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, masukan, saran, dan nasihat kepada penulis sejak penulisan awal hingga penyelesaian tugas akhir ini.
4. PT. Pertamina divisi *Underwater Services* yang telah membantu dalam pengambilan data dan bimbingan terhadap studi khusus pada tugas akhir ini.
5. Pak K. Suryanto, Zein Arfian, Made Bagus, Suroto, sebagai responden dan pembimbing penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Ibu Elien S.T, M.T. sebagai responden dan pembimbing penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Teman-teman satu angkatan penulis, Teknik Kelautan 2015.
8. Teman-teman Arek, Teman Tacha, serta SPE 2017-2018 dan 2018-2019.
9. Teman perkuliahan terutama Irvan Rahadian, Jonathan Armen, Adityo Panambang, Fahreza Inzaghi, Rafly Rama, Adam Rangga, Ardy Makarim, Tatyana Ibrahim, Made Mahavira, dan lain-lain.
10. Teman semenjak penulis sekolah, terutama Dominic Matthew, Jeremy Amos, Ezra Noya, dan Cenra Widi.
11. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga berkat-Nya selalu diberikan kepada kita semua. Amin.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Pipa Bawah Laut .....	8
2.2.2 Risiko .....	9
2.2.3 Risiko Pada Pipa Bawah Laut.....	10
2.2.4 Identifikasi Risiko .....	11
2.2.5 Analisis Risiko .....	12
2.2.6 Manajemen Risiko .....	19

2.2.7 <i>Bowtie Analysis</i> .....	20
BAB III .....	23
3.1 Diagram Alir Umum .....	23
3.2 Prosedur Penelitian.....	24
3.3 Lokasi Penelitian.....	25
BAB IV .....	27
4.1 Pengumpulan Data .....	27
4.1.1 Data Awal Pipa .....	27
4.1.2 Data Inspeksi Pipa.....	28
4.2 Identifikasi Risiko .....	29
4.3 Risiko pada Pipa.....	30
4.3.1 Korosi Internal .....	31
4.3.2 Korosi Eksternal.....	31
4.3.3 Kesalahan Konstruksi .....	32
4.3.4 Kesalahan Operasi.....	33
4.3.5 Gangguan Pihak Luar.....	33
4.3.6 <i>Fatigue</i> .....	34
4.3.7 Tersumbat.....	35
4.4 Hasil Survey dan <i>Expert Judgement</i> .....	35
4.5 Penilaian Risiko .....	38
4.5.1 Penilaian Risiko Terhadap Kemungkinan ( <i>Likelihood</i> ).....	38
4.5.2 Penilaian Risiko Terhadap Keparahan ( <i>Severity</i> ) .....	39
4.5.3 Penggolongan Tingkat Risiko ( <i>Risk Matrix</i> ).....	39
4.6 Pemodelan <i>Bowtie Analysis</i> .....	45
4.6.1 <i>Bowtie Analysis</i> untuk <i>Coating Failure</i> .....	46
4.6.2 <i>Bowtie Analysis</i> untuk <i>Free Span</i> .....	47

4.6.3 Tabel Penyebab ( <i>Threat</i> ) dan Dampak ( <i>Consequences</i> ).....	48
4.6.4 Diagram 1 <i>Bowtie Analysis Coating Failure</i> .....	53
4.6.5 Diagram 2 <i>Bowtie Analysis Free Span</i> .....	59
BAB V.....	65
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA .....	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 <i>Jaringan Pipa Bawah Laut</i> .....	1
Gambar 1. 2 <i>Manajemen Risiko</i> .....	3
Gambar 2. 1 <i>Aplikasi dari Pipa Bawah Laut</i> .....	8
Gambar 2. 2 <i>Penilaian Risiko</i> .....	12
Gambar 2. 3 <i>Matriks Risiko</i> .....	13
Gambar 2. 4 <i>Hierarki Pengendalian Risiko</i> .....	19
Gambar 2. 5 <i>Metode Bowtie Analysis</i> .....	21
Gambar 3. 1 <i>Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir</i> .....	23
Gambar 3. 2 <i>Rute Pipa Objek Penelitian</i> .....	25
Gambar 4. 1 <i>Rute Pipa Bawah Laut</i> .....	28
Gambar 4. 2 <i>Penggambaran titik Scouring pada pipa</i> .....	29
Gambar 4. 3 <i>Hasil Inspeksi langsung pada Concrete SPL</i> .....	29
Gambar 4. 4 <i>Korosi Internal pada Pipa</i> .....	31
Gambar 4. 5 <i>Kerusakan coating pada SPL</i> .....	32
Gambar 4. 6 <i>Dampak aktivitas pihak ketiga pada SPL</i> .....	34
Gambar 4. 7 <i>Penggambaran ulang scouring pada titik 0 SPL</i> .....	35
Gambar 4. 8 <i>Pemodelan Bowtie Analysis untuk Coating Failure</i> .....	46
Gambar 4. 9 <i>Pemodelan Bowtie Analysis untuk Freespan</i> .....	47

## DAFTAR TABEL

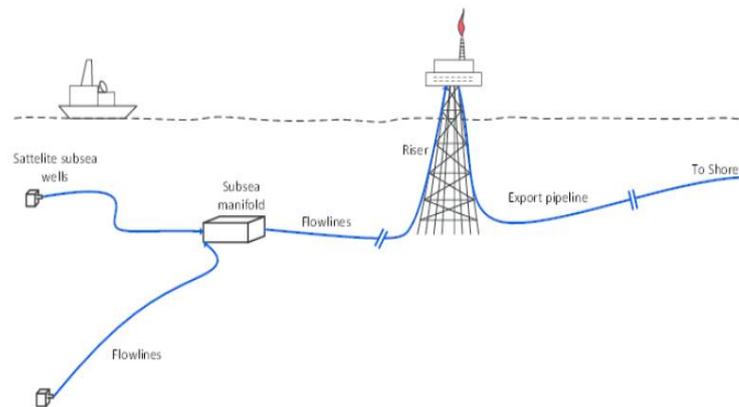
Tabel 2. 1 Tingkat kemungkinan kejadian ( <i>likelihood</i> ) .....	14
Tabel 2. 2 Tingkat keparahan ( <i>severity</i> ) untuk aspek keselamatan ( <i>safety</i> ).....	14
Tabel 2. 3 Tingkat keparahan ( <i>severity</i> ) untuk aspek lingkungan ( <i>environment</i> ). 15	
Tabel 2. 4 Tingkat Keparahahan ( <i>Severity</i> ) untuk Aspek Bisnis ( <i>business/asset</i> )....	15
Tabel 2. 5 Klasifikasi Frekuensi ( <i>Likelihood Index</i> ).....	17
Tabel 2. 6 Klasifikasi Keparahahan ( <i>Severity Index</i> ).....	18
Tabel 2. 7 Matriks Risiko (DNV RP –F107) .....	18
Tabel 4. 1 Spesifikasi Pipa .....	27
Tabel 4. 2 Kuesioner Untuk Responden .....	30
Tabel 4. 3 Hasil Kuesioner untuk <i>Likelihood</i> .....	36
Tabel 4. 4 Hasil Kuesioner untuk Aspek <i>Safety</i> .....	36
Tabel 4. 5 Hasil Kuesioner untuk Aspek <i>Environment</i> .....	37
Tabel 4. 6 Hasil Kuesioner untuk Aspek <i>Business/ Asset</i> .....	37
Tabel 4. 7 <i>Rank</i> untuk setiap kelas berdasarkan <i>Likelihood Index</i> .....	40
Tabel 4. 8 <i>Rank</i> untuk setiap kelas berdasarkan <i>Severity Index</i> .....	40
Tabel 4. 9 Penggolongan <i>Rank</i> untuk <i>Likelihood</i> .....	40
Tabel 4. 10 Penggolongan <i>Rank</i> untuk Aspek Keselamatan ( <i>Safety</i> ) .....	41
Tabel 4. 11 Penggolongan <i>Rank</i> untuk Aspek Lingkungan ( <i>Environment</i> ) .....	42
Tabel 4. 12 Penggolongan <i>Rank</i> untuk Aspek Bisnis ( <i>Business/Asset</i> ).....	42
Tabel 4. 13 <i>Risk Matrix</i> berdasarkan DNV RPF107.....	43
Tabel 4. 14 Matriks Risiko untuk Aspek Keselamatan ( <i>Safety</i> ) .....	44
Tabel 4. 15 Matriks Risiko untuk Aspek Lingkungan ( <i>Environment</i> ).....	44
Tabel 4. 16 Matriks Risiko untuk Aspek Bisnis ( <i>Business/ Asset</i> ) .....	45
Tabel 4. 17 Tabel Penjelasan untuk Diagram Penyebab ( <i>Threat</i> ) .....	48
Tabel 4. 18 Tabel Penjelasan untuk Diagram Dampak ( <i>Consequences</i> ). .....	51

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penggunaan energi minyak dan gas masih sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Perencanaan dan pengembangan energy terbarukan kerap dilakukan, namun hingga saat ini penggunaan migas masih memegang peranan penting dalam kehidupan sehari-hari. Industri migas yang terdiri mulai dari pencarian sumber dan ekstraksi (*upstream*), hingga pengolahan (*downstream*) mengalami banyak perkembangan semenjak pertama kali pengeboran dilakukan. Eksplorasi dan eksploitasi di daratan (*onshore*) yang sudah semakin banyak membuat para pelaku industri melakukan eksplorasi dan eksploitasi ke wilayah perairan lepas pantai (*offshore*), mulai dari perairan dangkal hingga perairan dalam. Dengan kondisi atau area yang lebih kompleks dibandingkan dengan area *onshore*, industri migas lepas pantai membutuhkan teknologi yang lebih efisien dan efektif, salah satunya dalam bidang transportasi fluida hasil eksplorasi dan eksploitasi, yaitu pipa bawah laut atau bisa disebut *offshore / subsea pipeline*.



**Gambar 1. 1** Jaringan Pipa Bawah Laut (Jahanshahi, 2013)

Hakim (2018) pada tugas akhirnya mengatakan bahwa pipa bawah laut dapat dikatakan efisien sebagai moda transportasi bawah laut karena jaringan *offshore pipeline* ini dapat mengangkut fluida hasil eksplorasi maupun eksploitasi selama 24 jam per hari hingga setahun penuh, dimana pipa ini sendiri dapat bekerja hingga 30 tahun. Sebagai salah satu alat perindustrian, sama seperti alat industri lainnya, pipa

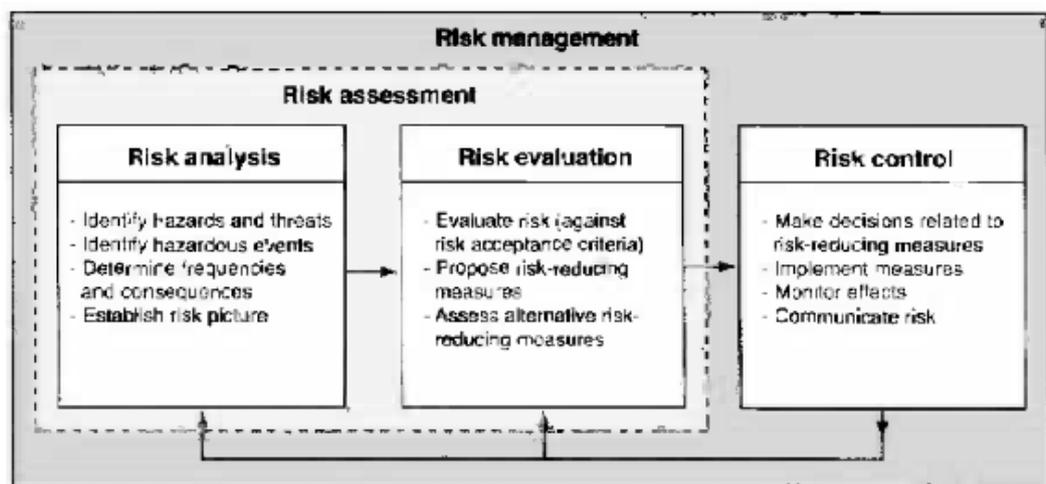
bawah laut tidak lepas dari risiko di sekitarnya, sehingga memerlukan analisa serta manajemen khusus untuk pencegahan risiko yang mengintainya. Risiko yang bisa terjadi karena faktor lingkungan maupun manusia (*human error*) ini sendiri secara umum dibagi menjadi 2 bagian besar, disebabkan oleh faktor internal dan faktor eksternal (Muhammad, 2011). Dimana pada kasus pipa faktor internal disebabkan oleh umur, ketebalan, korosi pipa dan faktor eksternal disebabkan oleh lingkungan sekitar pipa.

Dalam kondisi operasinya, baik pipa di daratan (*onshore*) maupun lepas pantai (*offshore*) harus dalam kondisi layak pakai, dimana untuk menjamin kondisi ini dilakukan inspeksi berkala. Dalam industri migas sendiri, inspeksi dibagi menjadi dua yaitu inspeksi berdasarkan risiko (*Risk Based Inspection*) dan inspeksi berdasarkan waktu (*Time Based Inspection*). Inspeksi berdasarkan waktu dilakukan secara rutin tanpa mempertimbangkan risiko yang terjadi pada pipa, dimana semua alat dianggap rata, padahal setiap alat memiliki risiko yang berbeda. Inspeksi berdasarkan risiko dianggap lebih efektif karena dapat diketahui tingkat kegagalan pipa yang lebih tinggi berdasarkan inspeksi, serta program inspeksi dapat dilakukan lebih sistematis dan memprioritaskan tingkat risiko yang lebih tinggi, dimana tingkat risiko yang tidak terlalu tinggi bisa disesuaikan dengan kondisi (Taqwa, 2018).

Pipeline pada masa operasinya mempunyai beberapa kemungkinan risiko, dimana hal ini disebabkan oleh kombinasi pertemuan antara *Probability of Failure* dan *Consequence of Failure* (Hakim, 2018). Dalam menentukan frekuensi (*likelihood*) dan keparahan (*severity*) kejadian, DNV RP-F107 menyatakan hal ini dapat dilakukan dengan dua cara, pertama dengan melakukan estimasi berdasarkan expert judgement dan engineering judgement yang langsung ada di lapangan, dan cara kedua dengan perhitungan berdasarkan informasi yang tersedia. Artana (2008) pada bukunya Analisa Risiko Pada Pipa Gas Bawah Laut mengatakan bahwa pada periode 1967 sampai 2008, korosi merupakan salah satu penyebab utama kegagalan saluran pipa dengan statistic hampir 50% dari total kegagalan yang terjadi pada operasi pipa. Selanjutnya pada peringkat kedua ada aktivitas maritime yang menjadi penyebab kegagalan dengan statistik sebesar 14%. Munculnya aktivitas maritime sebagai penyebab kegagalan terbesar kedua pada operasi pipa bawah laut pada

umumnya disebabkan oleh aktivitas penangkapan ikan dan terbenturnya pipa bawah laut dengan jangkar kapal yang beroperasi disekitar pipa gas. Kegagalan pipa gas karena alam (gempa, sedimentasi, *scouring*, tanah longsor, dll) menempati urutan ketiga sebesar 12%, dan sisanya penyebab kegagalan pipa akibat sebab-sebab lainnya (konstruksi, *marine growth*, bahan eksplosif, dan lain-lain).

Menurut *Muhlbauer* (2004) risiko didefinisikan sebagai probabilitas suatu peristiwa yang dapat menyebabkan kerugian serta besarnya kerugian itu sendiri. Dalam penanganan risiko itu sendiri diperlukan analisa risiko dan manajemen risiko. Analisis risiko diartikan sebagai sebuah sistem atau prosedur untuk mengetahui bahaya dan risiko untuk individu, properti, dan lingkungan (Rausand, 2011). Analisis risiko juga juga dipahami sebagai sebuah proses untuk menentukan pengamanan macam apa yang cocok atau layak untuk sebuah lingkungan (ISO 1799, “An Introduction To Risk Analysis”, 2012). Sehingga dapat disimpulkan untuk manajemen risiko sendiri didefinisikan sebagai suatu proses mengidentifikasi, mengukur risiko serta membentuk strategi untuk mencegah atau memitigasi dampak dan kerugian yang tidak diinginkan.



**Gambar 1. 2** Manajemen Risiko (Rausand, 2011)

PT. X merupakan perusahaan BUMN yang bertugas mengelola penambangan minyak dan gas bumi di Indonesia. PT. X dalam pengolahannya mempunyai unit eksplorasi dan eksploitasi (*upstream*) hingga unit pengolahan dan distribusi (*downstream*). Dalam sektor *downstream*, unit pengolahan dinamai *refinery unit* dan diberikan setiap nomor untuk setiap daerah. Daerah Balikpapan, dimana

*Refinery Unit X* bertempat, telah beroperasi sejak 1922 dan saat ini memegang peranan kunci untuk memasok kebutuhan dalam negeri, khususnya wilayah Indonesia Bagian Timur. Lokasi *Refinery Unit* sangat strategis untuk memasok kebutuhan bahan bakar minyak di daerah Timur, dapat memasok hingga 26% total kebutuhan di Indonesia, dimana jaringan distribusi dibantu oleh kapal tangker, moda transportasi darat, dan pipa distribusi. Pada April 2018, jaringan pipa Penajam - Balikpapan mengalami kebocoran hingga kebakaran minyak di daerah Teluk Balikpapan. Hal ini tentu sangat merugikan perusahaan dalam aspek ekonomi, sumber daya, hingga lingkungan.

Dengan munculnya insiden tersebut, telah dilakukan inspeksi menyeluruh terhadap seluruh jaringan pipa disekitar RU Balikpapan, salah satunya pipa bawah laut arah Penajam – Balikpapan. Diperlukan penanganan dan pengelolaan khusus untuk sistem pipa daerah Balikpapan ini, salah satunya adalah dengan melakukan analisis risiko terhadap jaringan pipa. Dimana harapannya keamanan (*safety*) dan keandalan (*reliability*) bisa ditingkatkan. Pengelolaan bertujuan untuk menjadi acuan dan dalam melakukan inspeksi, sehingga bisa dipisahkan mana prioritas untuk yang memiliki risiko tinggi, dan penyesuaian untuk pipa risiko rendah.

Berdasarkan kasus dan masalah yang ada, penelitian ini akan menganalisis risiko yang terjadi pada pipa bawah laut di daerah Penajam – Balikpapan dengan metode *Bowtie Analysis* dan dengan adanya analisis akan pipa ini diharapkan bisa berguna untuk segala pihak.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Apa saja risiko yang dapat terjadi dan apa risiko dominan yang terjadi pada pipa bawah laut PT. X daerah Penajam – Balikpapan ?
2. Berapa kemungkinan (*likelihood*) dan keparahan (*severity*) dari risiko yang terjadi pada pipa bawah laut PT. X daerah Penajam – Balikpapan ?
3. Bagaimana manajemen risiko pada pipa bawah laut PT. X daerah Penajam – Balikpapan ?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui risiko yang dapat terjadi dan risiko dominan yang terjadi pada pipa bawah laut PT. X daerah Penajam – Balikpapan
2. Mengetahui kemungkinan (*likelihood*) dan keparahan (*severity*) dari setiap risiko yang terjadi pada pipa bawah laut PT. X daerah Penajam – Balikpapan,
3. Mengetahui manajemen risiko yang tepat pada pipa bawah laut PT. X daerah Penajam – Balikpapan.

### **1.4 Batasan Masalah**

Ruang lingkup dalam laporan ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan data inspeksi pada bagian Selatan Pipa Bawah Laut Penajam – Balikpapan.
2. Variabel risiko pada penelitian ini merupakan risiko kegagalan teknis
3. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data hasil survey lapangan dan wawancara dengan responden.
4. Responden dalam penentuan faktor, akibat, dan probabilitas adalah pihak proyek serta *expert* pada bidang terkait.
5. Mengabaikan faktor perhitungan nilai ekonomi mendetail serta estimasi waktu dalam manajemen risiko.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah sebagai sarana evaluasi untuk pihak perusahaan dalam hal inspeksi dan perawatan pipa bawah laut, serta dapat digunakan sebagai referensi tentang studi risiko pada proyek pipa bawah laut kedepannya.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Tugas Akhir ini disusun dalam beberapa bab guna mempermudah pembahasan, dan sistematika penulisan dijelaskan sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN. Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang permasalahan dari Tugas Akhir yang akan dilakukan, rumusan masalah, tujuan

yang akan dicapai, manfaat Tugas Akhir kedepannya, dan batasan masalah yang akan menjadi pembatasan, serta sistematika penulisan Tugas Akhir.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA dan LANDASAN TEORI. Pada bagian ini penulis menjelaskan beberapa teori dasar mengenai pipa bawah laut, teori dasar tentang ilmu yang digunakan, serta mengenai metode yang digunakan pada penelitian tentang manajemen risiko ini

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN. Pada bagian ini penulis menggambarkan dan menjelaskan langkah-langkah yang digunakan dalam mengerjakan Tugas Akhir dimana akan digambarkan melalui diagram alir (*Flow Chart Diagram*)

BAB IV. ANALISA HASIL dan Pembahasan. Menjelaskan tentang analisa dan pembahasan pada Tugas Akhir ini. Dimulai dari pengidentifikasian risiko yang berpotensi terjadi pada pipa, dilanjutkan dengan penentuan kemungkinan (*likelihood*) dan keparahan (*severity*) yang dilakukan dengan metode *expert judgement*, lalu dilanjutkan dengan penentuan risiko dominan dengan menggunakan matriks risiko (*risk matrix*), dan dilanjutkan dengan manajemen risiko dominan menggunakan *Bowtie Analysis* yang akan dibantu oleh *software BowtieXP* untuk menentukan dampak, penyebab, faktor eskalasi, dan mitigasi dari setiap variabel penyebab dan dampak risiko dominan.

BAB V. PENUTUP. Menjelaskan tentang kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian serta pemberian saran untuk penelitian selanjutnya.

## **BAB II**

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

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Penggunaan pipa bawah laut untuk menyalurkan fluida dan gas alam terbukti lebih efektif dibanding transportasi lainnya. Dinilai lebih ramah lingkungan, murah dan perawatan yang lebih mudah menjadi alasan pipa dipilih untuk menjadi moda transportasi fluida belakangan ini. Namun, sama seperti alat industri lainnya, pipa tidak lepas dari risiko dan konsekuensi yang bisa berujung pada kerugian kepada segala pihak, mulai dari aspek lingkungan hingga ekonomi. Menurut Artana (2008) mengingat pentingnya pipa bawah laut bagi industri, dilakukan berbagai penelitian untuk memelihara dan menjaga pipa saat operasi yang didasarkan pada risiko-risiko yang ada.

Menurut Muniz dkk. (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “*Bow Tie to Improve Risk Management of Natural Gas Pipelines*” mengatakan bahwa dengan meningkatnya penggunaan pipa untuk transportasi gas dan fluida di seluruh dunia, manajemen risiko juga perlu ditingkatkan. Kecelakaan pada *pipeline* yang berdampak pada lingkungan, manusia, aset dan reputasi perusahaan terekam karena gagalnya manajemen risiko pada lingkungan sekitar. Dalam penelitian tersebut juga dikatakan bahwa penggunaan Bow Tie diagram juga dapat menyediakan analisis komprehensif mulai dari analisa risiko, penyebab utama, tindakan preventif, tindakan yang disarankan dan diharapkan penelitian bisa menjadi acuan perusahaan terkait bahwa risiko sudah dianalisis dan dibawah kontrol.

Penelitian analisa risiko menggunakan *Bowtie Analysis* juga dilakukan oleh Guntara (2017) dengan judul “Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan *Bowtie Analysis* Pada Proyek *Mooring Chain Replacement Production Barge Seagood 101*”. Dimana penggunaan *Bowtie Analysis* dilakan untuk enentukan penyebab, dampak, serta kontrol dan risiko signifikan. Namun dalam jurnal ini membahas tentang studi kasus *Mooring Chain Replacement* sedangkan peneliti tugas akhir ini akan menggunakan studi kasus *pipeline*.

Identifikasi risiko pada pipa juga dilakukan oleh Pratama (2018) dalam penelitiannya berjudul “Penilaian Risiko Pipa Feedgas 42” dengan Metode Indeks

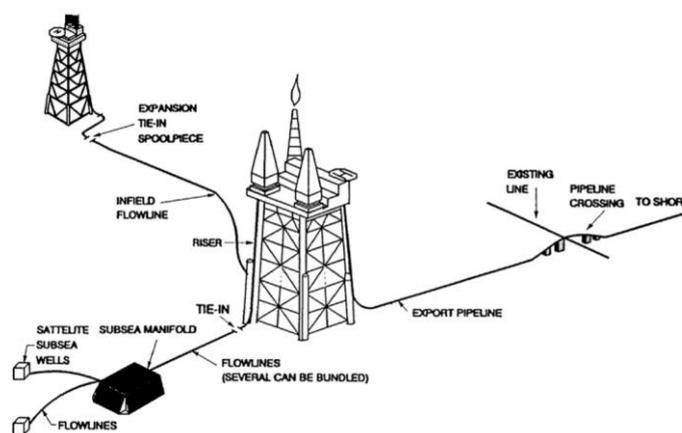
Skoring” dimana penilaian risiko dilakukan dengan metode *indexing model risk assessment*, dan didapat pada beberapa seksi risiko pada pipa tergolong high dan perlunya dilakukan langkah – langkah mitigasi untuk mengurangi risiko kegagalan.

Pada tahun 2018, Hakim dalam proses mendapat gelar sarjananya mengangkat tema “Analisis Risiko Kegagalan Operasi dengan Menggunakan Metode *HAZOP Analysis* Pada *Onshore Pipeline* PT. X”. Studi ini dilakukan dengan menyebar kuisisioner kepada pihak terkait proyek untuk mengetahui besaran *likelihood* (kemungkinan) dan *severity* (keparahan) kegagalan operasi pada onshore pipeline. Dari studi ini ditemukan dampak yang paling besar terjadi karena korosi baik internal maupun eksternal.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Pipa Bawah Laut

Pipa bawah laut dalam industri migas mempunyai beberapa fungsi dalam pengembangannya, seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Sistem pada pipa bawah laut sendiri ini dibagi menjadi beberapa kelompok, mulai dari *single-pipe pipeline system*, *pipe-in-pipe system*, atau *bundled system*. Pipa bawah laut atau *subsea pipeline* biasa disebut atau merujuk pada *subsea pipeline* yang mengalirkan atau menjadi moda transportasi untuk mengangkat produk minyak dan gas (*oil and gas*) dari kepala sumur (*wellhead*) lanjut ke *riser*, dimana *riser* sendiri tersambung pada fasilitas pemrosesan, sebuah *platform* atau FPSO (*floating production and storage offloading*).



