



**TUGAS AKHIR - MO 184804**

**ANALISIS RISIKO KETERLAMBATAN PROYEK INSTALASI**

**OFFSHORE PIPELINE :**

**STUDI KASUS PADA BLOK MAHAKAM**

**YOHANA SELLIABREINT SEMBIRING**

**NRP. 043116 40000 052**

**DOSEN PEMBIMBING :**

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

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

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2020**



**FINAL PROJECT - MO 184804**

**RISK ANALYSIS OF DELAY ON OFFSHORE PIPELINE  
INSTALLATION PROJECT :  
STUDY CASE AT MAHAKAM BLOCK**

**YOHANA SELLIABREINT SEMBIRING  
NRP. 043116 40000 052**

**SUPERVISOR**

**Prof. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M.RINA.  
Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2020**

**LEMBARAN PENGESAHAN**  
**ANALISIS RISIKO KETERLAMBATAN PROYEK INSTALASI**  
**OFFSHORE PIPELINE :**  
**STUDI KASUS PADA BLOK MAHAKAM**

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

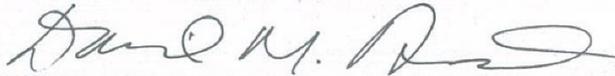
Oleh :

Yohana Selliabreint Br Sembiring    NRP. 0431164000052

Disetujui oleh :

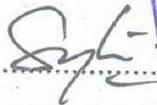
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D. M.RINA.

(Pembimbing 1)



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

(Pembimbing 2)





Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.

(Penguji 1)



Surabaya, Januari 2020

**ANALISIS RISIKO KETERLAMBATAN PROYEK INSTALASI  
OFFSHORE PIPELINE  
STUDI KASUS PADA BLOK MAHAKAM**

**Nama Mahasiswa : Yohana Selliabreint Br Sembiring**  
**NRP : 0431164000052**  
**Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M. RINA**  
**Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**ABSTRAK**

*Pipeline* atau pipa penyalur memiliki peranan penting dalam industri minyak dan gas untuk mentransfer minyak dan gas yang berhasil di eksplorasi menuju ke tempat pengolahan, salah satunya adalah pipeline milik PT. X yang berada di Blok Mahakam, Kalimantan Timur, Indonesia. Mengingat perannya yang begitu penting, tentu saja proses instalasi *pipeline* tidak boleh mengalami keterlambatan dan harus beroperasi sesuai target yang sudah direncanakan. Proyek instalasi *offshore pipeline* ini mengalami keterlambatan selama 21 hari. Proyek ini dikerjakan oleh kontraktor PT. K dan diawasi langsung oleh *supervisor* PT. X. Proyek ini mulai dikerjakan pada tanggal 05 Desember 2018 dan selesai pada tanggal 03 Februari 2019. Untuk menganalisis keterlambatan proyek, pada penelitian ini menggunakan 2 metode yang digabungkan yaitu metode *fuzzy trapezoidal* dan *bowtie analysis*. Dari hasil analisis *fuzzy* FTA didapatkan *probability of top event* keterlambatan proyek instalasi *offshore pipeline* sebesar 0.0426. Hasil diagram *fuzzy* ETA didapatkan besar risiko setiap *Output*. *Output* A dan B memiliki besar risiko *Low* sedangkan *Output* C, D, dan E memiliki besar risiko *Moderate*. Hasil dari diagram *bowtie analysis* akan ditentukan *preventif* yang berfungsi sebagai pencegahan dan mitigasi yang berfungsi sebagai pengurangan akibat keterlambatan yang dapat dilihat pada Gambar 4.20.

Kata Kunci: *fault tree analysis, event tree analysis, bow tie analysis, keterlambatan proyek, instalasi offshore pipeline, fuzzy trapezoidal.*

**RISK ANALYSIS OF DELAY ON OFFSHORE PIPELINE  
INSTALLATION  
STUDY CASE AT MAHAKAM BLOCK**

**Name : Yohana Selliabreint Br Sembiring**  
**NRP : 0431164000052**  
**Department : Ocean Engineering, Faculty of Marine Engineering, Sepuluh  
Nopember Institute of Technology**  
**Supervisors : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M. RINA  
Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**ABSTRACT**

Pipeline has an important role in oil and gas industry to transfer oil or gas that have been discovered to production station, one of which is pipeline system belong to PT. X located in Mahakam Block, East Borneo, Indonesia. Considering it's important role, pipeline installation can't experience delay and needs to operate as planned. This offshore pipeline installation experienced 21 days delay. This offshore pipeline installation project was done by PT. K as contractor and supervised directly by PT. X. This project started at December 5<sup>th</sup> 2018 and finished at February 3<sup>rd</sup> 2019. To analyze the delay of this project, this research uses 2 combine methods, which are fuzzy trapezoidal and bowtie analysis. The result of top event probability for the delay of offshore pipeline installation from fuzzy fault tree analysis (FTA) is 0.0426. The results of fuzzy event tree analysis (ETA) diagram shows that there are risks for each Output. Outputs A and B have a Low risk, while Output C, D, and E have a Moderate risk. The results from bowtie analysis will determine preventive value which will be used as precaution and mitigation which will be used as reduction due to delays shown in Figure 4.20.

Keywords: fuzzy fault tree analysis, fuzzy event tree analysis, bow tie analysis, project delay, offshore pipeline installation.

## **KATA PENGANTAR**

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas penyertaan-Nya penulis dapat menyelesaikan pengerjaan tugas akhir ini dengan lancar sesuai prosedur yang ditetapkan. Laporan penelitian tugas akhir ini berjudul “ANALISIS RISIKO KETERLAMBATAN PROYEK INSTALASI OFFSHORE PIPELINE: STUDI KASUS PADA BLOK MAHAKAM”.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menempuh gelar Sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini terdapat kekurangan, maka diharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata penulis berharap agar penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bermanfaat bagi perkembangan teknologi kelautan khususnya dibidang manajemen risiko.

Surabaya, Januari 2020

Yohana Selliabreint Br Sembiring

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pengerjaan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik atas bantuan pihak-pihak yang telah setia menemani penulis. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Tuhan Yesus yang telah memberkati penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan segala proses pengerjaan tugas akhir ini dengan baik.
2. Keluarga tercinta atas segala doa dan dukungan yang diberikan kepada penulis.
3. Bapak Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D, M.RINA, dan Ibu Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D, atas segala bimbingan serta ilmu yang diberikan.
4. Bapak Prof. Ir. Soegiono, Ibu Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T, Bapak. Raditya Danu, S.T., M.T, selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran pada tugas akhir penulis.
5. Bapak Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng, selaku dosen wali penulis yang telah memberikan dukungan selama penulis berkuliah.
6. Para anggota Gas Teros (Vanti, Inez, Daris, Nuyi, Biru, Yujow, dan Priska) yang telah menjadi sahabat terbaik dan teman di kala suka duka selama penulis berada di Surabaya.
7. Bagus, Jimmy dan Carlo yang selalu siap menjadi tempat berkeluh kesah dan menjadi teman yang paling pengertian untuk penulis.
8. Iko dan Olin teman seperjuangan dari Medan, terima kasih untuk semua cerita dan waktu yang diberikan.
9. Teman-teman bimbingan tugas akhir, yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah melewati proses pengerjaan tugas akhir, berjuang untuk lulus 3.5 tahun bersama dan berbagi ilmu.
10. Keluarga besar “Adhiwamastya” Teknik Kelautan 2016, terima kasih atas semua dukungan yang telah diberikan.
11. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah ikut membantu proses pengerjaan tugas akhir ini.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBARAN PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II .....	7
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	7
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Dasar Teori .....	9
2.2.1 <i>Pipeline</i> .....	9
2.2.2 Metode Instalasi <i>Offshore Pipeline</i> .....	10
2.2.3 Tahapan Instalasi <i>Offshore Pipeline</i> .....	11

2.2.4 <i>Above Water Tie-In</i> .....	14
2.2.5 Proyek .....	14
2.2.6 Manajemen Proyek .....	16
2.2.7 Risiko .....	17
2.2.8 Manajemen Risiko .....	19
2.2.9 Keterlambatan Proyek .....	20
2.2.10 <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA) .....	22
2.2.11 <i>Event Tree Analysis</i> (ETA) .....	25
2.2.12 <i>Bowtie Analysis</i> .....	27
2.2.13 <i>Fuzzy Analysis</i> .....	28
<b>BAB III</b> .....	<b>35</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>35</b>
3.1 Diagram Alir Metode Penelitian .....	35
3.2 Penjelasan Diagram Alir .....	37
<b>BAB IV</b> .....	<b>43</b>
<b>ANALISA DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>43</b>
4.1 Pengumpulan Data .....	43
4.2 Pengolahan dan Analisis Data .....	44
4.3 Pengolahan Data Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek Instalasi <i>Offshore Pipeline</i> Menggunakan <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA) dan <i>Fuzzy</i> <i>Trapezoidal</i> .....	45
4.3.1 Proses Instalasi <i>Pipeline</i> Terganggu .....	47
4.3.2 Manajemen Proyek Kurang Baik .....	53
4.3.3 Menghitung <i>Fuzzy Possibility</i> (FPs) .....	57
4.3.4 Mengubah <i>Fuzzy Possibility</i> (FPs) menjadi <i>Fuzzy Probability</i> (FPr) ..	65
4.3.5 Menentukan <i>Top Event Probability</i> .....	67
4.4 Pengolahan Data Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek Instalasi <i>Offshore Pipeline</i> Menggunakan <i>Event Tree Analysis</i> (FTA) dan <i>Fuzzy</i> <i>Trapezoidal</i> .....	68

4.5	Pengolahan Data Proyek Instalasi <i>Offshore Pipeline</i> dengan Metode <i>Bowtie Analysis</i> .....	82
BAB V	.....	89
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	89
5.1	Kesimpulan .....	89
5.2	Saran .....	90
DAFTAR PUSTAKA	.....	91
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Lokasi Sumur.....	2
Gambar 2.1 <i>Subsea Pipeline</i> .....	10
Gambar 2.2 Sasaran Proyek Yang Merupakan Tiga Kendala.....	15
Gambar 2.3 Pembatas - Pembatas Dalam Pelaksanaan Proyek .....	17
Gambar 2.4 Proses Manajemen Risiko .....	19
Gambar 2.5 Contoh Diagram Tingkatan <i>Basic Event</i> FTA .....	22
Gambar 2.6 Contoh Diagram Tingkatan <i>Undeloped Event</i> FTA .....	23
Gambar 2.7 Diagram <i>Event Tree Analysis</i> (ETA).....	26
Gambar 2.8 Diagram <i>Bow-tie</i> .....	28
Gambar 2.9 Bobot Ahli.....	32
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	36
Gambar 4.1 Diagram FTA Keterlambatan Proyek Instalasi <i>Offshore Pipeline</i> .....	46
Gambar 4.2 Diagram FTA Proses Instalasi <i>Pipeline</i> Terganggu .....	46
Gambar 4.3 Diagram FTA Manajemen Proyek Kurang Baik .....	47
Gambar 4.4 Diagram FTA Fasilitas Peralatan Tidak Memadai .....	48
Gambar 4.5 Diagram FTA Kondisi Lingkungan Kerja Kurang Mendukung .....	48
Gambar 4.6 Diagram FTA Penerimaan Material Terlambat .....	49
Gambar 4.7 Diagram FTA <i>Pipeline</i> dan <i>Pipeline Support</i> Terlambat .....	49
Gambar 4.8 Diagram FTA Fasilitas Pendukung Pekerjaan Terlambat .....	50
Gambar 4.9 Diagram FTA Hasil Pengerjaan Tidak Memenuhi <i>Standard</i> .....	50
Gambar 4.10 Diagram FTA Hasil Pengerjaan Kurang Maksimal.....	51
Gambar 4.11 Diagram FTA Keterbatasan pada Pekerja .....	51
Gambar 4.12 Diagram FTA Produktivitas pada Pekerja Tidak Maksimal .....	52
Gambar 4.13 Diagram FTA Pengaruh Internal .....	52
Gambar 4.14 Diagram FTA Pengaruh Eksternal .....	53
Gambar 4.15 Diagram FTA Manajemen Proyek Kurang Baik .....	54
Gambar 4.16 Hasil Minimal <i>Cut Set</i> dari Diagram <i>Fuzzy</i> FTA.....	67
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan <i>Probability</i> .....	68
Gambar 4.18 Diagram ETA Akibat Proyek Instalasi <i>Offshore Pipeline</i> Terlambat .....	70

Gambar 4.19 Diagram <i>Bowtie</i> .....	83
Gambar 4.20 Hasil Diagram <i>Bowtie Analysis</i> .....	84

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Spesifikasi <i>Pipeline</i> .....	1
Tabel 2.1 Istilah-Istilah dalam <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA) .....	23
Tabel 2.2 Skala <i>Fuzzy Likelihood of an Event</i> .....	29
Tabel 3.1 Skala <i>Fuzzy Number</i> untuk <i>Frequency</i> .....	39
Tabel 3.2 <i>Frequency Index</i> untuk <i>Risk Matrix</i> .....	39
Tabel 3.3 Skala <i>Severity Index</i> untuk <i>Risk Matrix</i> .....	40
Tabel 3.4 <i>Risk Matrix</i> .....	40
Tabel 4.1 Rencana dan Realisasi Proses Instalasi <i>Offshore Pipeline</i> .....	44
Tabel 4.2 <i>Basic event</i> dari diagram FTA .....	54
Tabel 4.3 Data Diri Responden .....	56
Tabel 4.4 Skala <i>fuzzy likelihood of an event</i> .....	56
Tabel 4.5 Hasil Kuisisioner dengan Responden .....	58
Tabel 4.6 Pembobotan Responden.....	61
Tabel 4.7 Responden Basic Event A111 .....	62
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan <i>Fuzzy Possibility</i> (FPs).....	64
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan <i>Fuzzy Probability</i> (FPr) .....	66
Tabel 4.10 Hasil Kuisisioner dari Responden ETA .....	73
Tabel 4.11 Responden untuk Fasilitas Transportasi Tersedia .....	74
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan <i>Fuzzy Possibility</i> (FPs) .....	75
Tabel 4.13 Hasil keseluruhan <i>Output Event</i> .....	78
Tabel 4.14 <i>Frequency Index</i> (FI) untuk <i>Risk Matrix</i> .....	78
Tabel 4.15 <i>Severity Index</i> (SI) untuk <i>Risk Matrix</i> .....	79
Tabel 4.16 Hasil Wawancara dan Kuisisioner dari Responden .....	79
Tabel 4.17 <i>Risk Matrix</i> .....	80
Tabel 4.18 Hasil Risiko Keterlambatan Proyek Instalasi <i>Offshore Pipeline</i> .....	81
Tabel 4.19 Hasil perhitungan <i>Risk Matrix</i> .....	82
Tabel 4.20 Penjelasan <i>Threat</i> pada Diagram <i>Bowtie</i> .....	85
Tabel 4.20 Penjelasan <i>Consequences</i> pada Diagram <i>Bowtie</i> .....	86

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A .....	Kuisisioner pengukuran <i>probability</i> FTA
LAMPIRAN B .....	Kuisisioner pengukuran <i>probability</i> ETA
LAMPIRAN C .....	Hasil Analisis FFTA
LAMPIRAN D .....	Hasil Analisis FETA

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Di era modern ini kebutuhan akan minyak dan gas terus mengalami peningkatan, untuk dapat mencukupi permintaan konsumen akan hal tersebut, perusahaan minyak dan gas terus melakukan optimasi dalam proses produksi maupun distribusi. *Pipeline* mengambil peran penting sebagai pipa penyalur hasil minyak mentah yang berhasil di eksplorasi menuju tempat pengolahan untuk menghasilkan minyak dan gas yang siap di distribusikan dan digunakan konsumen di pasar.

Keterlambatan dalam proses instalasi pipeline tentunya akan mengakibatkan keterlambatan dalam proses produksi minyak dan gas, dan menyebabkan kerugian terhadap perusahaan. Tugas akhir ini akan membahas mengenai keterlambatan instalasi *pipeline* milik PT. X yang berada di daerah Kalimantan Timur, Indonesia.

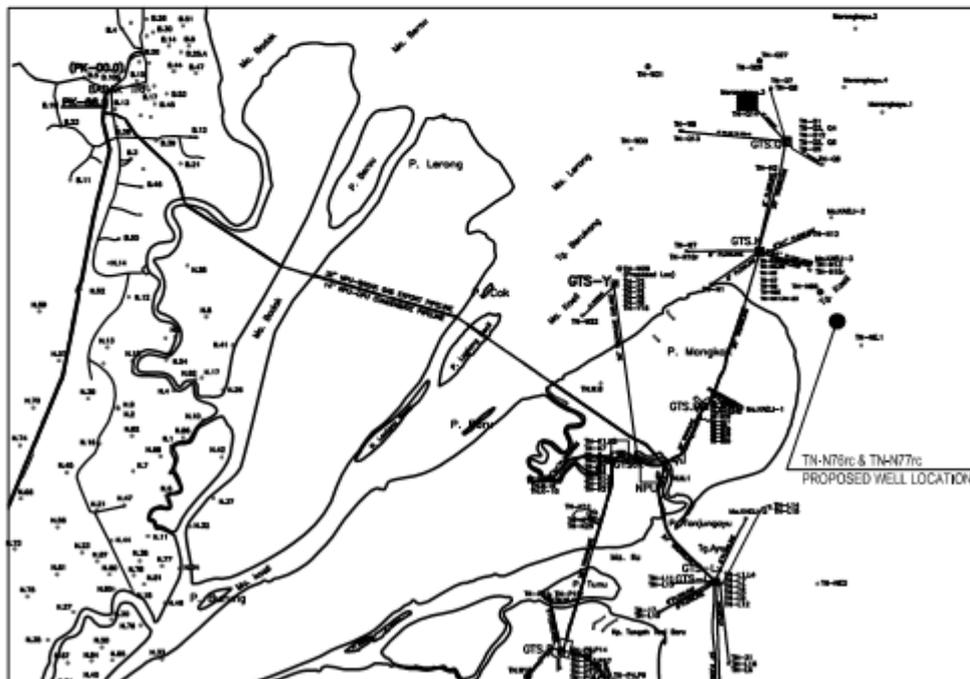
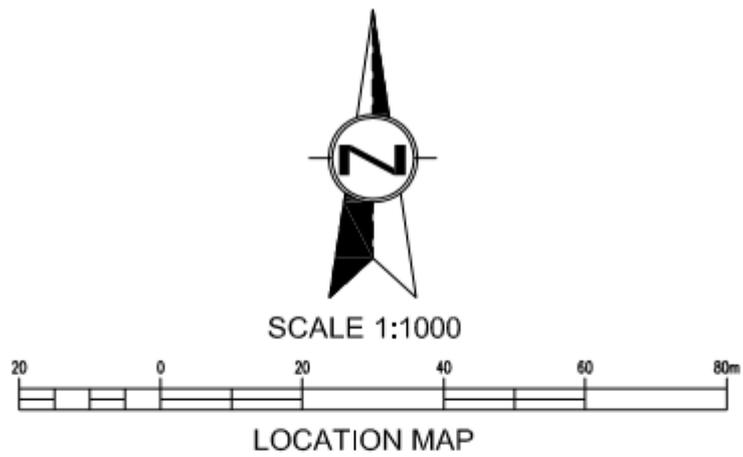
Pada tahun 2018 PT.X berhasil menemukan cadangan reservoir baru pada sumur W. Hasil minyak mentah dari sumur ini akan disalurkan menggunakan *pipeline* sepanjang 0.8 km menuju sumur yang telah ada sebelumnya, yaitu sumur T. Kemudian minyak mentah tersebut akan dikirimkan menuju *N Gathering Terminal Station* (GTS) untuk diolah menjadi minyak dan gas yang siap digunakan. Proyek instalasi *pipeline* ini dikerjakan oleh PT. K sebagai kontraktor dan diawasi langsung oleh *supervisor* PT.X sebagai *owner*. Dibawah ini merupakan data spesifikasi dari *pipeline* yang tertera pada Tabel 1.1 serta gambar peta lokasi sumur yang ditunjukkan pada Gambar 1.1.

**Tabel 1.1** Data Spesifikasi *Pipeline*

<i>Pipeline</i>	Keterangan
Material pipa	API 5L X65
Diameter luar pipa	8.625in

**Tabel 1.1** Data Spesifikasi *Pipeline* (Lanjutan)

Jarak bentangan pipa	800m
Ketebalan pipa	20.6 mm
Referensi	ASME B31.8 / API RP 1111
Kedalaman <i>trenching</i>	2m (dibawah <i>seabed</i> )
Tekanan desain	$3 \times 10^{-3}$ Pa
Sambungan pipa	12 m
Metode fabrikasi	<i>Seamless</i>



**Gambar 1. 1** Peta Lokasi Sumur

Proyek instalasi *pipeline* ini memiliki kontrak pengerjaan dari tanggal 05 Desember 2018 dan sesuai kontrak yang telah disepakati untuk pengerjaan instalasi *pipeline* membutuhkan waktu selama 40 hari, maka dari itu seharusnya proyek instalasi *pipeline* ini selesai pada 13 Januari 2019. Namun dalam pelaksanaannya mengalami keterlambatan selama 21 hari sehingga proyek instalasi *pipeline* selesai pada tanggal 03 Februari 2019.

Suatu proyek umumnya mempunyai sistem manajemen pelaksanaan proyek. Manajemen proyek merupakan aplikasi pengetahuan, keterampilan, alat dan teknik dalam aktifitas-aktifitas proyek untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan proyek (PMBOK,2004). Manajemen proyek merupakan masalah yang penting untuk mencapai keberhasilan suatu proyek. Dengan penerapan manajemen proyek secara benar, maka pekerjaan-pekerjaan tertentu akan lebih efisien dan efektif (Santosa, 2009). Untuk mendapatkan hasil yang optimal tentunya diperlukan hubungan kerjasama yang baik antara pemilik proyek (*owner*), konsultan, dan kontraktor. Pemilik proyek tentunya menginginkan pelaksanaan proyek berjalan dengan lancar sesuai dengan waktu yang ditentukan di dalam jadwal yang sudah di rencanakan.

Proyek memiliki batas waktu di mana proyek harus diselesaikan sebelum atau tepat pada waktu yang telah ditentukan. Namun pada kenyataan di lapangan, suatu proyek sering kali dibatasi oleh kendala-kendala yang menyebabkan proyek tidak berjalan sesuai waktu yang ditetapkan dan mengalami keterlambatan.

Keterlambatan proyek umumnya terjadi karena adanya kendala-kendala yang dapat ditemui seperti kondisi cuaca yang tidak mendukung, keterlambatan pengadaan (*procurement*), adanya kesalahan atau perubahan pada perencanaan, kurangnya pengawasan terhadap para pekerja sehingga terjadi kesalahan-kesalahan oleh pekerja, atau adanya peraturan-peraturan pemerintah lainnya (Barihazim, 2018). Keterlambatan proyek akan membawa kerugian karena pemilik akan mengalami pengurangan pemasukan karena penundaan pengoperasian fasilitas. Sedangkan bagi kontraktor, kerugian timbul karena adanya denda ataupun pinalti dan penambahan biaya pengerjaan proyek (Muhamad, 2016).

Untuk mengurangi kemungkinan keterlambatan proyek pada instalasi *pipeline* di waktu yang akan datang diperlukan adanya analisis keterlambatan proyek. Tugas akhir ini akan meneliti mengenai penyebab keterlambatan serta konsekuensi yang timbul akibat keterlambatan proyek instalasi *pipeline* di PT. X sehingga dapat ditentukan upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah penyebab keterlambatan. Metode yang digunakan adalah *Fuzzy Logic* dan *Bowtie Analysis*.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Beberapa rumusan masalah yang menjadi kajian dalam tugas akhir ini antara lain:

1. Apa faktor penyebab keterlambatan paling dominan pada proyek instalasi *pipeline*?
2. Berapa besar risiko keterlambatan pada proyek instalasi *pipeline*?
3. Apa saja upaya untuk mencegah keterlambatan pada proyek instalasi *pipeline*?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Beberapa poin yang menjadi tujuan penulis dari penelitian dalam Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Mengetahui faktor penyebab keterlambatan paling dominan pada proyek instalasi *pipeline*.
2. Mengetahui besar risiko keterlambatan pada proyek instalasi *pipeline*.
3. Mengetahui upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah keterlambatan pada proyek instalasi *pipeline*.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui penyebab keterlambatan pada proyek instalasi *pipeline*.
2. Mengetahui upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah keterlambatan proyek instalasi *pipeline*.
3. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan bidang manajemen risiko.

4. Sebagai bahan evaluasi untuk proyek instalasi *pipeline* di PT. X selanjutnya.

### **1.5 Batasan Masalah**

Untuk memfokuskan ruang lingkup permasalahan dalam Tugas Akhir ini, maka beberapa batasan masalah yang digunakan adalah :

1. Objek dalam penelitian adalah *well connection* sepanjang 0.8km di perairan Tunu, Kalimantan Timur, Indonesia.
2. Penelitian berfokus pada proses instalasi *pipeline* (*pipelaying* hingga *hydrotest*).
3. Penelitian dilakukan dari sisi kontraktor.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Bab I : Pendahuluan, menjelaskan mengenai latar belakang masalah yang diangkat dalam tugas akhir, perumusan masalah, tujuan yang akan dicapai, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir.

Bab II : Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori, terdiri dari tinjauan pustaka yang berisikan penelitian yang dipakai sebagai referensi dan acuan dalam penulisan tugas akhir dan penjelasan mengenai dasar teori yang dipakai dalam penulisan.

Bab III : Metodologi Penelitian, menjelaskan mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Bab IV : Analisis Data dan Pembahasan, menjelaskan mengenai pembahasan permasalahan, pengidentifikasian masalah, dan menganalisis data berdasarkan pengumpulan data sehingga menjadi hasil yang diharapkan dari penelitian tugas akhir ini.

Bab V : Kesimpulan dan Saran, berisikan hasil analisis yang dilakukan yang dibuat berdasarkan hasil pengolahan data serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Proyek didefinisikan sebagai sebuah rangkaian aktifitas unik yang saling terkait untuk mencapai suatu hasil tertentu dan dilakukan dalam periode waktu tertentu pula. Namun dalam penyelesaian proyek, seringkali dijumpai berbagai hambatan yang dapat menyebabkan penyelesaian terlambat. Keterlambatan penyelesaian proyek tentu akan memberi dampak buruk baik kepada kontraktor maupun pemilik proyek. Untuk itu perlu dilakukan analisis mengenai keterlambatan untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan dari segi biaya, waktu, dan performansi serta upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya keterlambatan pada proyek-proyek yang selanjutnya. Seperti pada penelitian yang dilakukan Muhamad (2016) yang berjudul “Analisa Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek *Topside Platform* PT. XYZ”, penelitian tersebut menggunakan uji *chi-square* untuk mencari faktor-faktor penyebab keterlambatan dan pengaruhnya terhadap keterlambatan yang terjadi.