**Gambar 2. 1** Aplikasi dari Pipa Bawah Laut (Yong Bai, 2013)

*Subsea pipeline* yang menyambung dari fasilitas pemrosesan ke daratan sendiri biasa disebut *export pipelines*. Pipa bawah laut ini juga menyangkut:

- *Export pipelines (transport)*
- Jaringan untuk melakukan pemindahan produk antar *platform, subsea manifolds*
- Jaringan untuk melakukan pemindahan produk
- Injeksi pipa atau bahan kimia (*chemical injection*) ke jaringan

Pipa bawah laut juga bisa didefinisikan sebagai fasilitas moda transportasi fluida, terutama minyak dan gas bumi, yang terbukti ekonomis. Pipa bawah laut juga menjadi bagian dari struktur lepas pantai sebagai teknologi untuk perdistribusian (Abdullah *et al*, 2012).

### **2.2.2 Risiko**

Risiko menurut ISO 31000 didefinisikan sebagai “efek ketidakpastian dari suatu tujuan” dimana konsekuensi dan efek dari kejadian itu adalah sesuatu yang tidak diinginkan, serta tidak sesuai dari yang diharapkan. Muhlbauer (2004) mengatakan bahwa definisi risiko adalah probabilitas suatu peristiwa yang dapat menyebabkan kerugian serta besarnya kerugian itu sendiri. Sehingga diambil kesimpulan bahwa definisi risiko adalah suatu kondisi yang timbul karena ketidakpastian dengan seluruh konsekuensi tidak menguntungkan yang mungkin terjadi. Interupsi yang disebabkan risiko pada industri minyak dan gas sendiri dengan mudah berujung terhadap kerugian ekonomi, risiko terhadap manusia, dan lingkungan. Risiko pada industri minyak dan gas ini yang membutuhkan manajemen untuk mitigasi dan pencegahannya.

Rausand mengatakan manajemen risiko adalah proses manajemen yang berkesinambungan dengan tujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis dan menilai potensi bahaya dalam suatu system atau berhubungan dengan aktivitas, dan untuk mengidentifikasi dan menerapkan langkah-langkah pengendalian risiko untuk menghilangkan atau mengurangi potensi bahaya terhadap manusia, lingkungan, atau pertimbangan lainnya

### 2.2.3 Risiko Pada Pipa Bawah Laut

Seperti sudah dikatakan pada bagian pendahuluan, pipa bawah laut sama seperti alat industri lainnya, tidak lepas dari risiko yang mengintai. Risiko pada pipa bawah laut yang disebabkan oleh faktor internal dan faktor eksternal ini dibagi menjadi 2 secara garis besar, yaitu risiko karena faktor natural/ alam (*natural hazards*) dan risiko yang disebabkan manusia (*manmade hazards*). Yong Bai (2013) dalam bukunya “*Subsea Pipeline Integrity and Risk Management*” mengkategorikan beberapa beberapa risiko pada pipa bawah laut sebagai berikut.

1. Beban Lingkungan Ekstrem
  - Gempa (*Earthquakes*)
  - Beban ombak dan arus (*Severe wave and current loading*)
  - Perubahan *seabed* yang mengganggu stabilitas
2. Proses Deviasi
  - *Overpressure*
  - *Underpressure*
  - *Over-and undertemperature*
3. Korosi
  - Korosi internal yang berlebihan (*excessive internal corrosion*)
  - Korosi eksternal yang berlebihan (*excessive external corrosion*)
  - Kegagalan coating (*coating failure*)
4. Gangguan Pihak Ketiga
  - Jatuhnya jangkar (*Dropped anchor*)
  - Terseret jangkar (*Dragged anchor*)
  - Tenggelamnya kapal (*Sinking vessels*)
  - *Trawl pullover*
  - *Hooking*

Risiko risiko diatas yang mengintai pipa bawah laut sendiri berdampak pada 3 aspek besar, yaitu aspek keselamatan (*safety*), aspek lingkungan (*environment*), dan aspek bisnis (*business/asset*). Dimana Yong Bai (2013) juga mendefinisikan ketiga konsekuensi diatas sebagai berikut:

- Keselamatan (*safety/personal consequences*)

Sebagai konsekuensi yang berpotensi menimbulkan kecelakaan bahkan kematian yang disebabkan oleh ledakan (*explosion/blowout*), kebakaran atau pengapian (*ignition*), kegagalan pipa (*pipeline failure*), dan kegiatan berbahaya (*hazardous happenings*).

- Lingkungan (*environmental consequences*)  
Dampak yang diberikan terhadap ekosistem, makhluk hidup sekitar, tanah, serta air, baik dampak pada waktu dekat (*short-term*) atau dampak jangka panjang (*long-term*).
- Bisnis (*business/asset/economic consequences*)  
Potensi kerugian bisnis dalam waktu produksi yang terinterupsi serta biaya yang diperlukan untuk memperbaiki dan mengganti *pipeline* maupun komponen *pipeline* yang terdampak.

#### **2.2.4 Identifikasi Risiko**

Tahap pertama sebelum memulai manajemen risiko ada identifikasi risiko. Identifikasi risiko merupakan suatu proses yang secara sistematis dan terus menerus dilakukan untuk mengidentifikasi kemungkinan timbulnya risiko atau kerugian terhadap kekayaan, hutang, dan personil perusahaan. Proses identifikasi risiko ini mungkin adalah proses yang terpenting, karena dari proses inilah, semua risiko yang ada atau yang mungkin terjadi pada suatu proyek, harus diidentifikasi (Hakim, 2018).

Identifikasi risiko bertujuan untuk mengetahui risiko yang ada dan berpengaruh pada hasil akhir. Pada tahap identifikasi risiko dilakukan pencarian risiko risiko yang berpotensi dan sering terjadi pada proyek terkait. Teknik teknik yang dapat digunakan dalam identifikasi risiko antara lain adalah sebagai berikut (Guntara, 2017).

##### **a. *Brainstorming***

Melakukan tukar ide peneliti dengan pihak terkait atau *expert* tentang risiko yang biasa dan sering terjadi, penanganan, dan manajemen risiko. *Brainstorming* ini bisa dilakukan melalui komunikasi langsung maupun secara tidak langsung.

b. *Interviewing*

Melakukan wawancara/ *interview* terhadap pihak *expert*/ pihak terkait untuk mendapat informasi terhadap risiko yang biasa atau potensial untuk terjadi.

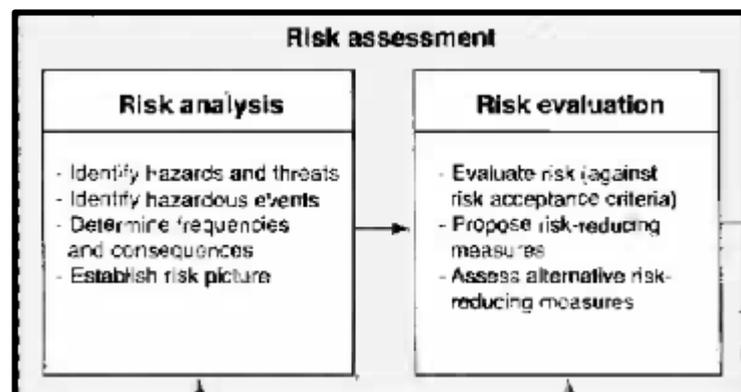
c. Penyebaran Kuesioner

Menyebarkan pertanyaan yang relevan kepada ahli/ *expert* dalam proyek atau bidang terkait. Ahli diminta untuk memberikan saran mengenai risiko yang mungkin terjadi, memberi nilai terhadap kuesioner akan tingkat keparahan dan frekuensi, berdasarkan pengalamannya.

### 2.2.5 Analisis Risiko

Analisa risiko adalah analisa atau evaluasi terhadap keseluruhan risiko yang berpotensi untuk mendapatkan risiko dominan yang mungkin terjadi. Penilaian risiko atau biasa disebut *risk assessment* sendiri adalah proses evaluasi risiko yang diakibatkan adanya bahaya-bahaya, dengan memperlihatkan kecukupan pengendalian yang dimiliki, dan menentukan apakah risiko dapat diterima atau tidak (OHSAS 18001:2007). Raus (2011) mengatakan ada beberapa langkah dalam melakukan *risk assessment*. Langkah langkah tersebut adalah :

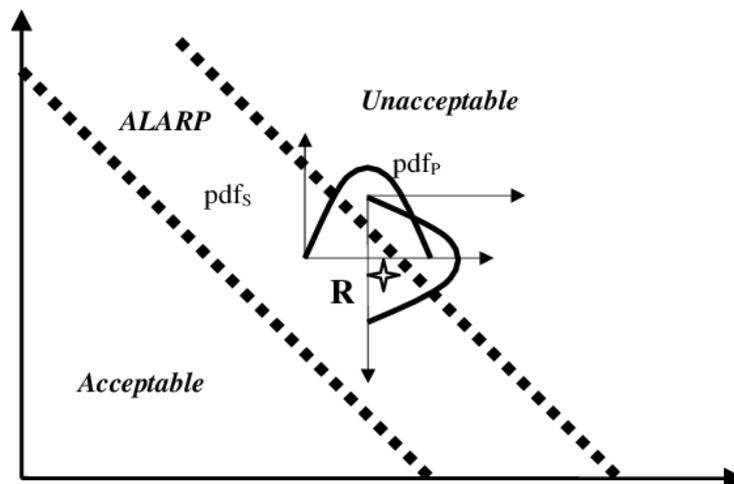
1. Identifikasi Risiko
2. Tentukan siapa yang terdampak dan bagaimana
3. Evaluasi risiko dan tentukan tindakan pencegahan
4. Ulangi penilaian risiko secara berkala dan lakukan pembaharuan jika diperlukan.



Gambar 2. 2 Penilaian Risiko (Sumber: Raus, 2011)

Penilaian risiko ini sendiri mempunyai tujuan antara lain:

1. Meningkatkan pemahaman akan risiko potensial yang mungkin terjadi di sekitar wilayah proyek
2. Menemukan dan menilai risiko apa saja yang dapat dan tidak dapat diterima sehingga bisa memastikan bahwa keselamatan disekitar dapat diterima dan melakukan tindakan rekomendasi untuk menurunkan nilai risiko potensial.
3. Menemukan pendekatan terstruktur untuk melakukan manajemen risiko



**Gambar 2. 3** Matriks Risiko (Sumber: Vivalda, 2009)

Vivalda (2009) pada risetnya mencantumkan matriks risiko yang terdiri dari tiga bagian, mulai dari *Unacceptable Risk* (risiko tidak dapat diterima), *ALARP/As low as reasonably practice*, dan *Acceptable Risk* (risiko dapat diterima). Risiko harus diturunkan dari *Unacceptable Risk* ke area *Acceptable Risk* melalui upaya preventif dan mitigasi. *Preventive risk control* dimaksudkan untuk menurunkan frekuensi (*probability/likelihood*) dari kejadian kecelakaan, sedangkan *mitigation risk control* dilakukan untuk mengurangi tingkat keparahan (*severity*) dari kejadian.

Setelah identifikasi risiko selesai dilakukan, analisis risiko perlu dilakukan untuk menindak lanjuti dampak dan potensi dari risiko tersebut. Tahap ini dilakukan sebelum lanjut ke tahap selanjutnya yaitu manajemen risiko terhadap risiko dominan. Analisis risiko ini dilakukan dengan mengumpulkan data relevan terhadap risiko, yang diperoleh dari data inspeksi, sejarah proyek, dan *brainstorming* (Skjong, 2011).

Ketika data sudah terkumpul, selanjutnya penilaian terhadap risiko atau *risk assessment* dilanjutkan dengan analisa untuk menentukan kemungkinan terjadinya risiko atau frekuensi (*likelihood*) dan keparahan risiko (*severity*). Nilai dari *likelihood* dan *severity* ini diperoleh dengan metode *expert judgment* menggunakan metode penyebaran kuesioner. Ketika data sudah terkumpul, dilakukan penggolongan risiko menggunakan tabel kategori berdasarkan DNV RP-F107 untuk parameter frekuensi (*likelihood*), keparahan untuk parameter keselamatan (*safety*), lingkungan (*environment*), dan bisnis (*business/asset*). Berikut adalah tabel kategori berdasarkan DNV RP F107.

**Tabel 2. 1** Tingkat kemungkinan kejadian (*likelihood*)

Tingkat <i>Likelihood</i>	Uraian	Definisi
1	Jarang sekali terjadi	Kejadian sangat jarang terjadi sehingga bisa diabaikan.
2	Kadang-kadang	Kejadian jarang terjadi.
3	Dapat terjadi	Kejadian tidak diekspektasikan untuk terjadi, tetapi beberapa kasus pernah terjadi dalam kurun waktu sekali dalam setahun.
4	Sering terjadi	Kejadian di ekspektasikan untuk terjadi dalam masa operasi <i>pipeline</i>
5	Hampir pasti terjadi	Terjadi lebih dari sekali dalam kondisi normal

**Tabel 2. 2** Tingkat keparahan (*severity*) untuk aspek keselamatan (*safety*)

Tingkat <i>Severity</i>	Uraian	Definisi
1	<i>Insignificant</i>	Keparahan tidak membutuhkan perbaikan, Tidak terjadi kecelakaan
2	<i>Slight</i>	Kecelakaan terjadi, ringan, tidak ada korban

**Tabel 2. 2** Tingkat keparahan (*severity*) untuk aspek keselamatan (*safety*) (lanjutan)

3	<i>Major Injury</i>	Kecelakaan terjadi, serius, tidak ada korban
4	<i>Single Fatality</i>	Kecelakaan serius, ada korban
5	<i>Multiple Fatality</i>	Kerusakan yang terjadi dalam skala parah, korban jiwa >1.

**Tabel 2. 3** Tingkat keparahan (*severity*) untuk aspek lingkungan (*environment*)

Tingkat Severity	Uraian	Definisi
1	Dapat Diabaikan	Tidak ada, kecil atau tidak signifikan pengaruh terhadap lingkungan.
2	Ringan	Kerusakan ringan, polusi yang ditimbulkan dapat dibersihkan segera atau bisa di dekomposisi oleh air laut.
3	Moderat	Polusi yang ditimbulkan ukuran sedang, polusi yang ditimbulkan membutuhkan waktu untuk bisa dibersihkan secara alami, atau bisa dibersihkan secara segera secara manual
4	Tingkat Tinggi	Kerusakan yang terjadi cukup tinggi, polusi bisa dibersihkan secara manual dan membutuhkan waktu untuk bisa dibersihkan secara alami
5	Sangat Tinggi	Kerusakan yang terjadi dalam skala parah, polusi sangat besar dan mengganggu ekosistem, butuh waktu yang sangat panjang untuk di dekomposisi oleh alam.

**Tabel 2. 4** Tingkat Keparahannya (*Severity*) untuk Aspek Bisnis (*business/asset*)

Tingkat Severity	Uraian	Definisi
1	Dapat Diabaikan	Keparahan tidak membutuhkan perbaikan, tidak mempengaruhi operasi pipa.
2	Ringan	Kerusakan ringan, reparasi dapat ditunda menunggu waktu <i>shutdown</i> dan dapat dibersihkan segera

**Tabel 2.4** Tingkat Keparahan (*Severity*) untuk Aspek Bisnis (*business/asset*)  
(lanjutan)

		dengan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan dibawah 1 bulan.
3	Moderat	Kerusakan menyebabkan fasilitas yang terganggu dengan biaya perbaikan signifikan. Perbaikan memerlukan operasi bawah air yang tidak terjadwal dengan sistem perbaikan yang membutuhkan waktu 1 – 3 bulan.
4	Tingkat Tinggi	Kerusakan menyebabkan <i>shutdown</i> tanpa batas waktu tertentu dengan dampak signifikan pada kerusakan sistem dan fasilitas. Dibutuhkan perbaikan bawah air atau menghasilkan <i>shutdown</i> untuk waktu yang lama dan berpengaruh pada keseluruhan sistem produksi. Waktu yang dibutuhkan 3-12 bulan.
5	Sangat Tinggi	Kerusakan terjadi dalam skala parah, kerugian yang sangat parah dan <i>shutdown</i> untuk waktu yang lama, 1-3 tahun

Setelah pembagian kuesioner terhadap *expert/* pihak terkait dilakukan untuk penilaian *likelihood* dan *severity* untuk ketiga aspek, dilakukan perhitungan dan penggolongan risiko untuk menghitung risiko dominan (*dominant risk*) yang terjadi. Penilaian dan penggabungan nilai dari hasil kuesioner dilakukan menggunakan perhitungan *Likelihood Index* dan *Severity Index* (Long, 2008) dapat dilihat dengan persamaan 2.1 berikut. Rumus *Likelihood Index* (L.I):

$$L.I = \frac{\sum_{i=1}^5 a_i n_i}{5N} \times 100\% \quad (2.1)$$

Di mana:

$a$  = konstanta penilaian (1 s/d 5)

$n_i$  = probabilitas responden

$i$  = 0,1,2,3,4, ...n

$N$  = total jumlah responden

5 = skala maksimal penilaian (1-5)

*Severity Index* menghasilkan nilai untuk dampak tingkat keparahan dari faktor-faktor risiko yang terjadi. Rumus *Severity Index* (S.I) dapat dilihat pada persamaan 2.2 berikut:

$$S.I = \frac{\sum_{i=1}^5 a_i n_i}{5N} \times 100\% \quad 2.2$$

Dimana:

$a$  = konstanta penilaian (1 s/d 4)

$n_i$  = probabilitas responden

$i$  = 0,1,2,3,4, ...n

$N$  = total jumlah responden

5 = skala maksimal penilaian (1-5)

Klasifikasi dari skala penilaian pada frekuensi sendiri dinilai berdasarkan tabel berikut, klasifikasi frekuensi (*Likelihood Index*) adalah sebagai berikut:

**Tabel 2. 5** Klasifikasi Frekuensi (*Likelihood Index*)

No.	Kelas	Nilai
0	<i>Extremely Ineffective</i>	$0\% < L.I \leq 20\%$
1	<i>Ineffective</i>	$20\% < L.I \leq 40\%$
2	<i>Moderately Effective</i>	$40\% < L.I \leq 60\%$
3	<i>Very Effective</i>	$60\% < L.I \leq 80\%$
4	<i>Extremely Effective</i>	$80\% < L.I \leq 100\%$

Klasifikasi untuk skala penilaian keparahan dilakukan dengan tabel yang tidak jauh berbeda, sebagai berikut:

**Tabel 2. 6** Klasifikasi Keparahan (*Severity Index*)

No.	Kelas	Nilai
0	<i>Extremely Ineffective</i>	$0% < S.I \leq 20%$
1	<i>Ineffective</i>	$20% < S.I \leq 40%$
2	<i>Moderately Effective</i>	$40% < S.I \leq 60%$
3	<i>Very Effective</i>	$60% < S.I \leq 80%$
4	<i>Extremely Effective</i>	$80% < S.I \leq 100%$

Selanjutnya, setelah dilakukan klasifikasi atau *rank* untuk masing masing risiko, mulai dari frekuensi (*likelihood*) hingga keparahan (*severity*) untuk setiap aspek yang ada, rank dari setiap *likelihood* dan *severity* yang ada akan dimasukkan pada tabel matriks risiko berdasarkan DNV GL RP - F107 seperti terlihat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2. 7** Matriks Risiko (DNV RP –F107)

		<i>Severity</i>				
		<i>Insignificant</i>	<i>Slight</i>	<i>Major Injury</i>	<i>Single Fatality</i>	<i>Multiple Fatality</i>
		1	2	3	4	5
<i>Likelihood</i>	5	Yellow	Red	Red	Red	Red
	4	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	3	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	2	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	1	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

Keterangan:

- Merah (*Risk not acceptable*) – Risiko tidak dapat diterima sehingga kegiatan tidak bisa dilanjutkan dan harus ada penanggulangan agar risiko berkurang.

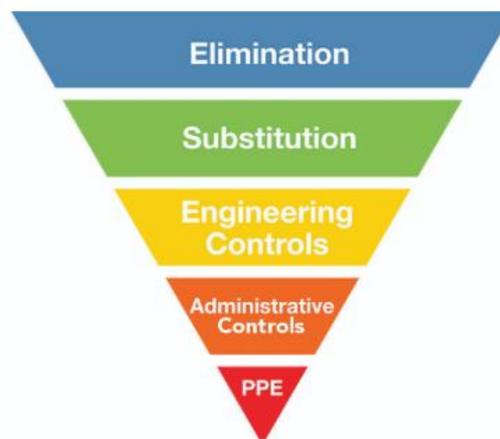
- Kuning (*ALARP/ As Low as Reasonable Practice*) – Risiko sedang dan perlu tindakan untuk pengurangan risiko, pencegahan dan pengendalian perlu dilakukan dengan detail dan mempertimbangkan berbagai faktor.
- Hijau (*Risk Acceptable*) – Risiko dapat dikategorikan rendah dan dapat diterima, tindakan lebih lanjut tidak diperlukan karena tidak mengganggu operasi pipa.

### 2.2.6 Manajemen Risiko

Menurut Muhlbauer (2014) manajemen risiko adalah reaksi terhadap risiko yang dirasakan atau ditimbulkan. Proses penilaian risiko yang baik seharusnya mengarahkan pengguna langsung ke manajemen risiko dengan menyoroti tindakan spesifik yang dapat mengurangi risiko. Tujuan dari manajemen dan pengendalian risiko ini tidak untuk menghilangkan risiko, tetapi untuk meminimalkan agar risiko bisa diterima. Pengendalian risiko dapat dilakukan dengan beberapa pilihan yaitu:

- Mengurangi kemungkinan (*reduce likelihood*)
- Mengurangi keparahan (*reduce severity*)
- Pengalihan risiko sebagian atau seluruhnya (*risk transfer*)
- Menghindar dari risiko (*risk avoid*)

Dalam tahap manajemen risiko, dalam menentukan pengendalian terhadap risiko potensial dan risiko dominan yang terjadi, perlu dilakukan dan memperhatikan hierarki pengendalian bahaya seperti ditampilkan oleh gambar berikut



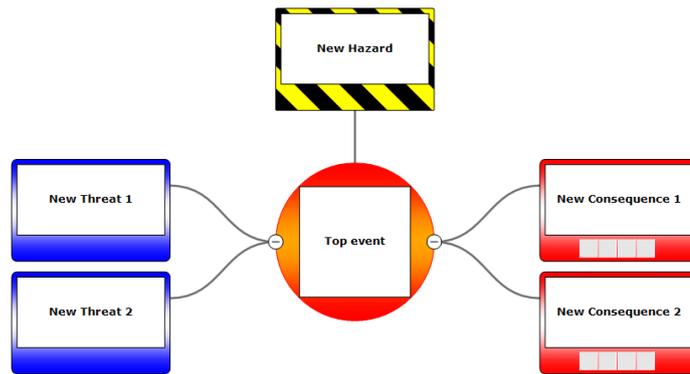
**Gambar 2. 4** Hierarki Pengendalian Risiko  
([www.safeandhealthmagazine.com](http://www.safeandhealthmagazine.com))

Berikut keterangan untuk hierarki pengendalian risiko:

- *Elimination* (Eliminasi) adalah pengendalian risiko dengan memodifikasi desain untuk menghilangkan biaya, dilakukan dengan menghilangkan sumber bahaya secara langsung.
- *Substitution* (Substitusi) adalah teknik pengendalian bahaya dengan mengganti alat, bahan, sistem, atau prosedur yang berbahaya dengan yang lebih aman atau yang lebih rendah bahayanya.
- *Engineering Controls* (Pengendalian Teknis) adalah teknik pengendalian peralatan atau sarana teknis yang ada di lingkungan kerja.
- *Administrative Control* (Pengendalian Administratif) adalah pengendalian bahaya dengan melakukan tindakan seperti pemasangan tanda keselamatan, tanda bahaya, hingga mengatur jadwal kerja, istirahat, cara kerja atau prosedur kerja yang lebih aman, rotasi atau pemeriksaan kesehatan.
- *Personal Protective Equipment/ PPE* (Pelindung Diri Personal) adalah teknik pengendalian bahaya dengan memakai alat pelindung diri, misalnya dengan pelindung kepala, sarung tangan, pelindung pernafasan, pelindung jatuh, dan pelindung kaki.

### **2.2.7 Bowtie Analysis**

Metode *Bowtie Analysis* adalah sebuah metode gabungan dari antara bahaya (*causes*) dengan konsekuensi (*consequences*) yang ditimbulkan. Metode ini disebut *Bowtie Analysis* karena bentuknya yang menyerupai dasi kupu-kupu, digambarkan dengan bahaya (*causes*) diagram disebalh kiri dan akibat (*consequences*) diagram disebelah kanan. Diagram ini juga menggambarkan manajemen untuk mengurangi dan memitigasi risiko.