Penelitian mengenai analisis keterlambatan juga dilakukan oleh Saputra (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisa Faktor Penyebab Keterlambatan Penyelesaian Proyek Pembangunan Mall ABC”. Metode yang dipakai dalam menganalisa data penyebab keterlambatan pada proyek ini adalah *house of risk* (HOR) dan didapatkan 5 *delay event* dan 13 *delay agent*. Kemudian untuk mencari 3 masalah utama yang menyebabkan keterlambatan pada proyek menggunakan nilai *aggregat delay potensial* (ADP). Masalah utama pada proyek adalah adanya perubahan gambar, kurang koordinasi oleh *owner*, dan adanya penambahan lingkup kerja.

Penelitian lain juga dilakukan Redana (2016) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisa Keterlambatan pada Proyek Pembangunan *Jacket Structure*”, penelitian tersebut menggunakan metode *fault tree analysis* (FTA) untuk mencari hasil total kejadian *top event*. Kemudian mencari dampak yang ditimbulkan dari kejadian-kejadian penyebab keterlambatan menggunakan *event tree analysis*

(ETA). Setelah itu menggunakan metode bow-tie analysis dalam bentuk *barrier* untuk mendapat tindakan pencegahan ancaman dari hasil metode FTA dan tindakan pemulihan atau pengurangan konsekuensi dari hasil metode ETA.

Penelitian menggunakan *bow-tie analysis* juga dilakukan oleh Santoso (2015) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisa Keterlambatan Proyek Menggunakan Metode *Bowtie Analysis* pada *Pressure Part HRSG (Heat Recovery System Generator)*”. Penelitian tersebut menggunakan *software* DPL 6.0 untuk mencari probabilitas dari faktor penyebab keterlambatan. Nilai *event tree analysis* (ETA) merupakan nilai dari kejadian awal yang didapat dari probabilitas total FTA. Kemudian mencari *barrier* menggunakan metode *bow tie analysis*.

Kurniawan (2015) dalam penelitiannya yang berjudul “Studi Keterlambatan Proyek Pembangunan Kapal Kargo dengan Metode *Bowtie Analysis*”, juga menggunakan *bowtie analysis* untuk mencari penyebab keterlambatan dan dampak yang ditimbulkan serta upaya pencegahan keterlambatan pada proyek pembangunan kapal kargo. Penelitian tersebut menggunakan *software* 6.0 DPL *fault tree demo* untuk mencari probabilitas dari *top event* yang didapat dari metode *fault tree analysis* (FTA). Kemudian menentukan *initiating event* serta *pivotal event* menggunakan metode *event tree analysis* (ETA). Setelah itu penelitian tersebut diakhiri dengan penentuan *barrier* dengan *bow-tie analysis*.

Dalam metode *bowtie analysis*, *top event* dari *fault tree analysis* (FTA) dihubungkan dengan *initiating event* dari *event tree analysis* (ETA) dalam diagram berbentuk seperti dasi kupu-kupu. Metode *bowtie* akan dianggap sebagai lensa untuk fokus terhadap penyebab keterlambatan dan memproyeksikannya kedalam konsekuensi yang terjadi akibat keterlambatan (Mokhtari et al, 2011). Namun pada metode *bowtie analysis* terdapat kelemahan dalam perhitungan resiko dari *top event*, *fuzzy logic* dapat digunakan untuk mengatasi kelemahan tersebut. *Fuzzy logic* dapat digunakan untuk membuat model matematis dari masalah nyata, metode ini dapat mengatasi ketidakpastian, ketidaktepatan, dan kesubjektifan karena kurangnya informasi.

Terdapat beberapa penelitian yang menggunakan metode *fuzzy logic*, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Pangestu (2019) yang berjudul “Analisis Resiko Keterlambatan Proyek Perbaikan Kapal Penumpang”. Penelitian tersebut menggunakan *fuzzy* FTA untuk mencari hasil total peluang kejadian *top event* keterlambatan proyek. Peneliti juga menggunakan *fuzzy* ETA untuk mendapatkan hasil kapal penumpang selesai diperbaiki namun mengalami keterlambatan berkisar 1-14 hari serta beberapa konsekuensi yang memiliki level resiko. Setelah itu mencari pencegahan atau pengurangan akibat keterlambatan dengan metode *bowtie analysis*.

Pratiwi (2019) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Resiko Keterlambatan Proyek Pembangunan Kapal Penumpang 2000 GT”, menggunakan *fuzzy* FTA untuk mencari penyebab keterlambatan proyek. Kemudian menggunakan metode *what-if analysis* untuk memberikan rekomendasi preventif, untuk mengurangi resiko pada keterlambatan proyek pembangunan kapal.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Mokthari *et al* (2011), yang membahas mengenai manajemen resiko terhadap terminal pelabuhan laut dan *offshore* dengan menggunakan *fuzzy fault tree analysis* (FTA) dan juga menentukan possibility konsekuensi dari resiko tersebut menggunakan *fuzzy event tree analysis* (ETA).

Dalam tugas akhir ini penulis menggunakan metode *fuzzy bowtie analysis* untuk menyelesaikan analisis resiko keterlambatan proyek instalasi *offshore pipeline* milik PT. X.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Pipeline**

*Pipeline* yang dalam bahasa Indonesia diistilahkan sebagai pipa penyalur, secara umum definisinya adalah bentangan jalur pipa yang terdiri dari bentangan-bentangan pipa yang disambung dan berfungsi untuk mengalirkan fluida baik cair maupun gas dari satu lokasi ke lokasi lain (ASME B31.8, 2017). Sedangkan *line pipe* adalah setiap batang individu pipa dan merupakan elemen dasar dari *pipeline*.



**Gambar 2.1** *Subsea Pipeline*

*Pipeline* merupakan suatu media transportasi fluida yang banyak digunakan, khususnya di daerah lepas pantai. *Pipeline* mampu bekerja 24 jam sehari, umur pipa bisa mencapai 30 tahun bahkan lebih.

Terdapat perbedaan antara *pipeline* (pipa penyalur) dan *line pipe* (batangan pipa). *Pipeline* ditinjau dari beberapa aspek pengelompokannya terdiri dari:

- Dari sisi jalur geografis ada pipa penyalur darat dan pipa penyalur laut (*offshore pipeline* atau *submarine pipeline*).
- Dari segi material berupa baja, *stainless steel*, *duplex*, ataupun bahan polimer seperti polyethylene dan polypropylene.
- Dari sistem jaringan secara garis besar ada pipa air sumur (*wellhead line*), pipa transmisi (*transmission line*) dan pipa distribusi (*distribution line*).

### **2.2.2 Metode Instalasi *Offshore Pipeline***

Instalasi pipa laut biasanya dilakukan dengan *lay barge* yang memiliki *stinger* dan *crane*. Ada beberapa metode untuk melaksanakan pemasangan pipa bawah laut, metode yang paling sering dipakai yaitu *S-lay*, *J-lay*, dan *reeling*. Namun untuk instalasi *offshore pipeline* milik PT. X, proses pengerjaannya menggunakan metode *S-lay* karena perairan masih dalam *range* kedalaman dangkal (2 meter).

Metode *S-lay* merupakan metode yang paling sering digunakan untuk perairan kedalaman dangkal hingga sedang. Selama proses instalasi, *crane* yang ditempatkan di atas *lay barge* digunakan untuk memindahkan segmen-segmen pipa, dengan panjang sekitar 12 m ke bagian *weld station* (Safri,2018). Setelah proses fit-up, *welding* dan serangkaian kegiatan di *firing line* selesai, *pipeline* segera di turunkan ke dasar laut menggunakan *stinger* yang berada di ujung *lay barge*.

### **2.2.3 Tahapan Instalasi Offshore Pipeline**

Dengan meningkatnya jumlah pembangunan *platform* lepas pantai, maka bertambah pula jumlah pemasangan *pipeline* sebagai media transportasi fluidanya. *Offshore pipeline* yang digunakan memiliki kekuatan material yang berbeda-beda sesuai dengan permintaan *owner*.

Sebelum masuk ke dalam proses instalasi *offshore pipeline*, harus dipahami terlebih dahulu mengenai profil kedalaman air laut, menurut Adripta (2010) profil kedalaman air laut terbagi atas:

1. Perairan dangkal pada kedalaman 0-500 ft.
2. Perairan menengah diasumsikan berada pada kedalaman 500-1000 ft.
3. Perairan dalam diasumsikan berada pada kedalaman diatas 1000 ft.

Tahapan dalam proses instalasi *offshore pipeline*, yaitu:

1. *Geo Survey*

Kegiatan ini dilakukan oleh insinyur geoteknik atau ahli geologi teknik untuk mendapatkan informasi mengenai kontur tanah dasar laut dan batuan di sekitar lokasi untuk perancangan pondasi struktur pipeline yang akan dikerjakan.

2. *Work Permit*

Kegiatan untuk mengurus seluruh izin yang terkait dengan pengerjaan pembangunan proyek. Beberapa diantaranya seperti izin masuk dan kerja kapal ke lokasi proyek.

3. *Procurement and Fabrication*

Kegiatan membeli dan menerima barang atau jasa. Proses ini dimulai dari persiapan barang atau jasa apa yang ingin dibeli/disewa hingga persetujuan untuk melakukan pembayaran ke pihak ketiga. Setelah proses procurement selesai, maka dapat dimulai proses Fabrikasi. Fabrikasi merupakan proses perakitan suatu bahan utama yang akan digunakan dalam suatu proyek. Di dalam penelitian ini yang digunakan adalah pipa dengan grade material X65.

#### 4. Detail *engineering for Installation Pipeline*

Kegiatan perencanaan secara mendetail dalam bentuk proposal teknis yang meliputi daftar keseluruhan pelaksanaan pekerjaan proyek di lapangan. Aktivasinya meliputi perencanaan teknis, pelaksanaan, dan prosedur pelaksanaan teknis.

#### 5. Proses Instalasi

##### a. Tahap Persiapan

- *Mobilization*

Merupakan proses pemasangan seluruh peralatan yang dibutuhkan oleh *lay barge* yang sebelumnya telah dipersiapkan digudang penyimpanan. Setelah semua peralatan berat siap barulah perjalanan menuju titik instalasi dilakukan.

##### b. Instalasi *Pipeline*

- *Initiation dan Laying*

*Pipeline initiation* merupakan bagian awal untuk memulai pemasangan *pipeline*. Tahap awal dilakukan positioning barge dengan anchoring job. Proses anchoring job merupakan proses penempatan posisi jangkar dibawah laut, penempatan ini mengacu pada dokumen anchor pattern yang telah dibuat. Jangkar yang telah ditempatkan tersambung dengan *wire* dari *pipelaying barge*, barge akan bergerak saat *wire* ini digulung. *Pipeline* yang akan di *laying* harus sudah melewati proses di *firing line* (*fit-up*, las, *non destructive test*, *field joint coating*, dll), kemudian barge bergerak maju dan *pipeline* di turunkan ke dasar laut. *Pipelaying* sendiri adalah proses penurunan *pipeline* yang telah keluar dari *firing line* dan siap di lonjorkan menuju dasar laut.

- *Subsea Tie-In*  
Merupakan proses penyambungan ujung *pipeline* terhadap ujung *riser*. Proses detailnya adalah sebagai berikut:
  - i. Setelah proses *pipelaying*, pipa di *abandon* (diselesaikan dan ditinggal di ujungnya), masih belum tersambung dengan pipa *riser*.
  - ii. *Dog leg pipeline* adalah bagian dari pipa untuk menyambung antar ujung *pipeline* dengan ujung pipa *riser*.
  - iii. *Pipeline, dog leg, dan riser* disambung dengan proses *welding*.
  - iv. Untuk menghubungkan *riser* dengan *valve* yang berada di *platform* menggunakan *aerial pipeline*.
  - v. *Riser dan aerial pipe* dihubungkan dengan proses *welding*.
- c. *Precommisioning*  
Merupakan proses pengujian pada *pipeline* yang telah diletakkan di dasar laut. Kegiatannya meliputi:
  - *Pembersihan bagian dalam pipa (Pigging)*  
Pada kegiatan ini dilakukan pembersihan bagian dalam *pipeline* dari *slack* akibat pengelasan. Pembersihan ini menggunakan *foam pigging* dan *brush pigging*.
  - *Gauging Pigs*  
Pada kegiatan ini dilakukan pengecekan terhadap *pipeline* apakah setelah di instal terjadi *buckling* atau tidak. Pengecekan dilakukan dengan memasukkan lempengan pipa berbentuk semacam cincin kemudian dijalankan sepanjang *pipeline*, sama seperti *pigging*. Jika terdapat *buckling*, plat aluminium pada *gauging plate* akan mengalami kecacatan.
  - *Flooding dan Hydrotest*  
*Flooding* adalah proses pengisian *pipeline* dengan air laut yang bertujuan untuk membersihkan bagian dalam *pipeline*. Selanjutnya kedua ujung *pipeline* diberi *valve*. Kemudian air yang sudah dimasukkan diberi tekanan sesuai tekanan desain dari *pipeline* untuk mengecek apakah pipa mengalami kebocoran atau tidak.
  - *Dewatering*

Merupakan proses pengeluaran air yang sudah dimasukkan ke dalam *pipeline* hingga habis dan bersih. Kemudian *pipeline* akan mengalami proses pengelapan bagian dalam. Proses pengelapan ini disebut *swabbing*.

- Nitrogen *Purging*

Proses ini bertujuan untuk membuang atau mengeluarkan kadar oksigen dari dalam *pipeline* untuk mencegah kebakaran.

d. *Demobilisation*

Merupakan proses pemindahan seluruh peralatan yang telah digunakan dan *barge* yang digunakan menuju yard kontraktor.

#### **2.2.4 Above Water Tie-In**

*Above water tie-in* adalah proses penyambungan *offshore pipeline* yang diimplementasikan untuk proyek reparasi apabila mengalami kebocoran pada *existing pipeline*. Prosesnya dimulai dengan pengangkatan *offshore pipeline* dari dasar laut ke permukaan menggunakan alat bernama davit *lifting*. Setelah *pipeline* diangkat barulah dilaksanakan proses *cutting*, *fit up*, *welding*, dan *lowering pipeline* kembali ke dasar laut. Terdapat proses tambahan yaitu *pipeline contingency* yang bertujuan untuk mengecek hasil penyambungan *offshore pipeline* yang telah dilakukan di atas permukaan air laut.

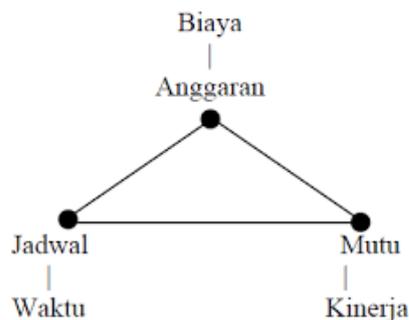
Untuk proses *above water tie in* menggunakan peralatan yang sama dengan proses *laying pipeline*, davit *lifting* juga biasanya sudah disediakan di atas kapal *lay barge*. Namun harus dilakukan sedikit modifikasi pada *lay barge* dengan penambahan titik lokasi proses pemotongan dan penyambungan *pipeline* di samping *lay barge*.

#### **2.2.5 Proyek**

Menurut Safri (2018) proyek merupakan suatu gambaran kerja untuk menyelesaikan suatu tugas untuk mencapai target yang diinginkan. Proyek pada umumnya juga dapat disebut perjanjian dua belah pihak untuk menyelesaikan sesuatu dengan sebuah imbalan. Proyek merupakan suatu tugas yang perlu dirumuskan untuk mencapai sasaran yang dinyatakan secara kongkrit serta harus

diselesaikan dalam suatu periode tertentu dengan menggunakan tenaga manusia dan alat-alat yang berbeda dari yang biasanya digunakan.

Di dalam proses mencapai tujuan, ada batasan yang harus dipenuhi yaitu besar biaya (anggaran) yang harus dialokasikan, jadwal, serta mutu yang harus dipenuhi. Ketiga hal tersebut merupakan parameter penting bagi penyelenggara proyek yang sering diasosiasikan sebagai sasaran proyek. Ketiga batasan di atas disebut tiga kendala (*triple constraint*) (Soeharto, 1995).



**Gambar 2.2** Sasaran Proyek Yang Merupakan Tiga Kendala (Soeharto, 1995)

Menurut PMBOK Guide (2004) sebuah proyek memiliki beberapa karakteristik penting yang terkandung di dalamnya, yaitu :

- Sementara (*temporary*), berarti setiap proyek memiliki jadwal yang jelas mengenai kapan proyek dimulai dan kapan diselesaikan. Proyek akan berakhir ketika tujuannya sudah tercapai.
- Unik, berarti setiap proyek menghasilkan suatu produk, solusi, *service*, atau *output* tertentu yang berbeda-beda satu dan lainnya.
- *Progressive elaboration* adalah karakteristik proyek yang berhubungan dengan dua konsep sebelumnya. Setiap proyek terdiri dari langkah-langkah yang terus berkembang dan berlanjut sampai proyek berakhir. Setiap langkah semakin memperjelas tujuan proyek.

Menurut PMBOK (2008), sebuah proyek dapat menciptakan :

- Sebuah produk yang bisa berupa komponen item lain atau item itu sendiri.
- Kemampuan untuk melakukan sebuah layanan

- Sebuah hasil ataupun dokumen.

### 2.2.6 Manajemen Proyek

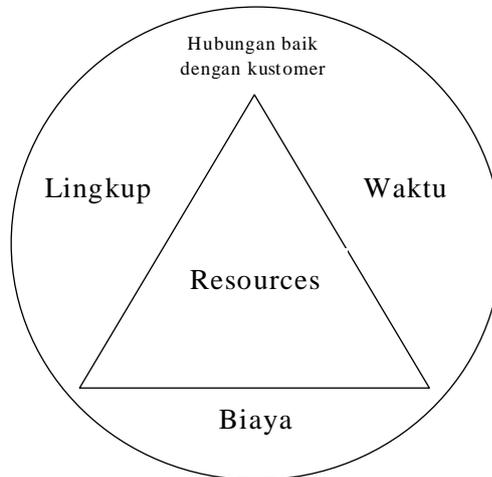
Manajemen proyek merupakan aplikasi pengetahuan, keterampilan, dan teknik dalam aktifitas-aktifitas proyek untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan proyek (PMBOK, 2008). Manajemen proyek merupakan kegiatan merencanakan, menyusun organisasi, memimpin, dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan. Manajemen proyek terdiri dari 5 tahapan utama yaitu *initiating, planning, executing, monitoring and controlling*, serta *closing*. Konsep manajemen proyek diidentifikasi sebagai berikut :

1. Proyek merupakan suatu kegiatan yang sifatnya sementara dengan tujuan tertentu memanfaatkan sumber daya yang ada.
2. Manajemen proyek adalah proses pencapaian tujuan proyek dalam suatu wadah tertentu.
3. Manajemen proyek meliputi langkah-langkah perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, dan penyelesaian proyek.
4. Kendala/hambatan proyek adalah spesifikasi kerja, jadwal waktu, dan dana.
5. Bentuk organisasi yang dimaksud dalam manajemen proyek adalah organisasi fungsional, koordinator, dan tugas.

Menurut Santosa (2009) dalam bukunya yang berjudul “ Manajemen Proyek”, sebuah proyek dapat dikatakan berhasil jika memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- Dalam waktu yang dialokasikan
- Dalam biaya yang dianggarkan
- Pada performansi atau spesifikasi yang ditentukan
- Diterima *customer*
- Dengan perubahan minimum pekerjaan yang disetujui
- Tanpa mengganggu aliran pekerjaan utama organisasi
- Tanpa merubah budaya (positif) perusahaan.

Dalam mencapai tujuan sebuah proyek, perlu diperhatikan mengenai batasan waktu, biaya, dan lingkup pekerjaan dengan memanfaatkan *resources* yang dimiliki. Pembatas dalam pelaksanaan proyek dapat dilihat dalam Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Pembatas - Pembatas Dalam Pelaksanaan Proyek  
( Santosa, 2009)

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa manajemen proyek umumnya berkonstentrasi pada masalah waktu dan biaya, bagaimana agar proyek dapat terlaksana tepat waktu dan sesuai dengan rencana awal.

### 2.2.7 Risiko

Risiko merupakan kondisi yang tidak pasti, yang bila terjadi akan memberikan efek terhadap proyek tersebut. Objektif risiko mencakup schedule, biaya, dan kualitas. Penyebab risiko dapat berupa kebutuhan, asumsi, paksaan, ataupun kondisi lain yang memberikan dampak terhadap suatu proyek (PMBOK, 2008). Menurut Santosa (2009) dalam bukunya yang berjudul “Manajemen Proyek”, risiko merupakan kombinasi dari probabilitas suatu kejadian dan konsekuensi dari kejadian tersebut, dengan tidak menutup kemungkinan bahwa ada lebih dari satu konsekuensi untuk satu kejadian, dan konsekuensi bisa merupakan hal positif dan negatif.

Risiko umumnya dipandang sebagai sesuatu yang negatif. Risiko juga dapat didefinisikan sebagai suatu kesempatan, dalam terminologi kuantitatif, dari suatu kejadian bahaya yang di definisikan (Kerzner, 2003). Terminologi kuantitatif

yang dimaksud didapat dari pengukuran probabilitas terjadinya suatu kejadian dan dikombinasikan dengan pengukuran konsekuensi dari kejadian tersebut, atau secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$\text{Risk exposure} = \text{risk likelihood} \times \text{risk impact}$$

Dimana :

*Risk exposure* = Tingkat kepentingan resiko

*Risk likelihood* = probabilitas terjadinya resiko

*Risk Impact* = Dampak yang akan terjadi jika resiko tersebut terjadi.

Menurut Alsan (2014), penentuan identifikasi resiko dibantu dengan *tools* dan *techniques* antara lain :

- *Brainstorming*  
Untuk mendapatkan daftar yang komprehensif dan risiko proyek. *Brainstorming* dilakukan dengan cara mengundang beberapa orang dalam suatu ruangan untuk berbagi ide tentang resiko proyek dengan satu orang yang memimpin.
- *Delphi Technique*  
Dilakukan dengan cara mencapai konsensus para ahli tanpa nama dengan membagikan suatu kuisisioner untuk mendapatkan ide resiko yang dominan pada proyek. Respon yang ada diringkas untuk mengalami beberapa kali putaran proses. Proses ini sangat membantu mengurangi bias pada data dan menjaga adanya pendapat yang tidak semestinya.
- *Interviewing*  
Merupakan wawancara identifikasi risiko proyek. Dilakukan terhadap anggota tim proyek dan *stakeholder* lainnya yang telah berpengalaman dalam mengidentifikasi risiko proyek.
- *Root Cause Identification*  
Teknik ini dilakukan untuk mengetahui penyebab risiko yang esensial, dan yang akan mempertajam definisi risiko, kemudian dibuat kedalam grup diklasifikasikan berdasarkan penyebab.

- *Strength, Weakness, Oppurtunities, Threats (SWOT) Analysis*

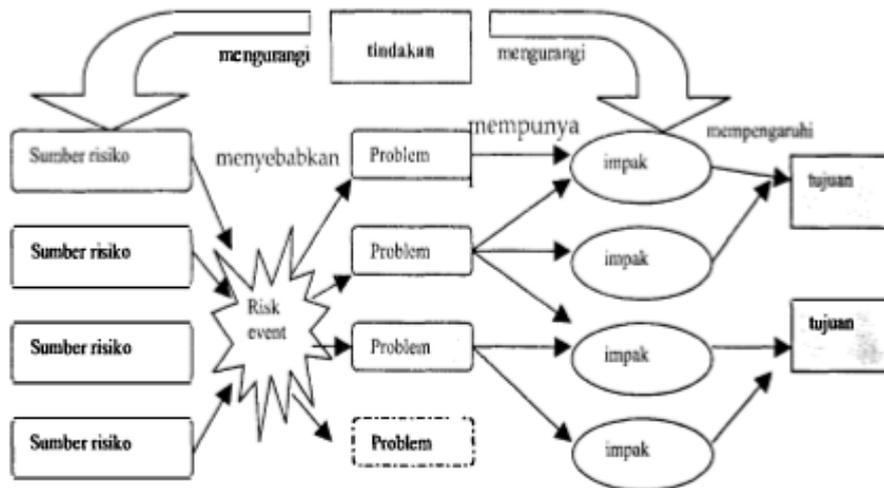
Teknik ini dilakukan berdasarkan perspektif SWOT untuk meningkatkan pemahaman risiko yang lebih luas.

### 2.2.8 Manajemen Risiko

Secara umum manajemen risiko didefinisikan sebagai proses, mengidentifikasi, mengukur, dan memastikan risiko dan mengembangkan strategi untuk mengelola risiko tersebut. Menurut Santosa (2009), ada tiga kunci yang perlu diperhatikan dalam manajemen risiko agar bisa berjalan efektif, yaitu :

1. Identifikasi, analisis dan penilaian risiko pada awal proyek secara sistematis dan mengembangkan rencana untuk menanganinya
2. Mengalokasikan tanggungjawab kepada pihak yang paling sesuai untuk mengelola risiko.
3. Memastikan bahwa biaya penanganan risiko cukup kecil dibanding dengan nilai proyeknya.

Uraian singkat mengenai proses manajemen risiko dapat dilihat dalam Gambar 2.4 berikut.



**Gambar 2.4** Proses Manajemen Risiko

Menurut Pratiwi (2019) manajemen risiko diperlukan untuk memastikan bahwa risiko dapat dikurangi dengan merancang proses preventif sehingga konsekuensi negatif karena peristiwa yang tidak diinginkan dapat diperkecil.

### 2.2.9 Keterlambatan Proyek

Keterlambatan adalah aktifitas proyek yang mengalami penambahan waktu atau aktifitas yang memberi dampak pada pengerjaan proyek yang tidak dapat diselesaikan sesuai dengan rencana awal yang telah ditetapkan. Keterlambatan yang terjadi dalam suatu proyek konstruksi akan memperpanjang durasi proyek atau meningkatkan biaya maupun keduanya. Adapun dampak keterlambatan pada klien atau *owner* adalah hilangnya kesempatan untuk menempatkan sumber dayanya ke proyek lain, meningkatkan biaya langsung yang dikeluarkan yang berarti bahwa bertambahnya pengeluaran untuk gaji karyawan, sewa peralatan, dan lain sebagainya serta mengurangi keuntungan (Saputra,2017).