**Gambar 2. 5** Metode *Bowtie Analysis*

Metode *Bowtie* menjelaskan beberapa kejadian yang berasal dari faktor penyebab dan dampak dari kegagalan yang membentuk representasi grafis dari:

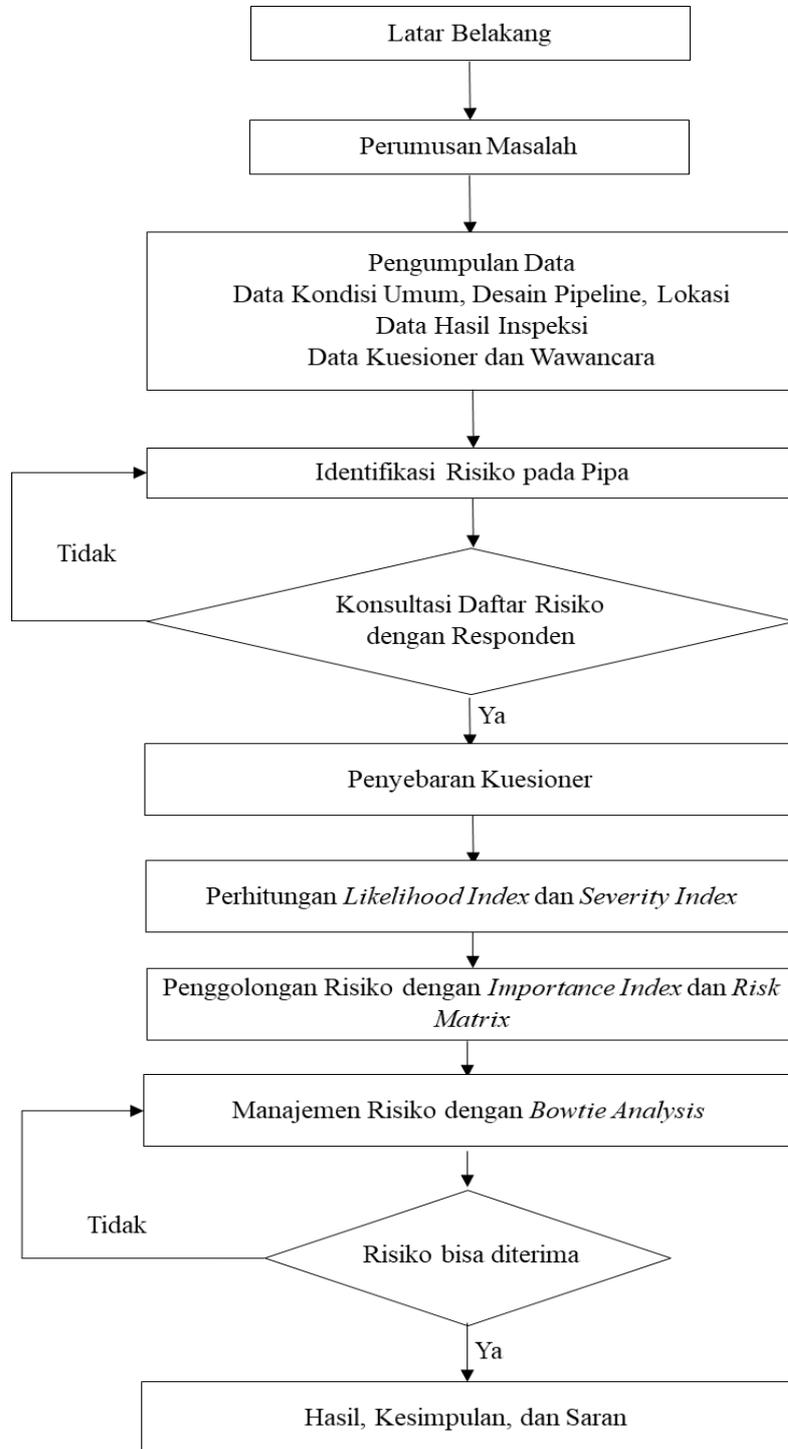
1. Risiko utama yang berusaha dimanajemen (*New Hazard*)
2. Kejadian utama yang menyebabkan risiko utama (*Top Event*)
3. Penyebab kejadian utama (*Threats*)
4. Dampak dari kejadian utama (*Consequences*)
5. Kontrol untuk mencegah terjadinya penyebab dan dampak (*Barriers*)
6. Faktor yang bisa menyebabkan kegagalan *barrier* (*Escalation Factor*)

Metode *Bowtie Analysis* sering digunakan sebagai alat dalam manajemen risiko karena terbukti efektif untuk menganalisis proses *hazard* awal dan dapat disebut sebagai gabungan dari *fault tree analysis* (FTA) dan *event tree analysis* (ETA), karena metode ini mencakup *threat* (ancaman) yang dapat digambarkan melalui FTA dan *consequences* (dampak) yang dapat digambarkan melalui ETA.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Diagram Alir Umum



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

## 3.2 Prosedur Penelitian

### 1. Studi Literatur

Studi literature dilakukan dengan mencari, mempelajari, memahapi laporan tugas akhir, buku, dan jurnal yang berkaitan dengan rumusan masalah tugas akhir ini. Adapun studi yang diperlukan sebagai berikut:

- a. Studi mengenai analisis risiko dan manajemen risiko
- b. Studi mengenai *hazard, consequences*, dan mitigasi pada operasi *subsea pipeline*
- c. Studi mengenai *Bowtie Analysis*

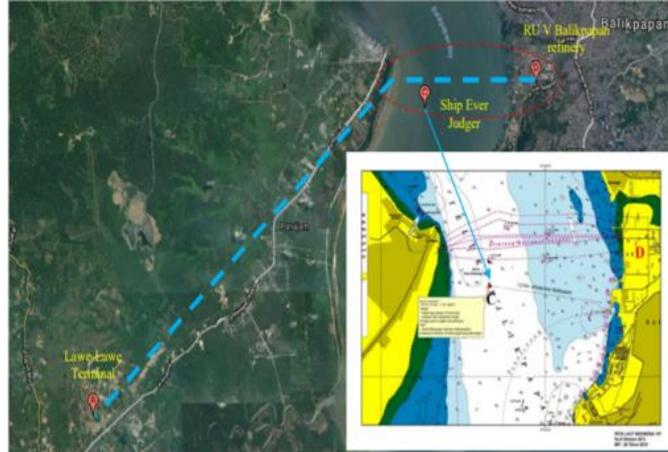
### 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini bertujuan untuk memenuhi data apa saja yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Data pipeline yang diperlukan pada penelitian ini antara lain :

- a. Data pipa bawah laut / *subsea pipeline* (SPL) Penajam - Balikpapan
- b. Data inspeksi pada pipa bawah laut / *subsea pipeline* (SPL) Penajam – Balikpapan yang dilakukan pada bulan April 2018.
- c. Data organisasi proyek untuk menentukan responden yang akan menjadi penunjang penelitian ini
- d. Data variable risiko yang didapatkan melalui data inspeksi serta wawancara dengan perusahaan terkait untuk menentukan risiko potensial
- e. Data kuesioner yang didapatkan melalui wawancara dengan responden yang telah dipilih untuk mendapatkan nilai kemungkinan kejadian (likelihood) dan keparahan (severity).

### 3.3 Lokasi Penelitian

Objek pada penelitian ini terletak pada area Teluk Balikpapan. Proyeksi pipa bawah laut atau *subsea pipeline* bisa dilihat pada gambar terlampir berikut.



**Gambar 3. 2** Rute Pipa Objek Penelitian (Sumber: Koto, 2018)

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

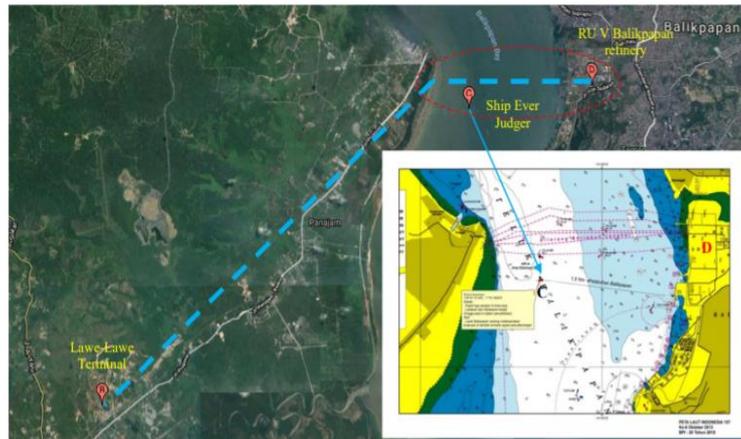
#### 4.1 Pengumpulan Data

##### 4.1.1 Data Awal Pipa

Studi kasus yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah pipa bawah laut di daerah Penajam – Balikpapan milik PT. X bagian Selatan, setelah terjadinya kecelakaan yang menyebabkan kebocoran pada bulan April 2018. Pipa bawah laut yang memiliki fungsi utama sebagai jalur utama minyak / *main oil line* (MOL) dari Penajam – Balikpapan ini terhubung langsung dari Terminal Lawe-Lawe ke *Refinery Unit* di Balikpapan. Pipa bawah laut ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut.

**Tabel 4. 1** Spesifikasi Pipa

Parameters	Unit	Information
Location	-	Penajam - Balikpapan
Section	-	North
Fluid Service	-	MOL
Outer Diameter	mm	323.8
Wall Thickness	mm	9.53
Grade	-	API 5L X2, Carbon Steel
Water Depth	m	22
Design Pressure	psig (MPa)	200 (93.3)
Operating Pressure	psig (MPa)	120 (48.9)
External Corrosion System	-	Half Shell Bracelet
Corrosion Allowance	mm	3
Design Temperature	°C	93.3
Max. Operating Temperature	°C	48,9

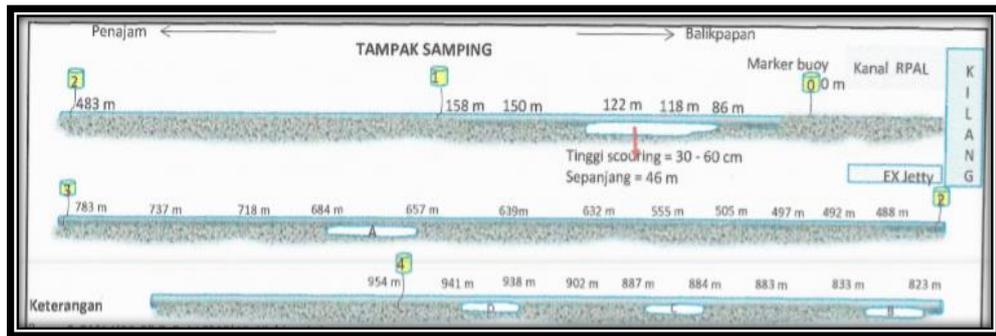


**Gambar 4. 1** Rute Pipa Bawah Laut (Sumber: Koto, 2018)

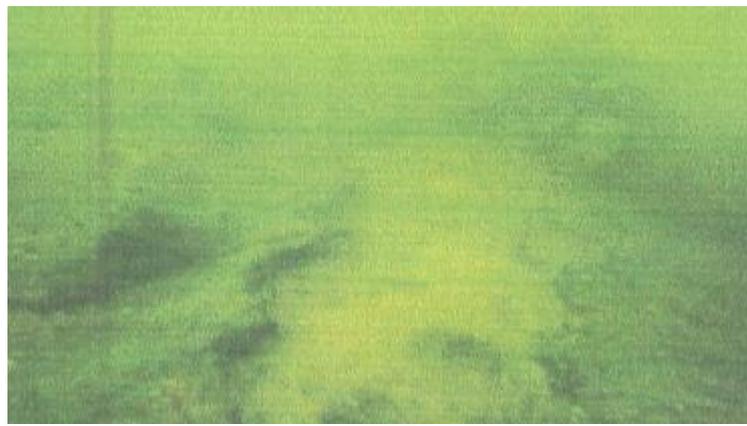
Pipa yang berfungsi sebagai *main oil line* ini mempunyai beberapa spesifikasi khusus seperti diameter luar (*outer diameter*), ketebalan pipa (*wall thickness*), spesifikasi perlindungan korosi, hingga spesifikasi operasi pipa (*depth, pressure, temperature*). Gambar 4.1 menggambarkan rute pipa bawah laut dari Terminal Lawe – Lawe hingga ke tujuan akhir *Refinery Unit* Balikpapan.

#### 4.1.2 Data Inspeksi Pipa

Kebocoran pada pipa daerah Penajam – Balikpapan mengharuskan inspeksi menyeluruh pada semua seksi pipa. Inspeksi visual dilakukan oleh penyelam (*diver engineer*) untuk mengecek seluruh kondisi pipa. Inspeksi ini dilakukan untuk mengetahui kondisi pipa secara langsung. Kondisi fisik pipa yang dapat terlihat langsung seperti kondisi *coating* dan *marine growth* di dokumentasikan melalui media kamera, tetapi untuk beberapa kondisi yang tidak memungkinkan dilakukan penandaan dan dilakukan penggambaran ulang. Kondisi keseluruhan pipa pada akhirnya akan dirangkum melalui laporan inspeksi dan digambar ulang seperti gambar terlampir.



**Gambar 4. 2** Penggambaran titik Scouring pada pipa (Sumber: Laporan Inspeksi SPL Penajam – Balikpapan, April 2018)



**Gambar 4. 3** Hasil inspeksi dan dokumentasi langsung pada Concrete SPL yang terkelupas / rusak (Sumber: Laporan Inspeksi SPL Penajam – Balikpapan, April 2018)

Penggambaran ulang seperti terlampir pada Gambar 4.2 dilakukan untuk beberapa kondisi terkini seperti *scouring* dan *freespan* yang tidak memungkinkan/ tidak akan tergambar dengan baik apabila di dokumentasikan secara visual melalui kamera. Untuk Gambar 4.3, dokumentasi langsung melalui kamera dilakukan untuk beberapa kondisi mengenai *coating* dan *concrete* yang terkelupas, *marine growth* pada pipa, serta kondisi pengukuran terkini dari *anode* pada pipa.

#### 4.2 Identifikasi Risiko

Penelitian ini dimulai dengan melakukan identifikasi risiko yang potensial terjadi pada pipa bawah laut Penajam – Balikpapan arah Selatan. Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan mendata dan mempelajari risiko yang mungkin terjadi berdasarkan hasil inspeksi langsung pada pipa yang tercantum pada laporan yang dibuat oleh penyelam (*diver engineer*) pada bulan April 2018. Setelah pendataan dan perangkuman dilakukan, identifikasi risiko dilakukan dengan

melakukan diskusi dan wawancara langsung dengan professional (*expert*) dan pihak yang turut serta dalam proyek ini. Wawancara ini dilakukan untuk mendapatkan variabel risiko (*risk*) dan penyebab (*cause*) yang terjadi. Selain diskusi yang dilakukan, *risk* yang berpotensi terjadi juga dilakukan dengan riset berdasarkan jurnal (*paper*) yang ada selama ini. Tabel berikut merupakan uraian dari risiko (*risk*) dan penyebab (*cause*) yang telah didapatkan melalui dua metode sebelumnya, diskusi dan *research*.

**Tabel 4. 2** Kuesioner Untuk Responden

No	Risiko		Severity					Likelihood				
	Penyebab	Hazard	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1.1	Fluida yang korosif	Korosi Internal										
2.1	Kegagalan proteksi katodik	Korosi Eksternal										
2.2	Kegagalan <i>coating</i>											
2.3	Korosi tanah											
3.1	Cacat konstruksi	Cacat Pipa (Konstruksi)										
3.2	Cacat material											
3.3	Cacat Pengelasan											
3.4	Instalasi kurang baik											
4.1	<i>Maintenance error</i>	Operasi tidak benar										
4.2	<i>Operation error</i>											
5.1	<i>Anchor hit</i>	Gangguan pihak luar										
5.2	Sabotase											
5.3	Aktivitas Nelayan											
5.4	<i>Dredging</i>											
6.1	<i>Internal overpressure</i>	<i>Fatigue</i>										
6.2	<i>Freespan</i> pada pipa											
7.1	<i>Pigging Stuck</i>	Tersumbat										

### 4.3 Risiko pada Pipa

Risiko pada pipa yang bermacam-macam dan memiliki berbagai penyebab ini mempunyai banyak bahaya, terutama berujung pada keretakan hingga kebocoran pada pipa. Risiko pada pipa sendiri ini dapat dibagi menjadi 3 kelompok besar yaitu risiko yang disebabkan oleh alam (*natural hazard*), disebabkan oleh manusia (*manmade hazard*), dan disebabkan oleh pihak ketiga atau pihak luar (*external*

*hazard*). Penyebab penyebab dari risiko ini sendiri akan dijabarkan pada bagian berikut, sesuai dengan bahaya yang disebabkan.

#### 4.3.1 Korosi Internal

Korosi yang dapat didefinisikan sebagai kerusakan sebuah logam akibat reaksi dari logam tersebut dengan zat disekitarnya, memiliki 2 tipe umum pada pipa, korosi internal dan korosi eksternal. Kehadiran karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) pada fluida yang di transport pipa adalah penyebab utama pada korosi internal pipa. Korosi internal sendiri pada pipa dan sumur dipengaruhi oleh, temperatur, kandungan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S, kecepatan aliran, serta kondisi permukaan dari pipa.



**Gambar 4. 4** Korosi Internal pada Pipa (Sumber: Iman, 2014)

Pencegahan atau tindakan preventif pada korosi internal pipa pada umumnya dilakukan dengan menggunakan *internal coating* (pelapisan bagian dalam) pada pipa, dimaksud untuk mengurangi gesekan pada pipa, meningkatkan efisiensi aliran, meningkatkan perlindungan korosi, serta melancarkan operasi *pigging*. Dalam masa operasinya, internal pipa juga mendapatkan inspeksi rutin dengan teknologi yang dinamakan *intelligence pig/ smart pig/* biasa disebut dengan *pigging*.

#### 4.3.2 Korosi Eksternal

Beberapa pipa bawah laut di instalasi dan dipasang dengan metode terkubur dibawah tana (*buried*) untuk mencegah dampak dari arus bawah laut dan interferensi pihak ketiga. Namun, beberapa kondisi tidak memungkinkan untuk

pipa bawah laut untuk di *buried* sehingga pipa harus dibentangkan diatas dasar laut (*seabed*) atau dalam kondisi *crossing* dengan pipa lain. Lingkungan sekitar seperti air laut dan sedimen sekitar pipa mempengaruhi dan menjadi faktor utama dalam mekanisme korosi eksternal yang terjadi pada pipa bawah laut. Pipa bawah laut yang dikelilingi oleh O<sub>2</sub>, pemicu utama korosi bawah laut, dimana kita ketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi oksigen terlarut pada permukaan logam, semakin tinggi tingkat potensi korosi (Ilman, 2014). Hal ini senada dengan kalimat sebelumnya yang mendukung untuk instalasi pipa dengan kondisi terkubur (*buried*) karena ketika pipa terkbur dibawah *seabed* kandungan O<sub>2</sub> di sekitar lingkungan pipa menurun.



**Gambar 4. 5** Kerusakan coating pada pipa Penajam – Balikpapan (Sumber: Laporan Inspeksi SPL Penajam – Balikpapan, April 2018)

Meskipun pipa sudah dalam kondisi terkubur atau *buried*, korosi masih dapat terjadi dengan adanya sedimentasi dan spesies spesies mikrobiologis dibawah *seabed*. Maka dari itu perlindungan terhadap korosi eksternal harus dilakukan dengan melakukan pelapisan (*coating*) dan perlindungan katodik (*cathodic protection*). Risiko yang dapat terjadi dalam beberapa kasus adalah gagalnya pelapisan maupun perlindungan katodik akibat umur atau gangguan pihak luar, seperti yang bisa kita lihat pada gambar 4.5.

#### **4.3.3 Kesalahan Konstruksi**

Setelah proses perancangan pipa dibuat, konstruksi pada pipa akan dibuat berdasarkan rancangan (*design*) yang diberikan. Detail yang diberikan pada rancangan harus memenuhi standar (*codes*) dan ketentuan yang ada. Kesalahan konstruksi bisa terjadi karena konfigurasi gambar yang kurang sesuai yang dilanjut

dengan konstruksi error dari orang lapangan yang melakukan pemotongan, pengelasan, dan pembuatan pipa sesuai dengan pemesanan. Kondisi konstruksi ini juga mencakup pada kondisi sebelum instalasi, yaitu penyimpanan pipa pada *storage* yang tidak sesuai standar dan metode transportasi yang merusak kualitas pada pipa. Seringkali dijumpai *storage* yang tidak sesuai standar melakukan penumpukan pada pipa sebelum dilakukan instalasi, dimana penumpukan (*stacking*) dilakukan berlebihan dan *storage* tempat penyimpanan terpapar langsung dengan sinar UV yang berlebihan. Akibat umum dari kesalahan ini adalah berkurangnya kualitas pipa yang berujung pada kelelahan (*fatigue*) yang merugikan perusahaan dalam aspek bisnis.

#### **4.3.4 Kesalahan Operasi**

Operasi pipa yang berjalan 24 jam tanpa henti membutuhkan pengawasan khusus agar bisa berjalan sesuai dengan rencana dan efisien. Operasi yang terlaksana secara otomatis tetap membutuhkan operator yang bertanggungjawab pada operasi untuk memastikan operasi berjalan lancar sebagaimana mestinya. Dalam beberapa kasus ditemukan *human error* dimana operator lalai dalam pengawasan, dan perawatan (*maintenance*) yang kurang baik, dimana sering ditemukan *maintenance* diabaikan sehingga tidak dilakukan secara berkala atau tidak sesuai dengan jadwal dan rencana. Hal ini dapat berakibat fatal pada umur dan operasi pipa.

#### **4.3.5 Gangguan Pihak Luar**

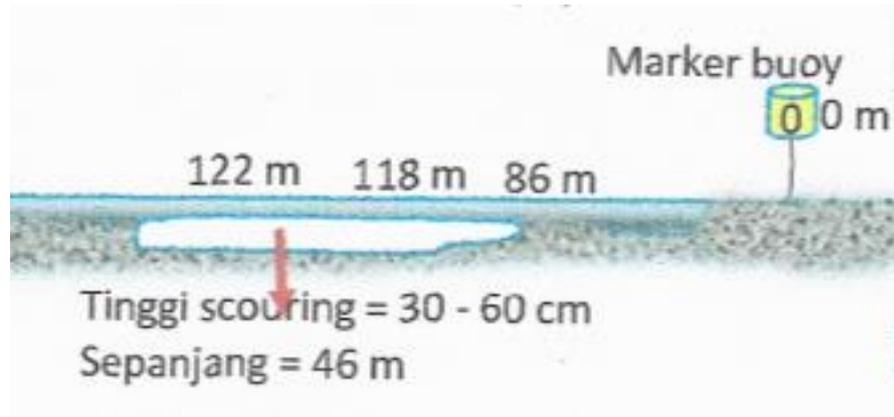
Perencanaan dan operasi yang baik dapat terganggu oleh gangguan pihak ketiga atau pihak luar. Dalam hal ini aktivitas pihak ketiga susah untuk diprediksi tetapi masih dapat dicegah. Tertabraknya pipa dengan jangkar (*anchor hit*) dan tertabraknya kapal nelayan adalah contoh dari gangguan pihak ketiga. Berdasarkan DNV RP F107, hal ini dapat dicegah dengan melakukan pengumpulan aktivitas kapal untuk mengevaluasi lalu lintas kapal disekitar pipeline. Sabotase juga merupakan salah satu contoh gangguan pihak luar, terjadi di beberapa negara. Onuoha (2008) mengatakan ada 3 konsep yang bisa dikategorikan dibawah konsep sabotase pipa bawah laut, yaitu *oil bunkering*, *oil pipeline vandalism/fuel scooping*, dan *oil terrorism*. Dimana sabotase ini dibagi berdasarkan proses, objek, dan aktor yang ada dibelakang aktivitas terkait.



**Gambar 4. 6** Dampak dari aktivitas pihak ketiga pada pipa bawah laut Penajam – Balikpapan (Sumber: Laporan Inspeksi SPL Penajam – Balikpapan, April 2018)

#### **4.3.6 Fatigue**

Kerusakan *fatigue* atau kelelahan pada pipa terjadi karena adanya beban terhadap pipa. Beban yang terjadi pada pipa bawah laut atau subsea pipeline terjadi terutama karena adanya beban dari gelombang dan arus laut. Gaya yang ditimbulkan beban lingkungan ini juga terutama terjadi karena adanya *freespan* pada pipa bawah laut, yaitu bentangan bebas diantara 2 penyangga (*support*) pada pipa. Penyebab *freespan* ini sendiri bisa disebabkan karena ada 2 pipa yang saling melewati satu sama lain (*crossing*) atau karena faktor lingkungan yaitu pengikisan tanah (*scouring*) pada tempat pipa beroperasi. Pencegahan pada risiko ini dilakukan agar tidak mengganggu masa operasi. Dalam perhitungan saat perancangan pipa dilakukan perhitungan untuk menghitung bentangan bebas yang diijinkan (*allowable span*), dan jika pada masa operasinya terjadi bentangan yang sudah melewati batas akan dilakukan *support* secara manual yaitu dengan melakukan pemasangan support pada seksi pipa tersebut.



**Gambar 4. 7** Penggambaran ulang scouring pada titik 0 pipa bawah laut Penajam – Balikpapan arah Selatan. (Sumber: Laporan Inspeksi SPL Penajam – Balikpapan, April 2018)

#### 4.3.7 Tersumbat

Pipa tersumbat atau biasanya disebut *pipeline blockage* adalah masalah yang sering dihadapi saat pipa beroperasi. Tersumbatnya pipa biasanya disebabkan oleh bahan – bahan yang dibawa oleh pipa itu sendiri seperti *wax* dan *hydrates*. Pipa tersumbat juga dapat disebabkan oleh menyangkutnya *pigging*, alat untuk memastikan bahwa jalur pipa yang dilewati bekerja dengan sempurna dengan mulus tanpa ada hambatan. Pada beberapa kasus ditemukan *pigging* yang tersangkut atau mengalami *error* saat beroperasi sehingga menyebabkan terhambatnya operasi pipa.

#### 4.4 Hasil Survey dan *Expert Judgement*

Hasil dari survey dan penyebaran kuesioner ini adalah mengetahui berapa kemungkinan frekuensi (*likelihood*) dan keparahan (*severity*) dari variable risiko yang sebelumnya telah dibuat. Penilaian ini dilakukan dibantu oleh pandangan ahli atau *expert judgement*. Survey ini dilakukan dengan pembagian kuesioner kepada 5 orang responden *expert* serta pekerja yang terlibat langsung pada proyek. Pembagian kuesioner memunculkan hasil sebagai berikut, yang dibagi menjadi 3 aspek, aspek keselamatan (*safety*), aspek lingkungan (*environment*), dan aspek bisnis (*business/asset*).