#### 2.2.9.1 Faktor-Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek

Menurut Levis dan Atherley dalam Saputra (2017), terdapat tiga faktor penyebab keterlambatan dalam suatu proyek, yaitu :

1. *Excusable Non-Compensable Delays*, penyebab keterlambatan yang paling sering mempengaruhi waktu pelaksanaan proyek pada keterlambatan tipe ini, adalah :
  - a. *Act of God*, seperti gangguan alam antara lain gempa bumi, tornado, letusan gunung api, banjir, kebakaran dan lain-lain.
  - b. *Forse majeure*, termasuk didalamnya adalah semua penyebab *Act of God*, kemudian perang, huru hara, de mo, pemogokan karyawan dan lain -lain.
  - c. Cuaca, ketika cuaca menjadi tidak bersahabat dan melebihi kondisi normal maka hal ini menjadi sebuah faktor penyebab keterlambatan yang dapat dimaafkan (*excusing delay*).
2. *Excusable Compensable Delays*, keterlambatan ini disebabkan oleh *owner client*, kontraktor berhak atas perpanjangan waktu dan *claim* atas keterlambatan tersebut. Penyebab keterlambatan yang termasuk dalam *Compensable* dan *Excusable Delay* adalah:
  - a. Terlambatnya penyerahan secara total lokasi (*site*) proyek
  - b. Terlambatnya pembayaran kepada pihak kontraktor
  - c. Kesalahan pada gambar dan spesifikasi

- d. Terlambatnya pendetailan pekerjaan
  - e. Terlambatnya persetujuan atas gambar-gambar fabrikasi
3. *Non-Excusable Delays*, keterlambatan ini merupakan sepenuhnya tanggung jawab dari kontraktor, karena kontraktor memperpanjang waktu pelaksanaan pekerjaan sehingga melewati tanggal penyelesaian yang telah disepakati, yang sebenarnya penyebab keterlambatan dapat diramalkan dan dihindari oleh kontraktor. Dengan demikian pihak *owner client* dapat meminta *monetary damages* untuk keterlambatan tersebut. Adapun penyebabnya antara lain :
- a. Kesalahan mengkoordinasikan pekerjaan, bahan serta peralatan
  - b. Kesalahan dalam pengelolaan keuangan proyek
  - c. Keterlambatan dalam penyerahan shop drawing/gambar kerja
  - d. Kesalahan dalam mempekerjakan personil yang tidak cakap.

#### **2.2.9.2 Dampak Keterlambatan Proyek**

Menurut Kusjadmikahadi (1999) keterlambatan proyek akan menimbulkan kerugian pada pihak kontraktor, konsultan, dan *owner*, kerugian tersebut meliputi:

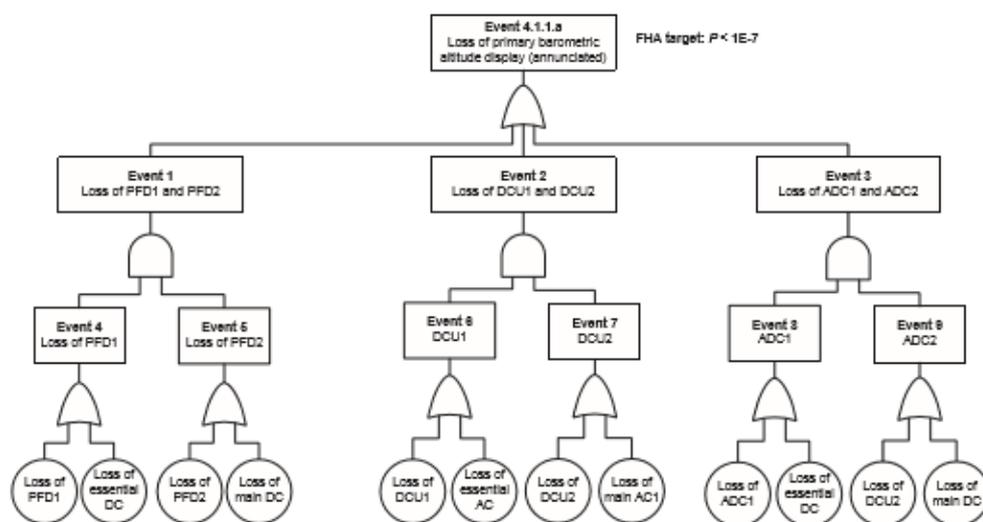
1. Pihak Kontraktor  
Keterlambatan penyelesaian proyek berakibat naiknya *overhead*, karena bertambah panjangnya waktu pelaksanaan. Biaya *overhead* meliputi biaya untuk perusahaan secara keseluruhan, terlepas ada tidaknya kontrak yang sedang ditangani seperti harga akibat inflasi, naiknya upah buruh serta bunga *bank* yang harus dibayar.
2. Pihak Konsultan  
Konsultan akan mengalami kerugian waktu, serta akan terlambat dalam mengerjakan proyek yang lainnya, jika pelaksanaan proyek mengalami keterlambatan penyelesaian.
3. Pihak *Owner*  
Keterlambatan proyek pada pihak pemilik/*owner*, berarti kehilangan penghasilan dari bangunan yang seharusnya sudah dapat digunakan atau disewakan.

### 2.2.10 Fault Tree Analysis (FTA)

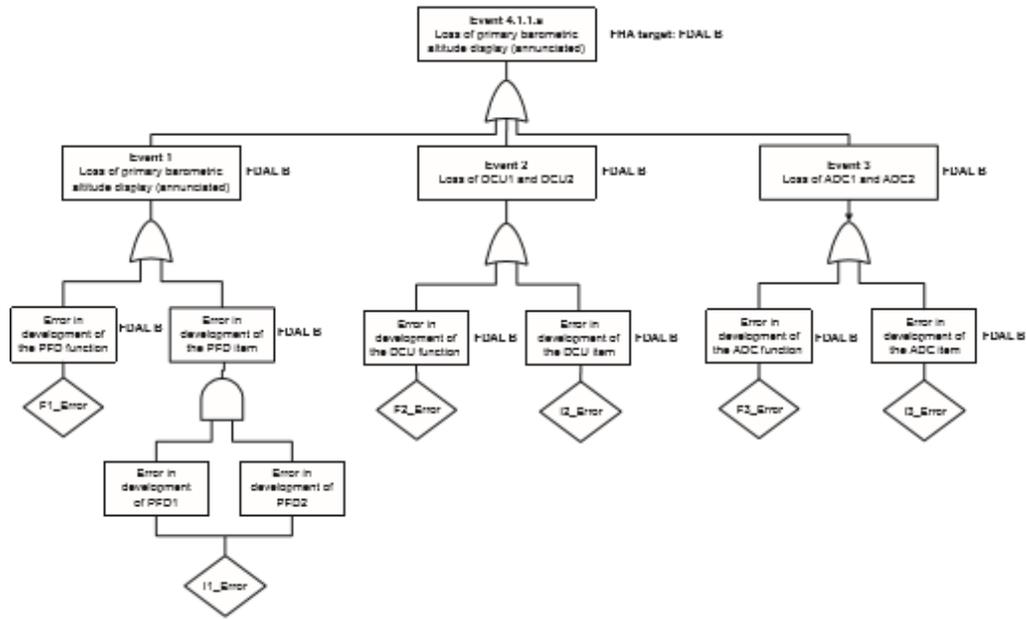
*Fault Tree Analysis* (FTA) merupakan teknik diagram analitikal yang digunakan untuk analisis keandalan, perawatan, dan keselamatan. FTA merupakan sebuah hubungan dari sebab akibat, dimulai dengan mengasumsikan kesalahan sebuah sistem dan mengidentifikasi penyebab yang mungkin. FTA adalah teknik analisis *top-down* yang berjalan melalui tingkatan yang lebih rinci sampai probabilitas terjadinya *top event* dapat diprediksi dalam konteks lingkungan dan operasinya (Kritzinger,2017).

Menurut Pratiwi (2019), FTA pada dasarnya berfungsi untuk menemukan faktor penyebab dan menjelaskan peluang terjadinya kejadian dari permasalahan yang tidak diinginkan. Dengan begitu dengan FTA kita dapat mencegah kejadian dari permasalahan yang tidak diinginkan selanjutnya sehingga tidak terulang kembali, FTA juga bisa digunakan evaluasi pada suatu permasalahan.

Tujuan FTA adalah untuk menggunakan logika deduktif untuk memahami semua penyebab kegagalan tertentu dalam sistem yang cukup kompleks sehingga kemungkinan kegagalan dapat dikurangi. FTA memiliki tingkatan-tingkatan kejadian yang ditunjukkan melalui Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



**Gambar 2.5** Contoh Diagram Tingkatan *Basic Event* FTA



**Gambar 2.6** Contoh Diagram Tingkatan *Undeveloped Event* FTA

Tingkatan kejadian pada FTA terbagi menjadi :

- *Top event*, merupakan dari pohon kesalahan atau merupakan sebuah kegagalan dari suatu sistem
- *Intermediate event* dan *basic event*, berfungsi untuk menjelaskan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya *top event*.

Adapun istilah - istilah yang digunakan dalam FTA dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Istilah-Istilah dalam *Fault Tree Analysis* (FTA)

Simbol	Nama	Deskripsi
	<i>Top Event</i>	Deskripsi dari sebuah <i>output</i> dari <i>logic</i> symbol atau sebuah kejadian
	<i>Or Gate</i>	Kejadian dapat terjadi bila ada salah satu atau lebih rendah berikutnya adalah benar

**Tabel 2.1** Istilah-Istilah dalam *Fault Tree Analysis* (FTA) (Lanjutan)

	<p><i>AND Gate</i></p>	<p>Kejadian kegagalan terjadi apabila semua <i>basic event</i> terjadi.</p>
	<p><i>Transfer</i></p>	<p>Mengindikasikan adanya transfer informasi. Untuk menghindari duplikasi.</p>
	<p><i>Undeveloped Event</i></p>	<p>Kejadian yang tidak dikembangkan lebih lanjut karena karena rincian yang diperlukan untuk mengembangkan kejadian selanjutnya tidak tersedia</p>
	<p><i>Basic Event</i></p>	<p>Kejadian yang bersifat internal ke sistem analisis, tidak memerlukan pengembangan lebih lanjut</p>
	<p><i>Normal Event</i></p>	<p>Peristiwa yang diperkirakan terjadi</p>

Nilai-nilai penting dalam menganalisa FTA adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa kegagalan sistem
2. Mencari aspek-aspek dan sistem yang terlibat dalam kegagalan utama
3. Membantu pihak manajemen mengetahui perubahan dalam sistem
4. Membantu mengalokasikan analisanya untuk berkonsentrasi pada bagian kegagalan dalam sistem

Langkah-langkah dalam pembuatan FTA (*fault tree analysis*) adalah sebagai berikut (Ericson, 2005):

1. Memahami desain sistem dan operasi. Memperoleh data dari sistem yang ditinjau.
2. Secara deskriptif mendefinisikan masalah dan menetapkan hal yang tidak diinginkan untuk menganalisis sistem.
3. Tentukan aturan dasar analisis dan batasan cakupan masalah.
4. Mengikuti proses perbaikan, aturan, dan logika untuk membangun diagram *fault tree analysis*.
5. Menghasilkan *cut set* dan *probability* kemudian mengidentifikasi hubungan rantai yang lemah atau disebut minimal *cut set*.
6. Validasikan ke responden apakah diagram *fault tree analysis* sudah benar, lengkap, dan akurat yang menggambarkan sistem.
7. Memodifikasi diagram *fault tree analysis* sesuai dengan kondisi kenyataan yang ditemukan selama validasi dengan responden.
8. Melengkapi dokumen pada proses analisis dengan data pendukung.

#### **2.2.11 Event Tree Analysis (ETA)**

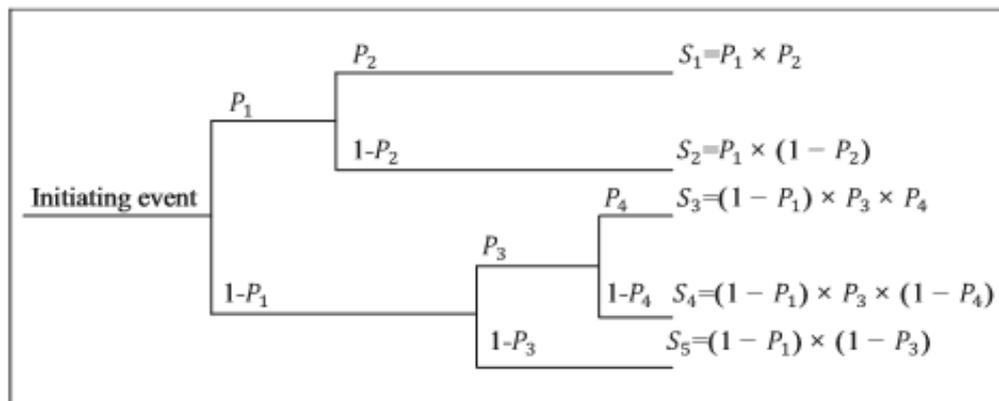
*Event tree analysis* (ETA) adalah sebuah pemodelan yang digunakan untuk mendeteksi dan menganalisis berbagai peristiwa dengan beberapa fitur keselamatan yang mengikuti *initial event*. ETA menunjukkan urutan peristiwa yang terkait dengan keberhasilan atau kegagalan manajemen. Berbagai macam kemungkinan dan terkadang probabilitas ditampilkan dalam ETA (Raiyan et al, 2017).

Menurut Ericson (2005), tujuan utama dari *event tree analysis* adalah untuk mengevaluasi semua hasil yang mungkin terjadi dan dapat diakibatkan dari sebuah *initiating event* dan *privotal event*. Dengan menganalisis semua hasil yang mungkin terjadi untuk menentukan persentase hasil yang mengarah pada hasil yang diinginkan dan persentase hasil yang mengarah pada hasil yang tidak diinginkan.

Metode ETA berguna dalam menganalisa konsekuensi yang timbul dari kegagalan atau kejadian yang tidak diinginkan. Konsekuensi dari kejadian diikuti melalui serangkaian kemungkinan. Analisa dimulai dengan mempertimbangkan sebuah kejadian awal dan kemudian mencari kejadian lainnya yang timbul dari dasar sistem (Samad, 2019). Tahapan dalam proses *event tree analysis* (ETA) adalah sebagai berikut (Ericson,2005) :

1. Definisikan Sistemnya
2. Identifikasi bahaya kecelakaan
3. Identifikasi kejadian awal
4. Identifikasi *pivotal events*
5. Membuat *event tree* diagram
6. Menentukan probability kegagalan
7. Identifikasi hasil risiko
8. Evaluasi hasil risiko
9. Menggolongkan hasil risiko ke *risk matrix*
10. Menyarankan tindakan korektif
11. Dokumen *Event Tree Analysis*

ETA terdiri dari *initiating event*, *pivotal event*, dan *output event* yang ditunjukkan melalui diagram ETA. Bentuk dari diagram ETA dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Diagram *Event Tree Analysis* (ETA)

(Sumber : Mokhtari, 2011)

### 2.2.12 Bowtie Analysis

*Bowtie analysis* merupakan sebuah metode yang menggabungkan antara metode *fault tree analysis* (FTA) dengan metode *event tree analysis* (ETA), dengan demikian melalui diagram tersebut dapat dilihat penyebab dan konsekuensi yang ada pada sebuah jalur resiko. Melalui metode ini akan didapatkan hasil berupa *barrier* (pelindung) untuk *preventive* (penyebab) dan pengurangan konsekuensi (*impact*). Adapun contoh diagram Bowtie dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Diagram *bowtie* dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu :

- Penyebab dari risiko yang berada di sebelah kiri
- Kejadian risiko yang berada ditengah
- Dampak dari risiko yang bearada di sebelah kanan.

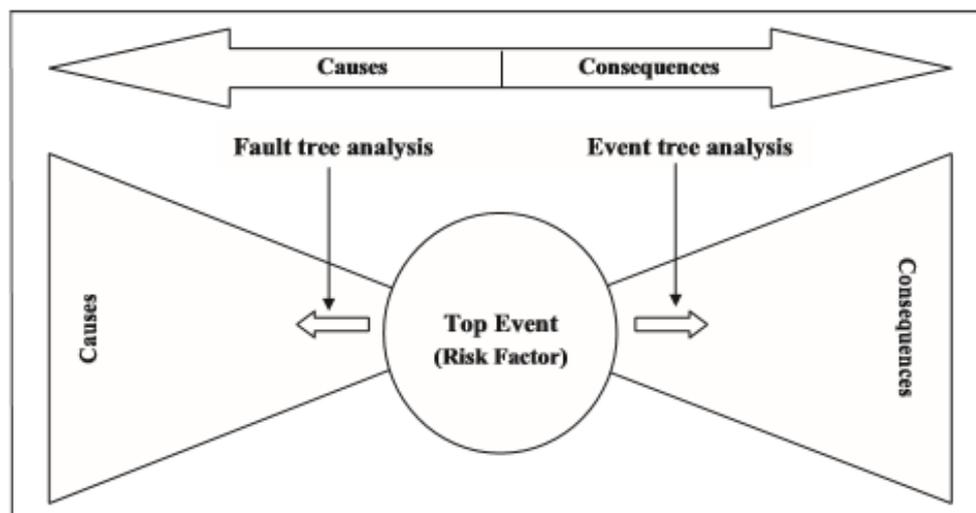
Sedangkan untuk panahan risiko dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu :

1. *Preventive barriers*, penempatannya dalam diagram *bowtie* berada diantara penyebab dari risiko dan kejadian risiko. *Preventive barriers* bertujuan untuk mengurangi probabilitas terjadinya risiko.
2. *Protective barriers*, penempatannya dalam diagram *bowtie* berada diantara kejadian risiko dan dampak yang ditimbulkan dari risiko itu sendiri. *Protective barriers* bertujuan untuk berfungsi untuk mengurangi probabilitas terjadinya risiko.

Menurut Lewis et al (2010) penyusunan *bowtie* analisis harus dikerjakan dengan efektif untuk mendapatkan hasil yang sesuai. Langkah-langkah dalam menyusun *bowtie* analisis adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan informasi yang cukup saat melakukan identifikasi risiko dan kunjungan atau *survey* yang akhirnya dapat menciptakan rancangan awal diagram *bowtie*.
2. Mencari faktor penting untuk mendiskusikan rancangan awal diagram *bowtie* dengan pihak terkait (bagian operasi, perawatan, keamanan, dll). Dalam tahap ini akan tergambar jelas mengenai apa saja yang terjadi di lapangan.

3. Menetapkan diagram *bowtie* setelah rancangan awal diulas oleh pihak-pihak terkait.
4. Menyiapkan rancangan aktivitas-aktivitas dan tugas-tugas yang dapat mengontrol risiko yang ada pada diagram *bowtie*. Wawancara terstruktur saat melakukan kunjungan perusahaan dan mengulas diagram *bowtie* untuk mendapatkan informasi yang cukup.
5. Mengulas rancangan tugas dengan pihak-pihak terkait untuk memastikan bahwa informasi yang didapat itu akurat, prosedur telah teridentifikasi dan memastikan bahwa tugas-tugas tersebut telah terverifikasi.



**Gambar 2.8** Diagram *Bowtie*  
(Sumber : Mokhtari, 2011)

### 2.2.13 Fuzzy Analysis

*Fuzzy* analisis digunakan untuk mengatasi ketidakjelasan dalam probabilitas karena *fuzzy logic* dapat menerjemahkan penilaian kualitatif menjadi penalaran numerik yang dapat diterima dalam aspek keselamatan dan risiko. *Fuzzy logic* digunakan karena teori probabilitas biasa tidak memiliki kemampuan untuk melakukan konseptualisasi yang mungkin terjadi. Konsep logika *fuzzy* pertama kali ditemukan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965, sejak saat itu logika *fuzzy* digunakan pada lingkup permasalahan yang cukup luas seperti kendali proses, klasifikasi dan pencocokan pola, manajemen dan pengambil keputusan, riset operasi, ekonomi, dan lain-lain.

Logika *fuzzy* menggunakan angka *fuzzy* yang memiliki rentang 0 sampai dengan 1. Angka *fuzzy* digunakan untuk memanfaatkan hubungan numerik antar ketidakjelasan jumlah dan fungsi keanggotaan. Menurut Kusumadewi (2005), berikut ini merupakan alasan-alasan mengapa orang menggunakan logika *fuzzy* :

1. Konsep *fuzzy logic* mudah dipelajari karena memiliki konsep matematis sebagai dasar dari penalaran *fuzzy* yang sangat sederhana dan mudah dimengerti.
2. *Fuzzy logic* sangat fleksibel dalam penggunaan.
3. *Fuzzy logic* mempunyai toleransi pada data-data yang tidak tepat.
4. *Fuzzy logic* mampu membangun dan menimplementasikan pengalaman para pakar ahli secara langsung
5. *Fuzzy logic* dapat digunakan atau dikombinasikan dengan beberapa teknik kendali konvensional.
6. Dasar dari *fuzzy logic* adalah bahasa alami.

Berikut merupakan variabel linguistik dan *fuzzy number* yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini :

**Tabel 2.2** Skala *Fuzzy Likelihood of an Event*  
(Sumber : Zarei et al, 2019)

<i>Grade</i>	<i>Likelihood</i>	<i>Membership Function</i>
1	<i>Very High (VH)</i>	(0.8,1,1,1)
2	<i>High-Very High (H-VH)</i>	(0.7,0.9,1,1)
3	<i>High (H)</i>	(0.6,0.8,0.8,1)
4	<i>Fairly High (FH)</i>	(0.5,0.65,0.65,0.8)
5	<i>Medium (M)</i>	(0.3,0.5,0.5,0.7)
6	<i>Fairly Low (FL)</i>	(0.2,0.35,0.35,0.5)
7	<i>Low (L)</i>	(0,0.2,0.2,0.4)
8	<i>Low-Very Low (L-VL)</i>	(0,0,0.1,0.3)
9	<i>Very Low (VL)</i>	(0,0,0,0.2)

Dalam FTA, *fuzzy logic* digunakan untuk operasi dalam menghitung gerbang logika. Menurut Cheong (2004) bentuk *fuzzy* dari gerbang “AND” dan “OR” fungsi dapat diperoleh dalam persamaan 2.1 dan 2.

$$\tilde{P}_{(AND)} = \prod_{i=1}^n \tilde{P}_i \quad (2.1)$$

$$\tilde{P}_{(OR)} = \tilde{1} \theta \prod_{i=1}^n (\tilde{1} \theta \tilde{P}_i); \quad \tilde{1} = (1,1,1) \quad (2.2)$$

Dimana P adalah *possibility* kejadian dari peristiwa puncak (*top event*) dan  $P_i$  adalah *probability* kegagalan dari *event* i, n merupakan jumlah dari *event*.

Menurut Ren et al (2009) defuzzifikasi merupakan proses untuk memproduksi hasil yang dapat diukur dalam sebuah *fuzzy logic*. Triangular atau trapezoidal merupakan fungsi *fuzzy* yang biasa digunakan untuk mewakili variabel linguistik. Pada penelitian ini penulis akan menggunakan fungsi trapezoidal *fuzzy number*. Trapezoidal *fuzzy number* dapat dilihat pada Persamaan 2.3.

$$P(U|E) = \frac{P(U,E)}{P(E)} = \frac{P(U,E)}{\sum_U P(U,E)} \quad (2.3)$$

Area pusat teknik defuzzifikasi yang dipilih dalam penelitian ini adalah (Sugeno, 1999) :

$$X^* = \frac{\int \mu_i(x) x dx}{\int \mu_i(x)} \quad (2.4)$$

Dimana :

$X^*$  = *output* defuzzifikasi  $\hat{i}$

$\mu_i(x)$  = *member* fungsi agregat

x = *variabel output*

Fungsi *member*  $\mu_{\bar{A}}(x)$  didefinisikan sebagai berikut :

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (2.5)$$

Melalui rumus 2.4 dan 2.5, defuzzifikasi trapezoidal *fuzzy number*  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ , berdasarkan area pusat, metode dapat dituliskan sebagai berikut :

$$X^* = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} x dx + \int_{a_2}^{a_3} x dx + \int_{a_3}^{a_4} \frac{a_4-x}{a_4-a_3} x dx}{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} dx + \int_{a_2}^{a_3} dx + \int_{a_3}^{a_4} \frac{a_4-x}{a_4-a_3} dx}$$

$$X^* = \frac{1}{3} \times \frac{(a_4+a_3)^2 - a_4 a_3 - (a_1+a_2)^2 + a_1 a_2}{(a_4+a_3 - a_1 - a_2)} \quad (2.6)$$

Kemudian mengubah variabel linguistik menjadi *fuzzy number* dan menggabungkan bobot pendapat para ahli menjadi satu *fuzzy number*. Seperti yang dijelaskan oleh Clemen et al (1999) yaitu terkadang ada perbedaan pendapat antara beberapa para ahli dalam penentuan *possibility*, sehingga perlu digabungkan menjadi satu dengan rumus berikut :

$$M_i = \sum_{j=1}^m W_j A_{ij}, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.7)$$

Dimana :

$M_i$  = Gabungan dari *fuzzy number basic event*  $i$  yang berbentuk *possibility*

$m$  = Jumlah dari *basic event*

$n$  = Jumlah dari para ahli

$W_j$  =  $W_j$  adalah faktor bobot dari ahli  $j$

$A_{ij}$  = Variabel linguistik *basic event*  $i$  yang diberikan oleh ahli  $j$

Menurut Lavasani et al (2012) jika seorang ahli dianggap “lebih baik” daripada yang lain, maka seorang ahli itu diberikan nilai bobot yang lebih besar. Bobot para ahli diperoleh dari rumus berikut ini :

$$\text{Bobot ahli} = PP + ET + EL + A \quad (2.8)$$

$$W_j = \frac{\text{value of expert}}{\sum_{i=1}^n \text{value of experts}} \quad (2.9)$$

Dimana :

$W_j = W_j$  adalah faktor bobot dari ahli j

PP = *Professional Position*

ET = *Experience Time*

EL = *Education Level*

A = *Age of Expert*

Untuk menentukan bobot ahli dapat merujuk kepada gambar 2.9 (Ramzali et al, 2015).