**Tabel 4. 3** Hasil Kuesioner untuk *Likelihood*

No	Risiko		Likelihood				
	Penyebab	Hazard	1	2	3	4	5
1.1	Fluida yang korosif	Korosi Internal	2	2	1		
2.1	Kegagalan proteksi katodik	Korosi Eksternal		2	1	2	
2.2	Kegagalan <i>coating</i>				3	1	1
2.3	Korosi tanah		2	2	1		
3.1	Cacat konstruksi	Cacat Pipa (Konstruksi)	2	2	1		
3.2	Cacat material		2	2	1		
3.3	Cacat Pengelasan		1	1	3		
3.4	Instalasi kurang baik		2	2	1		
4.1	<i>Maintenance error</i>	Operasi tidak benar	2	2	1		
4.2	<i>Operation error</i>		2	3			
5.1	<i>Anchor hit</i>	Gangguan pihak luar	1	3	1		
5.2	Sabotase		3	1	1		
5.3	Aktivitas Nelayan		2	1	2		
5.4	<i>Dredging</i>		2	2	1		
6.1	<i>Internal overpressure</i>	<i>Fatigue</i>	1	1	2	1	
6.2	<i>Freespan</i> pada pipa				2	2	1
7.1	<i>Pigging Stuck</i>	Tersumbat	1	2	1	1	

**Tabel 4. 4** Hasil Kuesioner untuk Aspek *Safety*

No	Risiko		Severity				
	Penyebab	Hazard	1	2	3	4	5
1.1	Fluida yang korosif	Korosi Internal	1	1	1	2	
2.1	Kegagalan proteksi katodik	Korosi Eksternal	1	2	2		
2.2	Kegagalan <i>coating</i>		1		2	1	1
2.3	Korosi tanah		2	1	1	1	
3.1	Cacat konstruksi	Cacat Pipa (Konstruksi)		2	1	2	
3.2	Cacat material			3	1	1	
3.3	Cacat Pengelasan		1	1	2	1	
3.4	Instalasi kurang baik			3	2		
4.1	<i>Maintenance error</i>	Operasi tidak benar	1	1	1	2	
4.2	<i>Operation error</i>			3	1	1	
5.1	<i>Anchor hit</i>	Gangguan pihak luar		1	1	2	1
5.2	Sabotase			2	2		1
5.3	Aktivitas Nelayan			3	1		1
5.4	<i>Dredging</i>			2	2		1

**Tabel 4.4** Hasil Kuesioner untuk Aspek *Safety* (lanjutan)

No	Risiko		Severity				
	Penyebab	Hazard	1	2	3	4	5
6.1	<i>Internal overpressure</i>	<i>Fatigue</i>		2	2		1
6.2	<i>Freespan</i> pada pipa			2	2	1	
7.1	<i>Pigging Stuck</i>	Tersumbat		2	2	1	

**Tabel 4.5** Hasil Kuesioner untuk Aspek *Environment*

No	Risiko		Severity					
	Penyebab	Hazard	1	2	3	4	5	
1.1	Fluida yang korosif	Korosi Internal	1	2	2			
2.1	Kegagalan proteksi katodik	Korosi Eksternal	1	1	2	1		
2.2	Kegagalan <i>coating</i>				1	1	1	2
2.3	Korosi tanah			1	2	1	1	
3.1	Cacat konstruksi	Cacat Pipa (Konstruksi)		2	1	2		
3.2	Cacat material				3	1	1	
3.3	Cacat Pengelasan			1	1	1	1	1
3.4	Instalasi kurang baik			1		2	1	1
4.1	<i>Maintenance error</i>	Operasi tidak benar	1		2	2		
4.2	<i>Operation error</i>				2	2	1	
5.1	<i>Anchor hit</i>	Gangguan pihak luar			1	3	1	
5.2	Sabotase				3	1		1
5.3	Aktivitas Nelayan				1	1	2	1
5.4	<i>Dredging</i>				2	2		1
6.1	<i>Internal overpressure</i>	<i>Fatigue</i>	1	1	2		1	
6.2	<i>Freespan</i> pada pipa			2	2	1		
7.1	<i>Pigging Stuck</i>	Tersumbat		2	2	1		

**Tabel 4.6** Hasil Kuesioner untuk Aspek *Business/ Asset*

No	Risiko		Severity					
	Penyebab	Hazard	1	2	3	4	5	
1.1	Fluida yang korosif	Korosi Internal		2	1		2	
2.1	Kegagalan proteksi katodik	Korosi Eksternal		2	2	1		
2.2	Kegagalan <i>coating</i>				1	2	1	1
2.3	Korosi tanah			2	1		1	1
3.1	Cacat konstruksi	Cacat Pipa (Konstruksi)	1		1	2	1	
3.2	Cacat material				1	2		2

**Tabel 4.6** Hasil Kuesioner untuk Aspek *Business/Asset* (lanjutan)

No	Risiko		Severity				
	Penyebab	Hazard	1	2	3	4	5
3.3	Cacat Pengelasan		1	2	1	1	
3.4	Instalasi kurang baik				3	1	1
4.1	<i>Maintenance error</i>	Operasi tidak benar		1	2	1	1
4.2	<i>Operation error</i>		1	2	2		
5.1	<i>Anchor hit</i>	Gangguan pihak luar			2	1	2
5.2	Sabotase		1	1	1	2	
5.3	Aktivitas Nelayan			2	2	1	
5.4	<i>Dredging</i>			1	2	1	1
6.1	<i>Internal overpressure</i>	<i>Fatigue</i>		2	2	1	
6.2	<i>Freespan</i> pada pipa				1	3	1
7.1	<i>Pigging Stuck</i>	Tersumbat		1	3	1	

#### 4.5 Penilaian Risiko

Penilaian risiko ini dilakukan dengan mengklasifikasikan kemungkinan (*likelihood*) dan keparahan (*severity*) dari setiap risiko yang ada dan mengkategorikan berdasarkan *rank* yang telah ditentukan sebelumnya. *Rank* ditentukan melalui rumus yang ditentukan yaitu melalui rumus *likelihood index* untuk menentukan *rank/* tingkat dari *likelihood* dan rumus *severity index* untuk menentukan *rank/* tingkat dari *severity*. Setelah penilaian untuk masing masing risiko dilakukan, dilakukan penggolongan untuk menentukan risiko mana yang tidak dapat diterima, risiko dominan untuk dilakukan manajemen risiko. Risiko ini ditentukan dengan menggabungkan *rank* yang telah didapatkan dari *likelihood index* dan *rank* yang telah didapatkan dari *severity index* berdasarkan matriks risiko (*risk matrix*) sesuai dengan DNV RP F107.

##### 4.5.1 Penilaian Risiko Terhadap Kemungkinan (*Likelihood*)

Penilaian terhadap kemungkinan atau frekuensi terhadap hazard dilakukan dengan persepsi para praktisi dan professional (*expert judgement*) pada bidang terkait. Setiap jenis *hazard* memiliki nilai kemungkinan yang berbeda sehingga diperlukan perhitungan dengan menggunakan *likelihood index* berdasarkan rumus pada persamaan 2.2.

Sebagai contoh dilakukan perhitungan *likelihood* untuk variabel perhitungan paling tinggi, untuk korosi eksternal, dengan penyebab kegagalan proteksi katodik sebagai berikut:

$$L.I = \frac{((0x1)+(2x2)+(1x3)+(2x4)+(0x5))}{5.5} \times 100\%$$

$$L.I = 60\%$$

Dimana didapatkan kemungkinan (*likelihood*) terjadi pada korosi eksternal yang disebabkan oleh kegagalan proteksi katodik sebesar 60 %.

#### 4.5.2 Penilaian Risiko Terhadap Keparahan (*Severity*)

Perhitungan penilaian pada keparahan (*severity*) hampir sama seperti pada penilaian pada kemungkinan (*likelihood*). Penilaian *severity* yang berbeda pada setiap variable hazard dilakukan dengan rumus *severity index* yang telah dicantumkan pada persamaan 2.2.

Sebagai contoh dilakukan perhitungan *severity* untuk *hazard* korosi eksternal yang disebabkan oleh kegagalan proteksi katodik dalam aspek keselamatan (*safety*). Maka hasil perhitungan diberikan dilakukan seperti dibawah ini:

$$S.I = \frac{((1x1) + (1x2) + (2x3) + (1x4) + (0x5))}{5.5} \times 100\%$$

$$S.I = 52\%$$

Dimana didapatkan keparahan (*severity*) terjadi pada korosi eksternal yang disebabkan oleh kegagalan proteksi katodik dalam aspek keselamatan (*safety*) sebesar 52%.

#### 4.5.3 Penggolongan Tingkat Risiko (*Risk Matrix*)

Penggolongan tingkat risiko dilakukan untuk setiap aspek, untuk mendapatkan risiko dominan pada setiap aspek yang membutuhkan manajemen risiko. Hasil penggolongan didapat dari *rank* yang diperoleh masing masing *risk* berdasarkan *likelihood index* dan *severity index*. Penggolongan atau penentuan *rank* dilakukan berdasarkan (Davis dan Cosenza, 1988) pada tabel dibawah ini

**Tabel 4. 7** Rank untuk setiap kelas berdasarkan *Likelihood Index*

Rank	Kelas	Indeks
1	Extremely Ineffective	0% <L.I <20%
2	Ineffective	20% <L.I <40%
3	Moderately Effective	40% <L.I <60%
4	Very Effective	60% <L.I <80%
5	Extremely Effective	80% <L.I <100%

**Tabel 4. 8** Rank untuk setiap kelas berdasarkan *Severity Index*

Rank	Kelas	Indeks
1	Extremely Ineffective	0% <S.I <20%
2	Ineffective	20% <S.I <40%
3	Moderately Effective	40% <S.I <60%
4	Very Effective	60% <S.I <80%
5	Extremely Effective	80% <S.I <100%

Setelah klasifikasi dilakukan terhadap masing masing jenis kegiatan, sebagai contoh dilakukan penentuan *rank* untuk *risk* korosi eksternal yang disebabkan oleh kegagalan proteksi katodik dalam aspek keselamatan (*safety*) untuk *severity* dimana *risk* tersebut mendapatkan *rank* 3 (*Moderately Effective* 40% < S.I < 60%). Sehingga didapatkan penentuan rank untuk setiap hazard pada setiap aspek sebagai berikut.

**Tabel 4. 9** Penggolongan Rank untuk *Likelihood*

No	Penilaian Likelihood	
	<i>Likelihood Index</i>	<i>Rank</i>
1.1	36	2
2.1	60	3
2.2	72	4
2.3	36	2
3.1	36	2
3.2	36	2
3.3	48	3
3.4	36	2
4.1	36	2

**Tabel 4.9** Penggolongan *Rank* untuk *Likelihood* (lanjutan)

<b>No</b>	<b>Penilaian <i>Likelihood</i></b>	
	<i>Likelihood Index</i>	<b>Rank</b>
<b>4.2</b>	32	2
<b>5.1</b>	40	2
<b>5.2</b>	32	2
<b>5.3</b>	40	2
<b>5.4</b>	36	2
<b>6.1</b>	52	3
<b>6.2</b>	76	4
<b>7.1</b>	48	3

**Tabel 4. 10** Penggolongan *Rank* untuk Aspek Keselamatan (*Safety*)

<b>No</b>	<b>Penilaian Severity</b>	
	<i>Severity Index</i>	<b>Rank</b>
<b>1.1</b>	56	3
<b>2.1</b>	44	3
<b>2.2</b>	64	4
<b>2.3</b>	44	3
<b>3.1</b>	60	3
<b>3.2</b>	52	3
<b>3.3</b>	52	3
<b>3.4</b>	48	3
<b>4.1</b>	56	3
<b>4.2</b>	52	3
<b>5.1</b>	72	4
<b>5.2</b>	60	3
<b>5.3</b>	56	3
<b>5.4</b>	60	3
<b>6.1</b>	60	3
<b>6.2</b>	56	3
<b>7.1</b>	56	3

**Tabel 4. 11** Penggolongan *Rank* untuk Aspek Lingkungan (*Environment*)

<b>No</b>	<b>Penilaian Severity</b>	
	<i>Severity Index</i>	<i>Rank</i>
<b>1.1</b>	44	3
<b>2.1</b>	52	3
<b>2.2</b>	76	4
<b>2.3</b>	48	3
<b>3.1</b>	60	3
<b>3.2</b>	52	3
<b>3.3</b>	60	3
<b>3.4</b>	64	4
<b>4.1</b>	60	3
<b>4.2</b>	56	3
<b>5.1</b>	80	4
<b>5.2</b>	56	3
<b>5.3</b>	72	4
<b>5.4</b>	60	3
<b>6.1</b>	56	3
<b>6.2</b>	36	2
<b>7.1</b>	56	3

**Tabel 4. 12** Penggolongan *Rank* untuk Aspek Bisnis (*Business/Asset*)

<b>No</b>	<b>Penilaian Severity</b>	
	<i>Severity Index</i>	<i>Rank</i>
<b>1.1</b>	68	4
<b>2.1</b>	56	3
<b>2.2</b>	68	4
<b>2.3</b>	52	3
<b>3.1</b>	68	4
<b>3.2</b>	72	4
<b>3.3</b>	48	3
<b>3.4</b>	72	4
<b>4.1</b>	68	4
<b>4.2</b>	44	3
<b>5.1</b>	80	4
<b>5.2</b>	56	3
<b>5.3</b>	56	3
<b>5.4</b>	68	4

**Tabel 4.12** Penggolongan Rank untuk Aspek Bisnis (lanjutan)

No	Severity	
	Severity Index	Rank
6.1	56	3
6.2	80	4
7.1	60	3

Penentuan *rank* telah dilakukan untuk setiap aspek, dan dilakukan tahap terakhir untuk penentuan risiko dominan, yaitu penentuan risiko dominan dengan menggunakan matriks risiko (*risk matrix*) berdasarkan DNV RP F107. Matriks yang sudah terbagi berdasarkan nilai tiap *rank* dari *likelihood* dan *severity* ini mempunyai warna untuk masing sel sebagai gambaran risiko, dimana warna hijau (*green*) sebagai risiko yang dapat diterima (*acceptable*), warna kuning (*yellow*) sebagai risiko yang harus diminimalisir (*as low as risky as possible*), dan warna merah (*red*) atau risiko yang tidak dapat diterima. Berikut adalah gambaran contoh matriks risiko untuk aspek *safety*.

**Tabel 4. 13** Risk Matrix berdasarkan DNV RPF107

		Severity				
		Insignificant	Slight	Major Injury	Single Fatality	Multiple Fatality
		1	2	3	4	5
Likelihood	5	Yellow	Red	Red	Red	Red
	4	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	3	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	2	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	1	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

Dilakukan pengkategorian pada setiap aspek yang akan diteliti, mulai dari aspek keselamatan (*safety*), lingkungan (*environment*), dan bisnis (*business/asset*). Pertama dilakukan pengkategorian untuk aspek keselamatan (*safety*) dan di dapatkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 4. 14** Matriks Risiko untuk Aspek Keselamatan (*Safety*)

Keselamatan (Safety)		Severity				
		<i>Insignificant</i>	<i>Slight</i>	<i>Major Injury</i>	<i>Single Fatality</i>	<i>Multiple Fatality</i>
		1	2	3	4	5
Likelihood	5					
	4			6.2	2.2	
	3			2.1; 3.3; 6.1; 7.1		
	2			1.1; 2.3; 3.1; 3.2; 3.4; 4.1; 4.2; 5.2; 5.3; 5.4	5.1	
	1					

Berdasarkan Tabel 4.14 didapatkan 2 risiko dominan yang harus segera di eliminasi atau dihilangkan karena berada pada *red area*. Kedua risiko tersebut adalah *coating failure* (2.2) dan *free span* (6.2). Tingginya kedua risiko ini dapat disimpulkan karena tingginya catatan *coating failure* dan *free span* pada pipa objek penelitian yang bisa mempengaruhi aspek keselamatan kedepannya.

**Tabel 4. 15** Matriks Risiko untuk Aspek Lingkungan (*Environment*)

Lingkungan (Environment)		Severity				
		Dapat Diabaikan	Ringan	Moderat	Tingkat Tinggi	Sangat Tinggi
		1	2	3	4	5
Likelihood	5					
	4		6.2		2.2	
	3			2.1; 3.3; 6.1; 7.1		
	2			1.1; 2.3; 3.1; 3.2; 4.1; 4.2; 5.2; 5.4	3.4, 5.1; 5.3	
	1					

Berdasarkan Tabel 4.15 diatas didapatkan risiko 2.2, *coating failure* sebagai risiko dominan yang harus segera di eliminasi atau dihilangkan karena berada pada *red area*. Risiko ini memiliki muncul karena tingginya rekaman *coating failure* pada inspeksi langsung pada objek penelitian dimana bisa memicu terjadinya *oil spill* yang mempengaruhi lingkungan.

**Tabel 4. 16** Matriks Risiko untuk Aspek Bisnis (*Business/ Asset*)

Bisnis (Business/Asset)		Severity				
		Dapat Diabaikan	Ringan	Moderat	Tingkat Tinggi	Sangat Tinggi
		1	2	3	4	5
Likelihood	5					
	4				2.2; 6.2	
	3			2.1; 3.3; 6.1; 7.1		
	2			2.3; 4.2; 5.2; 5.3	1.1; 3.1; 3.2; 3.4; 4.1; 5.1; 5.4	
	1					

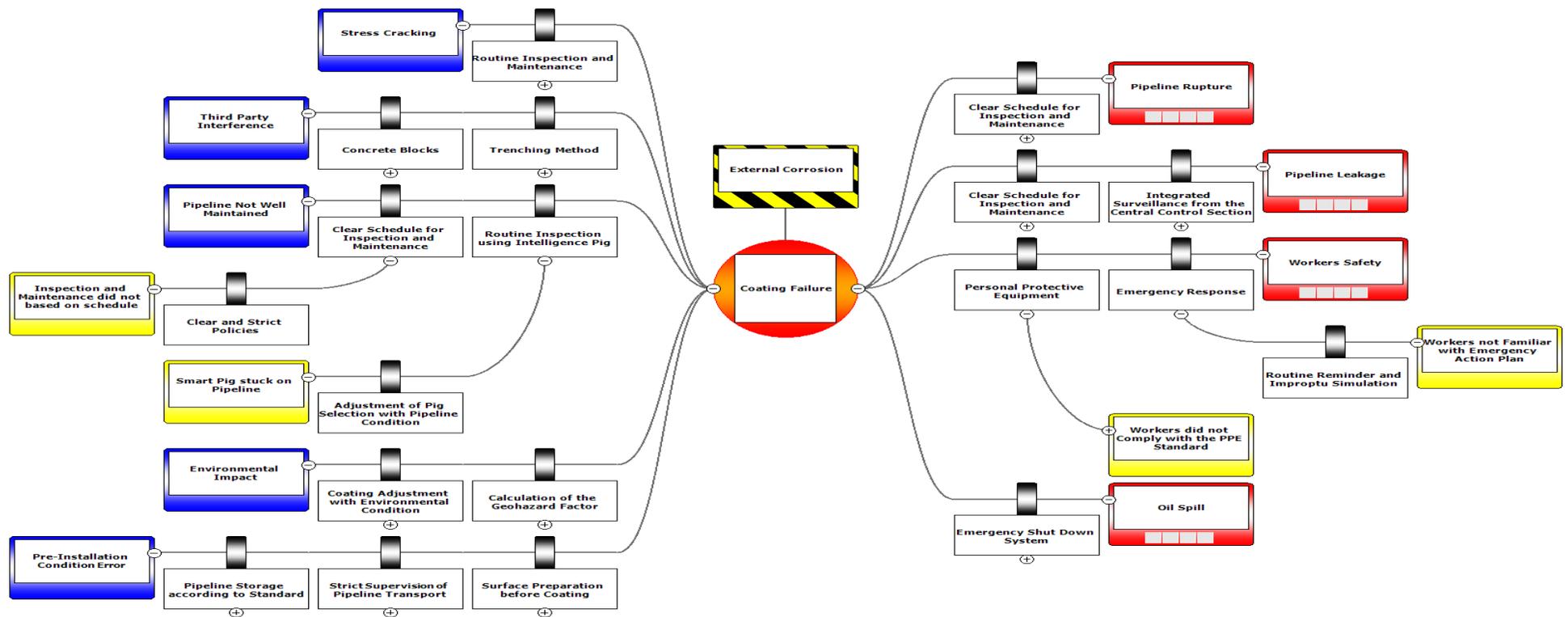
Berdasarkan Tabel 4.16 didapatkan 2 risiko dominan yang harus segera di eliminasi atau dihilangkan karena berada pada *red area*. Kedua risiko tersebut adalah *coating failure* (2.2) dan *free span* (6.2). Tingginya kedua risiko ini dapat disimpulkan karena tingginya catatan *coating failure* dan *free span* pada pipa objek penelitian yang bisa mempengaruhi aspek keselamatan kedepannya.

#### 4.6 Pemodelan *Bowtie Analysis*

Setelah risiko dominan dari setiap aspek keselamatan (*safety*), lingkungan (*environment*), dan bisnis (*business/asset*) didapatkan melalui matriks risiko (*risk matrix*). Dilakukan manajemen risiko menggunakan metode *bowtie analysis* dibantu oleh *software BowtieXP*. Dimana penyebab, dampak, dan kontrol pada setiap risiko yang mungkin pada terjadi pada setiap penyebab dan konsekuensi dapat digambarkan dengan baik. Diagram *bowtie* digambarkan pada bagian 4.6.1 dan bagian 4.6.2 sehingga didapatkan variabel penyebab (*fault tree analysis*) pada diagram bagian kiri, variabel konsekuensi (*event tree analysis*) pada diagram bagian kanan. Didapat juga variabel pencegahan (*barrier*) untuk mencegah kejadian atau konsekuensi yang akan terjadi, variabel faktor eskalasi (*escalation factor*) yang menjadi penyebab kegagalan atau kurang efektifnya pencegahan (*barrier*). Variabel penyebab (*fault tree analysis*) dan variabel konsekuensi (*event tree analysis*) dijabarkan dan dapat dilihat pada bagian 4.6.3 dan penjelasan mendetail pada setiap aspek di *Bowtie Analysis* dapat dilihat pada bagian 4.6.4 dan 4.6.5.

#### 4.6.1 Bowtie Analysis untuk Coating Failure

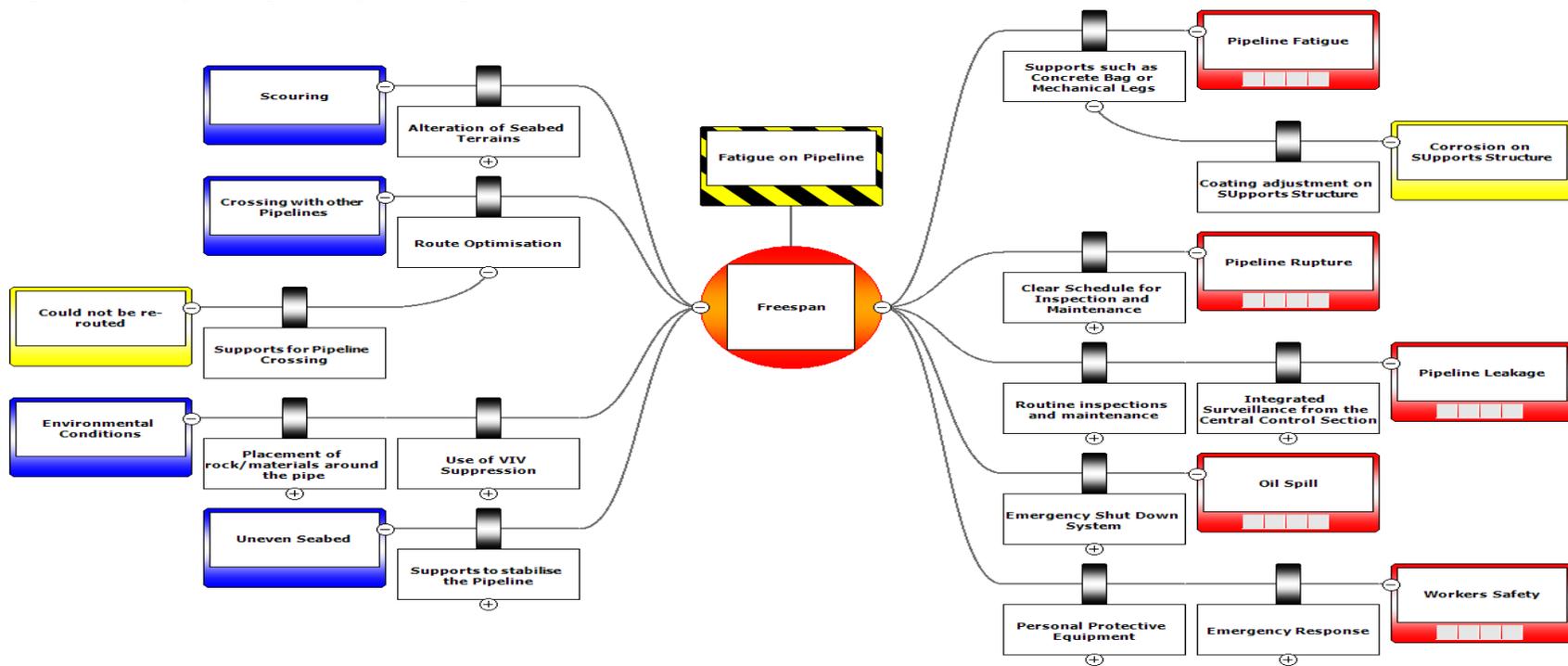
Diagram *Bowtie Analysis* dilakukan untuk menentukan manajemen risiko pada *coating failure*, dimana pada Gambar 4.8 berikut, penjelasan berbentuk tabel akan dijabarkan untuk penyebab (*threat*), pencegahan (*barrier*), faktor eskalasi (*escalation factor*), dan untuk diagram lengkap akan dilampirkan pada bagian lampiran.



Gambar 4. 8 Pemodelan *Bowtie Analysis* untuk *Coating Failure* pada Pipelin

#### 4.6.2 Bowtie Analysis untuk Free Span

Diagram *Bowtie Analysis* dilakukan untuk menentukan manajemen risiko pada *freespan*, dimana pada Gambar 4.9 berikut, penjelasan berbentuk tabel akan dijabarkan untuk penyebab (*threat*), pencegahan (*barrier*), faktor eskalasi (*escalation factor*), dan untuk diagram lengkap akan dilampirkan pada bagian lampiran.



Gambar 4. 9 Pemodelan *Bowtie Analysis* untuk *Freespan* pada Pipeline

#### 4.6.3 Tabel Penyebab (*Threat*) dan Dampak (*Consequences*)

Diagram *Bowtie Analysis* dilakukan untuk menentukan manajemen risiko pada setiap risiko dominan yang terjadi pada ketiga aspek, dimana pada Tabel 4.15 berikut, penjelasan berbentuk tabel akan dijabarkan untuk penyebab (*threat*), pencegahan (*barrier*), faktor eskalasi (*escalation factor*) serta mitigasi eskalasi dari risiko *coating failure* dan *free span* pada pipa di Penajam – Balikpapan.