Constitution	Classification	Score	Constitution	Classification	Score
Professional position	Senior academic	5	Education level	PhD	5
	Junior academic	4		Master	4
	Engineer	3		Bachelor	3
	Technician	2		Higher National Diploma (HND)	2
Experience time (year)	Worker	1	Age (year)	School level	1
	≥30	5		≥50	4
	20–29	4		40–49	3
	10–19	3		30–39	2
	6–9	2		< 30	1
	≤5	1			

**Gambar 2.9** Bobot Ahli

(Sumber : Ramzali et al, 2015)

Kemudian mengubah *fuzzy number* untuk kejadian kegagalan menjadi *fuzzy possibility score* (FPs) dengan menjumlahkan ketiga parameter *fuzzy number* dan kemudian dibagi tiga. Step terakhir untuk mengkonversi *fuzzy possibility score* (FPs) dari suatu kejadian dengan menggunakan rumus (Onisawa, 1988) :

$$FPr = \begin{cases} \frac{1}{10^k} & \text{if } FPs \neq 0 \\ 0 & \text{if } FPs = 0 \end{cases} \quad K = \left[ \left( \frac{1-FPs}{FPs} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301 \quad (2.10)$$

Dimana :

FPr = *Fuzzy Probability Score*

FPS = *Fuzzy Possibilitas Score*

K = Bilangan Konstan

Dalam analisis *fuzzy event tree analysis*, probability dari *top event* dari *fuzzy* FTA akan digunakan untuk menghitung possibility pada diagram *fuzzy* ETA. Untuk mengubah probability ke *possibility* dengan menggunakan rumus berikut (Onisawa, 1988) :

$FPS = f(FPr)$

$$FPS = \begin{cases} \frac{1}{\left(1 + \left(k \times \log\left(\frac{1}{FPr}\right)\right)^3\right)}, & FPr \neq 0 \\ 0, & FPr = 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

Dimana :

FPr = *Fuzzy Probability Score*

FPS = *Fuzzy Possibilitas Score*

$$k = \frac{1}{\text{Log} (1/(5 \times 10^{-3}))}$$

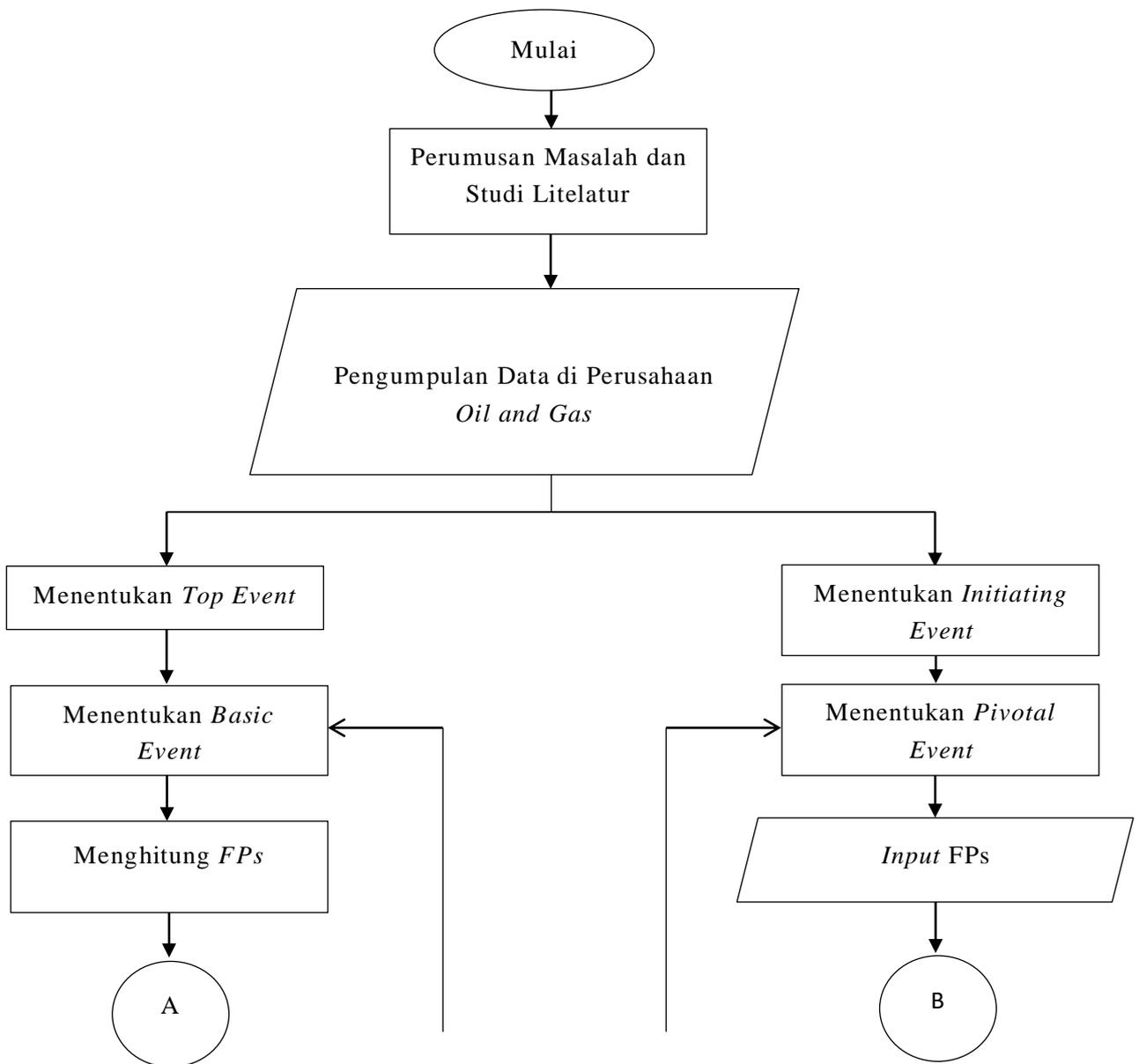
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

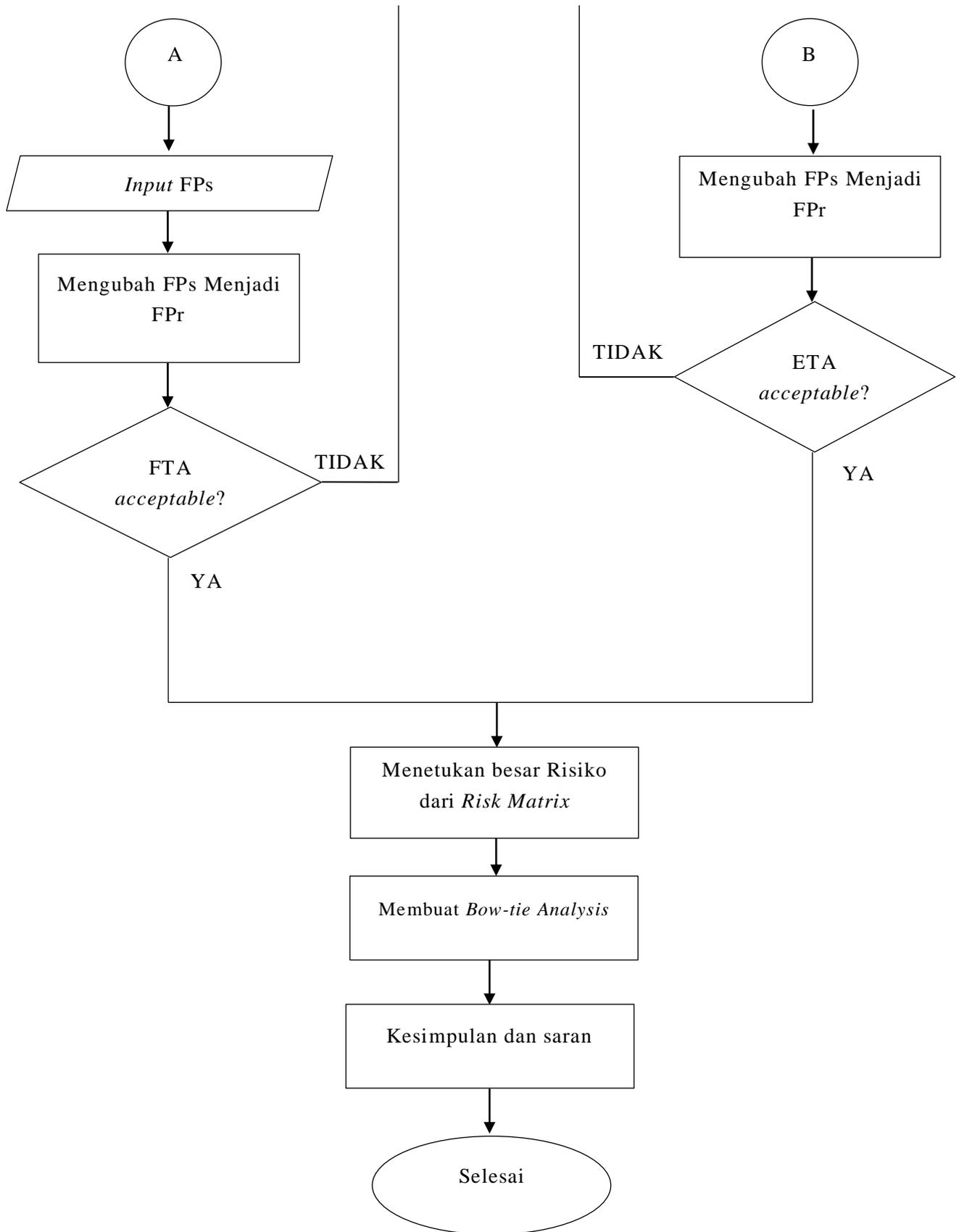
## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi adalah sekumpulan peraturan, kegiatan, dan prosedur yang digunakan untuk menganalisis teoritis mengenai suatu cara atau metode. Pada bab ini akan diuraikan langkah-langkah pendekatan yang dilakukan untuk mendapatkan hasil penelitian yang telah dirumuskan dalam tujuan penelitian.

#### 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian





**Gambar 3.1** Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Tahapan-tahapan dalam pengerjaan penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada diagram alur gambar 3.1 dengan penjelasan sebagai berikut :

#### 1. Perumusan Masalah

Tahapan awal yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah mengidentifikasi masalah yang diangkat menjadi topik. Untuk memperjelas arah dalam penulisan, dibuat juga tujuan dari penelitian.

#### 2. Studi Literatur dan Daftar Pustaka

Pada tahapan ini penulis melakukan studi literatur dan studi lapangan yang terkait dengan objek penelitian yaitu proyek instalasi *pipeline*. Adapun tahapan-tahapan dalam studi literatur yang dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut:

- Studi tentang proses *overview pipeline* dan instalasi *offshore pipeline*
- Studi mengenai manajemen proyek dan manajemen resiko
- Studi mengenai *fault tree analysis* (FTA), *event tree analysis* (ETA), *fuzzy logic*, dan *bow-tie analysis*.

#### 3. Pengumpulan Data

Pada tahapan ini penulis melakukan pengumpulan mengenai data yang menjadi objek analisis. Adapun data-data yang digunakan adalah :

- Data *master schedule* proyek instalasi *offshore pipeline* milik PT. X
- Data *actual schedule* proyek instalasi *offshore pipeline* milik PT.X
- Data kontrak
- Data umum mengenai proyek instalasi *pipeline*
- Membuat kuisisioner untuk mencari faktor dan *probability basic event* FTA, *pivotal event* ETA, penentuan *risk matrix*, *barrier* dan *escalation factor* pada diagram *bow-tie*.

#### 4. Analisis Data dan Pembahasan

Dari data-data yang telah diperoleh, selanjutnya akan dilakukan analisis dan pembahasan mengenai :

a. Analisis hasil wawancara untuk menentukan item pekerjaan yang mengalami masalah, faktor-faktor penyebab keterlambatan pada proyek dan konsekuensi yang ditimbulkan akibat keterlambatan.

b. Membuat diagram *fault tree analysis* (FTA)

Proses awal pengerjaan adalah membuat diagram FTA menggunakan *software Top Event* FTA. Kemudian dilakukan pembagian kuisisioner setelah itu melalui hasil kuisisioner akan didapatkan *basic event* penyebab keterlambatan dan variabel linguistiknya. Selanjutnya variabel ini akan diubah ke bentuk *fuzzy number* dan dikali dengan bobot masing-masing seperti yang terdapat pada gambar 2.9. Pengalihan antara variabel linguistik dengan bobot akan menghasilkan *possibility* untuk masing-masing *basic event*.

Selanjutnya variabel linguistik akan disesuaikan dengan skala *fuzzy likelihood of a failure* seperti yang terdapat pada tabel 2.2. Selanjutnya hasil *possibility* yang sebelumnya sudah didapat akan diubah ke dalam *probability* dengan rumus 2.10. Hasil *probabilitas* ini kemudian di input ke dalam *software Top Event* FTA untuk mendapatkan hasil berupa diagram FTA dan *minimal cut set* untuk menentukan kombinasi yang menyebabkan keterlambatan.

c. Membuat diagram *event tree analysis* (ETA)

Untuk membuat diagram ETA diperlukan adanya *initiating event*, *pivotal event*, *output event*, dan *probability*. Hasil *probability* yang di dapatkan dalam perhitungan *top event* FTA diubah menjadi *possibility* untuk *initiating event* ETA. Setelah itu dilakukan penyebaran kuisisioner untuk menghitung *probability pivotal event* ETA. Kemudian *probability* diubah menjadi *possibility* dan digunakan untuk mencari *frequency index* (FI).

**Tabel 3.1** Skala *Fuzzy Number* untuk *Frequency*  
(Sumber : Zarei et al, 2019)

<i>Likelihood</i>	<i>Description</i>	<i>Membership Function</i>
<i>Very High (VH)</i>	100% kemungkinan berhasil	(0.8,1,1,1)
<i>High-Very High (H-VH)</i>	90% kemungkinan berhasil	(0.7,0.9,1,1)
<i>High (H)</i>	80% kemungkinan berhasil	(0.6,0.8,0.8,1)
<i>Fairly High (FH)</i>	70% kemungkinan berhasil	(0.5,0.65,0.65,0.8)
<i>Medium (M)</i>	60% kemungkinan berhasil	(0.3,0.5,0.5,0.7)
<i>Fairly Low (FL)</i>	50% kemungkinan berhasil	(0.2,0.35,0.35,0.5)
<i>Low (L)</i>	40% kemungkinan berhasil	(0,0.2,0.2,0.4)
<i>Low-Very Low (L-VL)</i>	30% kemungkinan berhasil	(0,0,0.1,0.3)
<i>Very Low (VL)</i>	20% kemungkinan berhasil	(0,0,0,0.2)

Tahap selanjutnya adalah mencari level risiko yang berasal dari *output event* dengan cara mengalikan FI dengan *severity index (SI)*.

**Tabel 3.2** *Frequency Index* untuk *Risk Matrix*  
(Sumber : DNV – *Marine Risk Assessment*)

FI	<i>Frequency</i>	<i>Probability</i>
6	<i>Frequent</i>	0,1 – 1
5	<i>Probable</i>	0,01 – 0,09
4	<i>Occasional</i>	0,001 – 0,009
3	<i>Remote</i>	0,0001 – 0,0009
2	<i>Improbable</i>	0,00001 – 0,00009
1	<i>Incredibly Remote</i>	0,000001 – 0,000009

**Tabel 3.3** Skala *Severity Index* untuk *Risk Matrix*  
(Sumber : DNV – *Marine Risk Assessment*)

SI	<i>Consequence Severity</i>	Definisi
1	<i>Negligible</i>	Proyek tidak mengalami denda dan proyek mengalami keterlambatan kurang dari 1 hari
2	<i>Marginal</i>	Proyek terkena denda dan proyek terlambat 1 – 4 hari
3	<i>Critical</i>	Proyek perbaikan kapal terkena denda dan proyek terlambat 5 – 14 hari
4	<i>Catastrophic</i>	Proyek perbaikan kapal terkena denda dan proyek terlambat lebih dari 14 hari

**Tabel 3.4** *Risk Matrix*

(Sumber : DNV – *Marine Risk Assessment*, 2002)

FI	<i>Rating</i>	<i>Severity Index (SI)</i>			
		1	2	3	4
		<i>Negligible</i>	<i>Marginal</i>	<i>Critical</i>	<i>Catastrophic</i>
6	<i>Frequent</i>	6	12	18	24
5	<i>Probable</i>	5	10	15	20
4	<i>Occasional</i>	4	8	12	16
3	<i>Remote</i>	3	6	9	12
2	<i>Improbable</i>	2	4	6	8
1	<i>Incredible Remote</i>	1	2	3	4

Keterangan :

	<i>Low</i>
	<i>Moderate</i>
	<i>High</i>
	<i>Extreme</i>

d. Langkah selanjutnya adalah menggabungkan diagram FTA dan ETA menjadi *bow-tie analysis* kemudian membuat diagramnya serta mencari *barrier* dan *escalation factor* pada proyek instalasi *offshore pipeline* ini.

5. Kesimpulan dan Saran

Setelah semua hasil didapatkan, kemudian disusunlah kesimpulan yang berisikan jawaban dari perumusan masalah yang ada dalam Tugas Akhir ini dan saran untuk penelitian selanjutnya di bidang yang sama.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengumpulan Data

Dalam tugas akhir ini, objek penelitian yang digunakan merupakan proyek instalasi offshore pipeline sepanjang 0.8 km yang terletak di hulu sungai Mahakam, Kalimantan Timur, Indonesia. Proyek ini dikerjakan oleh PT. K sebagai kontraktor dan PT.X sebagai pemilik. Proyek instalasi ini mulai dikerjakan pada tanggal 5 Desember 2018 – 3 Februari 2019. Sesuai kontrak yang berlaku, untuk pengerjaan instalasi *offshore pipeline* harusnya dapat diselesaikan selama 40 hari. Dalam realisasinya proyek ini membutuhkan waktu selama 61 hari atau mengalami keterlambatan selama 21 hari.

Adapun offshore pipeline yang dipasang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Material pipa : API 5L X65
- Diameter luar pipa : 8.625 in
- Ketebalan pipa : 20.6 mm
- Jarak bentangan pipa : 800 m
- Tekanan desain :  $3 \times 10^{-3}$  Pa
- Sambungan pipa : 12 m
- Metode fabrikasi : Seamless
- Referensi : ASME B31.8 / API RP 1111

Tugas akhir ini akan membahas mengenai penyebab keterlambatan dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *fuzzy trapezoidal* untuk menghitung *probability*. Selain itu akan dibahas juga mengenai konsekuensi yang ditimbulkan keterlambatan dengan menggunakan metode Event Tree Analysis (ETA) dan *fuzzy trapezoidal* untuk menghitung *probability*. Kemudian penelitian akan dilanjutkan dengan menentukan upaya preventif dan mitigasi untuk mencegah penyebab dan mengurangi konsekuensi keterlambatan dengan menggunakan metode *Bowtie Analysis*.

Pada penelitian ini pekerjaan yang diteleketi meliputi proses instalasi *pipeline* mulai dari *pipelaying* hingga *hidrottest offshore* pipeline di lapangan. Pekerjaan yang diteleketi adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.1** Rencana dan Realisasi Proses Instalasi *Offshore Pipeline*

No	Aktivitas	Rencana (Hari)	Realisasi (Hari)	Terlambat (Hari)
1	<i>Pipelaying</i>	4	4	0
2	Pemasangan <i>aerial pipeline</i>	2	2	0
3	Pemasangan <i>dogleg pipeline</i>	2	9	7
4	Pemasangan <i>flowline spools, wirelene, access, dan instrumentasi</i>	3	3	6
5	Pemasangan <i>barred-T</i>	7	18	11
6	Pemasangan <i>riser protection</i>	2	8	6
7	<i>Radiography barred-T</i>	3	8	5
8	<i>Hidrottest</i>	4	9	5

Dalam Tabel 4.1 tersebut dapat dilihat bahwa jika tidak mengalami keterlambatan, proyek dapat selesai dalam 27 hari. Namun pada realisasinya, proyek tersebut selesai dalam waktu 61 hari dan jika ditinjau berdasarkan kesepakatan kontrak mengalami keterlambatan selama 21 hari. Melalui tabel tersebut dapat dilihat bahwa hampir seluruh aktivitas instalasi *pipeline* mengalami keterlambatan. Keterlambatan yang terjadi pada proyek ini tentu saling mempengaruhi satu item pekerjaan dengan pekerjaan lain, sehingga mengakibatkan keetrlambatan pada keseluruhan berlangsungnya proyek.

#### 4.2 Pengolahan dan Analisis Data

Untuk menyusun *Fault Tree Analysis* (FTA) digunakan *software Top Event FTA express*. Proses analisis *software* ini menggunakan data *probability basic*

*event* yang didapat dari hasil kuisisioner dengan para responden yang bekerja pada PT.X dan PT.K dan terlibat dalam proses instalasi ini. Hasil yang didapat melalui *software* tersebut adalah diagram FTA dengan minimal *cut-set* masing-masing *probability basic event* dan *probability* dari *Top Event*.

Untuk pengerjaan *Event Tree Analysis* (ETA) menggunakan diagram yang dibuat secara manual. Diagram yang dibuat berdasarkan hasil wawancara dan kuisisioner dengan para responden. Dalam metode ini akan ditentukan *initiating event*, *pivotal event*, dan *output event* berbentuk konsekuensi serta menentukan *probability index* serta *severity index* yang kemudian akan dimasukkan kedalam *risk matrix* untuk ditentukan level resiko dari masing-masing konsekuensi yang ada.

#### **4.3 Pengolahan Data Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek Instalasi Offshore Pipeline Menggunakan Fault Tree Analysis (FTA) dan Fuzzy Trapezoidal**

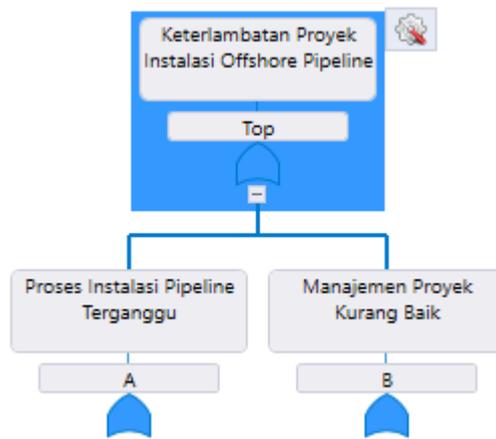
*Fault tree analysis* (FTA) merupakan metode yang digunakan untuk mencari akar-akar penyebab terjadinya *top event* atau kejadian puncak kegagalan. Dalam tugas akhir ini akan dijelaskan mengenai faktor-faktor yang menjadi penyebab keterlambatan dalam proyek instalasi *offshore pipeline*. Penyebab dasar keterlambatan dan *probability* masing-masing *basic event* akan digambarkan melalui diagram *fault tree*.

*Probability* setiap *basic event* yang ada didapat melalui hasil perhitungan *possibility* yang didapat melalui hasil wawancara dan penyebaran kuisisioner. *Possibility* dihitung dengan menggunakan metode *fuzzy logic trapezoidal*. *Fuzzy logic trapezoidal* digunakan untuk mengatasi ketidakjelasan dalam pengambilan keputusan karena dapat mengubah variabel linguistik menjadi kumpulan angka sehingga didapatkan *possibility* yang kemudian diubah menjadi *probability*. Metode ini dipilih karena dapat mengatasi ketidakjelasan data dari responden.

Setelah semua *probability* dari setiap *basic event* di *input* ke dalam *software*, kemudian akan di tentukan *critical cut set* (CSc). CSc merupakan kombinasi dari kumpulan kejadian kegagalan yang dapat terjadi sehingga menyebabkan *Top*

Event dari diagram FTA. *Software* yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini merupakan *software Top Event* FTA karena mampu membuat diagram *fault tree* dan menghitung minimal *cut set* dengan memasukkan *probability* masing-masing *basic event*.

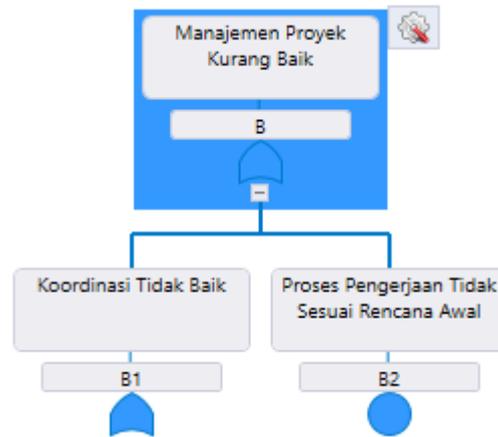
Berikut adalah diagram FTA yang telah dibuat berdasarkan wawancara dengan beberapa responden:



**Gambar 4.1** Diagram FTA Keterlambatan Proyek Instalasi *Offshore Pipeline*



**Gambar 4.2** Diagram FTA Proses Instalasi *Pipeline* Terganggu



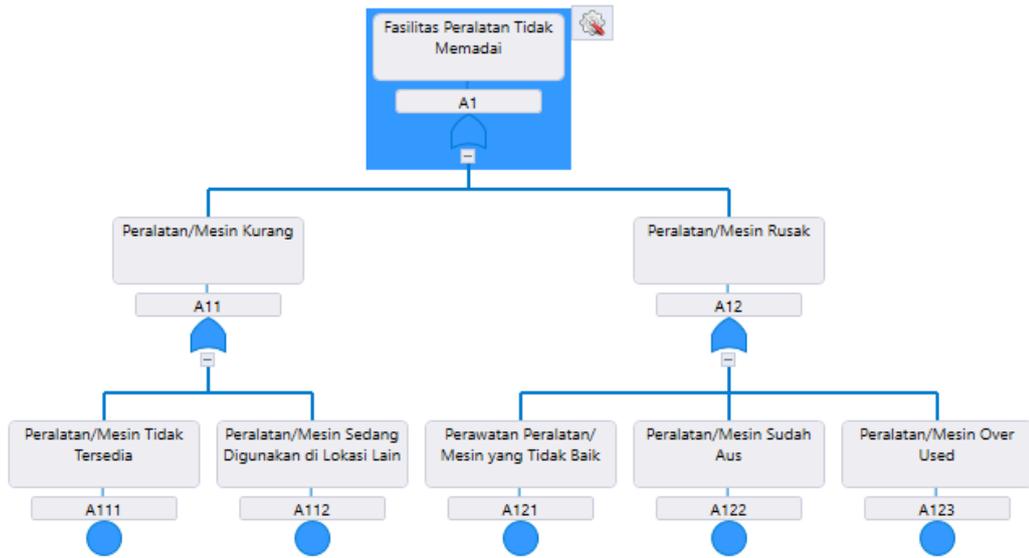
**Gambar 4.3** Diagram FTA Manajemen Proyek Kurang Baik

Melalui analisis dokumen proyek dan wawancara kepada responden dibuatlah skema diagram *Fault Tree Analysis* dengan kejadian puncak (*top event*) yaitu instalasi *offshore pipeline* terlambat. Pada gambar 4.1 di gambarkan dua faktor *intermediate event* untuk *top event* FTA, yaitu proses instalasi *offshore pipeline* dan manajemen proyek yang kurang baik. Gambar 4.2 dan gambar 4.3 menggambarkan *event* dari masing-masing *intermediate event*. Proses instalasi *offshore pipeline* terganggu memiliki lima *event* yaitu fasilitas peralatan tidak memadai, kondisi lingkungan kerja kurang mendukung, penerimaan material terlambat, hasil pengerjaan tidak memenuhi standard, dan hasil pekerjaan kurang maksimal. Manajemen proyek yang kurang baik memiliki dua *event* yaitu koordinasi tidak baik dan proses pengerjaan tidak sesuai rencana awal.

#### **4.3.1 Proses Instalasi Pipeline Terganggu**

Proses instalasi *offshore pipeline* terganggu disebabkan oleh beberapa faktor yaitu, fasilitas peralatan tidak memadai, kondisi lingkungan kerja kurang mendukung, penerimaan material terlambat, hasil pengerjaan tidak memenuhi *standard*, dan hasil pekerjaan kurang maksimal. Beberapa faktor yang disebutkan didapatkan dari hasil wawancara dengan *supervisor* pihak *owner* yang terlibat langsung di dalam proyek instalasi.

- a. Fasilitas Peralatan Tidak Memadai



**Gambar 4.4** Diagram FTA Fasilitas Peralatan Tidak Memadai

Dari faktor penyebab fasilitas peralatan tidak memadai disebabkan oleh peralatan/mesin kurang atau peralatan/mesin rusak. Peralatan/mesin kurang dikarenakan dua penyebab yaitu peralatan/mesin tidak tersedia dan peralatan/mesin sedang digunakan di lokasi lain. Sedangkan untuk peralatan/mesin rusak dikarenakan tiga penyebab yaitu perawatan peralatan/mesin yang tidak baik, perawatan/mesin sudah aus, dan peralatan/mesin *over used*.

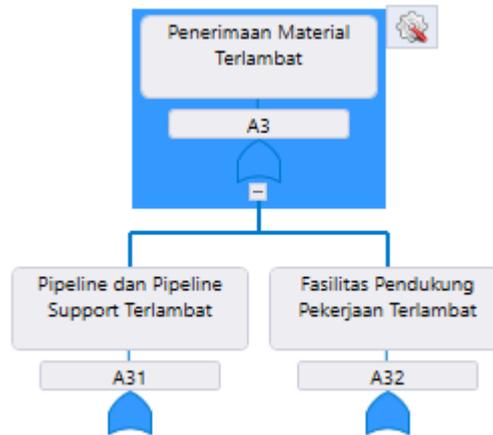
b. Kondisi Lingkungan Kerja Kurang Mendukung



**Gambar 4.5** Diagram FTA Kondisi Lingkungan Kerja Kurang Mendukung

Kondisi lingkungan kerja yang kurang mendukung disebabkan oleh keterlambatan pengiriman bahan bakar untuk mesin yang digunakan dan cuaca buruk.

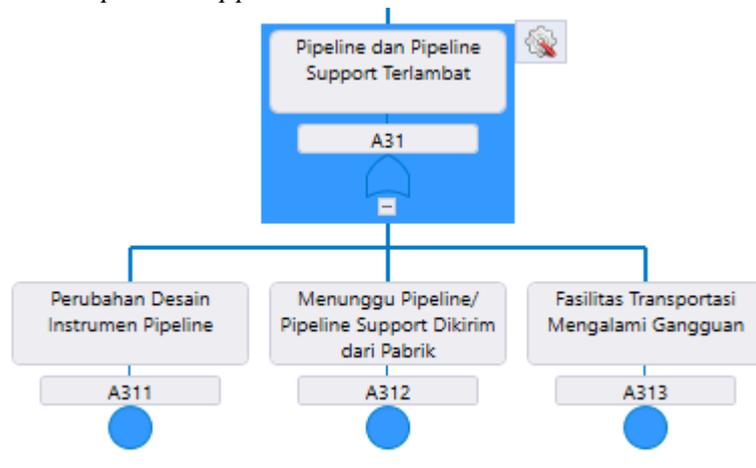
c. Penerimaan Material Terlambat



**Gambar 4.6** Diagram FTA Penerimaan Material Terlambat

Pada faktor penerimaan material terlambat disebabkan oleh *pipeline* dan *pipeline support* terlambat serta fasilitas pendukung pekerjaan terlambat, dua faktor tersebut akan dijelaskan melalui diagram dibawah ini :

- *Pipeline dan Pipeline Support* Terlambat



**Gambar 4.7** Diagram FTA *Pipeline dan Pipeline Support* Terlambat

Perubahan desain instrumen *pipeline*, menunggu *pipeline/pipeline support* dikirim dari pabrik, atau fasilitas transportasi yang mengalami gangguan menjadi faktor yang menyebabkan *pipeline* dan *pipeline support* terlambat.

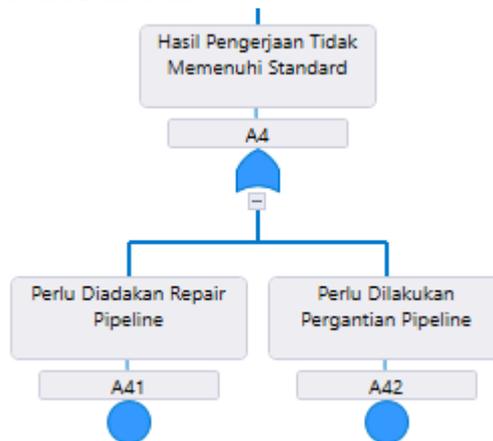
- Fasilitas Pendukung Pekerjaan Terlambat



**Gambar 4.8** Diagram FTA Fasilitas Pendukung Pekerjaan Terlambat

Fasilitas pendukung pekerjaan terlambat dipengaruhi oleh area proyek yang terlalu sulit dijangkau atau menunggu fasilitas pendukung selesai digunakan di tempat lain.

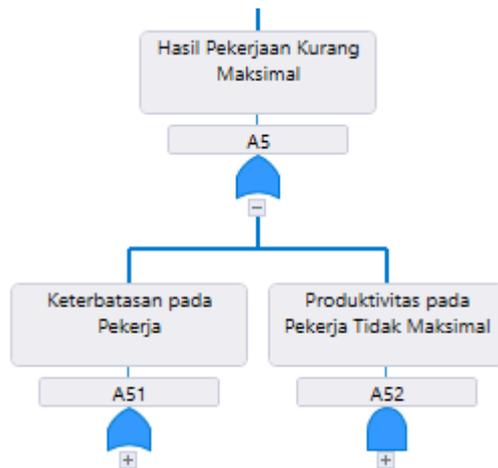
d. Hasil Pengerjaan Tidak Memenuhi *Standard*



**Gambar 4.9** Diagram FTA Hasil Pengerjaan Tidak Memenuhi *Standard*

Dalam hasil pengerjaan tidak memenuhi *standard* dipengaruhi oleh faktor perlu diadakan *repair* pada *pipeline* atau perlu dilakukan pergantian *pipeline*.

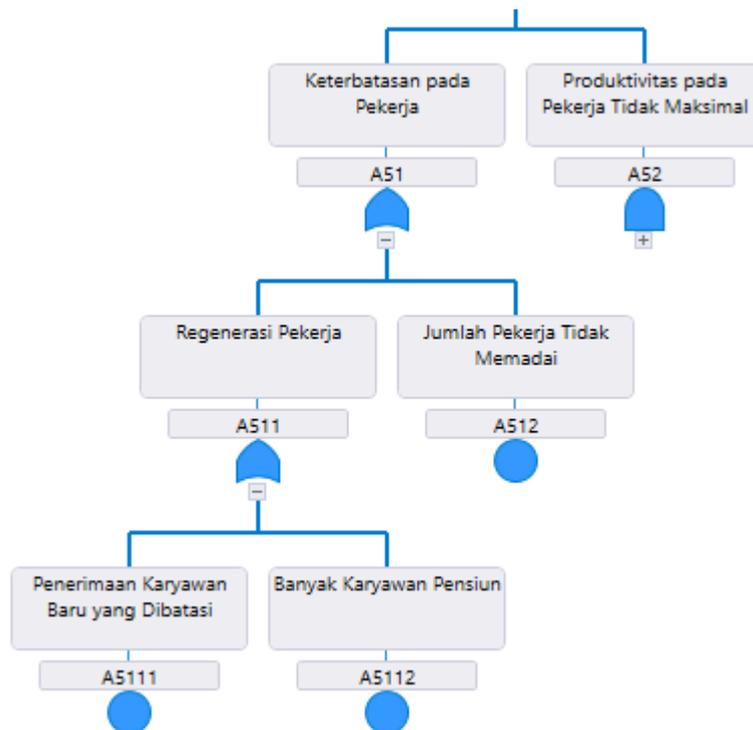
e. Hasil Pengerjaan Kurang Maksimal



**Gambar 4.10** Diagram FTA Hasil Pengerjaan Kurang Maksimal

Pada faktor jam orang kurang memadai disini disebabkan oleh pekerja terbatas atau produktifitas pekerja kurang maksimal. Dari dua faktor tersebut akan dijelaskan oleh diagram dibawah.

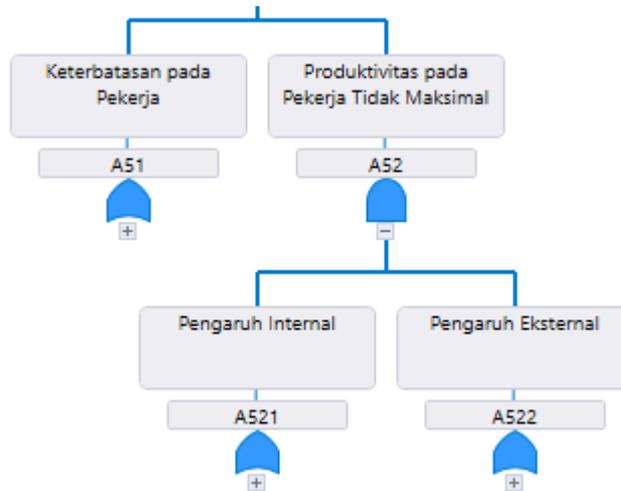
- Keterbatasan pada Pekerja



**Gambar 4.11** Diagram FTA Keterbatasan pada Pekerja

Penerimaan karyawan baru yang dibatasi atau banyaknya karyawan yang pensiun menjadi faktor yang membuat regenerasi pekerja kurang lancar. Selain itu jumlah pekerja yang kurang memadai juga menjadi faktor penyebab keterbatasan pada pekerja.

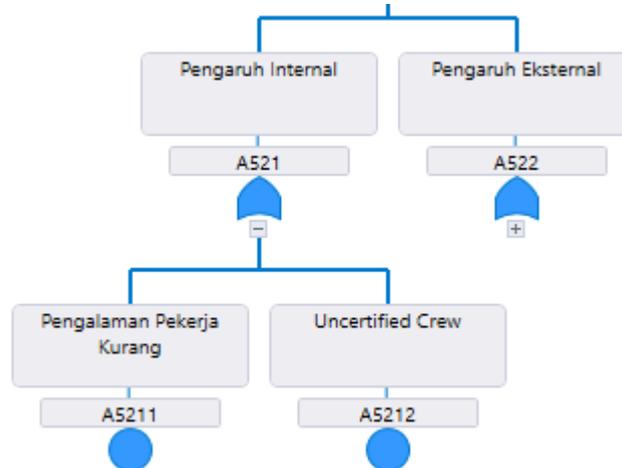
- Produktivitas pada Pekerja Tidak Maksimal



**Gambar 4.12** Diagram FTA Produktivitas pada Pekerja Tidak Maksimal

Penyebab produktivitas pada pekerja tidak maksimal disebabkan oleh pengaruh internal dan eksternal yang akan dijabarkan sebagai berikut :

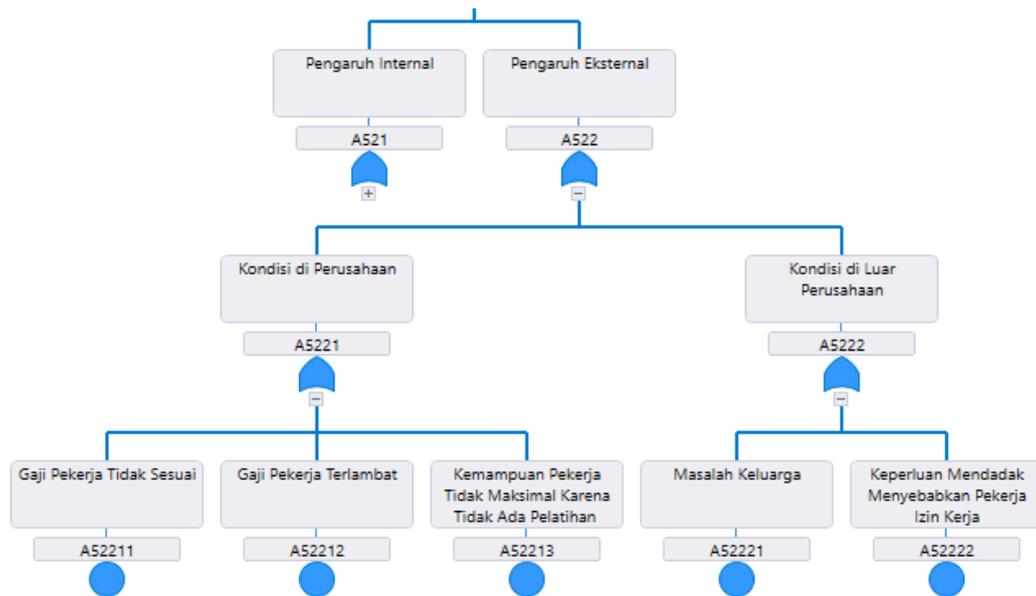
- Pengaruh Internal



**Gambar 4.13** Diagram FTA Pengaruh Internal

Pengalaman pekerja kurang serta *uncertified crew* merupakan faktor internal pekerja yang menyebabkan produktivitas pada pekerja tidak maksimal yang akhirnya menyebabkan hasil pekerjaan kurang maksimal.

- Pengaruh Eksternal

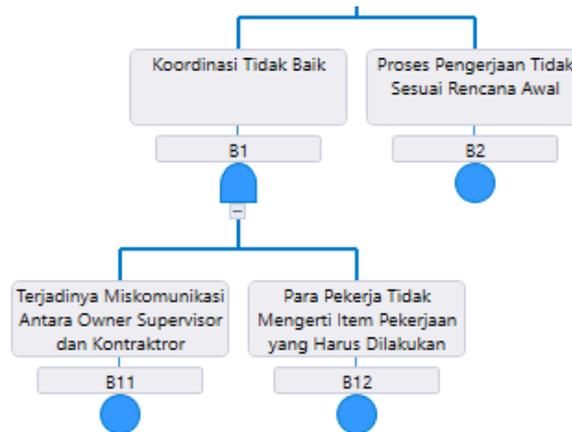


**Gambar 4.14** Diagram FTA Pengaruh Eksternal

Gaji pekerja tidak sesuai, gaji pekerja terlambat, atau kemampuan pekerja tidak memadai merupakan faktor eksternal yang terjadi di dalam perusahaan yang menyebabkan produktivitas pada pekerja tidak maksimal yang akhirnya menyebabkan hasil pekerjaan kurang maksimal. Sedangkan masalah keluarga atau keperluan mendadak menyebabkan pekerja izin kerja merupakan faktor dari luar perusahaan yang menyebabkan produktivitas pada pekerja tidak maksimal yang akhirnya menyebabkan hasil pekerjaan kurang maksimal.

#### 4.3.2 Manajemen Proyek Kurang Baik

Manajemen proyek merupakan bagian rencana dan pengawasan yang terbagi menjadi dua poin yaitu koordinasi tidak baik dan proses pengerjaan tidak sesuai rencana awal.



**Gambar 4.15** Diagram FTA Manajemen Proyek Kurang Baik

Faktor penyebab keterlambatan yang berpengaruh terhadap manajemen proyek kurang baik adalah terjadinya miskomunikasi antara *owner supervisor* dan kontraktor, para pekerja tidak mengerti item pekerjaan yang harus dilakukan, dan proses pengerjaan tidak sesuai rencana awal.

Berikut merupakan daftar *basic event* dari skema *fault tree* pada Gambar 4.1 hingga Gambar 4.14 yang ditunjukkan dalam Tabel 4.2 :

**Tabel 4.2** *Basic event* dari diagram FTA

No.	Kode	Nama Kejadian
1	A111	Peralatan/mesin tidak tersedia
2	A112	Peralatan/mesin sedang digunakan di lokasi lain
3	A121	Perawatan peralatan/mesin yang tidak baik
4	A122	Peralatan/mesin sudah aus
5	A123	Peralatan/mesin <i>over used</i>
6	A21	Keterlambatan pengiriman bahan bakar untuk mesin yang digunakan
7	A22	Cuaca buruk
8	A311	Perubahan desain instrumen <i>pipeline</i>
9	A312	Menunggu pipeline/pipeline support dari pabrik
10	A313	Fasilitas transportasi mengalami gangguan
11	A321	Area proyek yang terlalu sulit dijangkau

**Tabel 4.2** *Basic event* dari diagram FTA (Lanjutan)

No.	Kode	Nama Kejadian
12	A322	Menunggu fasilitas pendukung selesai digunakan di tempat lain
13	A41	Perlu diadakan <i>repair pipeline</i>
14	A42	Perlu dilakukan pergantian <i>pipeline</i>
15	A5111	Penerimaan karyawan baru yang dibatasi
16	A5112	Banyak karyawan pensiun
17	A512	Jumlah pekerja tidak memadai
18	A5211	Pengalaman pekerja kurang
19	A5212	<i>Uncertified crew</i>
20	A52211	Gaji Pekerja tidak sesuai
21	A52212	Gaji pekerja terlambat
22	A52213	Kemampuan pekerja tidak maksimal karena tidak ada pelatihan
23	A52221	Masalah keluarga
24	A52222	Keperluan mendadak menyebabkan pekerja izin kerja
25	B11	Terjadinya miskomunikasi antara <i>owner supervisor</i> dan kontraktor
26	B12	Para pekerja tidak mengerti item pekerjaan yang harus dilakukan
27	B2	Proses pengerjaan tidak sesuai rencana awal

Tabel 4.3 berisikan data diri responden dari hasil wawancara yang dilakukan untuk menyusun FTA, ETA, dan Bowtie yang dapat dilihat selengkapnya pada lampiran. Data responden yang dipilih berdasarkan permasalahan keterlambatan instalasi *offshore pipeline*:

**Tabel 4.3** Data Diri Responden

Responden	Kategori			
	<i>Age</i>	<i>Experience</i> (Year)	<i>Position</i>	<i>Education</i>
1	34	12	<i>Site Planner</i>	S2
2	29	11	<i>Engineer</i>	S1
3	40	17	<i>Supervisor</i>	S1
4	26	5	<i>Engineer</i>	S1
5	29	6	<i>Engineer</i>	S1
6	32	8	<i>Site Manager</i>	S1
7	26	5	<i>Engineer</i>	S1
8	39	12	<i>Supervisor</i>	S2
9	28	5	<i>Engineer</i>	S1

*Probability* dari setiap *basic event* FTA pada keterlambatan instalasi *offshore pipeline* didapatkan melalui proses pencarian data dan wawancara responden. Untuk frekuensi kejadian *basic event fuzzy* FTA merujuk pada skala parameter pada jurnal Zarei et al (2019) seperti yang terdapat pada Tabel 4.4 berikut :

**Tabel 4.4** Skala *fuzzy likelihood of an event*

(Sumber : Zarei et al, 2019)

<b>Variabel Linguistik</b>	<b>Definisi</b>	<b>Membership Function</b>
<i>Very High</i> (VH)	Terjadi setiap instalasi <i>pipeline</i>	(0.8,1,1,1)
<i>High-Very High</i> (H-VH)	Terjadi dalam rentang 3 kali instalasi <i>pipeline</i>	(0.7, 0.9, 1, 1)
<i>High</i> (H)	Terjadi dalam rentang 5 kali instalasi <i>pipeline</i>	(0.6, 0.8, 0.8, 1)
<i>Fairly High</i> (FH)	Terjadi dalam rentang 15 kali instalasi <i>pipeline</i>	(0.5, 0.65, 0.65, 0.8)
<i>Medium</i> (M)	Terjadi dalam rentang 25 kali instalasi <i>pipeline</i>	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)

**Tabel 4.4** Skala *fuzzy likelihood of an event*

(Sumber : Zarei et al, 2019) (Lanjutan)

<b>Variabel Linguistik</b>	<b>Definisi</b>	<b>Membership Function</b>
<i>Fairly Low (FL)</i>	Terjadi dalam rentang 50 kali instalasi <i>pipeline</i>	(0.2, 0.35, 0.35, 0.5)
<i>Low (L)</i>	Terjadi dalam rentang 75 kali instalasi <i>pipeline</i>	(0, 0.2, 0.2, 0.4)
<i>Low-Very Low (L-VL)</i>	Terjadi dalam rentang 90 kali instalasi <i>pipeline</i>	(0, 0, 0.1, 0.3)
<i>Very Low (VL)</i>	Terjadi dalam rentang 100 kali instalasi <i>pipeline</i>	(0, 0, 0, 0.2)

#### **4.3.3 Menghitung Fuzzy Possibility (FPs)**

Dalam tugas akhir ini, untuk menghitung *possibility* dari masing-masing *basic event* menggunakan *fuzzy logic*. *Fuzzy logic* digunakan karena dapat merubah variabel linguistik dari para responden menjadi kumpulan angka yang menghasilkan *possibility* (FPs). *Fuzzy logic* yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini merupakan *fuzzy logic trapezoidal* dengan 4 *fuzzy number*.

Dari hasil wawancara dan menyebarkan kuisioner kepada para responden didapatkan rekapan data untuk skala variabel linguistik yang merujuk Tabel 4.4. Hasil tersebut ditunjukkan oleh Tabel 4.5 berikut.

**Tabel 4.5** Hasil Kuisisioner dengan Responden

Kegiatan	Responden								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Peralatan/ mesin tidak tersedia	VL	VL	H	LVL	LVL	VL	L	M	L
Peralatan/ mesin sedang digunakan di lokasi lain	L	VL	HVH	L	FL	M	L	M	M
Perawatan peralatan/ mesin yang tidak baik	L	LVL	VH	LVL	FL	L	LVL	M	LVL
Peralatan/ mesin sudah aus	M	VL	FH	LVL	FL	M	LVL	FL	L
Peralatan/ mesin <i>over used</i>	M	VL	H	LVL	FL	L	LVL	FL	FL
Keterlambatan pengiriman bahan bakar untuk mesin yang digunakan	FL	M	M	M	LVL	VL	L	M	LVL
Cuaca buruk	FH	FH	HVH	M	HVH	H	FL	H	H
Perubahan desain instrumen <i>pipeline</i>	M	FL	H	L	LVL	FL	L	FL	L
Menunggu pipeline/pipeline support dari pabrik	M	LVL	FL	LVL	FL	M	L	M	FL

**Tabel 4.5** Hasil Kuisisioner dengan Responden (Lanjutan)

Kegiatan	Responden								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fasilitas transportasi mengalami gangguan	FL	L	M	M	FL	FH	L	M	LVL
Area proyek yang terlalu sulit dijangkau	M	LVL	L	VL	M	M	LVL	M	FH
Menunggu fasilitas pendukung selesai digunakan di tempat lain	M	H	FH	LVL	L	LVL	L	FL	M
Perlu diadakan <i>repair pipeline</i>	FL	H	LVL	LVL	L	L	L	FL	L
Perlu dilakukan pergantian <i>pipeline</i>	VL	LVL	L	LVL	L	VL	L	FL	L
Penerimaan karyawan baru yang dibatasi	VL	H	FH	M	LVL	VL	L	FL	FH
Banyak karyawan pensiun	VL	VL	FL	LVL	LVL	VL	VL	FL	M
Jumlah pekerja tidak memadai	VL	VL	FH	LVL	LVL	L	L	M	H
Pengalaman pekerja kurang	LVL	FH	H	LVL	L	L	L	FL	LVL
<i>Uncertified crew</i>	VL	FH	M	VL	LVL	L	VL	M	VL

**Tabel 4.5** Hasil Kuisisioner dengan Responden (Lanjutan)

Kegiatan	Responden								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gaji Pekerja tidak sesuai	VL	FH	H	LVL	L	L	L	FL	L
Gaji pekerja terlambat	LVL	H	H	LVL	LVL	VL	L	FL	FH
Kemampuan pekerja tidak maksimal karena tidak ada pelatihan	LVL	LVL	H	LVL	L	L	LVL	M	LVL
Masalah keluarga	VL	VL	FL	VL	LVL	VL	LVL	FL	VL
Keperluan mendadak menyebabkan pekerja izin kerja	VL	FH	L	VL	LVL	VL	LVL	M	LVL
Terjadinya miskomunikasi antara <i>owner</i> supervisor dan kontraktor	LVL	LVL	FL	LVL	M	VL	LVL	H	FL
Para pekerja tidak mengerti item pekerjaan yang harus dilakukan	LVL	FH	FL	VL	L	L	VL	M	LVL
Proses pengerjaan tidak sesuai rencana awal	LVL	FH	L	M	M	L	VL	M	FL

Dalam menentukan *possibility* dari setiap *basic event* yang ada, langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung pembobotan untuk setiap responden. Responden yang dianggap “lebih baik” akan mendapatkan pembobotan yang lebih

besar dari responden lainnya. Untung menghitung pembobotan masing-masing responden menggunakan Persamaan 2.8 dan Persamaan 2.9, sedangkan *score* dari 4 kategori untuk responden berdasarkan Gambar 2.9.

Perhitungan pembobotan responden untuk responden 1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Bobot ahli} &= \text{PP} + \text{ET} + \text{EL} + \text{A} \\ &= 3 + 3 + 4 + 2 \\ &= 12 \end{aligned}$$

$$W_j = \frac{\text{bobot ahli}}{\sum_{i=1}^n \text{bobot ahli}}$$

$$W_j = \frac{12}{12+10+12+8+10+11+8+12+8}$$

$$W_j = \frac{12}{91}$$

$$W_j = 0,13$$

Dari perhitungan seperti diatas maka didapatkan bobot dari masing-masing responden. Hasil dari keseluruhan perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.6 berikut.

**Tabel 4.6** Pembobotan Responden

Responden	Faktor Bobot Ahli
1	0.13
2	0.11
3	0.13
4	0.09
5	0.11
6	0.12
7	0.09
8	0.13
9	0.09

Setelah mengetahui bobot dari masing-masing responden kemudian mencari *possibility* (FPs) dengan menggunakan Persamaan 2.7 dan Persamaan 2.6 untuk perhitungan dasar *fuzzy trapezoidal*.