**Tabel 4. 17** Tabel Penjelasan untuk Diagram Penyebab (*Threat*)

No	Risiko	Threat		Faktor Eskalasi	Mitigasi Eskalasi
		Penyebab	Pencegahan		
1	Coating Failure	Stress Cracking	Routine Inspection and Maintenance	Inspection and Maintenance did not comply with the Schedule	Strict Supervision on Maintenance Schedule
		Third Party Inference	Concrete Blocks	Impact from Anchor Drop or Fishing Activities	Adjusting pipe route with Ship Traffic along the area
			Trenching Method	Geohazard	Increasing the pipe wall thickness and wrapping the pipelines
		Pipeline not well maintained	Clear schedule for Inspection and Maintenance	Inspection and Maintenance did not comply with the Schedule	Clear and Strict Regulations
			Routine Inspection using Intelligence	Smart Pig stuck on Pipeline	Adjustmen of Pig Selection with Pipeline Condition

**Tabel 4. 15** Tabel Penjelasan untuk Diagram Penyebab (*Threat*) bagian Kiri. (lanjutan)

No	Risiko	Threat		Faktor Eskalasi	Mitigasi Eskalasi
		Penyebab	Pencegahan		
1	Coating Failure	Environmental Impact	Coating Adjustment with Environmental Condition	Marine Growth	Marine Growth Prevention System
			Calculation of the Geohazard Factor	Geohazard Factor	Increasing the Pipe Thickness
		Pre-Installation Condition Error	Pipeline Storage According to Standard	Pipeline Storage did not Match the Standard	Storage should accomply with the UV and Temperature Standard
					Stacking of Pipeline did not done excessively
			Strict Supervision of Pipeline Transport	Loading and Handling Error	Transportation of pipeline done with equipment that accomply with applicable standard
					Strict Supervision on Transportation from every Parties
		Surface Preparation before Coating	Coating goes over Contaminent	Applying Mist Coat	

**Tabel 4. 15** Tabel Penjelasan untuk Diagram Penyebab (*Threat*) bagian Kiri. (lanjutan)

No	Risiko	Threat		Faktor Eskalasi	Penyebab Eskalasi
		Penyebab	Pencegahan		
2	Free Span	Scouring	Supports to Stabilise the Pipeline	Corrosion on the Pipeline Supports	Routine Inspection and Maintenance
					Extra Coating on the Supports
		Crossing with other Pipelines	Route Optimisation	Could not be re-routed	Supports for Pipeline Crossing
		Environmental Conditions	Placement of Rock/Materials around the Pipe	Environmental Impacts	Control of Rock/Materials used to reduce the sedimentation produced
		Environmental Conditions	Use of VIV Suppresion	Economic Consideration	
		Uneven Seabed	Alteration of Seabed Terrains	Environmental Impacts to the Surrounding	Re-routing of the Pipelines

**Tabel 4. 18** Tabel Penjelasan untuk Diagram Dampak (*Consequences*).

No	Risiko	Consequences		Faktor Eskalasi	Mitigasi Eskalasi
		Dampak	Mitigasi		
1	Coating Failure	Pipeline Rupture	Clear Schedule for Inspection and Maintenance	Inspection and Maintenance did not based on Schedule	Clear and Strict Regulations
		Pipeline Leakage	Integrated Surveillance from the Central Control Section	Human Error	Shifting Work Schedule
			Clear Schedule for Inspection and Maintenance	Inspection and Maintenance did not based on Schedule	Clear and Strict Regulations
		Workers Safety	Emergency Response	Workers not Familiar with Emergency Action Plan	Routine Reminder and Improptu Simulation
			Personal Protective Equipment	Workers did not comply with the PPE Standard	Strict Rules and Regulations
		Oil Spill	Emergency Shutdown System	System Failure	Manual Emergency Response Plan (ICS)

**Tabel 4.16** Tabel Penjelasan untuk Diagram Dampak (*Consequences*) bagian Kanan. (lanjutan)

2	Free Span	Pipeline Fatigue	Supports Such as Concrete Bag or Mechanical Legs	Corrosion on Supports Structure	Coating Adjustment on Supports Structure
		Pipeline Rupture	Clear Schedule for Inspection and Maintenance	Inspection and Maintenance did not based on Schedule	Clear and Strict Regulations
		Pipeline Leakage	Integrated Surveillance from the Central Control Section	Human Error	Shifting Work Schedule
			Routine Inspections and Maintenance	Pigging Failure	Manual Inspection using Diver
				Inspection and Maintenance did not based on Schedule	Clear and Strict Regulations
		Oil Spill	Emergency Shutdown System	System Failure	Manual Emergency Response Plan
		Workers Safety	Emergency Response	Workers not Familiar with Emergency Action Plan	Routine Reminder and Improptu Simulation
			Personal Protective Equipment	Workers did not comply with the PPE Standard	Strict Rules and Regulations

#### 4.6.4 Diagram 1 *Bowtie Analysis Coating Failure*

Pada gambar diagram *bowtie* 1 adalah diagram hasil analisis *bowtie* pada variabel risiko kegagalan coating (*coating failure*) pada pipa Penajam – Balikpapan. Pada diagram 1 didapatkan penyebab dan konsekuensi dari kegagalan coating, beserta pencegahan (*barrier*) dan faktor eskalasi (*escalation factor*) yang menyebabkan kegagalan dari *barrier*. Penjelasan bisa dapat dijabarkan sebagai berikut:

##### a. Penyebab

###### 1. *Stress cracking*

- Pencegahan : Dengan melakukan inspeksi rutin dan perawatan yang rutin terhadap pipa berdasarkan jadwal yang ada.
- Faktor eskalasi : Faktor yang bisa mempengaruhi pencegahan yang akan dilakukan adalah kondisi dimana inspeksi dan perawatan tidak sesuai dengan penjadwalan yang sudah direncanakan. Faktor ini biasa terjadi karena kelalaian pekerja dan kesengajaan dari pihak tertentu.
- Mitigasi eskalasi : Mitigasi yang bisa dilakukan agar faktor eskalasi tidak terjadi adalah dengan membuat pengawasan dan peraturan ketat pada jadwal dan pelaksanaan inspeksi dan perawatan pipa.

###### 2. *Third party interference*

- Pencegahan : Pemasangan *concrete blocks* atau pelapisan agar pipa mendapat perlindungan ekstra dan tidak terkena dampak langsung dari gangguan maupun benturan dari pihak ketiga. Metode *trenching* atau pembenaman dibawah *seabed* juga umum dilakukan apabila kondisi geologis memungkinkan. Metode ini juga memiliki tujuan yang sama dengan pemasangan *concrete blocks*, untuk melindungi pipa dari dampak langsung interferensi pihak luar.

- Faktor eskalasi : Pemasangan concrete blocks sebagai perlindungan ekstra pada pipa juga bisa gagal apabila pengaruh (*impact*) dari pihak luar terlalu keras, seperti kasus jatuhnya jangkar pada pipa bawah laut. Sementara metode trenching juga harus dilakukan dengan mementingkan perhitungan faktor *geohazard* atau risiko alam serta sedimentasi yang akan ditimbulkan.
- Mitigasi eskalasi : Dalam perancangan pipa di awal, dilakukan juga penyesuaian instalasi rute pipa dengan lalu lintas kapal sekitar (*ship traffic*) untuk mencegah terganggunya operasi pipa karena interferensi akibat aktivitas kapal. Penambahan ketebalan pipa juga dilakukan sebagai bentuk perlindungan ekstra dari dampak (*impact*) gangguan pihak luar.

### 3. *Pipeline not well maintained*

- Pencegahan : Pembuatan jadwal rutin dan jelas untuk inspeksi dan perawatan. Berdasarkan peraturan Kementerian Menteri Pertambangan dan Energi NO 300.K/38/M.PE/1997, pipa penyalur perlu dilakukan pengawasan secara periodik sebagai syarat keselamatan kerja. Inspeksi bisa dilakukan secara langsung dengan penyelam (*diver/ diver engineer*) atau menggunakan teknologi *pigging/intelligence pig*.
- Faktor Eskalasi : Faktor yang bisa mempengaruhi pencegahan yang akan dilakukan adalah kondisi dimana inspeksi dan perawatan tidak sesuai dengan penjadwalan yang sudah direncanakan. Faktor ini biasa terjadi karena kelalaian pekerja dan kesengajaan dari pihak tertentu. Untuk teknologi *pigging/intelligence pig* bisa terdapat system error atau failure ketika *intelligence pig* tersangkut pada pipeline sehingga menghambat kondisi operasi pipa.

- Mitigasi Eskalasi : Pencegahan yang dilakukan agar perawatan dan inspeksi berjalan sesuai penjadwalan adalah dengan melakukan pengawasan ketat terhadap pelaksanaan dan pembuatan peraturan yang ketat agar pelaksanaan sesuai jadwal. Sementara untuk kasus tersangkutnya *intelligence pig* biasa ditemukan karena penggunaan *pigging* yang tidak sesuai dengan spesifikasi pipa sehingga perlu dilakukan penyesuaian *intelligence pig* dengan pipa yang menjadi objek inspeksi

#### 4. *Environmental impact*

- Pencegahan : Dilakukan penyesuaian spesifikasi coating dengan kondisi lingkungan, serta perhitungan pipa dengan faktor *geohazard* berdasarkan kondisi alam yang pernah terjadi disekitar rute pipa akan beroperasi.
- Faktor Eskalasi : Faktor yang mempengaruhi atau mengurangi efektivitas coating sebagai perlindungan pipa adalah tumbuhnya mikroorganisme atau biasa disebut marine growth pada struktur pipa. Perlindungan terhadap faktor *geohazard* juga bisa gagal apabila terjadi bencana alam melebihi perkiraan sebelumnya.
- Mitigasi Eskalasi : Pencegahan agar tidak terjadinya marine growth adalah dengan memasang *marine growth prevention system/ anti-fouling system* untuk mencegah *marine growth* seputar struktur pipa, serta dilakukannya inspeksi berkala. Penambahan ketebalan pada pipa juga dilakukan untuk mencegah terjadinya geohazard yang terjadi diluar perkiraan.

#### 5. *Pre-installation condition error*

- Pencegahan : Penyimpanan pipa sebelum proses instalasi dilakukan pada tempat yang sesuai dengan standar penyimpanan, dilakukan pengawasan langsung ketika dilakukan pemindahan (*transport*) pipa dari penyimpanan ke tempat

instalasi, serta sebelum coating dilakukan permukaan pipa (*surface*) dipastikan disiapkan dan dibersihkan dengan baik.

- Faktor Eskalasi : Dalam beberapa kasus ditemukan penyimpanan pipa pada gudang penyimpanan (*storage*) tidak sesuai standar atau tidak dirawat dengan baik, dimana terjadi penumpukan berlebihan pada pipa dan pipa terkena sinar langsung dari matahari pada kasus pipa yang disimpan pada lapangan luas. Pada kasus pemindahan pipa, faktor yang sering menjadi penyebab kecacatan pada pipa adalah ketika penanganan (*loading* dan *handling*) pada pipa dilakukan oleh pihak yang tidak memenuhi kualifikasi, tidak dengan peralatan yang sesuai standar. Ditemukan juga kasus pelapisan (*coating*) pada struktur pipa yang mengalami kecacatan sebelum kondisi instalasi, dimana permukaan pipa tidak dibersihkan dengan baik dan tidak disiapkan dengan baik, sehingga coating tidak merata dan terkontaminasi.
- Mitigasi Eskalasi : Penyimpanan pipa harus dilakukan pada tempat sesuai standar, pada tempat penyimpanan yang tidak terlalu terekspos sinar *ultraviolet* (UV) dan penumpukan (*stacking*) pada pipa tidak dilakukan secara berlebihan. Pada kasus transportasi pipa, pengecekan pada peralatan harus dilakukan secara ketat, serta pada proses transportasi juga harus mendapatkan pengawasan langsung dari semua pihak. Untuk kasus pelapisan saat proses konstruksi, dalam persiapan permukaan pipa dapat dilakukan dengan pengaplikasian *mist coat*, atau dua kali pelapisan sebelum coating utama diaplikasikan.

## b. Konsekuensi

### 1. *Pipeline Rupture*

- Mitigasi : Dengan melakukan inspeksi rutin dan perawatan yang rutin terhadap pipa berdasarkan jadwal yang ada serta penetapan jadwal yang jelas dari awal.
- Faktor Eskalasi : Faktor yang bisa mempengaruhi pencegahan yang akan dilakukan adalah kondisi dimana inspeksi dan perawatan tidak sesuai dengan penjadwalan yang sudah direncanakan. Faktor ini biasa terjadi karena kelalaian pekerja dan kesengajaan dari pihak tertentu.
- Mitigasi Eskalasi : Mitigasi yang bisa dilakukan agar faktor eskalasi tidak terjadi adalah dengan membuat pengawasan dan peraturan ketat pada jadwal dan pelaksanaan inspeksi dan perawatan pipa.

### 2. *Pipeline Leakage*

- Mitigasi : Pengawasan terpusat dapat dilakukan untuk mengecek keseluruhan pipa dengan sistem yang ada. Inspeksi dan perawatan rutin berdasarkan jadwal yang ada juga menjadi kewajiban untuk mencegah dampak dari kebocoran pipa.
- Faktor Eskalasi : Kelalaian manusia atau human error bisa menjadi salah satu faktor dalam pengawasan terpusat pada sistem pipa. Faktor yang bisa mempengaruhi pencegahan yang akan dilakukan adalah kondisi dimana inspeksi dan perawatan tidak sesuai dengan penjadwalan yang sudah direncanakan. Faktor ini biasa terjadi karena kelalaian pekerja dan kesengajaan dari pihak tertentu.
- Mitigasi Eskalasi : Pengadaan sistem *shifting* atau giliran jam kerja pada pengawasan sistem pipa harus dilakukan dengan efektif, serta pemilihan pihak yang dengan kualifikasi yang baik

untuk mencegah terjadinya *human error*. Mitigasi yang bisa dilakukan agar faktor eskalasi tidak terjadi adalah dengan membuat pengawasan dan peraturan ketat pada jadwal dan pelaksanaan inspeksi dan perawatan pipa..

### 3. *Workers Safety*

- Mitigasi : Adanya perencanaan respon darurat (*emergency response*) apabila terjadi hal hal yang tidak diinginkan, penggunaan perlindungan pada setiap pekerja atau biasa disebut *personal protective equipment (PPE)*.
- Faktor Eskalasi : Karena pekerjaan pada sistem sekitar pipa tidak terlalu padat, bisa terjadi pekerja yang tidak begitu familiar dengan respon darurat yang direncanakan. Keselamatan pekerja juga suka dianggap enteng sehingga penggunaan PPE diabaikan atau tidak dipakai dengan lengkap.
- Mitigasi Eskalasi : Untuk pelaksanaan respon darurat bisa dilakukan simulasi secara rutin dan secara mendadak (*impromptu*) untuk memberikan pelatihan pada setiap pekerja. Dalam mencegah tidak tertibnya pekerja dalam penggunaan alat pelindung perlu ditetapkan peraturan tegas pada pekerja yang tidak tertib serta pencerdasan akan pentingnya alat pelindung dalam aktivitas pekerjaan.

### 4. *Oil Spill*

- Mitigasi : Adanya sistem *shutdown* otomatis (*emergency shutdown system*) untuk mencegah kebocoran dan tumpahan minyak secara berlebihan dengan mematikan kondisi operasi dengan cepat secara otomatis.
- Faktor Eskalasi : Kegagalan sistem penghentian otomatis dikarenakan kegagalan sistem terpusat.

- Mitigasi Eskalasi : Adanya sistem pemberhentian kondisi operasi secara manual, dimana sistem ini mendapat pengawasan langsung dari pihak yang sedang bertanggung jawab dalam pengawasan aktivitas operasi pipa.

#### 4.6.5 Diagram 2 *Bowtie Analysis Free Span*

Pada gambar diagram *bowtie 2* adalah diagram hasil analisis bowtie pada variabel risiko bentangan bebas (*freespan*) pada pipa Penajam – Balikpapan. Pada diagram 2 didapatkan penyebab dan konsekuensi dari *freespan*, beserta pencegahan (*barrier*) dan faktor eskalasi (*escalation factor*) yang menyebabkan kegagalan dari *barrier*. Penjelasan bisa dapat dijabarkan sebagai berikut:

##### a. Penyebab

##### 1. *Scouring*

- Pencegahan : Penambahan struktur pendukung/ *support* pada seksi pipa yang melewati lokasi *scouring*.
- Faktor Eskalasi : Sering ditemukan korosi berlebihan pada struktur *support* yang bersinggungan dengan struktur utama pipa.
- Mitigasi Eskalasi : Dilakukan inspeksi dan perawatan rutin serta pengawasan khusus pada bagian struktur pendukung/ *supports* serta pelapisan pada *supports*.

##### 2. *Crossing with other Pipelines*

- Pencegahan : Dilakukan optimisasi dengan rute *pipeline* yang sudah terlebih dahulu ada di lokasi sekitar, pemindahan atau pengaturan rute ulang.
- Faktor Eskalasi : Rute *pipeline* terkait tidak bisa dipindah atau diatur ulang dikarenakan berbagai faktor.
- Mitigasi Eskalasi : Dibuat support pada *pipeline* yang saling melewati satu sama lain (*crossing*) agar tidak terjadi *freespan*

pada pipeline yang akan melewati jalur pipa yang sudah ada sebelumnya.

### 3. *Environmental Conditions*

- Pencegahan : Penambahan batu perlindungan / material lain sebagai perlindungan dari faktor lingkungan sekitar, serta penambahan *VIV Suppresion* sebagai bentuk pencegahan *vortex induced vibration* yang mungkin terjadi di sekitar pipa yang beroperasi.
- Faktor Eskalasi : Dampak terhadap lingkungan sekitar sebagai bentuk dari sedimentasi yang ditimbulkan oleh material perlindungan terhadap pipa (batu/material lain). Faktor ekonomi yang harus diperhatikan pada penambahan perlindungan terhadap VIV seperti *viv suppression*.
- Mitigasi Eskalasi : Kontrol terhadap penggunaan batu/material yang digunakan untuk perlindungan agar sedimentasi yang ditimbulkan tidak mengganggu ekosistem sekitar dan efektif dari segi ekonomi.

### 4. *Uneven Seabed*

- Pencegahan : Dilakukan *dredging* atau pemerataan *seabed* pada lokasi pipa agar tidak terjadi *scouring* berlebihan.
- Faktor Eskalasi : Pada saat dilakukan proses *dredging*, sedimentasi sebagai dampak aktivitas ini harus diperhatikan agar tidak mengganggu kondisi lingkungan atau mikrobiologis sekitar, dilakukan agar tidak mengganggu ekosistem disekitar rute pipa.
- Mitigasi Eskalasi : Pembuatan jalur alternatif untuk rute pipa, dan apabila pemindahan rute pipa tidak mungkin dilakukan dilakukan perhitungan mendetail mengenai dampak yang

ditimbulkan oleh sedimentasi, mengganggu/ tidak dan bisa ditolerir atau tidak dampaknya terhadap lingkungan sekitar.

b. Konsekuensi

1. *Pipeline Fatigue*

- Mitigasi : Struktur *support* tambahan pada bagian pipa yang mengalami bentangan bebas (*freespan*) agar *freespan* yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan.
- Faktor Eskalasi : Sering ditemukannya korosi pada bagian struktur pendukung/ *support structure* dan bagian *support* yang bersinggungan dengan struktur utama.
- Mitigasi Eskalasi : Dilakukan inspeksi dan perawatan rutin serta pengawasan khusus pada bagian struktur pendukung/ *supports* serta pelapisan pada *supports*.

2. *Pipeline Rupture*

- Mitigasi : Dengan melakukan inspeksi rutin dan perawatan yang rutin terhadap pipa berdasarkan jadwal yang ada serta penetapan jadwal yang jelas dari awal.
- Faktor Eskalasi : Faktor yang bisa mempengaruhi pencegahan yang akan dilakukan adalah kondisi dimana inspeksi dan perawatan tidak sesuai dengan penjadwalan yang sudah direncanakan. Faktor ini biasa terjadi karena kelalaian pekerja dan kesengajaan dari pihak tertentu.
- Mitigasi Eskalasi : Mitigasi yang bisa dilakukan agar faktor eskalasi tidak terjadi adalah dengan membuat pengawasan dan peraturan ketat pada jadwal dan pelaksanaan inspeksi dan perawatan pipa.

### 3. Pipeline Leakage

- Mitigasi : Pengawasan terpusat dapat dilakukan untuk mengecek keseluruhan pipa dengan sistem yang ada. Inspeksi dan perawatan rutin berdasarkan jadwal yang ada juga menjadi kewajiban untuk mencegah dampak dari kebocoran pipa.
- Faktor Eskalasi : Kelalaian manusia atau human error bisa menjadi salah satu faktor dalam pengawasan terpusat pada sistem pipa. Faktor yang bisa mempengaruhi pencegahan yang akan dilakukan adalah kondisi dimana inspeksi dan perawatan tidak sesuai dengan penjadwalan yang sudah direncanakan. Faktor ini biasa terjadi karena kelalaian pekerja dan kesengajaan dari pihak tertentu. Faktor kedua adalah gagalnya teknologi *intelligence pigging* dalam melakukan inspeksi.
- Mitigasi Eskalasi : Pengadaan sistem *shifting* atau giliran jam kerja pada pengawasan sistem pipa harus dilakukan dengan efektif, serta pemilihan pihak yang dengan kualifikasi yang baik untuk mencegah terjadinya *human error*. Mitigasi yang bisa dilakukan agar faktor eskalasi tidak terjadi adalah dengan membuat pengawasan dan peraturan ketat pada jadwal dan pelaksanaan inspeksi dan perawatan pipa. Untuk kasus kegagalan *intelligence pigging* bisa dimitigasi dengan penyesuaian *pigging* sesuai dengan spesifikasi pipa yang beroperasi serta inspeksi manual menggunakan penyelam (*diver/diver engineer*). Kasus lain ketika inspeksi dan perawatan tidak sesuai dengan jadwal, harus ditindak tegas dengan adanya peraturan yang mengatur tentang hal ini dengan pengawasan ketat dari berbagai pihak.

### 4. Oil Spill

- Mitigasi : Adanya sistem *shutdown* otomatis (*emergency shutdown system*) untuk mencegah kebocoran dan tumpahan

minyak secara berlebihan dengan mematikan kondisi operasi dengan cepat secara otomatis.

- Faktor Eskalasi : Kegagalan sistem penghentian otomatis dikarenakan kegagalan sistem terpusat.
- Mitigasi Eskalasi : Adanya sistem pemberhentian kondisi operasi secara manual, dimana sistem ini mendapat pengawasan langsung dari pihak yang sedang bertanggung jawab dalam pengawasan aktivitas operasi pipa.

#### 5. *Workers Safety*

- Mitigasi : Adanya perencanaan respon darurat (*emergency response*) apabila terjadi hal hal yang tidak diinginkan, penggunaan perlindungan pada setiap pekerja atau biasa disebut *personal protective equipment (PPE)*.
- Faktor Eskalasi : Karena pekerjaan pada sistem sekitar pipa tidak terlalu padat, bisa terjadi pekerja yang tidak begitu familiar dengan respon darurat yang direncanakan. Keselamatan pekerja juga suka dianggap enteng sehingga penggunaan PPE diabaikan atau tidak dipakai dengan lengkap.
- Mitigasi Eskalasi : Untuk pelaksanaan respon darurat bisa dilakukan simulasi secara rutin dan secara mendadak (*impromptu*) untuk memberikan pelatihan pada setiap pekerja. Dalam mencegah tidak tertibnya pekerja dalam penggunaan alat pelindung perlu ditetapkan peraturan tegas pada pekerja yang tidak tertib dan pencerdasan akan pentingnya alat pelindung dalam kegiatan sehari hari.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil pengolahan dan analisis data yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa ;

1. Terdapat 17 risiko yang dapat terjadi pada pipa bawah laut Penajam – Balikpapan, dimana terdapat risiko dominan untuk masing-masing aspek. Kegagalan *coating* dan *free span* pada pipa untuk aspek keselamatan (*safety*), *free span* pada pipa, dan *anchor hit* untuk aspek lingkungan (*environment*), serta kegagalan *coating* dan *anchor hit* untuk aspek bisnis (*business/asset*). Dari ketiga risiko tersebut, variable risiko kegagalan *coating* menjadi aspek yang membutuhkan perhatian khusus karena memiliki tingkat *likelihood* tinggi dan ditemukan sebagai risiko dominan pada ketiga aspek keselamatan, lingkungan, serta aspek bisnis.
2. Setelah perhitungan *likelihood* dilakukan, ditemukan *rank* untuk *likelihood* tertinggi untuk risiko terjadi pada risiko 2.2 (*Coating Failure*) dan risiko 6.2 (*Free Span*) pada pipa.
3. Manajem risiko dilakukan pada pipa bawah laut, khususnya pada *coating failure* dan *free span*. Analisa menggunakan metode *bowtie analysis* terlampir telah dilakukan untuk mencegah agar dampak dari *stress cracking*, gangguan pihak ketiga, *maintenance* pada pipa, dampak lingkungan, dan dampak konstruksi tidak terjadi dan menyebabkan kegagalan dalam pipa seperti terlampir pada bagian 4.6.4 dan 4.6.5.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan dari penelitian Tugas Akhir ini berkaitan dengan analisis risiko pada pipa bawah laut di Penajam – Balikpapan dengan metode *bowtie analysis* adalah :

1. Analisis dengan metode berbeda sehingga ada perbandingan langsung mulai dari metode sampai hasil yang berkaitan analisis risiko pada pipa bawah laut

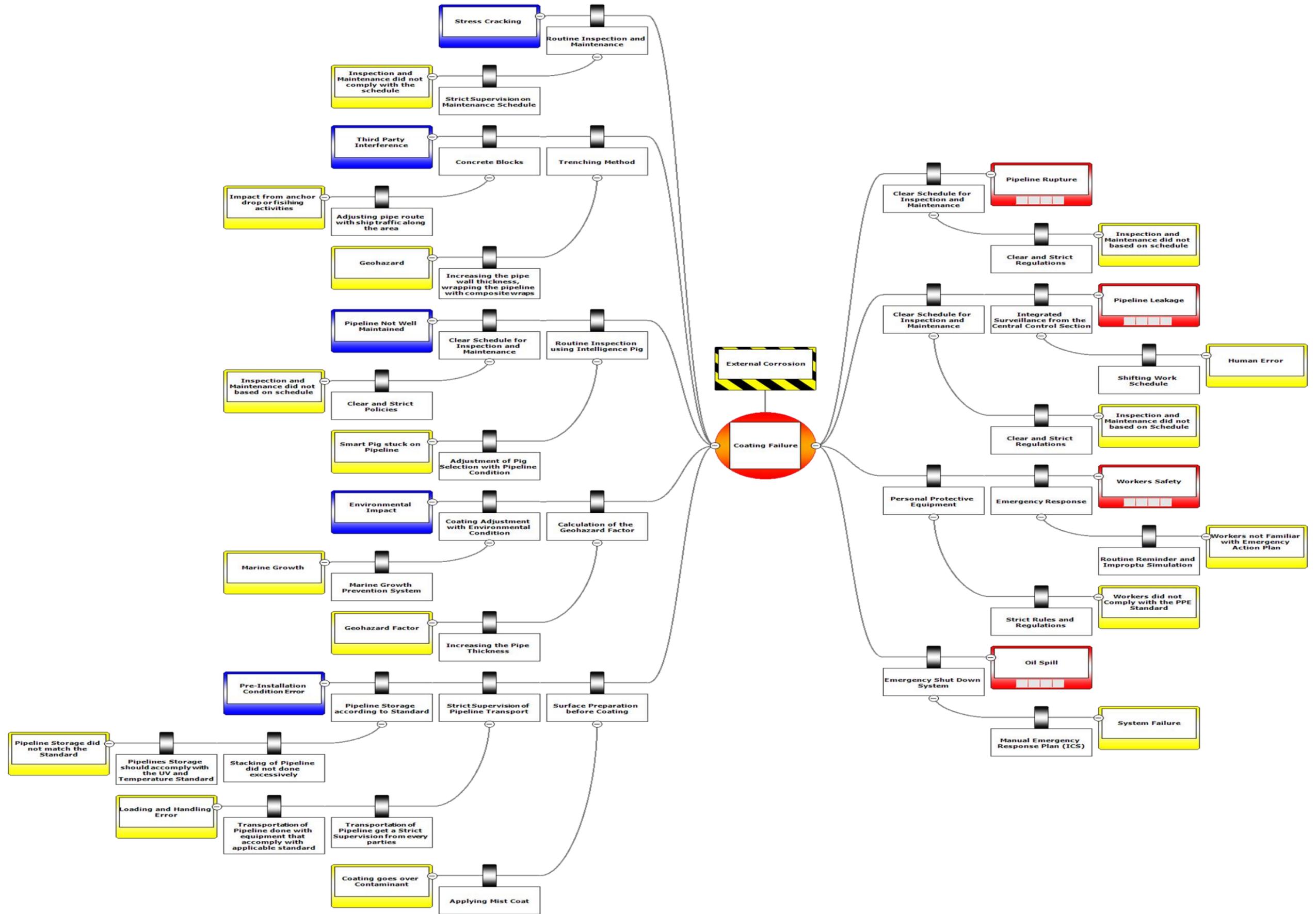
2. Wawancara responden dilakukan secara langsung untuk menyampaikan maksud dan tujuan lebih jelas serta menyamakan persepsi dalam penilaian setiap aspek
3. Peningkatan jumlah responden untuk mendapatkan hasil yang lebih pasti dan dengan sudut pandang yang berbeda.