Perhitungan *possibility* dari *basic event* kode A111 sebagai berikut :

Untuk *basic event* kode A111 dari hasil kuisioner didapatkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 4.7** Responden Basic Event A111

Responden								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
VL	VL	H	LVL	LVL	VL	L	M	L

*Fuzzy number* yang mewakili variabel linguistik diatas adalah :

$$\text{Responden 1} = (0, 0, 0, 0.2)$$

$$\text{Responden 2} = (0, 0, 0, 0.2)$$

$$\text{Responden 3} = (0.6, 0.8, 0.8, 1)$$

$$\text{Responden 4} = (0, 0, 0.1, 0.3)$$

$$\text{Responden 5} = (0, 0, 0.1, 0.3)$$

$$\text{Responden 6} = (0, 0, 0, 0.2)$$

$$\text{Responden 7} = (0, 0.2, 0.2, 0.4)$$

$$\text{Responden 8} = (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)$$

$$\text{Responden 9} = (0, 0.2, 0.2, 0.4)$$

*Fuzzy number* diatas kemudian dikalikan dengan bobot masing-masing responden yang terdapat pada Tabel 4.6 dengan Persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$\text{Responden 1} = (0, 0, 0, 0.2) \times 0.13$$

$$= (0, 0, 0, 0.026)$$

$$\text{Responden 2} = (0, 0, 0, 0.2) \times 0.11$$

$$= (0, 0, 0, 0.022)$$

$$\text{Responden 3} = (0.6, 0.8, 0.8, 1) \times 0.13$$

$$= (0.078, 0.104, 0.104, 0.13)$$

$$\text{Responden 4} = (0, 0, 0.1, 0.3) \times 0.09$$

$$= (0, 0, 0.009, 0.027)$$

$$\text{Responden 5} = (0, 0, 0.1, 0.3) \times 0.11$$

$$\begin{aligned}
&= (0, 0, 0.011, 0.033) \\
\text{Responden 6} &= (0,0, 0, 0.2) \times 0.12 \\
&= (0, 0, 0, 0.024) \\
\text{Responden 7} &= (0, 0.2, 0.2, 0.4) \times 0.09 \\
&= (0, 0.018, 0.018, 0.036) \\
\text{Responden 8} &= (0.3, 0.5, 0.5, 0.7) \times 0.13 \\
&= (0.039, 0.065, 0.065, 0.091) \\
\text{Responden 9} &= (0, 0.2, 0.2, 0.4) \times 0.09 \\
&= (0, 0.018, 0.018, 0.036)
\end{aligned}$$

Kemudian masing-masing *fuzzy number* diatas dijumlahkan untuk memperoleh *fuzzy number basic event* A111 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
M &= R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6 + R7 + R8 + R9 \\
&= (0 + 0 + 0.078 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0.039 + 0 ; 0 + 0 + 0.104 + 0 + 0 \\
&\quad + 0 + 0.018 + 0.065 + 0.018 ; 0 + 0 + 0.104 + 0.009 + 0.011 + 0 \\
&\quad + 0.018 + 0.065 + 0.018 ; 0.026 + 0.022 + 0.130 + 0.027 + 0.033 \\
&\quad + 0.024 + 0.036 + 0.091 + 0.036) \\
&= (0.12 ; 0.21 ; 0.23 ; 0.43)
\end{aligned}$$

Kemudian mencari *possibility* dari *fuzzy number basic event* A111 dengan Persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\text{FPs} &= \frac{1}{3} \times \frac{(0.43+0.23)^2 - (0.43 \times 0.23) - (0.12+0.21)^2 + (0.12 \times 0.21)}{(0.43+0.21 - 0.12 - 0.21)} \\
&= \frac{1}{3} \times \frac{0.25}{0.33} \\
&= 0.25
\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas akan didapatkan keseluruhan *possibility basic event* FTA. Hasil perhitungan FPs *basic event* FTA ditunjukan pada Tabel 4.11 berikut.

**Tabel 4.8** Hasil Perhitungan *Fuzzy Possibility* (FPs)

Kode	<i>Fuzzy Number</i>				FPs
	a	B	c	d	
A111	0,12	0,21	0,23	0,43	0,25
A112	0,22	0,39	0,40	0,57	0,39
A121	0,17	0,29	0,32	0,49	0,32
A122	0,19	0,31	0,33	0,51	0,34
A123	0,18	0,31	0,33	0,51	0,34
A21	0,16	0,29	0,31	0,51	0,33
A22	0,54	0,72	0,75	0,88	0,72
A311	0,19	0,35	0,36	0,54	0,36
A312	0,18	0,33	0,35	0,53	0,35
A313	0,21	0,38	0,39	0,57	0,39
A321	0,19	0,33	0,35	0,55	0,36
A322	0,22	0,37	0,39	0,58	0,39
A41	0,12	0,26	0,28	0,47	0,29
A42	0,03	0,13	0,15	0,34	0,17
A5111	0,23	0,34	0,35	0,53	0,37
A5112	0,08	0,14	0,16	0,34	0,19
A512	0,16	0,26	0,28	0,48	0,30
A5211	0,16	0,29	0,32	0,51	0,32
A5212	0,13	0,23	0,24	0,43	0,27
A52211	0,16	0,30	0,31	0,50	0,32
A52212	0,22	0,31	0,35	0,54	0,36
A52213	0,12	0,22	0,27	0,47	0,27
A52221	0,05	0,09	0,11	0,30	0,15
A52222	0,09	0,16	0,19	0,39	0,22
B11	0,16	0,24	0,28	0,47	0,29
B12	0,12	0,23	0,25	0,44	0,27
B2	0,17	0,32	0,33	0,52	0,34

#### 4.3.4 Mengubah *Fuzzy Possibility* (FPs) menjadi *Fuzzy Probability* (FPr)

Setelah menemukan FPs masing-masing *basic event* dari diagram *fuzzy* FTA, langkah selanjutnya adalah mengubah *possibility* (FPs) ke *probability* (FPr) menggunakan persamaan 2.10.

Dalam perhitungan *probability* untuk *Basic Event* kode A111 sebagai berikut :

Dari perhitungan sebelumnya *Basic Event* kode A111 memiliki *possibility* 0.25.

Langkah pertama mencari nilai K, berikut perhitungannya :

$$K = \left[ \left( \frac{1-FPs}{FPs} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301$$

$$K = \left[ \left( \frac{1-0.25}{0.25} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301$$

$$K = \left[ \left( \frac{0.75}{0.25} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301$$

$$K = \left[ \left( \frac{0.75}{0.25} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301$$

$$K = [(2.96)]^{\frac{1}{3}} \times 2.301$$

$$K = 1.44 \times 2.301$$

$$K = 3.30$$

Langkah berikutnya mencari *probability* (FPr), berikut adalah perhitungannya :

$$FPr = \frac{1}{10^K}$$

$$FPr = \frac{1}{10^{3.3}}$$

$$FPr = \frac{1}{1995.26}$$

$$FPr = 0.0005$$

Dari perhitungan seperti diatas maka didapatkan *probability* untuk keseluruhan *basic event*. Dengan hasil dari keseluruhan perhitungan ditunjukkan pada tabel 4.9 berikut.

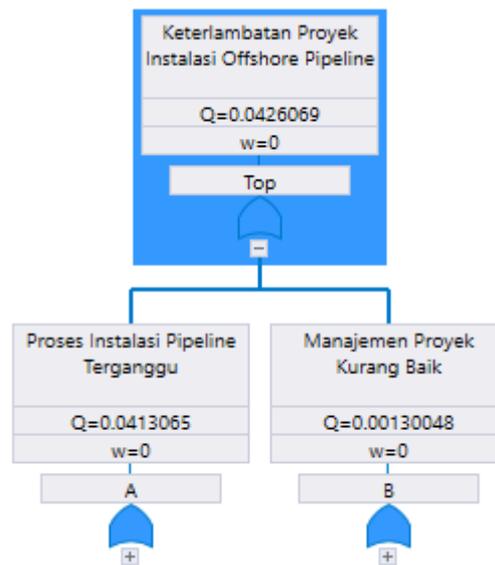
**Tabel 4.9** Hasil Perhitungan *Fuzzy Probability* (FPr)

Kode	FPs	K	FPr
A111	0,25	3,30	0,0005
A112	0,39	2,66	0,0022
A121	0,32	2,95	0,0011
A122	0,34	2,86	0,0014
A123	0,34	2,88	0,0013
A21	0,33	2,94	0,0012
A22	0,72	1,68	0,0207
A311	0,36	2,77	0,0017
A312	0,35	2,84	0,0015
A313	0,39	2,68	0,0021
A321	0,36	2,79	0,0016
A322	0,39	2,66	0,0022
A41	0,29	3,12	0,0008
A42	0,17	3,92	0,0001
A5111	0,37	2,76	0,0018
A5112	0,19	3,75	0,0002
A512	0,30	3,04	0,0009
A5211	0,32	2,95	0,0011
A5212	0,27	3,23	0,0006
A52211	0,32	2,94	0,0011
A52212	0,36	2,79	0,0016
A52213	0,27	3,18	0,0007
A52221	0,15	4,11	0,0001
A52222	0,22	3,52	0,0003
B11	0,29	3,09	0,0008
B12	0,27	3,23	0,0006
B2	0,34	2,88	0,0013

### 4.3.5 Menentukan *Top Event Probability*

Setelah menggambar diagram *fuzzy* FTA, langkah selanjutnya adalah menentukan *cut set*. *Cut set* merupakan kombinasi kegagalan kejadian dasar atau kombinasi pembentuk pohon kesalahan yang bila semua terjadi akan menyebabkan peristiwa puncak terjadi, sedangkan *minimal cut set* adalah kombinasi terkecil dari kegagalan kejadian dasar atau kombinasi peristiwa yang paling kecil yang membawa peristiwa yang tidak diinginkan.

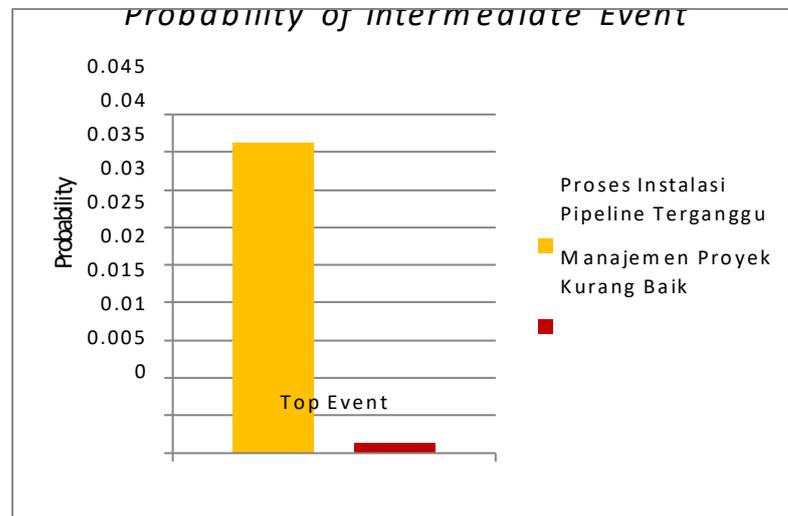
Untuk menghitung *cut set* diperlukan *probability* dari setiap *basic event* yang ada. Maka dari itu *possibility* yang didapat dari para responden yang dihitung dengan menggunakan *fuzzy trapezoidal* harus diubah menjadi *probability* untuk kemudian dihitung *minimal cut set*nya menggunakan *software Top Event* FTA. Perhitungan dengan menggunakan *software* tersebut akan menghasilkan *Top Event Probability* dan *Intermediate Event Probability* yang ditunjukkan Gambar 4.16.



**Gambar 4.16** Hasil Minimal *Cut Set* dari Diagram *Fuzzy* FTA

Dari Gambar 4.16 diatas dapat diketahui nilai minimal *cut set* dari *fuzzy fault tree analysis* (FFTA). Untuk nilai minimal *cut set* pada proses instalasi *pipeline* terganggu memiliki *probability* sebesar 0.0413 sedangkan untuk *probability* manajemen proyek kurang baik sebesar 0.0013. Jadi jumlah total *probability*

minimal *cut set* untuk *top event* adalah 0.0426. Grafik perbandingan *probability* dapat dilihat pada Gambar 4.17.



**Gambar 4.17** Grafik Perbandingan *Probability*

“Proses Instalasi Pipeline Terganggu” memiliki *probability* lebih tinggi dibanding “Manajemen Proyek Kurang Baik”, karena dalam pelaksanaan proyek tersebut penanganan saat proses instalasi *pipeline* berlangsung kurang maksimal dikarenakan beberapa faktor seperti fasilitas peralatan tidak memadai, kondisi lingkungan kerja kurang mendukung, penerimaan material terlambat, hasil pengerjaan tidak memenuhi *standard*, dan hasil pekerjaan kurang maksimal yang akhirnya menyebabkan keterlambatan pada proyek instalasi *pipeline* tersebut.

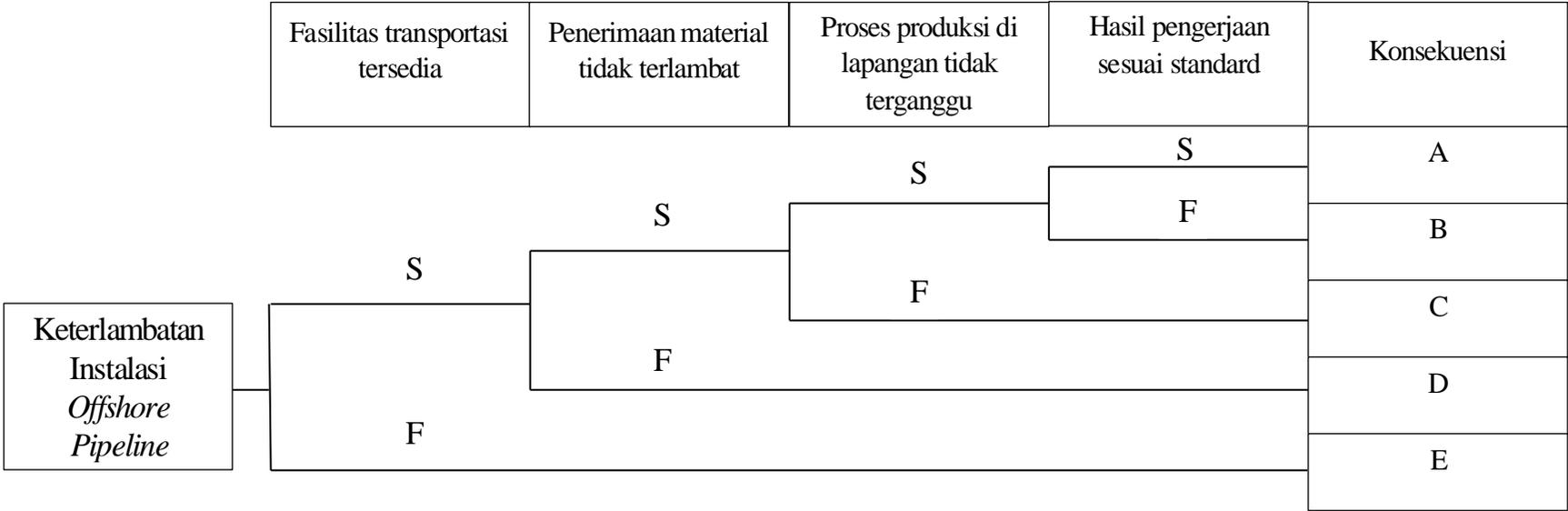
#### **4.4 Pengolahan Data Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek Instalasi *Offshore Pipeline* Menggunakan *Event Tree Analysis (FTA)* dan *Fuzzy Trapezoidal***

*Event tree analysis (ETA)* merupakan suatu metode yang digunakan untuk mencari akibat kegagalan suatu sistem dalam hal ini adalah keterlambatan proses instalasi *offshore pipeline*. Pada bagian ini akan dijabarkan mengenai akibat dari *pivotal event* yang tidak berjalan maksimal hingga *output* yang dihasilkan dari kegagalan tersebut, yang akan dijabarkan melalui diagram *ETA*. Melalui diagram *ETA* akan diketahui akibat permasalahan, *probability*, dan *risk matrix*.

Untuk mencari *probability* dari setiap *pivotal event* akan digunakan metode *fuzzy logic trapezoidal*. *Fuzzy trapezoidal* digunakan untuk mengatasi ketidakjelasan yang terdapat pada keputusan responden, melalui metode ini variabel linguistik akan diubah menjadi kumpulan angka sehingga akan didapatkan *possibility*. *possibility* ini kemudian akan diubah menjadi *probability*.

Pada Gambar 4.18 dibawah ini akan dijabarkan mengenai akibat dari keterlambatan proyek instalasi *offshore pipeline* yang terbagi menjadi 4 *pivotal event* yaitu fasilitas transportasi tersedia, penerimaan material tidak terlambat, proses produksi di lapangan tidak terganggu, dan hasil pengerjaan sesuai standard. Dari 4 *pivotal event* tersebut akan didapatkan 5 *output* dilengkapi waktu keterlambatan dan akibat keterlambatan.

Penjelasan mengenai diagram ETA output A sampai E dapat dilihat pada pembahasan selanjutnya.



**Gambar 4.18** Diagram ETA Akibat Proyek Instalasi *Offshore Pipeline* Terlambat

Keterangan Gambar 4.18 diagram *Event Tree Analysis* (ETA) :

a. *Initiating Event*

*Initiating event* merupakan kesalahan atau peristiwa yang tidak diinginkan yang menyebabkan terjadinya rangkaian kecelakaan. *Possibility* yang digunakan pada metode ini didapatkan melalui hasil *probability fuzzy* FTA sebesar 0.0413. Karena ETA menggunakan *possibility* maka *probability fuzzy* FTA akan diubah dengan menggunakan persamaan 2.11.

Perhitungan mencari *possibility initiating event* ETA :

Langkah pertama mencari K dengan persamaan sebagai berikut.

$$k = \frac{1}{\log\left(\frac{1}{5 \times 10^{-3}}\right)}$$

$$k = 0.4345$$

Kemudian menghitung *possibility* dengan persamaan sebagai berikut.

$$FPs = \frac{1}{1 + \left(k \times \log\left(\frac{1}{FPr}\right)\right)^3}$$

$$FPs = \frac{1}{1 + \left(0.4345 \times \log\left(\frac{1}{0.0413}\right)\right)^3}$$

$$FPs = \frac{1}{1 + (0.4345 \times 1.384)^3}$$

$$FPs = \frac{1}{1 + 0.2175}$$

$$FPs = \frac{1}{1.2175}$$

$$FPs = 0.82$$

Jadi *possibility* dari *initiating event* sebesar 0.82.

b. *Pivotal Event*

*Pivotal event* merupakan kejadian gagal atau sukses dari metode keselamatan yang ditetapkan untuk mencegah *initiating event* agar tidak

menyebabkan sebuah kecelakaan. Pada penelitian ini terdapat 4 *pivotal event* yang terdiri dari :

1. Fasilitas transportasi tersedia

Fasilitas transportasi tersedia merupakan kegiatan yang paling penting dalam proyek instalasi *offshore pipeline* dan diposisikan pada posisi pertama. Apabila fasilitas transportasi tidak tersedia ataupun mengalami gangguan akan memberikan dampak langsung terhadap item-item pekerjaan yang lain dikarenakan harus menunggu datangnya peralatan ataupun material disaat proyek sedang berjalan. Diestimasikan keterlambatan pada bagian ini berkisar 10 - 12 hari.

2. Penerimaan material tidak terlambat

Penerimaan material tidak terlambat menempati posisi kedua dalam proyek instalasi *offshore pipeline*. Apabila penerimaan material tidak mengalami keterlambatan maka pekerjaan instalasi *pipeline* di *yard* dapat terus berjalan tanpa adanya *pending* dikarenakan material habis ataupun sudah tidak ada di lapangan. Penerimaan material tentu saja akan menyebabkan keterlambatan proses instalasi *pipeline* karena kontraktor tidak bisa bekerja apabila material tidak tersedia. Diestimasikan keterlambatan pada bagian ini berkisar 7 - 9 hari.

3. Proses produksi di lapangan tidak terganggu

Proses produksi di lapangan tidak terganggu tentu akan mempengaruhi keberhasilan sebuah proyek instalasi karena jika proses produksi *pipeline* (*fit-up* hingga proses *radiographic test*) berjalan dengan lancar maka proyek dapat diselesaikan tepat waktu atau sesuai dengan kontrak awal pengerjaan. Proses produksi yang terganggu mengakibatkan keterlambatan untuk instalasi *pipeline*. Diestimasikan keterlambatan pada bagian ini 5 - 6 hari.

4. Hasil pengerjaan sesuai *standard*

Hasil pengerjaan sesuai *standard* tentu akan menyebabkan proyek berjalan lancar karena tidak perlu dilakukan reparasi atau pergantian pada *pipeline*. Apabila banyak hasil pengerjaan yang tidak memenuhi

*standard* maka akan menyebabkan proses instalasi tidak dapat berjalan karena *pipeline* yang tidak layak untuk beroperasi.

Diestimasi keterlambatan pada bagian ini 1 - 4 hari.

Dari hasil wawancara dan penyebaran kuisisioner kepada para responden didapatkan data untuk skala variabel linguistik yang merujuk pada tabel 4.3. Hasil tersebut ditunjukkan pada tabel 4.10 berikut.

**Tabel 4.10** Hasil Kuisisioner dari Responden ETA

<i>Pivotal Event</i>	Responden								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fasilitas transportasi tersedia	FH	VH	H	HVH	HVH	H	VH	H	H
Penerimaan material tidak terlambat	FH	H	VH	LVL	H	HVH	HVH	VH	FH
Proses produksi di lapangan tidak terganggu	H	H	FH	VL	FH	HVH	HVH	H	FL
Hasil pengerjaan sesuai <i>standard</i>	VH	VH	M	HVH	H	H	HVH	H	HVH

Dalam penentuan possibility (FPs) ETA untuk setiap *pivotal event* akan menggunakan fuzzy trapezoidal. Langkah pertama dalam mencari FPs adalah dengan melakukan pembobotan untuk setiap responden, dikarenakan responden yang digunakan dalam metode FTA dan ETA adalah sama maka pembobotan untuk setiap responden dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Perhitungan FPs untuk *pivotal event* fasilitas transportasi tersedia :

Hasil kuisisioner yang didapatkan untuk fasilitas transportasi tersedia adalah :

**Tabel 4.11** Responden untuk Fasilitas Transportasi Tersedia

Responden								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
FH	VH	H	HVH	HVH	H	VH	H	H

Variabel linguistik yang mewakili hasil wawancara diatas sebagai berikut :

$$\text{Responden 1} = (0.5;0.65;0.65;0.8)$$

$$\text{Responden 2} = (0.8;1;1;1)$$

$$\text{Responden 3} = (0.6;0.8;0.8;1)$$

$$\text{Responden 4} = (0.7;0.9;1;1)$$

$$\text{Responden 5} = (0.7;0.9;1;1)$$

$$\text{Responden 6} = (0.6;0.8;0.8;1)$$

$$\text{Responden 7} = (0.8;1;1;1)$$

$$\text{Responden 8} = (0.6;0.8;0.8;1)$$

$$\text{Responden 9} = (0.6;0.8;0.8;1)$$

Setelah itu variabel linguistik dikalikan dengan masing-masing bobot

responden yang terdapat pada Tabel 4.6 dengan persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Responden 1} &= (0.5;0.65;0.65;0.8) \times 0.13 \\ &= (0.066 ; 0.086 ; 0.086 ; 0.105) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Responden 2} &= (0.8;1;1;1) \times 0.11 \\ &= (0.088 ; 0.110 ; 0.110 ; 0.110) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Responden 3} &= (0.6;0.8;0.8;1) \times 0.13 \\ &= (0.079 ; 0.105 ; 0.105 ; 0.132) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Responden 4} &= (0.7;0.9;1;1) \times 0.09 \\ &= (0.062 ; 0.079 ; 0.088 ; 0.088) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Responden 5} &= (0.7;0.9;1;1) \times 0.11 \\ &= (0.077 ; 0.099 ; 0.110 ; 0.110) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Responden 6} &= (0.6;0.8;0.8;1) \times 0.12 \\ &= (0.073 ; 0.097 ; 0.097 ; 0.121) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Responden 7} &= (0.8;1;1;1) \times 0.09 \\ &= (0.070 ; 0.088 ; 0.088 ; 0.088) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Responden 8} &= (0.6;0.8;0.8;1) \times 0.13 \\ &= (0.079 ; 0.105 ; 0.105 ; 0.132) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Responden 9} &= (0.6;0.8;0.8;1) \times 0.09 \\ &= (0.053 ; 0.070 ; 0.070 ; 0.088) \end{aligned}$$

Kemudian masing-masing *fuzzy number* dari setiap responden untuk memperoleh satu *fuzzy number*. Untuk perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M &= (0.066 + 0.088 + 0.079 + 0.062 + 0.077 + 0.073 + 0.070 + 0.079 + 0.053; \\ &0.086 + 0.110 + 0.105 + 0.079 + 0.099 + 0.097 + 0.088 + 0.105 + 0.070 ; \\ &0.086 + 0.110 + 0.105 + 0.088 + 0.110 + 0.097 + 0.088 + 0.105 + 0.070 ; \\ &0.105 + 0.110 + 0.132 + 0.088 + 0.110 + 0.121 + 0.088 + 0.132 + 0.088) \\ M &= (0.65 ; 0.84 ; 0.86 ; 0.97) \end{aligned}$$

Kemudian mencari *possibility* dari *fuzzy number pivotal event* dengan persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{FPs} &= \frac{1}{3} \times \frac{(0.97+0.86)^2-(0.97 \times 0.86)-(0.65+0.84)^2+(0.65 \times 0.84)}{(0.97+0.86-0.65-0.84)} \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{0.86}{0.54} \\ &= 0.82 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka akan didapatkan total keseluruhan *possibility pivotal event* seperti yang terdapat pada Tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Hasil Perhitungan *Fuzzy Possibility* (FPs)

<i>Pivotal Event</i>	<i>Fuzzy Number</i>				FPs
	a	b	c	d	
Fasilitas transportasi tersedia	0.65	0.84	0.86	0.97	0.82
Penerimaan material tidak terlambat	0.61	0.78	0.82	0.89	0.77
Proses produksi di lapangan tidak terganggu	0.51	0.67	0.70	0.84	0.68
Hasil pengerjaan sesuai <i>standard</i>	0.65	0.85	0.88	0.96	0.83

c. *Output Event*

Pada bagian ini akan dicari *possibility* akhir untuk setiap jalur *pivotal event* sesuai dengan diagram ETA yang terdapat pada Gambar 4.18. *Possibility* akhir ini didapatkan dari hasil perkalian *possibility* pada Tabel 4.11 dengan *possibility top event* yang sudah didapatkan pada perhitungan sebelumnya. Keterangan mengenai masing-masing *output* diantaranya :

1. A : *Offshore pipeline* selesai diinstal dan tidak mengalami keterlambatan sama sekali, rencana penjadwalan awal berjalan dengan lancar.

*Output A* terjadi dengan *possibility* (FPs) :

$$0.82 \times 0.82 \times 0.77 \times 0.68 \times 0.83 = 0.2922$$

2. B : *Offshore pipeline* selesai diinstal namun mengalami keterlambatan antara 1 - 4 hari diakibatkan hasil pengerjaan penyambungan *pipeline* ataupun *pipeline* yang tidak memenuhi *standard*. Denda perhari akibat keterlambatan yaitu 0.1% dari total nilai kontrak US\$ 33.000.000,-. Jadi denda yang harus dibayarkan sebesar US\$ 33.000,- sampai dengan US\$ 132.000,-.

*Output B* terjadi dengan *possibility* (FPs) :

$$0.82 \times 0.82 \times 0.77 \times 0.68 \times 0.17 = 0.0599$$

3. C : *Offshore pipeline* selesai diinstal namun mengalami keterlambatan antara 5 – 6 hari diakibatkan proses produksi di lapangan terganggu. Denda perhari akibat keterlambatan yaitu 0.1% dari total nilai kontrak US\$ 33.000.000,-. Jadi denda yang harus dibayarkan sebesar US\$ 165.000,- sampai dengan US\$ 198.000,-.

*Output C* terjadi dengan *possibility* (FPs) :

$$0.82 \times 0.82 \times 0.77 \times 0.32 = 0.1657$$

4. D : *Offshore pipeline* selesai diinstal namun mengalami keterlambatan antara 7 – 9 hari diakibatkan penerimaan material terlambat. Denda perhari akibat keterlambatan yaitu 0.1% dari total nilai kontrak US\$ 33.000.000,-. Jadi denda yang harus dibayarkan sebesar US\$ 231.000,- sampai dengan US\$ 297.000,-.

*Output D* terjadi dengan *possibility* (FPs) :

$$0.82 \times 0.82 \times 0.23 = 0.1547$$

5. E : *Offshore pipeline* selesai diinstal namun mengalami keterlambatan antara 10 – 12 hari diakibatkan fasilitas transportasi tidak tersedia. Denda perhari akibat keterlambatan yaitu 0.1% dari total nilai kontrak US\$ 33.000.000,-. Jadi denda yang harus dibayarkan sebesar US\$ 330.000,- sampai dengan US\$ 396.000,-.

*Output E* terjadi dengan *possibility* (FPs) :

$$0.82 \times 0.18 = 0.1476$$

Untuk mencari level resiko setiap *output event* dari *risk matrix*, langkah selanjutnya adalah mengubah *possibility* (FPs) menjadi *probability* (FPr).

Perhitungan *probability* untuk *Output Event A* sebagai berikut :

Dari perhitungan sebelumnya *Output Event A* memiliki *possibility* sebesar 0.2922.

Langkah pertama adalah mencari nilai K :

$$\begin{aligned} K &= \left[ \left( \frac{1-FPs}{FPs} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301 \\ K &= \left[ \left( \frac{1-0.2922}{0.2922} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301 \\ K &= \left[ \left( \frac{0.7078}{0.2922} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301 \\ K &= [(2.422)]^{\frac{1}{3}} \times 2.301 \\ K &= 1.343 \times 2.301 \\ K &= 3.09 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya mencari *probability* (FPr), berikut adalah perhitungannya :

$$\begin{aligned} FPr &= \frac{1}{10^K} \\ FPr &= \frac{1}{10^{3.09}} \\ FPr &= \frac{1}{1230.269} \\ FPr &= 0.000813 \end{aligned}$$

Dari perhitungan seperti diatas maka didapatkan *probability* untuk keseluruhan *output event* seperti pada Tabel 4.13 berikut.

**Tabel 4.13** Hasil keseluruhan *Output Event*

Output Event	FPs	K	FPr
A	0,2922	3,0902	0,000813
B	0,0599	5,7627	1,73E-06
C	0,1657	3,9440	0,000114
D	0,1547	4,0533	8,84E-05
E	0,1476	4,1283	7,44E-05

d. Konsekuensi ETA pada *Risk Matrix*

Hasil *probability* dari setiap *output event* ETA akan digunakan untuk menentukan kategori konsekuensi *risk matrix* sesuai standar DNV – *Marine Risk Assessment* (2002). Langkah pertama adalah menentukan *Frequency Index* (FI) dan *Severity Index* (SI) dari *output event* ETA kemudian menghitung *Risk Index* (RI) untuk digolongkan ke dalam *Risk Matrix*.

**Tabel 4.14** *Frequency Index* (FI) untuk *Risk Matrix*

(Sumber: DNV - Marine Risk Assessment, 2002)

FI	<i>Frequency</i>	<i>Probability</i>
6	<i>Frequent</i>	0,1 – 1
5	<i>Probable</i>	0,01 – 0,09
4	<i>Occasional</i>	0,001 – 0,009
3	<i>Remote</i>	0,0001 – 0,0009
2	<i>Improbable</i>	0,00001 – 0,00009
1	<i>Incredibly Remote</i>	0,000001 – 0,000009

Tabel 4.14 menjelaskan mengenai penggolongan data kuantitatif dan kualitatif fuzzy ETA. Rating permasalahan menjelaskan tentang skala *probability* dari *output event* atau konsekuensi pada proyek instalasi *offshore pipeline*.

**Tabel 4.15** *Severity Index (SI)* untuk *Risk Matrix*  
(Sumber: DNV - Marine Risk Assessment, 2002)

SI	Severity	Definisi
1	<i>Negligible</i>	Proyek tidak mengalami denda dan proyek mengalami keterlambatan kurang dari 1 hari
2	<i>Marginal</i>	Proyek terkena denda dan proyek terlambat 1 – 4 hari
3	<i>Critical</i>	Proyek perbaikan kapal terkena denda dan proyek terlambat 5 – 14 hari
4	<i>Catastrophic</i>	Proyek perbaikan kapal terkena denda dan proyek terlambat lebih dari 14 hari

Tabel 4.15 menjelaskan mengenai penggolongan data kuantitatif dan kualitatif *fuzzy* ETA. Rating permasalahan menjelaskan tentang penggolongan konsekuensi permasalahan pada proyek instalasi *offshore pipeline*. Hasil dari wawancara responden terhadap konsekuensi dapat dilihat pada tabel 4.16 dibawah ini :

**Tabel 4.16** Hasil Wawancara dan Kuisisioner dari Responden

No.	Output	Frequency Index (FI)		Severity Index (SI)	
		Kuantitatif	Kualitatif	Kuantitatif	Kualitatif
1	A	0,000813	<i>Remote</i>	Sukses	<i>Negligable</i>
2	B	1,73E-06	<i>Incredibly Remote</i>	1 – 4 hari	<i>Marginal</i>
3	C	0,000114	<i>Remote</i>	5 – 6 hari	<i>Critical</i>
4	D	8,84E-05	<i>Improbable</i>	7 – 9 hari	<i>Critical</i>
5	E	7,44E-05	<i>Improbable</i>	10 – 12 hari	<i>Critical</i>

**Tabel 4.17 Risk Matrix**  
(Sumber : Pangestu, 2019)

<i>Frequency Index (FI)</i>	<i>Rating</i>	<i>Severity Index (SI)</i>			
		1	2	3	4
		<i>Negligable</i>	<i>Marginal</i>	<i>Critical</i>	<i>Catastrophic</i>
6	<i>Frequent</i>	6	12	18	24
5	<i>Probable</i>	5	10	15	20
4	<i>Occasional</i>	4	8	12	16
3	<i>Remote</i>	3	6	9	12
2	<i>Improbable</i>	2	4	6	8
1	<i>Incredibly Remote</i>	1	2	3	4

Keterangan :

	<i>Low</i>
	<i>Moderate</i>

	<i>High</i>
	<i>Extreme</i>

Dari Tabel 4.16 dapat dilakukan penggolongan hasil *fuzzy* ETA ke dalam *risk matrix* dengan rumus *risk index* (RI) seperti di bawah ini :

$$RI = FI \times SI$$

Keterangan :

RI : *Risk Index*

FI : *Frequency Index*

SI : *Severity Index*

Hasil perhitungan dan penggolongan *output* ke dalam *Risk Index* (RI) dapat dilihat pada Tabel 4.18.

**Tabel 4.18** Hasil Risiko Keterlambatan Proyek Instalasi *Offshore Pipeline*

No.	Output	Frequency Index (FI)		Severity Index (SI)		Risk Index (RI)	
1	A	3	<i>Remote</i>	1	<i>Negligable</i>	3	<i>Low</i>
2	B	1	<i>Incredibly Remote</i>	2	<i>Marginal</i>	2	<i>Low</i>
3	C	3	<i>Remote</i>	3	<i>Critical</i>	9	<i>Moderate</i>
4	D	2	<i>Improbable</i>	3	<i>Critical</i>	6	<i>Moderate</i>
5	E	2	<i>Improbable</i>	3	<i>Critical</i>	6	<i>Moderate</i>

Output A berada pada *risk index (RI) low* yang berarti memiliki tingkat resiko rendah dengan *frequency index* berada pada *Remote*, artinya tingkat frekuensi kejadian jarang terjadi. Untuk *severity index* berada pada tingkatan *Negligable* yang berarti memiliki tingkat bahaya yang rendah atau dapat diabaikan. Penejelasan mengenai *output* yang lain dapat dilihat melalui Tabel 4.18. Jika dikelompokkan kedalam *Risk Matrix* seperti yang terdapat pada Tabel 4.19 dibawah.

**Tabel 4.19** Hasil perhitungan *Risk Matrix*

<i>Frequency Index (FI)</i>	<i>Rating</i>	<i>Severity Index (SI)</i>			
		1	2	3	4
		<i>Negligable</i>	<i>Marginal</i>	<i>Critical</i>	<i>Catastrophic</i>
6	<i>Frequent</i>	6	12	18	24
5	<i>Probable</i>	5	10	15	20
4	<i>Occasional</i>	4	8	12	16
3	<i>Remote</i>	3	6	9	12
2	<i>Improbable</i>	2	4	6	8
1	<i>Incredibly Remote</i>	1	2	3	4

A

↑

B

↑

D, E

↑

C

←

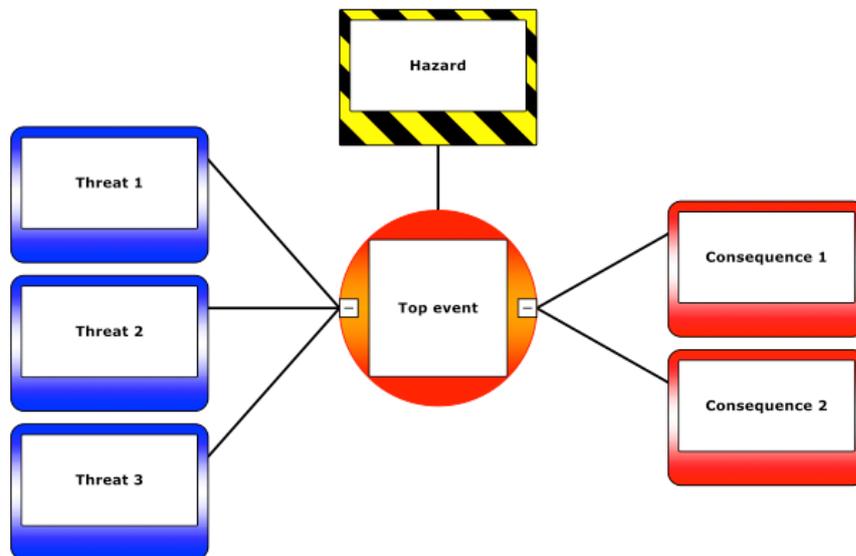
Keterangan :

	<i>Low</i>
	<i>Moderate</i>
	<i>High</i>
	<i>Extreme</i>

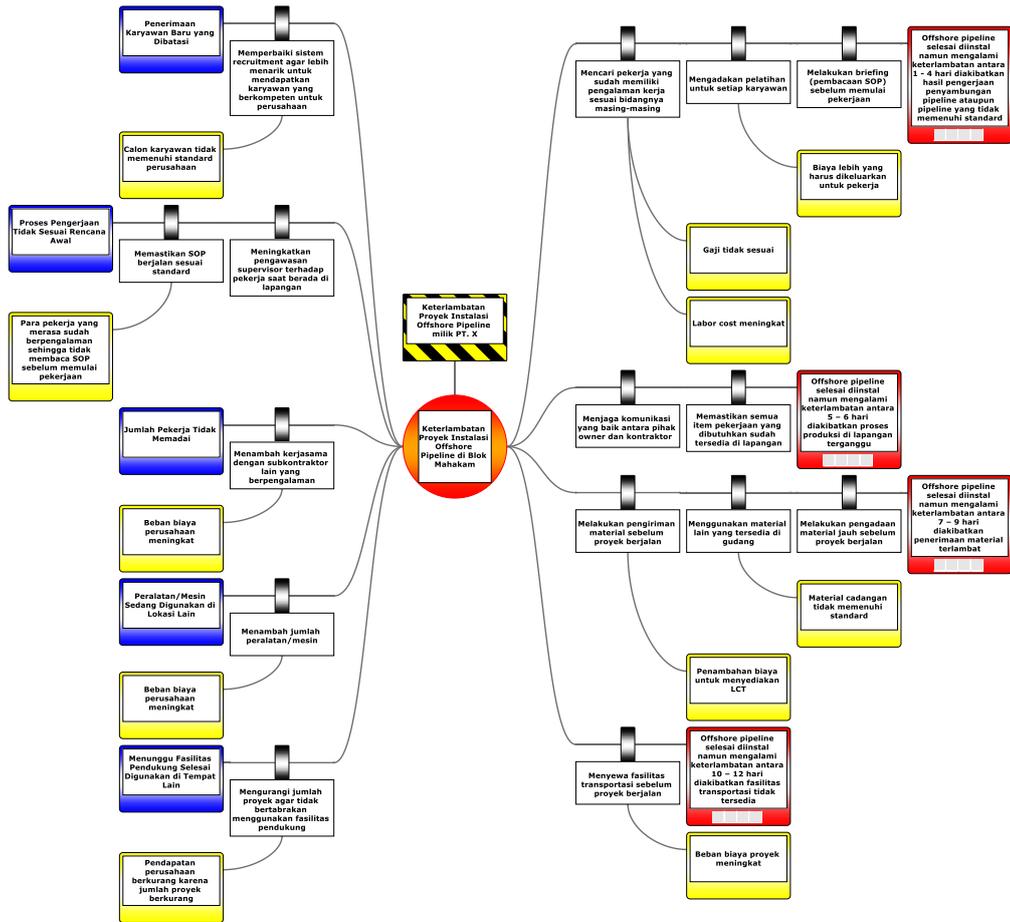
#### 4.5 Pengolahan Data Proyek Instalasi Offshore Pipeline dengan Metode Bowtie Analysis

Metode *bowtie analysis* menggabungkan metode FTA dan ETA menjadi satu diagram untuk kemudian ditemukan sebab dan akibat dalam suatu kegagalan sistem (Ehlers et al, 2016). Melalui metode ini akan dibuat pula *barrier* atau pelindung kegagalan sistem yang terdiri dari dua, yaitu pencegahan sebab keterlambatan (*prevention*) dan peringanan dampak keterlambatan (*mitigation*).

Langkah pertama untuk pengerjaan metode ini adalah dengan menentukan *top event* kemudian menyusun *threat* dan *consequence* yang akan dimasukkan ke dalam diagram *bowtie*. Untuk bagian kiri diagram *bowtie* merupakan *threat* yang didapat dari *basic event* FTA sementara untuk bagian sebelah kanan diagram *bowtie* merupakan *consequence* yang didapat dari *output event* ETA. Kemudian membuat *barrier* yang didapatkan melalui hasil wawancara dengan para responden yang sudah berlangsung maupun dari hasil evaluasi proyek instalasi *offshore pipeline* sebagai langkah pencegahan *threat* dan peringanan dari *consequence*. Setelah membuat *barrier* kemudian menentukan *escalation factor* yang merupakan faktor yang menyebabkan *barrier* tidak dapat dilakukan.



Gambar 4.19 Diagram *Bowtie*



Gambar 4.20 Hasil Diagram *Bowtie Analysis*

Penjelasan dari diagram diatas terbagi menjadi dua bagian, yaitu *threat* dan *consequences*. Penjelasan mengenai *threat* dapat dilihat pada Tabel 4.20.

**Tabel 4.20** Penjelasan *Threat* pada Diagram *Bowtie*

No	<i>Threat</i>	<i>Barrier</i>	<i>Escalation Factor</i>
1	Penerimaan karyawan baru yang dibatasi	Memperbaiki sistem <i>recruitment</i> agar lebih menarik agar mendapatkan karyawan yang berkompeten untuk perusahaan	Calon karyawan tidak memenuhi <i>standard</i> perusahaan
2	Proses pengerjaan tidak sesuai rencana awal	Memastikan SOP berjalan sesuai <i>standard</i>	Para pekerja yang merasa sudah berpengalaman sehingga tidak membaca SOP sebelum memulai pekerjaan
		Meningkatkan pengawasan <i>supervisor</i> terhadap pekerja saat berada di lapangan	Tidak ada
3	Jumlah pekerja tidak memadai	Menambah kerjasama dengan subkontraktor lain yang berpengalaman	Beban biaya perusahaan meningkat
4	Peralatan/mesin sedang digunakan di lokasi lain	Menambah jumlah peralatan/mesin	Beban biaya perusahaan meningkat
5	Menunggu fasilitas pendukung selesai digunakan di tempat lain	Mengurangi jumlah proyek agar tidak bertabrakan menggunakan fasilitas pendukung	Pendapatan perusahaan berkurang karena jumlah proyek berkurang

Penjelasan mengenai *consequences* dapat dilihat pada Tabel 4.21.

**Tabel 4.21** Penjelasan *Consequences* pada Diagram *Bowtie*

No	Consequences	Barrier	Escalation Factor
1	<i>Offshore pipeline</i> selesai diinstal namun mengalami keterlambatan antara 1 - 4 hari diakibatkan hasil pengerjaan penyambungan <i>pipeline</i> ataupun <i>pipeline</i> yang tidak memenuhi <i>standard</i>	Melakukan <i>briefing</i> (pembacaan SOP) sebelum memulai pekerjaan	Tidak ada
		Mengadakan pelatihan untuk setiap karyawan	Biaya lebih yang harus dikeluarkan untuk pekerja
		Mencari pekerja yang sudah memiliki pengalaman kerja sesuai bidangnya masing-masing	Gaji tidak sesuai
			<i>Labor cost</i> meningkat
2	<i>Offshore pipeline</i> selesai diinstal namun mengalami keterlambatan antara 5 – 6 hari diakibatkan proses produksi di lapangan terganggu	Memastikan semua item pekerjaan yang dibutuhkan sudah tersedia di lapangan	Tidak ada
		Menjaga komunikasi yang baik antara pihak <i>owner</i> dan kontraktor	Tidak ada
3	<i>Offshore pipeline</i> selesai diinstal namun mengalami keterlambatan antara 7 – 9 hari diakibatkan penerimaan material terlambat	Melakukan pengadaan material jauh sebelum proyek berjalan	Tidak ada
		Menggunakan material lain yang tersedia di gudang	Material cadangan tidak memenuhi <i>standard</i>
		Melakukan pengiriman material sebelum proyek berjalan	Penambahan biaya untuk menyediakan LCT

**Tabel 4.21** Penjelasan Consequences pada Diagram Bowtie (Lanjutan)

No	Consequences	Barrier	Escalation Factor
4	<i>Offshore pipeline</i> selesai diinstal namun mengalami keterlambatan antara 10 – 12 hari diakibatkan fasilitas transportasi tidak tersedia	Menyewa fasilitas transportasi sebelum proyek berjalan	Beban biaya proyek meningkat

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian Tugas Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya adalah :

1. Faktor penyebab keterlambatan pada proyek instalasi *offshore pipeline* paling dominan adalah **Proses Instalasi Pipeline Terganggu** dengan *probability* sebesar 0.0413 dan **Manajemen Proyek Kurang Baik** dengan *probability* 0.0013. *Probability of top event* (keterlambatan proyek instalasi *offshore pipeline*) sebesar 0.0426.
2. Besar risiko keterlambatan pada proyek instalasi *offshore pipeline* yang didapat dari *Fuzzy Trapezoidal Event Tree Analysis* adalah :
  - a. *Output Event A* (*offshore pipeline* selesai diinstal dan tidak mengalami keterlambatan sama sekali, rencana penjadwalan awal berjalan dengan lancar), memiliki besar risiko *Low*.
  - b. *Output Event B* (*offshore pipeline* selesai diinstal namun mengalami keterlambatan antara 1 - 4 hari diakibatkan hasil pengerjaan penyambungan *pipeline* ataupun *pipeline* yang tidak memenuhi *standard*) memiliki besar risiko *Low*.
  - c. *Output Event C* (*offshore pipeline* selesai diinstal namun mengalami keterlambatan antara 5 – 6 hari diakibatkan proses produksi di lapangan terganggu), memiliki besar risiko *Moderate*.
  - d. *Output Event D* (*offshore pipeline* selesai diinstal namun mengalami keterlambatan antara 7 – 9 hari diakibatkan penerimaan material terlambat), memiliki besar risiko *Moderate*.
  - e. *Output Event E* (*offshore pipeline* selesai diinstal namun mengalami keterlambatan antara 10 – 12 hari diakibatkan fasilitas transportasi tidak tersedia), memiliki besar risiko *Moderate*.
3. Upaya yang dapat digunakan untuk mencegah keterlambatan pada proyek instalasi *offshore pipeline* dapat dilihat pada Gambar 4.20.

## **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan dari penulis untuk penelitian Tugas Akhir selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Diharapkan agar pada penelitian selanjutnya menggunakan metode lain sebagai bahan perbandingan sehingga hasil yang didapatkan semakin akurat.
2. Menggunakan lebih banyak responden untuk dapat menghimpun data yang semakin sesuai dengan actual di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adripta, P. 2010. *Instalasi Pipa Lepas Pantai (Offshore Pipelines)*. Bandung.
- ASME B31.8. 2016. *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*. The American Society of Mechanical Engineers. United States of America.
- Barihazim, R. 2018. *Analisa Perencanaan Proyek Decommissioning pada Production Barge "Seagood 101"*. Surabaya: Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Cheong, C.W., dan Lan, A.L.H. 2004. *Web Access Failure Analysis Fuzzy Reliability Approach*. International Journal of the Computer, the Internet and Management 12 (1) 65–73.
- Clemen, R.T., Winkler, R.L. 1999. *Combing Probability Distribution from Experts in Risk Analysis*. Risk Analysis. Vol 19, 187–203.
- DNV. 2002. *Marine Risk Assessment*. London Technical Consultancy. United Kingdom.
- Ericson, A. C. 2005. *Hazard Analysis Techniques for System Safety*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken. New Jersey.
- Ehlers, U. C., Ryeng, E. O., McCormack, E., Khan, F., Ehlers, Sören. 2016. *Assessing the Safety Effects of Cooperative Intelligent Transport Systems: A Bowtie Analysis Approach*. International Journal of Accident Analysis and Prevention 99 (2017) 125-141.
- Kerzner, H. 2003. *Project Management: A Systems Approach to Planning Scheduling and Controlling*. Penerbit Van Nostrand Reinhold Company. Edisi ke-8.
- Kritzinger, D. 2017. *Aircraft System Safety*. Penerbit Elsevier Ltd.
- Kurniawan, R. 2015. *Studi Keterlambatan Proyek Pembangunan Kapal Kargo dengan Metode Bowtie Analysis*. Surabaya: Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember

- Kusumadewi, S. dan Guswaludin, I. 2005. *Fuzzy Multi Criteria Decision Making*. Media Informatika. Vol 3:25-38.
- Lavasani, S.M.M., Wang, J., Yang, Z., and Finlay, J. 2012. *Application of MADM in a Fuzzy Environment for Selecting the Best Barrier for Offshore Wells*. Expert Syst. Appl. 39, 2466–2478.
- Lewis, Steve, Smith, dan Kris. 2010. *Lessons Learned from Real World Application of the Bowtie Method*. Journal of Process Safety. Unpublished.
- Mokhtari, K., Ren, J., Roberts, C., and Wang, J. 2011. *Application of a Generic Bow-tie Based Risk Analysis Framework on Risk Management of Sea Ports and Offshore Terminals*. Jurnal internasional: [www.elsevier.com/locate/jhazmat](http://www.elsevier.com/locate/jhazmat).
- Muhamad, P. 2016. *Analisa Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek Topside Platform PT. XYZ*. Surabaya: Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Onisawa, T. 1988. *An Approach to Human Reliability in Man-Machine Systems Using Error Possibility*. Fuzzy sets Syst. Vol. 27, 87–103.
- Pangestu, P. P. A. 2019. *Analisis Risiko Keterlambatan Proyek Perbaikan Kapal Penumpang*. Surabaya: Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- PMBOK. 2004. *A Guide to Project Management Body of Knowledge*. Newtown Square: Project Management Institute.
- PMBOK. 2008. *A Guide to Project Management Body of Knowledge*. Newtown Square: Project Management Institute.
- Pratiwi, V. E. 2019. *Analisis Risiko Keterlambatan Proyek Pembangunan Kapal Penumpang 2000 GT*. Surabaya: Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Ramzali, N., Lavasani, M.R.M., Ghodousi, J. 2015. *Safety Barriers Analysis of Offshore Drilling System by Employing Fuzzy Event Tree Analysis*. Saf. Sci. Vol. 78, 49–59.
- Raiyan, A., Das, S., Islam, M. R. 2011. *Event Tree Analysis of Marine Accidents in Bangladesh*. Jurnal Internasional: [www.elsevier.com/locate/procedia](http://www.elsevier.com/locate/procedia).
- Redana, F. 2016. *Analisa Keterlambatan pada Proyek Pembangunan Jacket Structure*. Surabaya: Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ren, J., Jenkinson, L., Wang, J., Xu, D.L., Yang, J.B. 2009. *An Offshore Risk Analysis Method Using Fuzzy Bayesian Network*. J. Offshore Mech. Arctic Eng. 131. 1-28.
- Safri, M. A. 2018. *Analisa Percepatan Waktu Proyek Instalasi Offshore Platform*. Surabaya: Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Samad, M. F. 2019. *Analisis Jadwal dan Risiko Keterlambatan Proyek Onshore Pipeline X di Melaka*. Surabaya: Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Santosa, B. 2009. *Manajemen Proyek: Konsep dan Implementasi*. Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Santoso, A. N. 2015. *Analisa Keterlambatan Proyek Menggunakan Metode Bowtie Analysis pada Pressure Part HRSG (Heat Recovery Steam Generator)*. Surabaya: Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Saputra, R. Y. 2017. *Analisa Faktor Penyebab Keterlambatan Penyelesaian Proyek Pembangunan Mall ABC*. Surabaya: Tesis. Departemen Manajemen Teknologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Soeharto, I. 1995. *Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional*. Jakarta: Erlangga.

Zarei, E., Khakzad, N., Cozzani, V., Reniers, G. 2019. *Safety Analysis of Process Systems Using Fuzzy Bayesian Network (FBN)*. Jurnal Internasional : [www.elsevier.com/locate/jlp](http://www.elsevier.com/locate/jlp).

## **LAMPIRAN A**

KUISIONER PENGUKURAN *PROBABILITY* UNTUK *FAULT TREE*  
*ANALYSIS* (FTA)

**KUISIONER MENGENAI PROYEK INSTALASI OFFSHORE PIPELINE**  
**di PT. X**

- Jenis Kelamin : \_\_\_\_\_
- Status : \_\_\_\_\_
- Jabatan : \_\_\_\_\_
- Umur : \_\_\_\_\_
- Pengalaman Bekerja (tahun) : \_\_\_\_\_
- Pendidikan : \_\_\_\_\_

Kuisisioner ini diperlukan untuk penelitian atas nama Yohana Selliabreint dari Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Kuisisioner ini bertujuan untuk membantu pengerjaan tugas akhir yang membahas permasalahan faktor keterlambatan instalasi *offshore pipeline* di PT. X. Berikut disajikan daftar *Basic Event* yang terdapat pada *Fault Tree*. Menurut anda bagaimana kemungkinan kejadian (*likelihood*) dari masing-masing *basic event* pada instalasi *offshore pipeline*. Untuk parameter skala kemungkinan (*likelihood*) kejadian merujuk pada skala *fuzzy likelihood of an event* dari jurnal Zarei et al (2019).