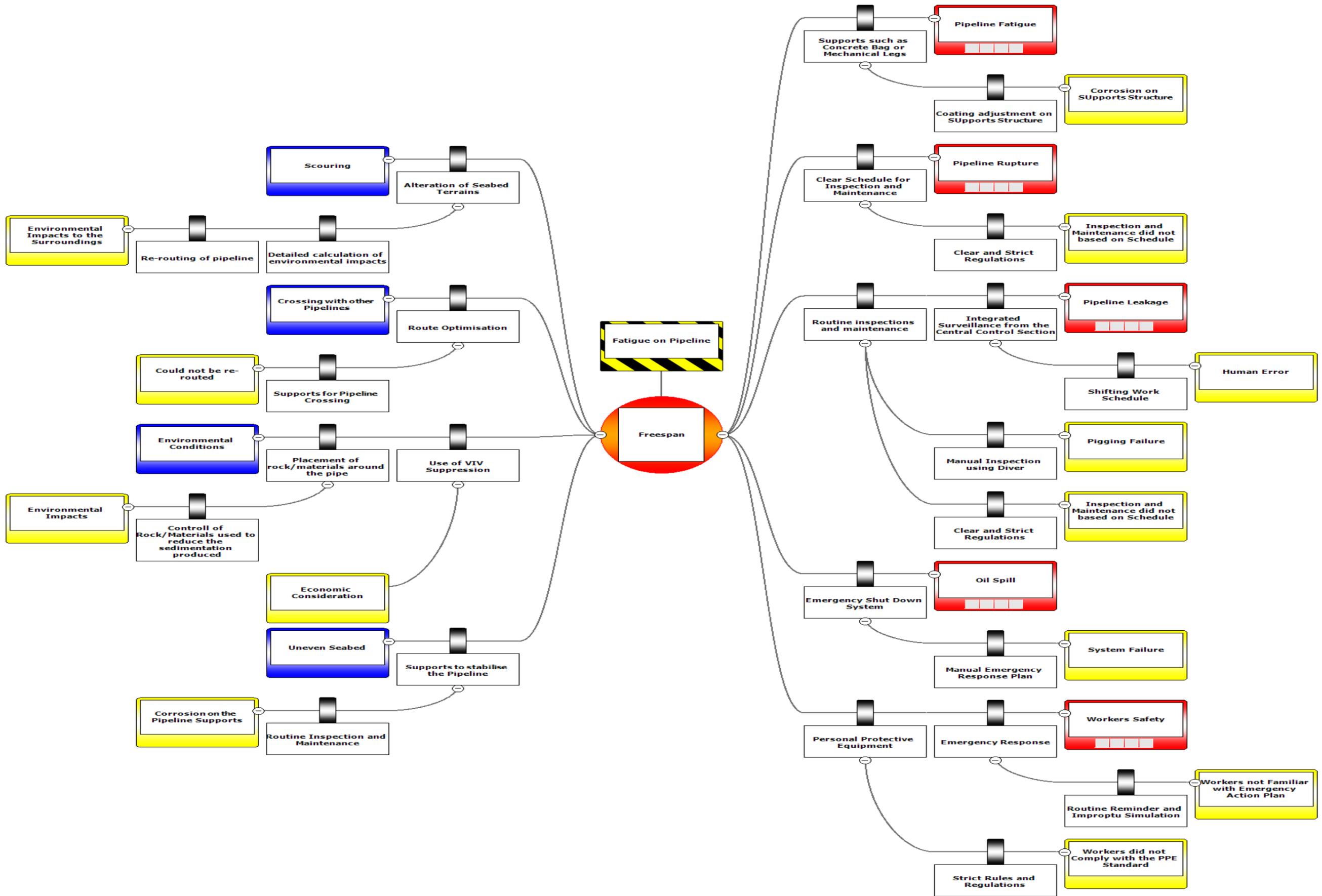
## DAFTAR PUSTAKA

- Al Bahar J., and Crandall, K. (1990). *Systematic Risk Management Approach for Construction Projects*. ASCE Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 116, No. 3, pp. 533-546.
- Artana, Ketut Buda dkk. 2008. *Analisa Risiko pada Pipa Gas Bawah Laut*. Surabaya : ITS Press.
- Det Norske Veritas (DNV) RP – F107. 2001. *Risk Assesment of Pipeline Protection*.
- Davis & Cosenza. 1998. *Business Research for Decision-Making, PWO*. Kent Publishing, Boston.
- Guntara, Robby. 2016. *Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Dengan Menggunakan Bowtie Analysi Pada Proyek Mooring Chain Replacement Pada Production Barge “SEAGOOD 101”*. Surabaya: ITS.
- Hakim, Alif Akbar. 2018. *Analisis Resiko Kegagalan Operasi Dengan Menggunakan Metode HAZOP Analysis Pada Onshore Pipeline PT. X*. Surabaya: ITS.
- ISO 31000:2009. *Risk Management – Guidelines*.
- Ibrahim, Haidar dan P.J. Rao. 2017. *Review of Practical Applications of the Bow-Tie Approach Especially in Offshore Oil and Gas Industry*. International Journal of Research in Engineering and Advanced Technology, Volume 5.
- Koto, J., dkk. 2018. *Subsea Pipeline Damaged in Balikpapan bay Caused Anchor Load*. Journal of Subsea and Offshore Science and Engineering, Volume 14.
- Long, Le-Hoai dkk. 2008. *Delay and Cost Overruns in Vietnam Large Construction Projects: A Comparison with Other Selected Countries*. KSCE Journal of Civil Engineering.
- Lu, Linlin dkk. 2015. *A Comprehensive Risk Evaluation Method for Natural Gas Pipelines by Combining a Risk Matrix with a Bow-Tie Model*. Journal of Natural Gas Science and Engineering.

- Muhammad, 2011. Implementasi *Risk Assesment* Pada Pipeline Gas Jalur Badak-Bontang. Tugas Akhir, Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS, Surabaya.
- Muhlbauer, W. Kent. 2004. *Pipeline Risk Management Manual: Ideas, Techniques, and Resource*. Burlington USA: Gulf Professional Publishing.
- Mahandeka, Rendana. 2015. *Analisis Perencanaan Proyek Berbasis Risiko: Wooden Sailing Boat Project Maritime Challenge ITS*. Surabaya: ITS.
- Muniz, Marcio V.P., dkk. 2017. *Bow Tie to Improve Risk Magement of Natural Gas Pipelines*. Wiley Online Library, USA.
- Osabutey, D., dkk. 2013. *Analysis of Risk Management Practices in the Oil and Gas Industry in Ghana*. European Journal of Business and Management, Volume 5.
- Perumal, K. Elaya. 2014. *Corrosion Risk Analysis, Risk Based Inspection and a Case Study Concerning a Condensate Pipeline*. 1<sup>st</sup> International Conference on Structural Integrity, ICONS-2014.
- Ramli, Soehatman. 2010. Pedoman Praktis Manajemen Risiko dalam Perspektif K3.
- Rausand, Marvin. 2011. *Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications*. John Wiley& Sons, Inc. USA.
- Skjong, Rolf. 2011. *Expert Judgement and Risk Perception*. DNV GL.
- Soegiono. 2007. *Pipa Laut*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Taqwa, Ovyarlita Pratama. 2018. *Penilaian Risiko Pipa Feedgas 42” Dengan Metode Indeks Skoring*. Surabaya: ITS.
- Vivalda, Claudia dkk. 2009. *Building CO2 Storage Risk Profiles with The Help of Quantitative Simulations*. Energy Procedia.

**LAMPIRAN A**  
**DIAGRAM *BOWTIE* ANALYSIS**





**LAMPIRAN B**

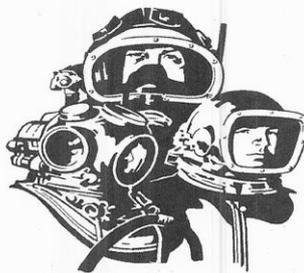
**LAPORAN INSPEKSI VISUAL DAN**

**PENGGAMBARAN ULANG PADA *PIPELINE***

**PENAJAM – BALIKPAPAN**



**DIREKTORAT PEMASARAN DAN NIAGA  
MARINE SERVICES**

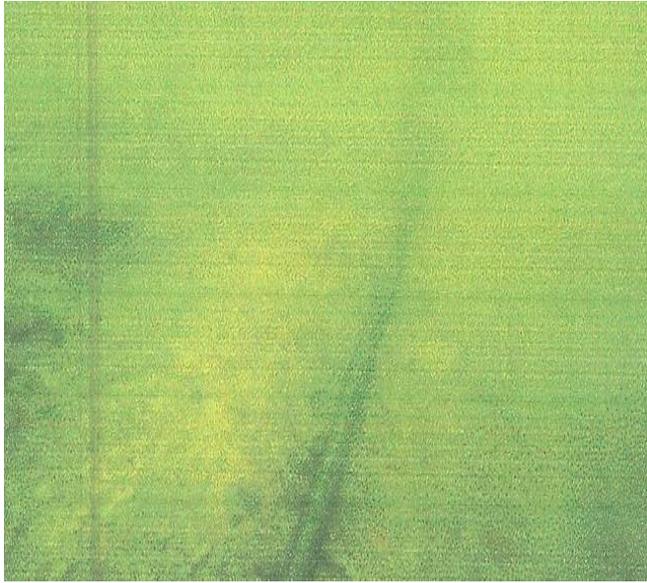


**LAPORAN PEKERJAAN  
UNDERWATER SERVICES  
NO : 052 – 2018**

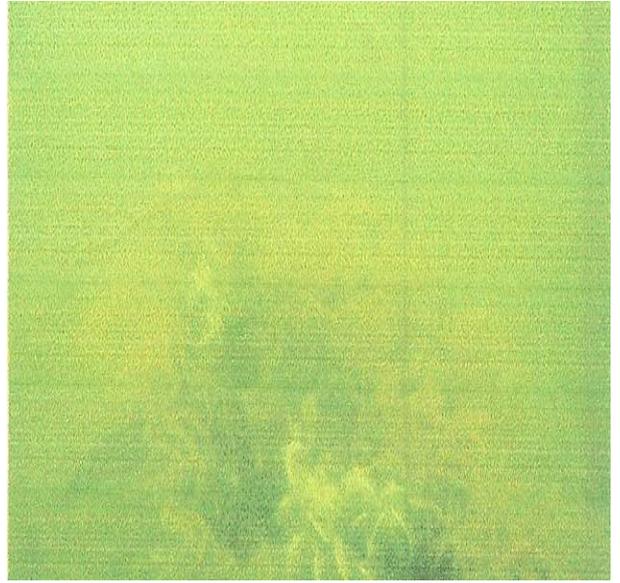
**USER** : MANAGER MAINTENANCE PLANNING & SUPPORT  
**OBYEK PEKERJAAN** : PEMERIKSAAN SUBSEA PIPELINE 16"  
**LOKASI** : PENAJAM - BALIKPAPAN  
**JENIS PEKERJAAN** : UNDERWATER SURVEY / INSPECTION  
**TGL. PELAKSANAAN** : 03 APRIL 2018 S.D 27 APRIL 2018

PT. Pertamina (Persero)  
Underwater Services – Marine Services  
Jl. Yos Sudarso kav. 205, Sunter – Jakarta Utara  
Telp. (021) 6507483, 6509204  
Fax (021) 6504732

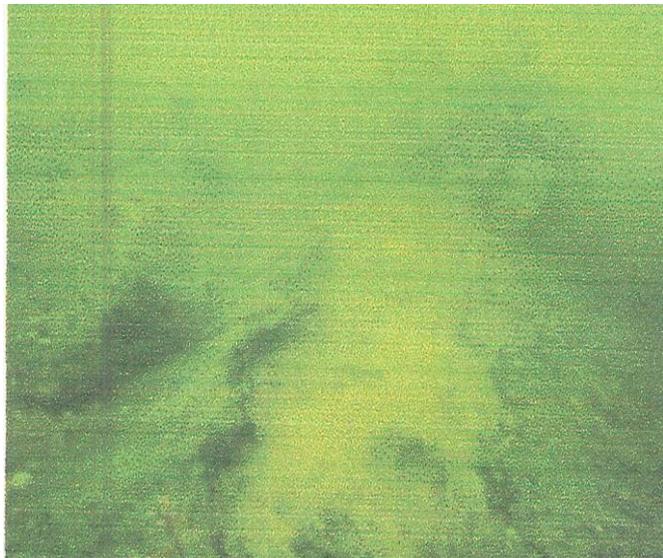
## DOKUMENTASI VISUAL KONDISI PIPA



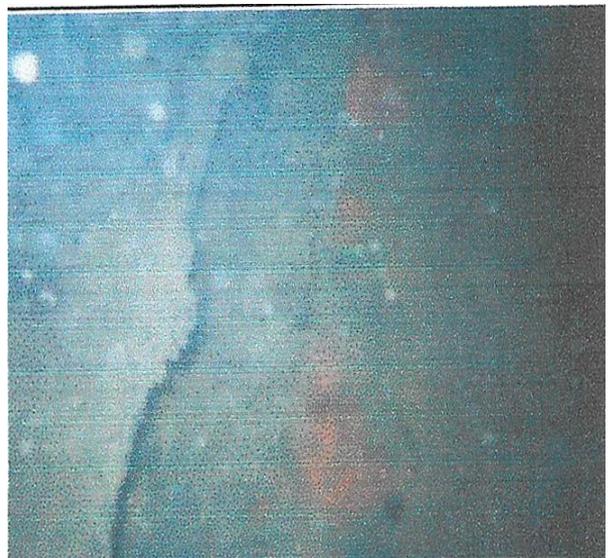
**Tampak Langsung SPL**



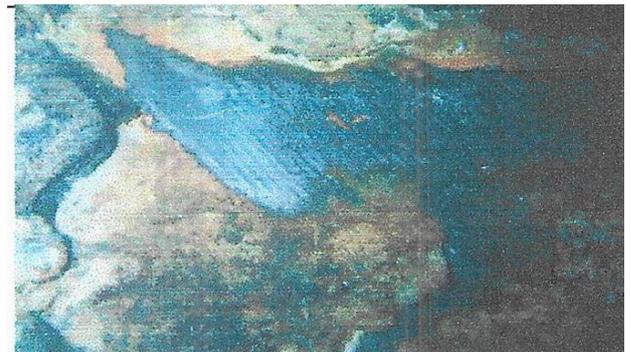
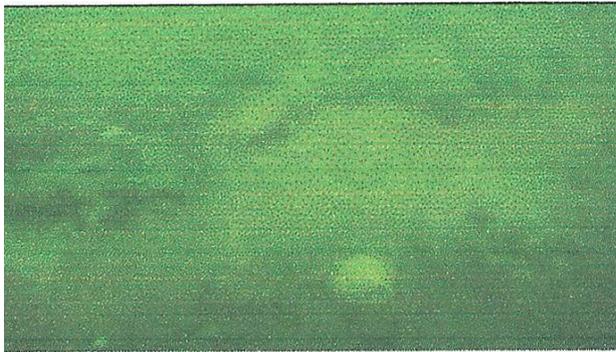
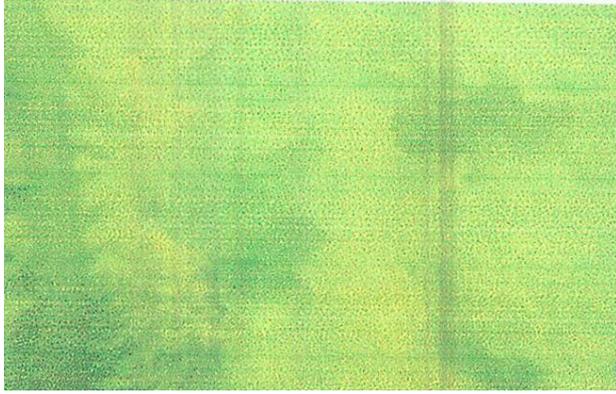
**Kondisi *Marine Growth* SPL**



**Concrete Terkelupas pada SPL**

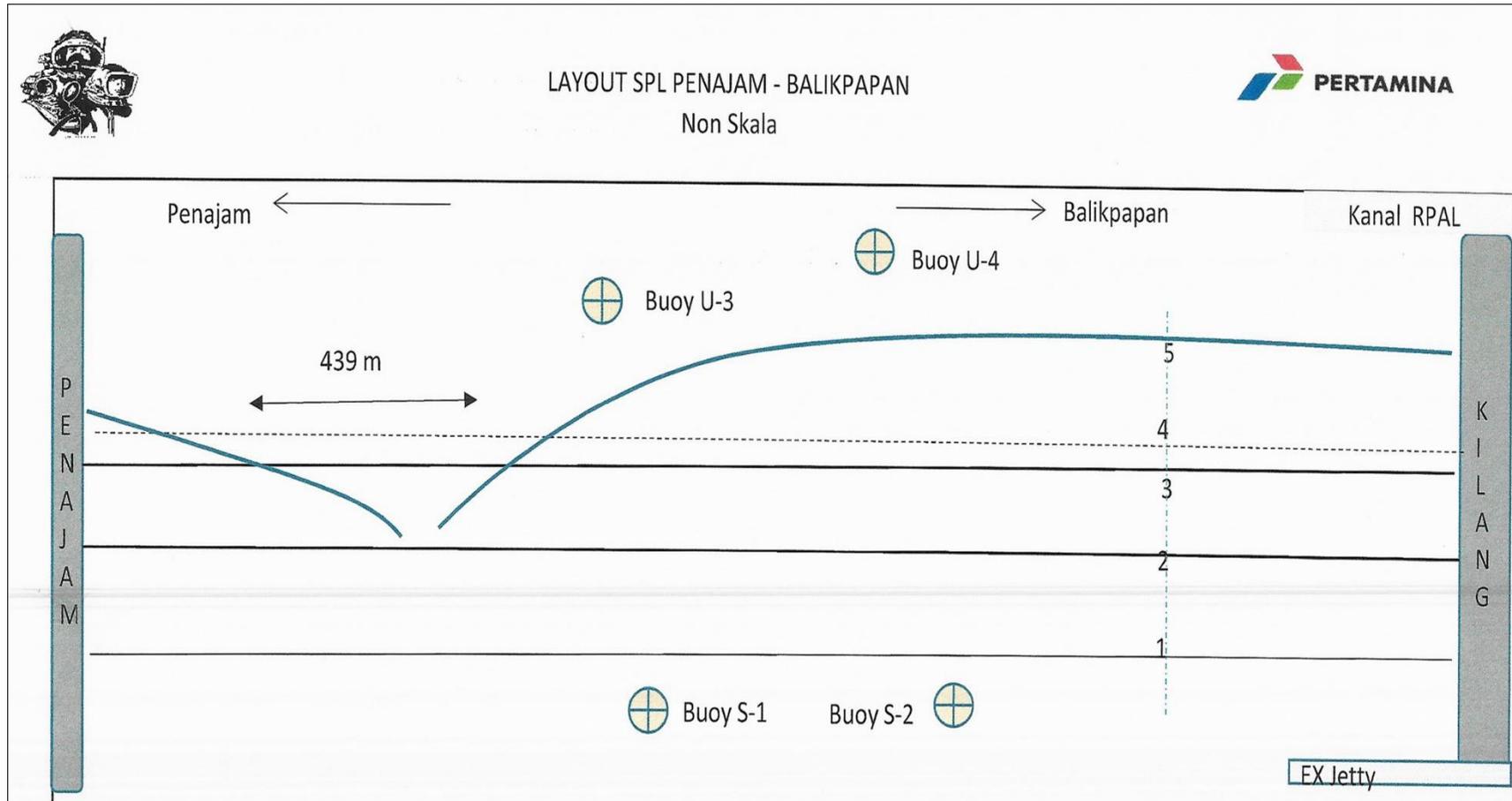


**Pipa Tergores dan *Coating* Rusak**

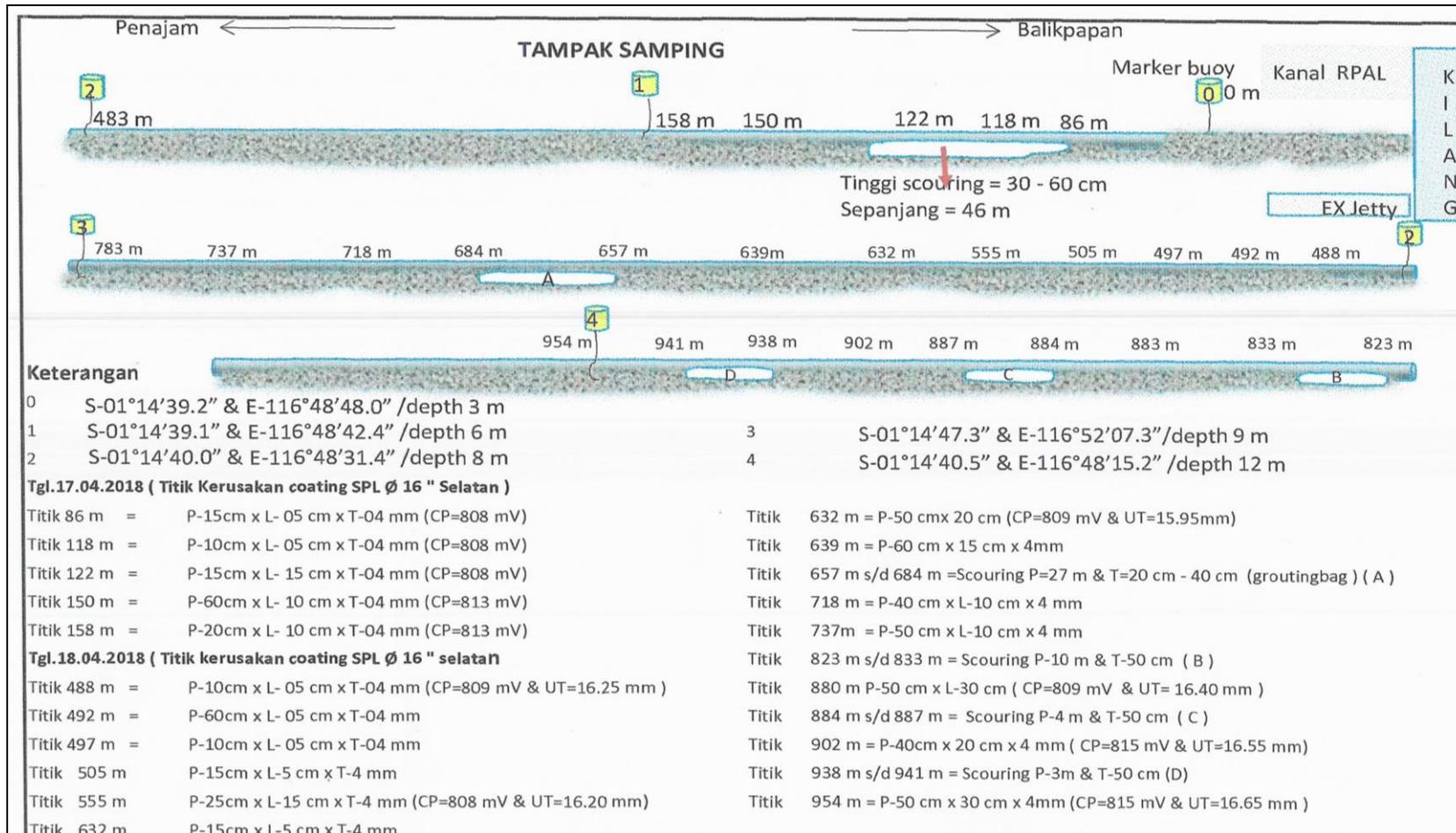


**Kerusakan Coating pada Beberapa Titik**

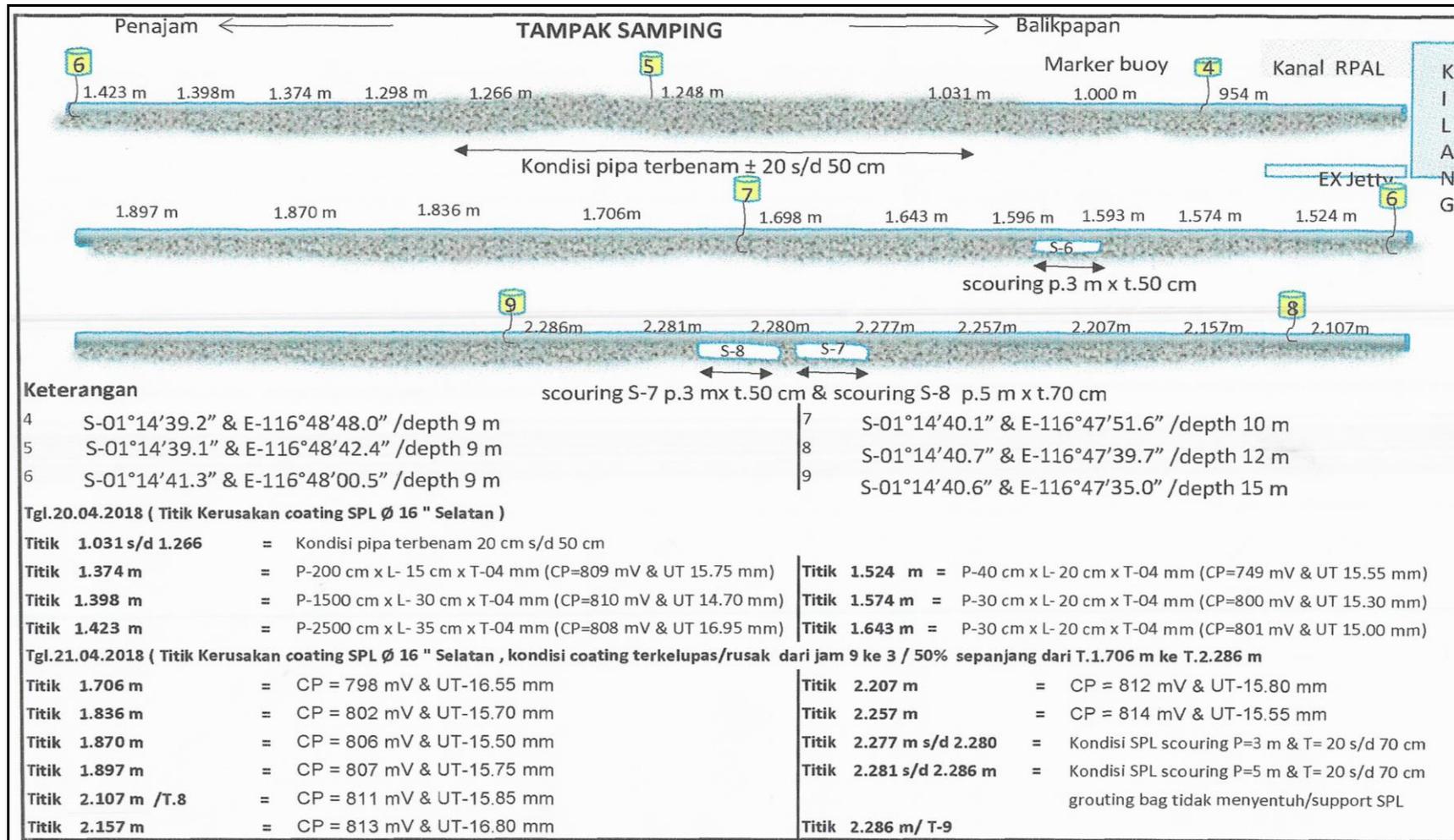
# PENGGAMBARAN ULANG KONDISI PIPELINE



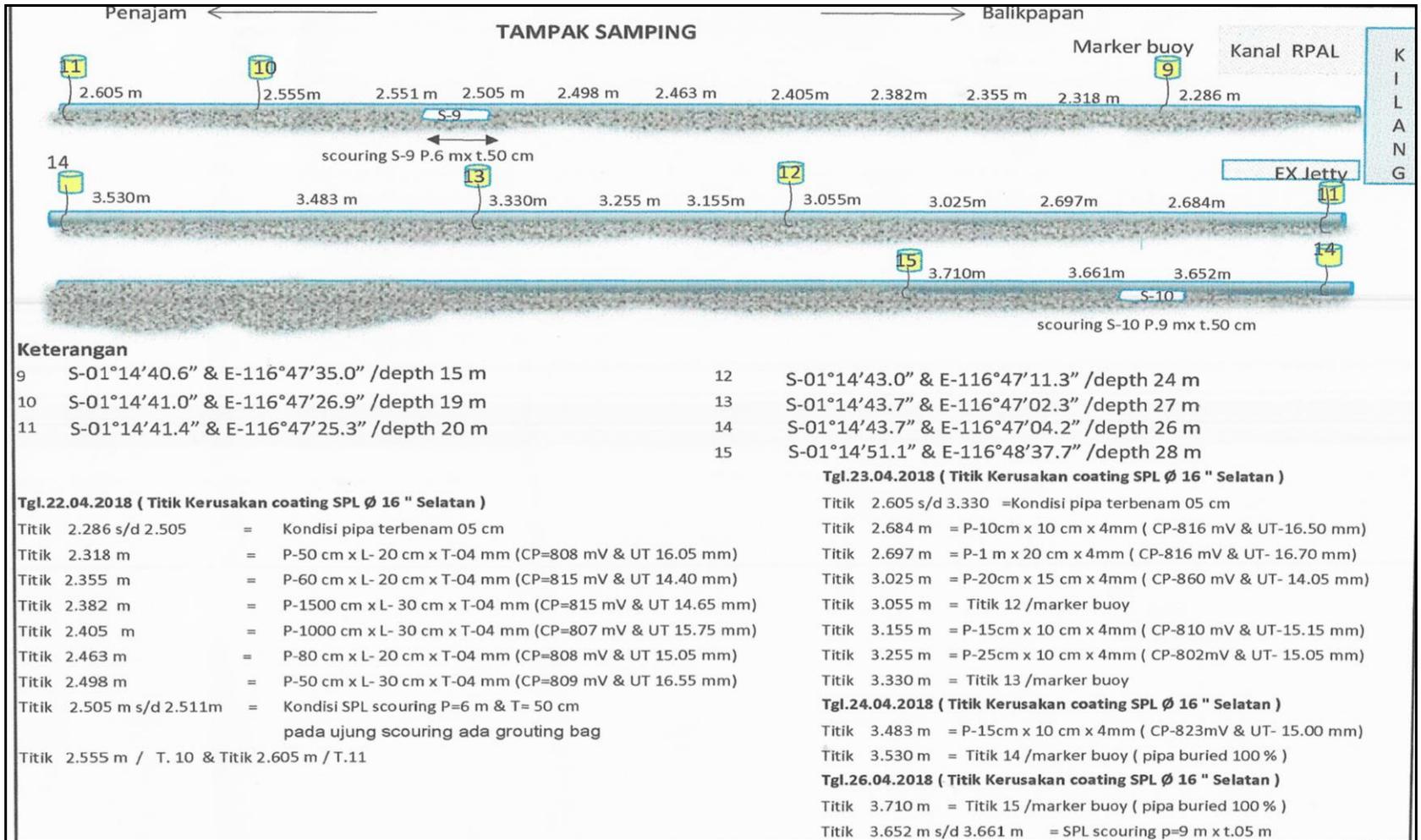
Layout SPL Penajam - Balikpapan



**Penggambaran Ulang Kondisi sekitar SPL Bagian I**



**Penggambaran Ulang Kondisi sekitar SPL Bagian II**



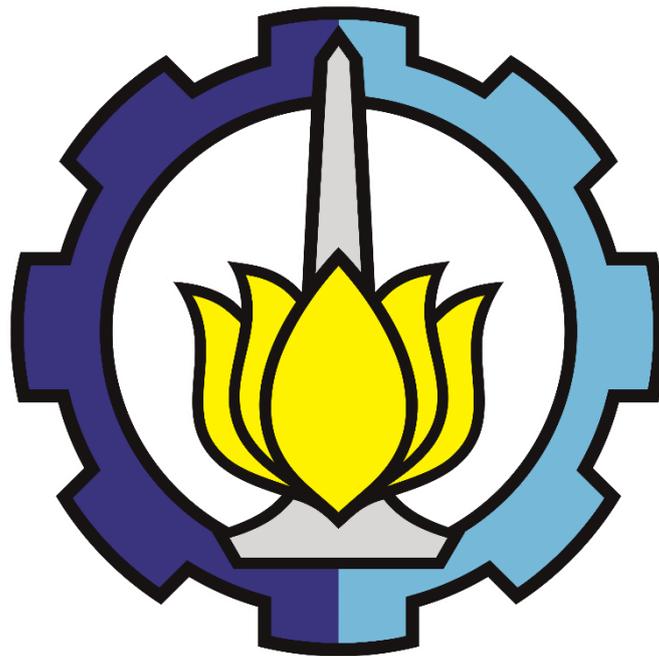
**Penggambaran Ulang Kondisi sekitar SPL Bagian III**

**LAMPIRAN C**  
**HASIL PEMBAGIAN KUESIONER KEPADA**  
**RESPONDEN**

KUESIONER SURVEI *LIKELIHOOD & SEVERITY*

Judul Tugas Akhir:

Manajemen Risiko Pipa Bawah Laut di Penajam – Balikpapan dengan Metode  
*Bow Tie Analysis.*



Disusun Oleh:

Frankie Samuel Marcello

04311540000140

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019

## **1. PENDAHULUAN**

Pipa bawah laut atau biasa disebut offshore pipeline merupakan salah satu moda transportasi yang terbukti ekonomis dan efisien. Seperti alat industri lainnya, dalam masa operasi pipa dapat mengalami risiko dan memberikan dampak pada berbagai macam aspek, lingkungan, ekonomi, dan terutama keselamatan kerja. Pengendalian dan analisis risiko merupakan hal utama yang harus dipertimbangkan oleh setiap pihak dalam industri ini. Maka pada penelitian tugas akhir ini saya akan meneliti mengenai kemungkinan risiko-risiko dominan yang dapat terjadi pada pipa bawah laut di Penajam-Balikpapan.

## **2. TUJUAN SURVEI**

Survei utama bertujuan untuk memperoleh data kemungkinan kejadian (likelihood) serta tingkat keparahan (severity) dari risiko kecelakaan kerja sehingga hasil kuesioner dapat menjadi acuan dalam penentuan tingkat risiko pada pipa bawah laut di Penajam-Balikpapan.

## **3. RESPONDEN**

Kuesioner pada survey ini ditujukan pada pihak yang berhubungan langsung dengan proyek pipa bawah laut Penajam-Balikpapan dan *expert* pada bidang terkait.

## **4. KERAHASIAAN INFORMASI**

Data responden dan informasi yang diberikan pada kuesioner ini dijamin kerahasiannya dan dipakai hanya untuk kepentingan Tugas Akhir. Sehingga diharapkan untuk para responden dapat mengisi kuesioner secara objektif dan sejujur-jujurnya.

Saya berterimakasih atas ketersediaan bapak/ibu sebagai responden untuk mengisi kuesioner ini. Saya juga berharap bapak/ibu tidak keberatan untuk dihubungi kembali terkait pengisian kuesioner apabila ada pertanyaan lebih lanjut dari peneliti.

## **5. PROFIL RESPONDEN**

- 1) Nama : Ulfa Chairunisa
- 2) No. Telp : 081223454831
- 3) Jabatan : Associate Cost Control Administrator
- 4) Pendidikan Terakhir : S1
- 5) Lama Bekerja : > 5 Tahun

## 6. PETUNJUK PENGISIAN KUESIONER

Pengisian kuesioner dilakukan dengan memberikan tanda *cross* (X) atau *check* (✓) pada kolom yang diberikan. Apabila ada saran atau variabel yang tidak diberikan, maka responden dapat mengisi pada kolom kosong. Keterangan skala untuk tingkat frekuensi kejadian (*Likelihood*) sebagai berikut:

Tingkat Likelihood	Uraian	Definisi
1	Jarang sekali terjadi	Kejadian sangat jarang terjadi sehingga bisa diabaikan
2	Kadang - kadang	Kejadian jarang terjadi
3	Dapat terjadi	Kejadian tidak diekspektasikan untuk terjadi, tetapi beberapa kasus pernah terjadi dalam kurun waktu sekali dalam setahun
4	Sering terjadi	Kejadian di ekspektasikan untuk terjadi dalam masa operasi pipleine
5	Hampir pasti terjadi	Terjadi lebih dari sekali dalam kondisi normal

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek keselamatan (*Safety*) dijabarkan sebagai berikut:

Tingkat Severity	Uraian	Definisi
1	<i>Insignificant</i>	Keparahan tidak membutuhkan perbaikan, tidak terjadi kecelekaan
2	<i>Slight</i>	Kecelakaan terjadi, ringan, tidak ada korban
3	<i>Major Injury</i>	Kecelakaan terjadi, serius, tidak ada korban
4	<i>Single Fatality</i>	Kecelakaan serius, ada korban
5	<i>Multiple Fatality</i>	Kerusakan yang terjadi dalam skala parah, korban jiwa > 1

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek lingkungan (*Environment*) dijabarkan sebagai berikut:

Tingkat Severity	Uraian	Definisi
1	Dapat diabaikan	Tidak ada, kecil atau tidak signifikan pengaruh terhadap lingkungan

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>2</b>	Ringan	Kerusakan ringan, polusi yang ditimbulkan dapat dibersihkan segera atau bisa di dekomposisi oleh air laut.
<b>3</b>	Moderat	Polusi yang ditimbulkan ukuran sedang, polusi yang ditimbulkan membutuhkan waktu untuk bisa dibersihkan secara alami, atau bisa dibersihkan segera secara manual
<b>4</b>	Tingkat Tinggi	Kerusakaan yang terjadi cukup tinggi, polusi bisa dibersihkan secara manual dan membutuhkan waktu untuk bisa dibersihkan secara alami
<b>5</b>	Sangat Tinggi	Kerusakan yang terjadi dalam skala parah, polusi sangat besar dan mengganggu ekosistem, butuh waktu yang sangat panjang untuk di dekomposisi oleh alam.

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek bisnis/aset (*Business*) dijabarkan sebagai berikut:

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>1</b>	Dapat Diabaikan	Keparahan tidak membutuhkan perbaikan, tidak mempengaruhi operasi pipa
<b>2</b>	Ringan	Kerusakan ringan, reparasi dapaat ditunda menunggu waktu <i>shutdown</i> dan dapat dibersihkan segera dengan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan dibawah 1 bulan.
<b>3</b>	Moderat	Kerusakan menyebabkan fasilitas yang terganggu dengan biaya perbaikan signifikan. Perbaikan memerlukan operasi bawah air yang tidak terjadwal dengan sistem perbaikan yang membutuhkan waktu 1-3 bulan.
<b>4</b>	Tingkat Tinggi	Kerusakan menyebabkan <i>shutdown</i> tanpa batas waktu tertentu, kerusakan signifikan, dibutuhkan perbaikan bawah air, dan pengaruh pada keseluruhan sistem produksi. Waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan 3 - 12 bulan.
<b>5</b>	Sangat Tinggi	Kerusakan dalam skala parah, kerugian sangat parah dan <i>shutdown</i> untuk waktu yang lama, 1-3 tahun.

1. Tingkat keparahan (*Severity*) dan kemungkinan (*Likelihood*) untuk aspek **Keselamatan** (*Safety*)

No	Risiko		Severity					Likelihood				
	Hazard	Penyebab	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif				V		V				
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik			V						V	
		Kegagalan <i>coating</i>			V						V	
		Korosi tanah				V			V			
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi				V		V				
		Cacat material		V						V		
		Cacat Pengelasan		V				V				
		Instalasi kurang baik			V			V				
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>				V				V		
		<i>Operation error</i>		V					V			
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>				V	V					
		Sabotase					V	V				
		Aktivitas Nelayan			V						V	
		<i>Dredging</i>					V	V				
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>		V				V				
		<i>Freespan</i> pada pipa			V						V	
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>		V					V			

2. Tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek **Lingkungan** (*Environment*)

No	Risiko		Severity				
	<i>Hazard</i>	Penyebab	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif		V			
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik			V		
		Kegagalan <i>coating</i>			V		
		Korosi tanah			V		
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi				V	
		Cacat material		V			
		Cacat Pengelasan	V				
		Instalasi kurang baik			V		
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>	V				
		<i>Operation error</i>		V			
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>				V	
		Sabotase		V			
		Aktivitas Nelayan				V	
		<i>Dredging</i>		V			
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>					V
		<i>Freespan</i> pada pipa				V	
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>				V	

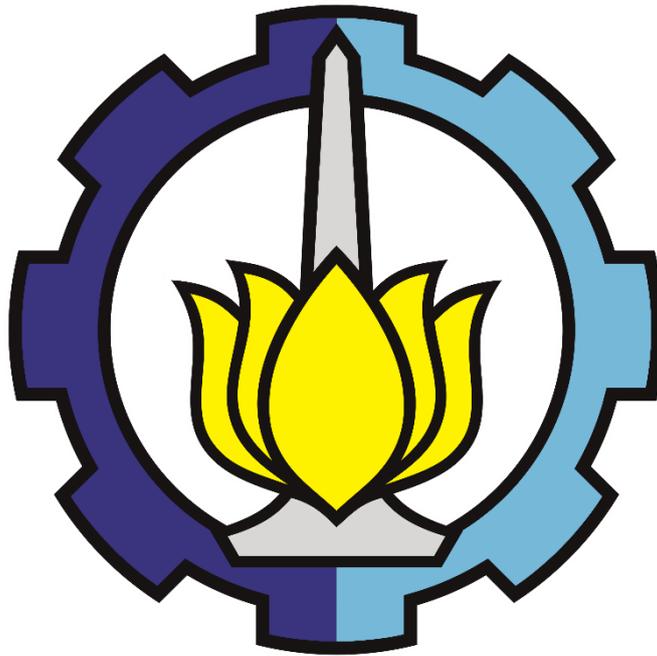
3. Tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek **Bisnis/Aset** (*Business*)

No	Risiko		Severity				
	<i>Hazard</i>	Penyebab	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif					V
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik			V		
		Kegagalan <i>coating</i>				V	
		Korosi tanah				V	
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi					V
		Cacat material					V
		Cacat Pengelasan			V		
		Instalasi kurang baik					V
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>		V			
		<i>Operation error</i>			V		
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>					V
		Sabotase				V	
		Aktivitas Nelayan		V			
		<i>Dredging</i>					V
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>				V	
		<i>Freespan</i> pada pipa			V		
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>				V	

KUESIONER SURVEI *LIKELIHOOD & SEVERITY*

Judul Tugas Akhir:

Manajemen Risiko Pipa Bawah Laut di Penajam – Balikpapan dengan Metode  
*Bow Tie Analysis.*



Disusun Oleh:

Frankie Samuel Marcello

04311540000140

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019

**1. PENDAHULUAN**

Pipa bawah laut atau biasa disebut offshore pipeline merupakan salah satu moda transportasi yang terbukti ekonomis dan efisien. Seperti alat industri lainnya, dalam masa operasi pipa dapat mengalami risiko dan memberikan dampak pada berbagai macam aspek, lingkungan, ekonomi, dan terutama keselamatan kerja. Pengendalian dan analisis risiko merupakan hal utama yang harus dipertimbangkan oleh setiap pihak dalam industri ini. Maka pada penelitian tugas akhir ini saya akan meneliti mengenai kemungkinan risiko-risiko dominan yang dapat terjadi pada pipa bawah laut di Penajam-Balikpapan.

**2. TUJUAN SURVEI**

Survei utama bertujuan untuk memperoleh data kemungkinan kejadian (likelihood) serta tingkat keparahan (severity) dari risiko kecelakaan kerja sehingga hasil kuesioner dapat menjadi acuan dalam penentuan tingkat risiko pada pipa bawah laut di Penajam-Balikpapan.

**3. RESPONDEN**

Kuesioner pada survey ini ditujukan pada pihak yang berhubungan langsung dengan proyek pipa bawah laut Penajam-Balikpapan dan *expert* pada bidang terkait.

**4. KERAHASIAAN INFORMASI**

Data responden dan informasi yang diberikan pada kuesioner ini dijamin kerahasiannya dan dipakai hanya untuk kepentingan Tugas Akhir. Sehingga diharapkan untuk para responden dapat mengisi kuesioner secara objektif dan sejujur-jujurnya.

Saya berterimakasih atas ketersediaan bapak/ibu sebagai responden untuk mengisi kuesioner ini. Saya juga berharap bapak/ibu tidak keberatan untuk dihubungi kembali terkait pengisian kuesioner apabila ada pertanyaan lebih lanjut dari peneliti.

**5. PROFIL RESPONDEN**

- 1) Nama : Fahmi Najmi N
- 2) No. Telp :
- 3) Jabatan : Jr Officer Operation/Pertamina UWS
- 4) Pendidikan Terakhir : S1

5) Lama Bekerja : < 5 Tahun

## 6. PETUNJUK PENGISIAN KUESIONER

Pengisian kuesioner dilakukan dengan memberikan tanda *cross* (X) atau *check* (√) pada kolom yang diberikan. Apabila ada saran atau variabel yang tidak diberikan, maka responden dapat mengisi pada kolom kosong. Keterangan skala untuk tingkat frekuensi kejadian (*Likelihood*) sebagai berikut:

Tingkat Likelihood	Uraian	Definisi
1	Jarang sekali terjadi	Kejadian sangat jarang terjadi sehingga bisa diabaikan
2	Kadang - kadang	Kejadian jarang terjadi
3	Dapat terjadi	Kejadian tidak diekspektasikan untuk terjadi, tetapi beberapa kasus pernah terjadi dalam kurun waktu sekali dalam setahun
4	Sering terjadi	Kejadian di ekspektasikan untuk terjadi dalam masa operasi pipleine
5	Hampir pasti terjadi	Terjadi lebih dari sekali dalam kondisi normal

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek keselamatan (*Safety*) dijabarkan sebagai berikut:

Tingkat Severity	Uraian	Definisi
1	<i>Insignificant</i>	Keparahan tidak membutuhkan perbaikan, tidak terjadi kecelekaan
2	<i>Slight</i>	Kecelakaan terjadi, ringan, tidak ada korban
3	<i>Major Injury</i>	Kecelakaan terjadi, serius, tidak ada korban
4	<i>Single Fatality</i>	Kecelakaan serius, ada korban
5	<i>Multiple Fatality</i>	Kerusakan yang terjadi dalam skala parah, korban jiwa > 1

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek lingkungan (*Environment*) dijabarkan sebagai berikut:

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>1</b>	Dapat diabaikan	Tidak ada, kecil atau tidak signifikan pengaruh terhadap lingkungan

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>2</b>	Ringan	Kerusakan ringan, polusi yang ditimbulkan dapat dibersihkan segera atau bisa di dekomposisi oleh air laut.
<b>3</b>	Moderat	Polusi yang ditimbulkan ukuran sedang, polusi yang ditimbulkan membutuhkan waktu untuk bisa dibersihkan secara alami, atau bisa dibersihkan segera secara manual
<b>4</b>	Tingkat Tinggi	Kerusakaan yang terjadi cukup tinggi, polusi bisa dibersihkan secara manual dan membutuhkan waktu untuk bisa dibersihkan secara alami
<b>5</b>	Sangat Tinggi	Kerusakan yang terjadi dalam skala parah, polusi sangat besar dan mengganggu ekosistem, butuh waktu yang sangat panjang untuk di dekomposisi oleh alam.

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek bisnis/aset (*Business*) dijabarkan sebagai berikut:

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>1</b>	Dapat Diabaikan	Keparahan tidak membutuhkan perbaikan, tidak mempengaruhi operasi pipa
<b>2</b>	Ringan	Kerusakan ringan, reparasi dapaat ditunda menunggu waktu <i>shutodwndan</i> dapat dibersihkan segera dengan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan dibawah 1 bulan.
<b>3</b>	Moderat	Kerusakan menyebabkan fasilitas yang terganggu dengan biaya perbaikan signifikan. Perbaikan memerlukan operasi bawah air yang tidak terjadwal dengan sistem perbaikan yang membutuhkan waktu 1-3 bulan.

<b>4</b>	Tingkat Tinggi	Kerusakan menyebabkan <i>shutdown</i> tanpa batas waktu tertentu, kerusakan signifikan, dibutuhkan perbaikan bawah air, dan pengaruh pada keseluruhan sistem produksi. Waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan 3 - 12 bulan.
<b>5</b>	Sangat Tinggi	Kerusakan dalam skala parah, kerugian sangat parah dan <i>shutdown</i> untuk waktu yang lama, 1-3 tahun.

1. Tingkat keparahan (*Severity*) dan kemungkinan (*Likelihood*) untuk aspek **Keselamatan** (*Safety*)

No	Risiko		Severity					Likelihood				
	Hazard	Penyebab	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif		V						V		
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik			V						V	
		Kegagalan <i>coating</i>	V									V
		Korosi tanah	V					V				
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi			V				V			
		Cacat material				V			V			
		Cacat Pengelasan			V						V	
		Instalasi kurang baik		V					V			
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>		V					V			
		<i>Operation error</i>				V		V				
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>		V							V	
		Sabotase			V				V			
		Aktivitas Nelayan		V					V			
		<i>Dredging</i>		V							V	
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>					V			V		
		<i>Freespan</i> pada pipa		V							V	
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>				V		V				

2. Tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek **Lingkungan** (*Environment*)

No	Risiko		Severity				
	<i>Hazard</i>	Penyebab	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif			V		
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik	V				
		Kegagalan <i>coating</i>				V	
		Korosi tanah				V	
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi		V			
		Cacat material		V			
		Cacat Pengelasan					V
		Instalasi kurang baik			V		
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>			V		
		<i>Operation error</i>		V			
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>					V
		Sabotase		V			
		Aktivitas Nelayan		V			
		<i>Dredging</i>		V			
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>	V				
		<i>Freespan</i> pada pipa		V			
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>			V		

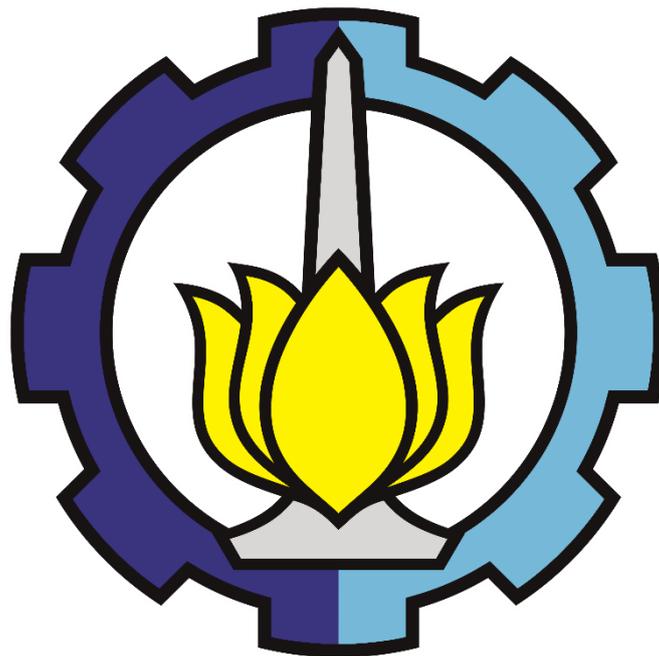
3. Tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek **Bisnis/Aset** (*Business*)

No	Risiko		Severity				
	<i>Hazard</i>	Penyebab	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif					V
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik		V			
		Kegagalan <i>coating</i>			V		
		Korosi tanah	V				
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi				V	
		Cacat material		V			
		Cacat Pengelasan				V	
		Instalasi kurang baik			V		
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>			V		
		<i>Operation error</i>		V			
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>			V		
		Sabotase	V				
		Aktivitas Nelayan			V		
		<i>Dredging</i>			V		
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>		V			
		<i>Freespan</i> pada pipa				V	
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>			V		

KUESIONER SURVEI *LIKELIHOOD & SEVERITY*

Judul Tugas Akhir:

Manajemen Risiko Pipa Bawah Laut di Penajam – Balikpapan dengan Metode  
*Bow Tie Analysis.*



Disusun Oleh:

Frankie Samuel Marcello

04311540000140

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019

**1. PENDAHULUAN**

Pipa bawah laut atau biasa disebut offshore pipeline merupakan salah satu moda transportasi yang terbukti ekonomis dan efisien. Seperti alat industri lainnya, dalam masa operasi pipa dapat mengalami risiko dan memberikan dampak pada berbagai macam aspek, lingkungan, ekonomi, dan terutama keselamatan kerja. Pengendalian dan analisis risiko merupakan hal utama yang harus dipertimbangkan oleh setiap pihak dalam industri ini. Maka pada penelitian tugas akhir ini saya akan meneliti mengenai kemungkinan risiko-risiko dominan yang dapat terjadi pada pipa bawah laut di Penajam-Balikpapan.

**2. TUJUAN SURVEI**

Survei utama bertujuan untuk memperoleh data kemungkinan kejadian (likelihood) serta tingkat keparahan (severity) dari risiko kecelakaan kerja sehingga hasil kuesioner dapat menjadi acuan dalam penentuan tingkat risiko pada pipa bawah laut di Penajam-Balikpapan.

**3. RESPONDEN**

Kuesioner pada survey ini ditujukan pada pihak yang berhubungan langsung dengan proyek pipa bawah laut Penajam-Balikpapan dan *expert* pada bidang terkait.

**4. KERAHASIAAN INFORMASI**

Data responden dan informasi yang diberikan pada kuesioner ini dijamin kerahasiannya dan dipakai hanya untuk kepentingan Tugas Akhir. Sehingga diharapkan untuk para responden dapat mengisi kuesioner secara objektif dan sejujur-jujurnya.

Saya berterimakasih atas ketersediaan bapak/ibu sebagai responden untuk mengisi kuesioner ini. Saya juga berharap bapak/ibu tidak keberatan untuk dihubungi kembali terkait pengisian kuesioner apabila ada pertanyaan lebih lanjut dari peneliti.