**Tabel skala Fuzzy Likelihood of an Event**

<i>Likelihood</i>	<b>Definisi</b>	<i>Membership Function</i>
<i>Very High (VH)</i>	Terjadi setiap instalasi pipeline	(0.8;1;1;1)
<i>High-Very High (H-VH)</i>	Terjadi dalam rentang 3 kali instalasi pipeline	(0.7;0.9;1;1)
<i>High (H)</i>	Terjadi dalam rentang 5 kali instalasi pipeline	(0.6;0.8;0.8;1)
<i>Fairly High (FH)</i>	Terjadi dalam rentang 15 kali instalasi pipeline	(0.5;0.65;0.65;0.8)
<i>Medium (M)</i>	Terjadi dalam rentang 25 kali instalasi pipeline	(0.3;0.5;0.5;0.7)









## **LAMPIRAN B**

KUISIONER PENGUKURAN *PROBABILITY* UNTUK *EVENT TREE*  
*ANALYSIS* (ETA)

**KUISIONER MENGENAI PROYEK INSTALASI OFFSHORE PIPELINE**  
**di PT. X**

Kuisisioner ini diperlukan untuk penelitian atas nama Yohana Selliabreint dari Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Kuisisioner ini bertujuan untuk membantu pengerjaan tugas akhir yang membahas akibat dari gagalnya keterlambatan instalasi *offshore pipeline* di PT. X. Berikut disajikan daftar *Privotal Event* yang terdapat pada *Event Tree*. Menurut anda bagaimana kemungkinan keberhasilan dari masing-masing *privotal event* pada instalasi *offshore pipeline*. Untuk parameter skala kemungkinan (*likelihood*) keberhasilan merujuk pada skala *fuzzy likelihood of an event* dari jurnal Zarei et al (2019).

Tabel Skala kemungkinan keberhasilan *Privotal Event*

(Zarei et all, 2011)

<i>Likelihood</i>	<b>Definisi</b>	<i>Membership Function</i>
<i>Very High</i> (VH)	100% kemungkinan berhasil	(0.8;1;1;1)
<i>High-Very High</i> (H-VH)	90% kemungkinan berhasil	(0.7;0.9;1;1)
<i>High</i> (H)	80% kemungkinan berhasil	(0.6;0.8;0.8;1)
<i>Fairly High</i> (FH)	70% kemungkinan berhasil	(0.5;0.65;0.65;0.8)
<i>Medium</i> (M)	60% kemungkinan berhasil	(0.3;0.5;0.5;0.7)
<i>Fairly Low</i> (FL)	50% kemungkinan berhasil	(0.2;0.35;0.35;0.5)
<i>Low</i> (L)	40% kemungkinan berhasil	(0;0.2;0.2;0.4)
<i>Low-Very Low</i> (L-VL)	30% kemungkinan berhasil	(0;0;0.1;0.3)
<i>Very Low</i> (VL)	20% kemungkinan berhasil	(0;0;0;0.2)

Tabel *Pivotal Event* dari Diagram ETA

No	<i>Pivotal Event</i>	Variabel Lingusitik								
		VH	H-VH	H	FH	M	FL	L	L-VL	VL
1	Fasilitas transportasi tersedia									
2	Penerimaan material tidak terlambat									
3	Proses produksi di lapangan tidak terganggu									
4	Hasil pengerjaan sesuai standard									

Keterangan :

*Pivotal Event* adalah kejadian gagal maupun sukses dari metode keselamatan yang ditetapkan untuk mencegah *Initiating Event* agar tidak mengakibatkan sebuah kecelakaan (keterlambatan).

## **LAMPIRAN C**

HASIL ANALISIS FUZZY FAULT TREE ANALYSIS (FFTA)

## Hasil Analisis *Fuzzy Fault Tree Analysis* (FTA)

### 1. Hasil Perhitungan *Fuzzy Number*

Tabel Hasil Wawancara FTA

KODE	Fuzzy Number 1				Fuzzy Number 2				Fuzzy Number 3				Fuzzy Number 4				Fuzzy Number 5			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
A111	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0,6	0,8	0,8	1	0	0	0,1	0,3	0	0	0,1	0,3
A112	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0,2	0,7	0,9	1	1	0	0,2	0,2	0,4	0,2	0,35	0,35	0,5
A121	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0,1	0,3	0,8	1	1	1	0	0	0,1	0,3	0,2	0,35	0,35	0,5
A122	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0	0,2	0,5	0,65	0,65	0,8	0	0	0,1	0,3	0,2	0,35	0,35	0,5
A123	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0	0,2	0,6	0,8	0,8	1	0	0	0,1	0,3	0,2	0,35	0,35	0,5
A21	0,2	0,35	0,35	0,5	0,3	0,5	0,5	0,7	0,3	0,5	0,5	0,7	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3
A22	0,5	0,65	0,65	0,8	0,5	0,65	0,65	0,8	0,7	0,9	1	1	0,3	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9	1	1
A311	0,3	0,5	0,5	0,7	0,2	0,35	0,35	0,5	0,6	0,8	0,8	1	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0,1	0,3
A312	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0	0,1	0,3	0,2	0,35	0,35	0,5
A313	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0,2	0,2	0,4	0,3	0,5	0,5	0,7	0,3	0,5	0,5	0,7	0,2	0,35	0,35	0,5
A321	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0,2	0,3	0,5	0,5	0,7
A322	0,3	0,5	0,5	0,7	0,6	0,8	0,8	1	0,5	0,65	0,65	0,8	0	0	0,1	0,3	0	0,2	0,2	0,4
A41	0,2	0,35	0,35	0,5	0,6	0,8	0,8	1	0	0	0,1	0,3	0	0	0,1	0,3	0	0,2	0,2	0,4
A42	0	0	0	0,2	0	0	0,1	0,3	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0,2	0,2	0,4
A5111	0	0	0	0,2	0,6	0,8	0,8	1	0,5	0,65	0,65	0,8	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3
A5112	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0	0,1	0,3	0	0	0,1	0,3
A512	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0,5	0,65	0,65	0,8	0	0	0,1	0,3	0	0	0,1	0,3
A5211	0	0	0,1	0,3	0,5	0,65	0,65	0,8	0,6	0,8	0,8	1	0	0	0,1	0,3	0	0,2	0,2	0,4
A5212	0	0	0	0,2	0,5	0,65	0,65	0,8	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0	0,2	0	0	0,1	0,3
A52211	0	0	0	0,2	0,5	0,65	0,65	0,8	0,6	0,8	0,8	1	0	0	0,1	0,3	0	0,2	0,2	0,4
A52212	0	0	0,1	0,3	0,6	0,8	0,8	1	0,6	0,8	0,8	1	0	0	0,1	0,3	0	0	0,1	0,3
A52213	0	0	0,1	0,3	0	0	0,1	0,3	0,6	0,8	0,8	1	0	0	0,1	0,3	0	0,2	0,2	0,4
A52221	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0	0	0,2	0	0	0,1	0,3
A52222	0	0	0	0,2	0,5	0,65	0,65	0,8	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0,2	0	0	0,1	0,3
B11	0	0	0,1	0,3	0	0	0,1	0,3	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0	0,1	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7
B12	0	0	0,1	0,3	0,5	0,65	0,65	0,8	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0	0	0,2	0	0,2	0,2	0,4
B2	0	0	0,1	0,3	0,5	0,65	0,65	0,8	0	0,2	0,2	0,4	0,3	0,5	0,5	0,7	0,3	0,5	0,5	0,7

Tabel Hasil Wawancara FTA (Lanjutan)

KODE	Fuzzy Number 6				Fuzzy Number 7				Fuzzy Number 8				Fuzzy Number 9			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
A111	0	0	0	0,2	0	0,2	0,2	0,4	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0,2	0,2	0,4
A112	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0,2	0,2	0,4	0,3	0,5	0,5	0,7	0,3	0,5	0,5	0,7
A121	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0,1	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3
A122	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0,2	0,2	0,4
A123	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0,1	0,3	0,2	0,35	0,35	0,5	0,2	0,35	0,35	0,5
A21	0	0	0	0,2	0	0,2	0,2	0,4	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3
A22	0,6	0,8	0,8	1	0,2	0,35	0,35	0,5	0,6	0,8	0,8	1	0,6	0,8	0,8	1
A311	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0,2	0,2	0,4	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0,2	0,2	0,4
A312	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0,2	0,2	0,4	0,3	0,5	0,5	0,7	0,2	0,35	0,35	0,5
A313	0,5	0,65	0,65	0,8	0	0,2	0,2	0,4	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3
A321	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0,5	0,65	0,65	0,8
A322	0	0	0,1	0,3	0	0,2	0,2	0,4	0,2	0,35	0,35	0,5	0,3	0,5	0,5	0,7
A41	0	0,2	0,2	0,4	0	0,2	0,2	0,4	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0,2	0,2	0,4
A42	0	0	0	0,2	0	0,2	0,2	0,4	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0,2	0,2	0,4
A5111	0	0	0	0,2	0	0,2	0,2	0,4	0,2	0,35	0,35	0,5	0,5	0,65	0,65	0,8
A5112	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0,2	0,35	0,35	0,5	0,3	0,5	0,5	0,7
A512	0	0,2	0,2	0,4	0	0,2	0,2	0,4	0,3	0,5	0,5	0,7	0,6	0,8	0,8	1
A5211	0	0,2	0,2	0,4	0	0,2	0,2	0,4	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0	0,1	0,3
A5212	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0,2	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0	0,2
A52211	0	0,2	0,2	0,4	0	0,2	0,2	0,4	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0,2	0,2	0,4
A52212	0	0	0	0,2	0	0,2	0,2	0,4	0,2	0,35	0,35	0,5	0,5	0,65	0,65	0,8
A52213	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0,1	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3
A52221	0	0	0	0,2	0	0	0,1	0,3	0,2	0,35	0,35	0,5	0	0	0	0,2
A52222	0	0	0	0,2	0	0	0,1	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3
B11	0	0	0	0,2	0	0	0,1	0,3	0,6	0,8	0,8	1	0,2	0,35	0,35	0,5
B12	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0,2	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3
B2	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0,2	0,3	0,5	0,5	0,7	0,2	0,35	0,35	0,5

2. Hasil Perhitungan *Fuzzy Number* yang Telah Dikalikan dengan Bobot Responden

Tabel Hasil Wawancara FTA Dikalikan dengan Bobot Responden

KODE	Fuzzy Number 1				Fuzzy Number 2				Fuzzy Number 3				Fuzzy Number 4				Fuzzy Number 5			
	a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'
A111	0	0	0	0,03	0	0	0	0,02	0,08	0,11	0,11	0,13	0	0	0,01	0,03	0	0	0,01	0,03
A112	0	0,03	0,03	0,05	0	0	0	0,02	0,09	0,12	0,13	0,13	0	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	0,05
A121	0	0,03	0,03	0,05	0	0	0,01	0,03	0,11	0,13	0,13	0,13	0	0	0,01	0,03	0,02	0,04	0,04	0,05
A122	0,04	0,07	0,07	0,09	0	0	0	0,02	0,07	0,09	0,09	0,11	0	0	0,01	0,03	0,02	0,04	0,04	0,05
A123	0,04	0,07	0,07	0,09	0	0	0	0,02	0,08	0,11	0,11	0,13	0	0	0,01	0,03	0,02	0,04	0,04	0,05
A21	0,03	0,05	0,05	0,07	0,03	0,05	0,05	0,08	0,04	0,07	0,07	0,09	0,03	0,04	0,04	0,06	0	0	0,01	0,03
A22	0,07	0,09	0,09	0,11	0,05	0,07	0,07	0,09	0,09	0,12	0,13	0,13	0,03	0,04	0,04	0,06	0,08	0,10	0,11	0,11
A311	0,04	0,07	0,07	0,09	0,02	0,04	0,04	0,05	0,08	0,11	0,11	0,13	0	0,02	0,02	0,04	0	0	0,01	0,03
A312	0,04	0,07	0,07	0,09	0	0	0,01	0,03	0,03	0,05	0,05	0,07	0	0	0,01	0,03	0,02	0,04	0,04	0,05
A313	0,03	0,05	0,05	0,07	0	0,02	0,02	0,04	0,04	0,07	0,07	0,09	0,03	0,04	0,04	0,06	0,02	0,04	0,04	0,05
A321	0,04	0,07	0,07	0,09	0	0	0,01	0,03	0	0,03	0,03	0,05	0	0	0	0,02	0,03	0,05	0,05	0,08
A322	0,04	0,07	0,07	0,09	0,07	0,09	0,09	0,11	0,07	0,09	0,09	0,11	0	0	0,01	0,03	0	0,02	0,02	0,04
A41	0,03	0,05	0,05	0,07	0,07	0,09	0,09	0,11	0	0	0,01	0,04	0	0	0,01	0,03	0	0,02	0,02	0,04
A42	0	0	0	0,03	0	0	0,01	0,03	0	0,03	0,03	0,05	0	0	0,01	0,03	0	0,02	0,02	0,04
A5111	0	0	0	0,03	0,07	0,09	0,09	0,11	0,07	0,09	0,09	0,11	0,03	0,04	0,04	0,06	0	0	0,01	0,03
A5112	0	0	0	0,03	0	0	0	0,02	0,03	0,05	0,05	0,07	0	0	0,01	0,03	0	0	0,01	0,03
A512	0	0	0	0,03	0	0	0	0,02	0,07	0,09	0,09	0,11	0	0	0,01	0,03	0	0	0,01	0,03
A5211	0	0	0,01	0,04	0,05	0,07	0,07	0,09	0,08	0,11	0,11	0,13	0	0	0,01	0,03	0	0,02	0,02	0,04
A5212	0	0	0	0,03	0,05	0,07	0,07	0,09	0,04	0,07	0,07	0,09	0	0	0	0,02	0	0	0,01	0,03
A52211	0	0	0	0,03	0,05	0,07	0,07	0,09	0,08	0,11	0,11	0,13	0	0	0,01	0,03	0	0,02	0,02	0,04
A52212	0	0	0,01	0,04	0,07	0,09	0,09	0,11	0,08	0,11	0,11	0,13	0	0	0,01	0,03	0	0	0,01	0,03
A52213	0	0	0,01	0,04	0	0	0,01	0,03	0,08	0,11	0,11	0,13	0	0	0,01	0,03	0	0,02	0,02	0,04
A52221	0	0	0	0,03	0	0	0	0,02	0,03	0,05	0,05	0,07	0	0	0	0,02	0	0	0,01	0,03
A52222	0	0	0	0,03	0,05	0,07	0,07	0,09	0	0,03	0,03	0,05	0	0	0	0,02	0	0	0,01	0,03
B11	0	0	0,01	0,04	0	0	0,01	0,03	0,03	0,05	0,05	0,07	0	0	0,01	0,03	0,03	0,05	0,05	0,08
B12	0	0	0,01	0,04	0,05	0,07	0,07	0,09	0,03	0,05	0,05	0,07	0	0	0	0,02	0	0,02	0,02	0,04
B2	0	0	0,01	0,04	0,05	0,07	0,07	0,09	0	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04	0,06	0,03	0,05	0,05	0,08

Tabel Hasil Wawancara FTA Dikalikan dengan Bobot Responden (Lanjutan)

KODE	Fuzzy Number 6				Fuzzy Number 7				Fuzzy Number 8				Fuzzy Number 9			
	a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'
A111	0	0	0	0,02	0	0,02	0,02	0,04	0,04	0,07	0,07	0,09	0	0,02	0,02	0,04
A112	0,04	0,06	0,06	0,08	0	0,02	0,02	0,04	0,04	0,07	0,07	0,09	0,03	0,04	0,04	0,06
A121	0	0,02	0,02	0,05	0	0	0,01	0,03	0,04	0,07	0,07	0,09	0	0	0,01	0,03
A122	0,04	0,06	0,06	0,08	0	0	0,01	0,03	0,03	0,05	0,05	0,07	0	0,02	0,02	0,04
A123	0	0,02	0,02	0,05	0	0	0,01	0,03	0,03	0,05	0,05	0,07	0,02	0,03	0,03	0,04
A21	0	0	0	0,02	0	0,02	0,02	0,04	0,04	0,07	0,07	0,09	0	0	0,01	0,03
A22	0,07	0,10	0,10	0,12	0,02	0,03	0,03	0,04	0,08	0,11	0,11	0,13	0,05	0,07	0,07	0,09
A311	0,02	0,04	0,04	0,06	0	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,05	0,07	0	0,02	0,02	0,04
A312	0,04	0,06	0,06	0,08	0	0,02	0,02	0,04	0,04	0,07	0,07	0,09	0,02	0,03	0,03	0,04
A313	0,06	0,08	0,08	0,10	0	0,02	0,02	0,04	0,04	0,07	0,07	0,09	0	0	0,01	0,03
A321	0,04	0,06	0,06	0,08	0	0	0,01	0,03	0,04	0,07	0,07	0,09	0,04	0,06	0,06	0,07
A322	0	0	0,01	0,04	0	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,05	0,07	0,03	0,04	0,04	0,06
A41	0	0,02	0,02	0,05	0	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,05	0,07	0	0,02	0,02	0,04
A42	0	0	0	0,02	0	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,05	0,07	0	0,02	0,02	0,04
A5111	0	0	0	0,02	0	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,05	0,07	0,04	0,06	0,06	0,07
A5112	0	0	0	0,02	0	0	0	0,02	0,03	0,05	0,05	0,07	0,03	0,04	0,04	0,06
A512	0	0,02	0,02	0,05	0	0,02	0,02	0,04	0,04	0,07	0,07	0,09	0,05	0,07	0,07	0,09
A5211	0	0,02	0,02	0,05	0	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,05	0,07	0	0	0,01	0,03
A5212	0	0,02	0,02	0,05	0	0	0	0,02	0,04	0,07	0,07	0,09	0	0	0	0,02
A52211	0	0,02	0,02	0,05	0	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,05	0,07	0	0,02	0,02	0,04
A52212	0	0	0	0,02	0	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,05	0,07	0,04	0,06	0,06	0,07
A52213	0	0,02	0,02	0,05	0	0	0,01	0,03	0,04	0,07	0,07	0,09	0	0	0,01	0,03
A52221	0	0	0	0,02	0	0	0,01	0,03	0,03	0,05	0,05	0,07	0	0	0	0,02
A52222	0	0	0	0,02	0	0	0,01	0,03	0,04	0,07	0,07	0,09	0	0	0,01	0,03
B11	0	0	0	0,02	0	0	0,01	0,03	0,08	0,11	0,11	0,13	0,02	0,03	0,03	0,04
B12	0	0,02	0,02	0,05	0	0	0	0,02	0,04	0,07	0,07	0,09	0	0	0,01	0,03
B2	0	0,02	0,02	0,05	0	0	0	0,02	0,04	0,07	0,07	0,09	0,02	0,03	0,03	0,04

### 3. Hasil Perhitungan Probability (FPr) FTA

Tabel Perkalian Probability FTA

Kode	Fuzzy Number Total				FPs	K	FPr	Rank
	a''	b''	c''	d''				
A111	0,12	0,21	0,23	0,43	0,25	3,30	0,0005	23
A112	0,22	0,39	0,40	0,57	0,39	2,66	0,0022	2
A121	0,17	0,29	0,32	0,49	0,32	2,95	0,0011	16
A122	0,19	0,31	0,33	0,51	0,34	2,86	0,0014	10
A123	0,18	0,31	0,33	0,51	0,34	2,88	0,0013	12
A21	0,16	0,29	0,31	0,51	0,33	2,94	0,0012	13
A22	0,54	0,72	0,75	0,88	0,72	1,68	0,0207	1
A311	0,19	0,35	0,36	0,54	0,36	2,77	0,0017	6
A312	0,18	0,33	0,35	0,53	0,35	2,84	0,0015	9
A313	0,21	0,38	0,39	0,57	0,39	2,68	0,0021	4
A321	0,19	0,33	0,35	0,55	0,36	2,79	0,0016	8
A322	0,22	0,37	0,39	0,58	0,39	2,66	0,0022	3
A41	0,12	0,26	0,28	0,47	0,29	3,12	0,0008	19
A42	0,03	0,13	0,15	0,34	0,17	3,92	0,0001	26
A5111	0,23	0,34	0,35	0,53	0,37	2,76	0,0018	5
A5112	0,08	0,14	0,16	0,34	0,19	3,75	0,0002	25
A512	0,16	0,26	0,28	0,48	0,30	3,04	0,0009	17
A5211	0,16	0,29	0,32	0,51	0,32	2,95	0,0011	15
A5212	0,13	0,23	0,24	0,43	0,27	3,23	0,0006	22
A52211	0,16	0,30	0,31	0,50	0,32	2,94	0,0011	14
A52212	0,22	0,31	0,35	0,54	0,36	2,79	0,0016	7
A52213	0,12	0,22	0,27	0,47	0,27	3,18	0,0007	20
A52221	0,05	0,09	0,11	0,30	0,15	4,11	0,0001	27
A52222	0,09	0,16	0,19	0,39	0,22	3,52	0,0003	24
B11	0,16	0,24	0,28	0,47	0,29	3,09	0,0008	18
B12	0,12	0,23	0,25	0,44	0,27	3,23	0,0006	21
B2	0,17	0,32	0,33	0,52	0,34	2,88	0,0013	11

## **LAMPIRAN D**

HASIL ANALISIS FUZZY EVENT TREE ANALYSIS (FETA)

## Hasil Analisis *Fuzzy Event Tree Analysis* (ETA)

### 1. Hasil Fuzzy Number dari Wawancara dengan Responden

Tabel Fuzzy Number dari Hasil Wawancara Responden

Pivotal Event	Fuzzy Number 1				Fuzzy Number 2				Fuzzy Number 3				Fuzzy Number 4			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
PV-1 S	0,5	0,65	0,65	0,8	0,8	1	1	1	0,6	0,8	0,8	1	0,7	0,9	1	1
PV-2 S	0,5	0,65	0,65	0,8	0,6	0,8	0,8	1	0,8	1	1	1	0	0	0,1	0,3
PV-3 S	0,6	0,8	0,8	1	0,6	0,8	0,8	1	0,5	0,65	0,65	0,8	0	0	0	0,2
PV-4 S	0,8	1	1	1	0,8	1	1	1	0,3	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9	1	1

Fuzzy Number 5				Fuzzy Number 6				Fuzzy Number 7				Fuzzy Number 8				Fuzzy Number 9			
a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
0,7	0,9	1	1	0,6	0,8	0,8	1	0,8	1	1	1	0,6	0,8	0,8	1	0,6	0,8	0,8	1
0,7	0,9	1	1	0,7	0,9	1	1	0,7	0,9	1	1	0,8	1	1	1	0,5	0,65	0,65	0,8
0,5	0,65	0,65	0,8	0,7	0,9	1	1	0,7	0,9	1	1	0,6	0,8	0,8	1	0,2	0,35	0,35	0,5
0,7	0,9	1	1	0,6	0,8	0,8	1	0,7	0,9	1	1	0,6	0,8	0,8	1	0,7	0,9	1	1

### 2. Hasil Fuzzy Number yang Telah Dikalikan dengan Bobot Responden

Tabel Fuzzy Number Dikali Bobot Responden

Pivotal Event	Fuzzy Number 1				Fuzzy Number 2				Fuzzy Number 3				Fuzzy Number 4			
	a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'
PV-1 S	0,066	0,086	0,086	0,105	0,088	0,110	0,110	0,110	0,079	0,105	0,105	0,132	0,062	0,079	0,088	0,088
PV-2 S	0,066	0,086	0,086	0,105	0,066	0,088	0,088	0,110	0,105	0,132	0,132	0,132	0,000	0,000	0,009	0,026
PV-3 S	0,079	0,105	0,105	0,132	0,066	0,088	0,088	0,110	0,066	0,086	0,086	0,105	0,000	0,000	0,000	0,018
PV-4 S	0,105	0,132	0,132	0,132	0,088	0,110	0,110	0,110	0,040	0,066	0,066	0,092	0,062	0,079	0,088	0,088

Tabel Fuzzy Number Dikali Bobot Responden (Lanjutan)

Fuzzy Number 5				Fuzzy Number 6				Fuzzy Number 7				Fuzzy Number 8				Fuzzy Number 9			
a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'	a'	b'	c'	d'
0,077	0,099	0,110	0,110	0,073	0,097	0,097	0,121	0,070	0,088	0,088	0,088	0,079	0,105	0,105	0,132	0,053	0,070	0,070	0,088
0,077	0,099	0,110	0,110	0,085	0,109	0,121	0,121	0,062	0,079	0,088	0,088	0,105	0,132	0,132	0,132	0,044	0,057	0,057	0,070
0,055	0,071	0,071	0,088	0,085	0,109	0,121	0,121	0,062	0,079	0,088	0,088	0,079	0,105	0,105	0,132	0,018	0,031	0,031	0,044
0,077	0,099	0,110	0,110	0,073	0,097	0,097	0,121	0,062	0,079	0,088	0,088	0,079	0,105	0,105	0,132	0,062	0,079	0,088	0,088

3. Hasil Perhitungan Probability (FPr) ETA

Tabel Perkalian Probability FTA

Pivotal Event	Fuzzy Number Total				FPs
	a''	b''	c''	d''	
PV-1 S	0,65	0,84	0,86	0,97	0,82
PV-2 S	0,61	0,78	0,82	0,89	0,77
PV-3 S	0,51	0,67	0,70	0,84	0,68
PV-4 S	0,65	0,85	0,88	0,96	0,83

## BIODATA PENULIS



Yohana Selliabreint Br Sembiring dilahirkan di Medan, Sumatera Utara, pada tanggal 07 Maret 1998. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di TK Agia Sophia Medan, dilanjutkan ke pendidikan dasar di SD Agia Sophia Medan, kemudian pendidikan menengah pertama di SMP St. Yoseph Medan, dan pendidikan menengah atas di SMA St. Thomas 1 Medan. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2016 penulis melanjutkan studinya di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa selain aktif dibidang akademis, penulis juga aktif di berbagai kegiatan intra kampus. Kegiatan intra kampus yang pernah diikuti oleh penulis adalah menjadi anggota Paduan Suara Mahasiswa ITS 2016 dan UKM Musik ITS. Selain itu penulis juga aktif di berbagai kepanitiaan seperti *staff* acara Natal Paskah PMK ITS 2017/2018 , *staff public relations* ITS EXPO 2017, *staff* ahli *public relations* OCEANO 2019 dan *Liaison Officer* PETROLIDA ITS 2017. Penulis memiliki pengalaman melakukan kerja praktek di PT. Pertamina Hulu Mahakam, Balikpapan, Kalimantan Timur. Selain itu penulis juga menjadi *author* dan *presenter paper* internasional pada acara ISOCEEN 2019, dengan *paper* yang berjudul “*Risk Analysis on Delay of Offshore Pipeline Installation*”. Penulis mengakhiri masa perkuliahannya dengan menulis Tugas Akhir dengan bidang manajemen risiko keterlambatan proyek instalasi *offshore pipeline* berjudul “Analisis Risiko Keterlambatan Proyek Instalasi *Offshore Pipeline*: Studi Kasus pada Blok Mahakam”.

E-mail: [yohanaselliabreints@gmail.com](mailto:yohanaselliabreints@gmail.com).