**5. PROFIL RESPONDEN**

- |             |                       |
|-------------|-----------------------|
| 1) Nama     | : Bagus Made Angistra |
| 2) No. Telp | : 081261202680        |

- 3) Jabatan : Senior Supervisor
- 4) Pendidikan Terakhir : S1
- 5) Lama Bekerja : >5 Tahun

## 6. PETUNJUK PENGISIAN KUESIONER

Pengisian kuesioner dilakukan dengan memberikan tanda *cross* (X) atau *check* (√) pada kolom yang diberikan. Apabila ada saran atau variabel yang tidak diberikan, maka responden dapat mengisi pada kolom kosong. Keterangan skala untuk tingkat frekuensi kejadian (*Likelihood*) sebagai berikut:

Tingkat Likelihood	Uraian	Definisi
1	Jarang sekali terjadi	Kejadian sangat jarang terjadi sehingga bisa diabaikan
2	Kadang - kadang	Kejadian jarang terjadi
3	Dapat terjadi	Kejadian tidak diekspektasikan untuk terjadi, tetapi beberapa kasus pernah terjadi dalam kurun waktu sekali dalam setahun
4	Sering terjadi	Kejadian di ekspektasikan untuk terjadi dalam masa operasi pipleine
5	Hampir pasti terjadi	Terjadi lebih dari sekali dalam kondisi normal

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek keselamatan (*Safety*) dijabarkan sebagai berikut:

Tingkat Severity	Uraian	Definisi
1	<i>Insignificant</i>	Keparahan tidak membutuhkan perbaikan, tidak terjadi kecelekaan
2	<i>Slight</i>	Kecelakaan terjadi, ringan, tidak ada korban
3	<i>Major Injury</i>	Kecelakaan terjadi, serius, tidak ada korban
4	<i>Single Fatality</i>	Kecelakaan serius, ada korban
5	<i>Multiple Fatality</i>	Kerusakan yang terjadi dalam skala parah, korban jiwa > 1

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek lingkungan (*Environment*) dijabarkan sebagai berikut:

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>1</b>	Dapat diabaikan	Tidak ada, kecil atau tidak signifikan pengaruh terhadap lingkungan

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>2</b>	Ringan	Kerusakan ringan, polusi yang ditimbulkan dapat dibersihkan segera atau bisa di dekomposisi oleh air laut.
<b>3</b>	Moderat	Polusi yang ditimbulkan ukuran sedang, polusi yang ditimbulkan membutuhkan waktu untuk bisa dibersihkan secara alami, atau bisa dibersihkan segera secara manual
<b>4</b>	Tingkat Tinggi	Kerusakaan yang terjadi cukup tinggi, polusi bisa dibersihkan secara manual dan membutuhkan waktu untuk bisa dibersihkan secara alami
<b>5</b>	Sangat Tinggi	Kerusakan yang terjadi dalam skala parah, polusi sangat besar dan mengganggu ekosistem, butuh waktu yang sangat panjang untuk di dekomposisi oleh alam.

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek bisnis/aset (*Business*) dijabarkan sebagai berikut:

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>1</b>	Dapat Diabaikan	Keparahan tidak membutuhkan perbaikan, tidak mempengaruhi operasi pipa
<b>2</b>	Ringan	Kerusakan ringan, reparasi dapat ditunda menunggu waktu <i>shutdown</i> dan dapat dibersihkan segera dengan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan dibawah 1 bulan.
<b>3</b>	Moderat	Kerusakan menyebabkan fasilitas yang terganggu dengan biaya perbaikan signifikan. Perbaikan memerlukan operasi bawah air yang tidak terjadwal dengan sistem perbaikan yang membutuhkan waktu 1-3 bulan.

<b>4</b>	Tingkat Tinggi	Kerusakan menyebabkan <i>shutdown</i> tanpa batas waktu tertentu, kerusakan signifikan, dibutuhkan perbaikan bawah air, dan pengaruh pada keseluruhan sistem produksi. Waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan 3 - 12 bulan.
<b>5</b>	Sangat Tinggi	Kerusakan dalam skala parah, kerugian sangat parah dan <i>shutdown</i> untuk waktu yang lama, 1-3 tahun.

1. Tingkat keparahan (*Severity*) dan kemungkinan (*Likelihood*) untuk aspek **Keselamatan** (*Safety*)

No	Risiko		Severity					Likelihood				
	Hazard	Penyebab	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif				V			V			
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik			V					V		
		Kegagalan <i>coating</i>				V				V		
		Korosi tanah		V				V				
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi				V		V				
		Cacat material			V			V				
		Cacat Pengelasan			V				V			
		Instalasi kurang baik			V				V			
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>	V						V			
		<i>Operation error</i>			V				V			
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>				V			V			
		Sabotase			V			V				
		Aktivitas Nelayan		V				V				
		<i>Dredging</i>			V				V			
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>			V					V		
		<i>Freespan</i> pada pipa					V			V		
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>			V						V	

2. Tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek **Lingkungan** (*Environment*)

No	Risiko		Severity				
	<i>Hazard</i>	Penyebab	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif		V			
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik			V		
		Kegagalan <i>coating</i>					V
		Korosi tanah	V				
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi		V			
		Cacat material			V		
		Cacat Pengelasan		V			
		Instalasi kurang baik				V	
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>				V	
		<i>Operation error</i>			V		
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>				V	
		Sabotase		V			
		Aktivitas Nelayan				V	
		<i>Dredging</i>					V
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>		V			
		<i>Freespan</i> pada pipa			V		
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>		V			

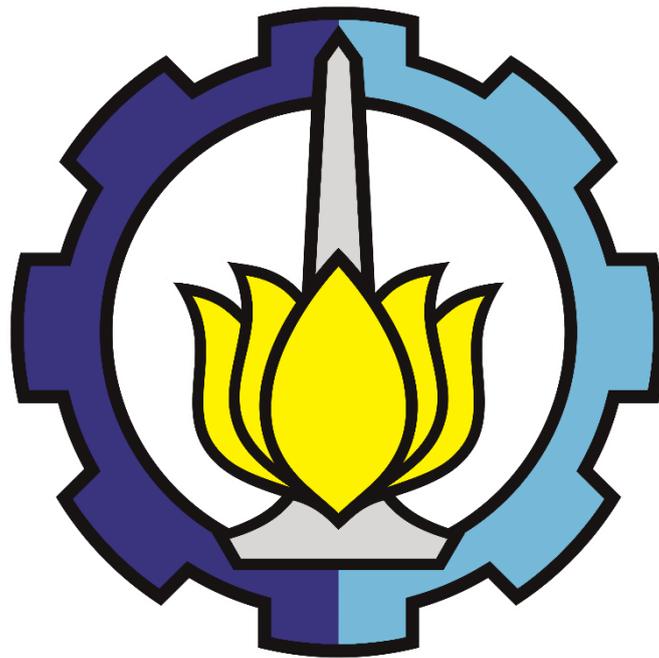
3. Tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek **Bisnis/Aset** (*Business*)

No	Risiko		Severity				
	<i>Hazard</i>	Penyebab	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif		V			
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik			V		
		Kegagalan <i>coating</i>		V			
		Korosi tanah		V			
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi	V				
		Cacat material			V		
		Cacat Pengelasan		V			
		Instalasi kurang baik			V		
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>			V		
		<i>Operation error</i>			V		
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>			V		
		Sabotase		V			
		Aktivitas Nelayan		V			
		<i>Dredging</i>					V
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>		V			
		<i>Freespan</i> pada pipa					V
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>			V		

KUESIONER SURVEI *LIKELIHOOD & SEVERITY*

Judul Tugas Akhir:

Manajemen Risiko Pipa Bawah Laut di Penajam – Balikpapan dengan Metode  
*Bow Tie Analysis.*



Disusun Oleh:

Frankie Samuel Marcello

04311540000140

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019

**1. PENDAHULUAN**

Pipa bawah laut atau biasa disebut offshore pipeline merupakan salah satu moda transportasi yang terbukti ekonomis dan efisien. Seperti alat industri lainnya, dalam masa operasi pipa dapat mengalami risiko dan memberikan dampak pada berbagai macam aspek, lingkungan, ekonomi, dan terutama keselamatan kerja. Pengendalian dan analisis risiko merupakan hal utama yang harus dipertimbangkan oleh setiap pihak dalam industri ini. Maka pada penelitian tugas akhir ini saya akan meneliti mengenai kemungkinan risiko-risiko dominan yang dapat terjadi pada pipa bawah laut di Penajam-Balikpapan.

**2. TUJUAN SURVEI**

Survei utama bertujuan untuk memperoleh data kemungkinan kejadian (likelihood) serta tingkat keparahan (severity) dari risiko kecelakaan kerja sehingga hasil kuesioner dapat menjadi acuan dalam penentuan tingkat risiko pada pipa bawah laut di Penajam-Balikpapan.

**3. RESPONDEN**

Kuesioner pada survey ini ditujukan pada pihak yang berhubungan langsung dengan proyek pipa bawah laut Penajam-Balikpapan dan *expert* pada bidang terkait.

**4. KERAHASIAAN INFORMASI**

Data responden dan informasi yang diberikan pada kuesioner ini dijamin kerahasiannya dan dipakai hanya untuk kepentingan Tugas Akhir. Sehingga diharapkan untuk para responden dapat mengisi kuesioner secara objektif dan sejujur-jujurnya.

Saya berterimakasih atas ketersediaan bapak/ibu sebagai responden untuk mengisi kuesioner ini. Saya juga berharap bapak/ibu tidak keberatan untuk dihubungi kembali terkait pengisian kuesioner apabila ada pertanyaan lebih lanjut dari peneliti.

**5. PROFIL RESPONDEN**

- |             |                    |
|-------------|--------------------|
| 1) Nama     | : Suroto           |
| 2) No. Telp | : 0813 9908 1976   |
| 3) Jabatan  | : Diver - Engineer |

- 4) Pendidikan Terakhir : D3
- 5) Lama Bekerja : > 5 Tahun

## 6. PETUNJUK PENGISIAN KUESIONER

Pengisian kuesioner dilakukan dengan memberikan tanda *cross* (X) atau *check* (√) pada kolom yang diberikan. Apabila ada saran atau variabel yang tidak diberikan, maka responden dapat mengisi pada kolom kosong. Keterangan skala untuk tingkat frekuensi kejadian (*Likelihood*) sebagai berikut:

Tingkat Likelihood	Uraian	Definisi
1	Jarang sekali terjadi	Kejadian sangat jarang terjadi sehingga bisa diabaikan
2	Kadang - kadang	Kejadian jarang terjadi
3	Dapat terjadi	Kejadian tidak diekspektasikan untuk terjadi, tetapi beberapa kasus pernah terjadi dalam kurun waktu sekali dalam setahun
4	Sering terjadi	Kejadian di ekspektasikan untuk terjadi dalam masa operasi pipleine
5	Hampir pasti terjadi	Terjadi lebih dari sekali dalam kondisi normal

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek keselamatan (*Safety*) dijabarkan sebagai berikut:

Tingkat Severity	Uraian	Definisi
1	<i>Insignificant</i>	Keparahan tidak membutuhkan perbaikan, tidak terjadi kecelekaan
2	<i>Slight</i>	Kecelakaan terjadi, ringan, tidak ada korban
3	<i>Major Injury</i>	Kecelakaan terjadi, serius, tidak ada korban
4	<i>Single Fatality</i>	Kecelakaan serius, ada korban
5	<i>Multiple Fatality</i>	Kerusakan yang terjadi dalam skala parah, korban jiwa > 1

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek lingkungan (*Environment*) dijabarkan sebagai berikut:

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>1</b>	Dapat diabaikan	Tidak ada, kecil atau tidak signifikan pengaruh terhadap lingkungan

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>2</b>	Ringan	Kerusakan ringan, polusi yang ditimbulkan dapat dibersihkan segera atau bisa di dekomposisi oleh air laut.
<b>3</b>	Moderat	Polusi yang ditimbulkan ukuran sedang, polusi yang ditimbulkan membutuhkan waktu untuk bisa dibersihkan secara alami, atau bisa dibersihkan segera secara manual
<b>4</b>	Tingkat Tinggi	Kerusakaan yang terjadi cukup tinggi, polusi bisa dibersihkan secara manual dan membutuhkan waktu untuk bisa dibersihkan secara alami
<b>5</b>	Sangat Tinggi	Kerusakan yang terjadi dalam skala parah, polusi sangat besar dan mengganggu ekosistem, butuh waktu yang sangat panjang untuk di dekomposisi oleh alam.

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek bisnis/aset (*Business*) dijabarkan sebagai berikut:

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>1</b>	Dapat Diabaikan	Keparahan tidak membutuhkan perbaikan, tidak mempengaruhi operasi pipa
<b>2</b>	Ringan	Kerusakan ringan, reparasi dapat ditunda menunggu waktu <i>shutdown</i> dan dapat dibersihkan segera dengan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan dibawah 1 bulan.
<b>3</b>	Moderat	Kerusakan menyebabkan fasilitas yang terganggu dengan biaya perbaikan signifikan. Perbaikan memerlukan operasi bawah air yang tidak terjadwal dengan sistem perbaikan yang membutuhkan waktu 1-3 bulan.

<b>4</b>	Tingkat Tinggi	Kerusakan menyebabkan <i>shutdown</i> tanpa batas waktu tertentu, kerusakan signifikan, dibutuhkan perbaikan bawah air, dan pengaruh pada keseluruhan sistem produksi. Waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan 3 - 12 bulan.
<b>5</b>	Sangat Tinggi	Kerusakan dalam skala parah, kerugian sangat parah dan <i>shutdown</i> untuk waktu yang lama, 1-3 tahun.

1. Tingkat keparahan (*Severity*) dan kemungkinan (*Likelihood*) untuk aspek **Keselamatan** (*Safety*)

No	Risiko		Severity					Likelihood				
	Hazard	Penyebab	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif			V				V			
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik		V					V			
		Kegagalan <i>coating</i>					V			V		
		Korosi tanah	V						V			
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi		V					V			
		Cacat material		V					V			
		Cacat Pengelasan	V								V	
		Instalasi kurang baik			V			V				
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>			V			V				
		<i>Operation error</i>		V				V				
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>					V		V			
		Sabotase		V				V				
		Aktivitas Nelayan		V				V				
		<i>Dredging</i>		V				V				
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>		V					V			
		<i>Freespan</i> pada pipa		V								V
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>			V				V			

2. Tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek **Lingkungan** (*Environment*)

No	Risiko		Severity				
	<i>Hazard</i>	Penyebab	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif			V		
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik		V			
		Kegagalan <i>coating</i>		V			
		Korosi tanah		V			
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi			V		
		Cacat material				V	
		Cacat Pengelasan			V		
		Instalasi kurang baik	V				
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>			V		
		<i>Operation error</i>			V		
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>				V	
		Sabotase					V
		Aktivitas Nelayan			V		
		<i>Dredging</i>		V			
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>			V		
		<i>Freespan</i> pada pipa				V	
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>			V		

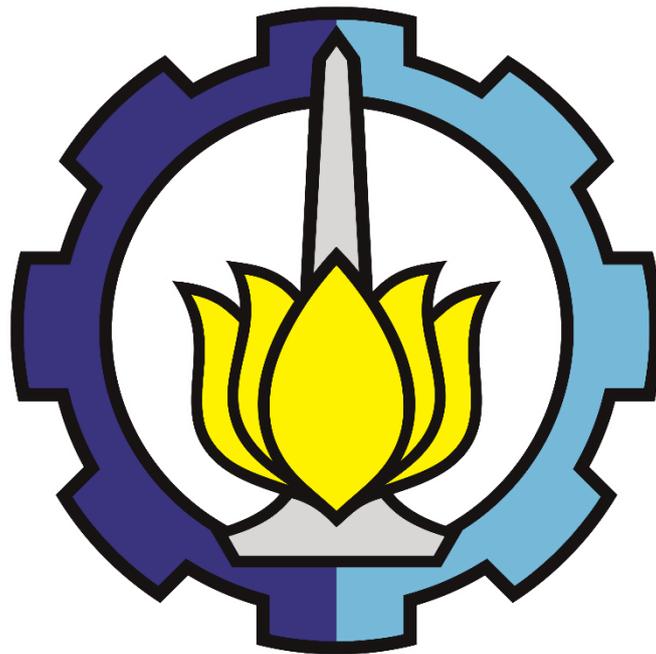
3. Tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek **Bisnis/Aset** (*Business*)

No	Risiko		Severity				
	<i>Hazard</i>	Penyebab	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif			V		
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik		V			
		Kegagalan <i>coating</i>			V		
		Korosi tanah					V
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi			V		
		Cacat material			V		
		Cacat Pengelasan	V				
		Instalasi kurang baik			V		
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>					V
		<i>Operation error</i>	V				
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>				V	
		Sabotase			V		
		Aktivitas Nelayan			V		
		<i>Dredging</i>			V		
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>			V		
		<i>Freespan</i> pada pipa					V
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>			V		

KUESIONER SURVEI *LIKELIHOOD & SEVERITY*

Judul Tugas Akhir:

Manajemen Risiko Pipa Bawah Laut di Penajam – Balikpapan dengan Metode  
*Bow Tie Analysis.*



Disusun Oleh:

Frankie Samuel Marcello

04311540000140

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019

**1. PENDAHULUAN**

Pipa bawah laut atau biasa disebut offshore pipeline merupakan salah satu moda transportasi yang terbukti ekonomis dan efisien. Seperti alat industri lainnya, dalam masa operasi pipa dapat mengalami risiko dan memberikan dampak pada berbagai macam aspek, lingkungan, ekonomi, dan terutama keselamatan kerja. Pengendalian dan analisis risiko merupakan hal utama yang harus dipertimbangkan oleh setiap pihak dalam industri ini. Maka pada penelitian tugas akhir ini saya akan meneliti mengenai kemungkinan risiko-risiko dominan yang dapat terjadi pada pipa bawah laut di Penajam-Balikpapan.

**2. TUJUAN SURVEI**

Survei utama bertujuan untuk memperoleh data kemungkinan kejadian (likelihood) serta tingkat keparahan (severity) dari risiko kecelakaan kerja sehingga hasil kuesioner dapat menjadi acuan dalam penentuan tingkat risiko pada pipa bawah laut di Penajam-Balikpapan.

**3. RESPONDEN**

Kuesioner pada survey ini ditujukan pada pihak yang berhubungan langsung dengan proyek pipa bawah laut Penajam-Balikpapan dan *expert* pada bidang terkait.

**4. KERAHASIAAN INFORMASI**

Data responden dan informasi yang diberikan pada kuesioner ini dijamin kerahasiannya dan dipakai hanya untuk kepentingan Tugas Akhir. Sehingga diharapkan untuk para responden dapat mengisi kuesioner secara objektif dan sejujur-jujurnya.

Saya berterimakasih atas ketersediaan bapak/ibu sebagai responden untuk mengisi kuesioner ini. Saya juga berharap bapak/ibu tidak keberatan untuk dihubungi kembali terkait pengisian kuesioner apabila ada pertanyaan lebih lanjut dari peneliti.

**5. PROFIL RESPONDEN**

- |             |                                     |
|-------------|-------------------------------------|
| 1) Nama     | : Muhammad Zein Effendi             |
| 2) No. Telp | : 0812841832507                     |
| 3) Jabatan  | : Sr. Supervisor – Diver - Engineer |

- 4) Pendidikan Terakhir : S1
- 5) Lama Bekerja : > 5 Tahun

**6. PETUNJUK PENGISIAN KUESIONER**

Pengisian kuesioner dilakukan dengan memberikan tanda *cross* (X) atau *check* (√) pada kolom yang diberikan. Apabila ada saran atau variabel yang tidak diberikan, maka responden dapat mengisi pada kolom kosong. Keterangan skala untuk tingkat frekuensi kejadian (*Likelihood*) sebagai berikut:

Tingkat Likelihood	Uraian	Definisi
1	Jarang sekali terjadi	Kejadian sangat jarang terjadi sehingga bisa diabaikan
2	Kadang - kadang	Kejadian jarang terjadi
3	Dapat terjadi	Kejadian tidak diekspektasikan untuk terjadi, tetapi beberapa kasus pernah terjadi dalam kurun waktu sekali dalam setahun
4	Sering terjadi	Kejadian di ekspektasikan untuk terjadi dalam masa operasi pipleine
5	Hampir pasti terjadi	Terjadi lebih dari sekali dalam kondisi normal

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek keselamatan (*Safety*) dijabarkan sebagai berikut:

Tingkat Severity	Uraian	Definisi
1	<i>Insignificant</i>	Keparahan tidak membutuhkan perbaikan, tidak terjadi kecelekaan
2	<i>Slight</i>	Kecelakaan terjadi, ringan, tidak ada korban
3	<i>Major Injury</i>	Kecelakaan terjadi, serius, tidak ada korban
4	<i>Single Fatality</i>	Kecelakaan serius, ada korban
5	<i>Multiple Fatality</i>	Kerusakan yang terjadi dalam skala parah, korban jiwa > 1

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek lingkungan (*Environment*) dijabarkan sebagai berikut:

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>1</b>	Dapat diabaikan	Tidak ada, kecil atau tidak signifikan pengaruh terhadap lingkungan

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>2</b>	Ringan	Kerusakan ringan, polusi yang ditimbulkan dapat dibersihkan segera atau bisa di dekomposisi oleh air laut.
<b>3</b>	Moderat	Polusi yang ditimbulkan ukuran sedang, polusi yang ditimbulkan membutuhkan waktu untuk bisa dibersihkan secara alami, atau bisa dibersihkan segera secara manual
<b>4</b>	Tingkat Tinggi	Kerusakaan yang terjadi cukup tinggi, polusi bisa dibersihkan secara manual dan membutuhkan waktu untuk bisa dibersihkan secara alami
<b>5</b>	Sangat Tinggi	Kerusakan yang terjadi dalam skala parah, polusi sangat besar dan mengganggu ekosistem, butuh waktu yang sangat panjang untuk di dekomposisi oleh alam.

Sementara skala untuk tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek bisnis/aset (*Business*) dijabarkan sebagai berikut:

<b>Tingkat Severity</b>	<b>Uraian</b>	<b>Definisi</b>
<b>1</b>	Dapat Diabaikan	Keparahan tidak membutuhkan perbaikan, tidak mempengaruhi operasi pipa
<b>2</b>	Ringan	Kerusakan ringan, reparasi dapat ditunda menunggu waktu <i>shutdown</i> dan dapat dibersihkan segera dengan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan dibawah 1 bulan.
<b>3</b>	Moderat	Kerusakan menyebabkan fasilitas yang terganggu dengan biaya perbaikan signifikan. Perbaikan memerlukan operasi bawah air yang tidak terjadwal dengan sistem perbaikan yang membutuhkan waktu 1-3 bulan.

<b>4</b>	Tingkat Tinggi	Kerusakan menyebabkan <i>shutdown</i> tanpa batas waktu tertentu, kerusakan signifikan, dibutuhkan perbaikan bawah air, dan pengaruh pada keseluruhan sistem produksi. Waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan 3 - 12 bulan.
<b>5</b>	Sangat Tinggi	Kerusakan dalam skala parah, kerugian sangat parah dan <i>shutdown</i> untuk waktu yang lama, 1-3 tahun.

1. Tingkat keparahan (*Severity*) dan kemungkinan (*Likelihood*) untuk aspek **Keselamatan** (*Safety*)

No	Risiko		Severity					Likelihood				
	Hazard	Penyebab	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif	V					V				
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik		V					V			
		Kegagalan <i>coating</i>			V					V		
		Korosi tanah			V					V		
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi		V						V		
		Cacat material		V				V				
		Cacat Pengelasan				V				V		
		Instalasi kurang baik			V						V	
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>				V		V				
		<i>Operation error</i>		V					V			
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>			V			V				
		Sabotase		V						V		
		Aktivitas Nelayan					V			V		
		<i>Dredging</i>			V					V		
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>			V						V	
		<i>Freespan</i> pada pipa			V						V	
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>		V						V		

2. Tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek **Lingkungan** (*Environment*)

No	Risiko		Severity				
	<i>Hazard</i>	Penyebab	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif	V				
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik					
		Kegagalan <i>coating</i>					V
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Korosi tanah		V			
		Cacat konstruksi				V	
		Cacat material		V			
		Cacat Pengelasan				V	
4	Operasi tidak benar	Instalasi kurang baik					V
		<i>Maintenance error</i>				V	
5	Gangguan pihak luar	<i>Operation error</i>				V	
		<i>Anchor hit</i>			V		
		Sabotase				V	
		Aktivitas Nelayan					V
6	<i>Fatigue</i>	<i>Dredging</i>		V			
		<i>Internal overpressure</i>			V		
7	Tersumbat	<i>Freespan</i> pada pipa		V			
		<i>Pigging Stuck</i>		V			

3. Tingkat keparahan (*Severity*) untuk aspek **Bisnis/Aset** (*Business*)

No	Risiko		Severity				
	<i>Hazard</i>	Penyebab	1	2	3	4	5
1	Korosi Internal	Fluida yang korosif		V			
2	Korosi Eksternal	Kegagalan proteksi katodik				V	
		Kegagalan <i>coating</i>					V
		Korosi tanah	V				
3	Cacat Pipa (Konstruksi)	Cacat konstruksi				V	
		Cacat material					V
		Cacat Pengelasan		V			
		Instalasi kurang baik				V	
4	Operasi tidak benar	<i>Maintenance error</i>				V	
		<i>Operation error</i>		V			
5	Gangguan pihak luar	<i>Anchor hit</i>					V
		Sabotase				V	
		Aktivitas Nelayan				V	
		<i>Dredging</i>		V			
6	<i>Fatigue</i>	<i>Internal overpressure</i>			V		
		<i>Freespan</i> pada pipa				V	
7	Tersumbat	<i>Pigging Stuck</i>		V			



## BIODATA PENULIS



Frankie Samuel Marcello, anak kedua dari empat bersaudara ini lahir di Jakarta pada tanggal 14 Agustus 1997. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDK 4 Penabur 2009 dan SMPK 5 Penabur pada tahun 2012. Kemudian menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah di SMA Kristen 7 Penabur pada tahun 2015. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan ke jenjang Pendidikan Tinggi Strata 1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menempuh masa perkuliahan penulis sempat aktif di organisasi kemahasiswaan dan kepanitiaan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif di *Society of Petroleum Engineers (SPE) ITS Student Chapter*, mulai dari menjadi Kepala Divisi Pelatihan pada tahun 2017-2018, hingga menjadi Wakil Ketua (*Vice President*) pada tahun 2018-2019. Penulis juga aktif dalam kepanitiaan, dipercayai menjadi Ketua lomba *Oil Rig Design Competition* pada PETROLLIDA 2018. Disamping organisasi dan kepanitiaan, penulis pernah menjuarai lomba selama masa perkuliahan, antara lain *1<sup>st</sup> of Business Case Competition* pada IPFEST 2019 di Institut Teknologi Bandung, 2019, *2<sup>nd</sup> Place of Oil Rig Design Competition* pada *Engineering Week* di UiTM Shah Alam tahun 2018 dan *Borneo Oil and Gas Symposium* yang diselenggarakan Curtins University pada tahun 2017. Penulis juga pernah berkesempatan untuk melaksanakan kerja praktik di PT. Pertamina divisi *Underwater Services* a selama 2 bulan. Selama masa studi, penulis sangat tertarik dengan bidang manajemen risiko dan *subsea engineering* sehingga dalam tugas akhir yang diambil berhubungan dengan manajemen risiko pada pipa bawah laut.