



Tugas Akhir - MO 184804

PERENCANAAN PROYEK *OFFSHORE PIPELINES REPLACEMENT*

JORDY REVANDA WIDIARDO APCAR

NRP. 0431154000146

Dosen pembimbing

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

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

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020



FINAL PROJECT - MO 184804

PROJECT PLANNING OF OFFSHORE PIPELINES REPLACEMENT

JORDY REVANDA WIDIARDO APCAR
NRP. 0431154000146

SUPERVISOR

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

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

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN
PERENCANAAN PROYEK *OFFSHORE PIPELINES REPLACEMENT*

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Jordy Revanda Widiardo Apar NRP. 04311540000105

Disetujui oleh:

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

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

3. **Prof. Ir. Soegiono** (Penguji 1)

4. **Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.** (Penguji 2)

SURABAYA, 15 JANUARI 2020

PERENCANAAN PROYEK *OFFSHORE PIPELINES* *REPLACEMENT*

Nama Mahasiswa : Jordy Revanda Widiardo Apar
NRP : 04311540000146
Departemen : Teknik Kelautan – FTK ITS
Dosen Pembimbing : Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.
Prof. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M.RINA.

ABSTRAK

Banyak faktor yang dapat membuat proyek terlambat, misalnya faktor cuaca yang membuat tidak mungkin untuk melakukan pekerjaan atau faktor kurangnya utilitas dan peralatan konstruksi, keterlambatan pembelian pesanan material, kurangnya sumber daya manusia yang berpengalaman dan terampil di lapangan, terlambat biaya turun untuk pembelian kegiatan pada proyek. Selain itu, terjadinya keterlambatan dalam kegiatan kritis karena kegiatan kritis memiliki dampak besar pada durasi proyek. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa dengan mencari kegiatan yang merupakan kegiatan kritis pada proyek dan faktor-faktor yang dapat menyebabkan keterlambatan dalam proyek pemasangan pipa baru ini karena dapat membahayakan pemilik dan kontraktor. Penelitian ini akan membahas penentuan jalur kritis, penentuan akar penyebab atau faktor-faktor yang dapat menyebabkan keterlambatan, risiko keterlambatan, dan perbaikan apa yang dapat dilakukan dalam menjaga ketepatan waktu proyek pergantian pipa baru PT. X. Ada 4 indikasi keterlambatan dalam pekerjaan proyek. Indikasi keterlambatan terjadi pada Juni 2018, September 2018, dan Oktober 2018. Penyimpangan terbesar antara nilai yang direncanakan dan nilai yang diperoleh terjadi pada Oktober 2018, yaitu 5,05%. Penelitian ini menggunakan *six sigma analysis*, *critical path*, *fault tree analysis* dan *event tree analysis*. Hasil dari metode *critical path* akan menentukan kegiatan proyek kritis. Hasil *fault tree analysis* akan mendapatkan angka probabilitas untuk *top event* keterlambatan proyek. Hasil *event tree analysis* akan mendapatkan tingkat risiko masing-masing faktor yang menyebabkan keterlambatan. Hasil *six sigma*

analysis akan mendapatkan akar permasalahan, angka sigma, dan tindakan korektif apa yang diambil.

Kata Kunci : **Critical Path, Fault Tree Analysis, Event Tree Analysis, Six Sigma Analysis, Top Event, Keterlambatan Proyek, Instalasi Pipa Bawah Laut.**

***PROJECT PLANNING OF OFFSHORE PIPELINES
REPLACEMENT***

Student Name : Jordy Revanda Widiardo Apar
Student Registry Number : 04311540000146
Major : Ocean Engineering (Faculty of Marine Tech),
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Supervisor : Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.
Prof. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M.RINA.

ABSTRACT

Many factors could make a project late, for example hurricane, one of weather factors that make it impossible to do work or factors like lack of utilities and construction equipment, delays in purchasing material orders, lack of experienced and skilled human resources in the field, late costs down to purchase activities on the project . In addition, there are delays in critical activities because critical activities have a large impact on the duration of the project. Therefore it is necessary to do an analysis by looking for activities that are critical to the project and factors that can cause delays in the new pipeline project because it can endanger the owners and contractors. This study will discuss the determination of the critical path, the determination of the root causes or factors that can cause delays, the risk of over time, and what improvements can be made in maintaining the timeliness of the new pipeline replacement project by company X. There are 4 indications of delay in this project work. Indications of delay occurred in June 2018, September 2018, and October 2018. The biggest deviation between the planned value and the earned value occurred in October 2018, which was 5.05%. This study uses six sigma analysis, critical path, fault tree analysis and event tree analysis. The results of the critical path method will determine the critical project activities. The results of fault tree analysis will get the probability value for the top event of the project delay. The results of the event tree analysis will get the risk level of each factor that

causes delays. Six sigma results will get to the root of the problem, the number of sigma, and what corrective action is taken.

Key Words : Critical Path, Fault Tree Analysis, Event Tree Analysis, Six Sigma, Top Event, Project Delay, Installation of Offshore Pipelines.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul *Perencanaan Proyek Offshore Pipelines Replacement* dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan dan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada tugas akhir ini penulis meneliti perencanaan proyek yang dilakukan PT. X yang dikhususkan pada analisis jadwal dan risiko keterlambatan proyek menggunakan *fault tree analysis* dan *event tree analysis* ditunjang dengan metode *critical path* untuk mendapatkan kegiatan kritis proyek dan *six sigma analysis* untuk mendapatkan akar permasalahan dan tindakan korektif apa yang dapat dilakukan.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari bahwa tugas akhir ini memiliki kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis juga mengharapkan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan pendidikan dan penelitian, referensi bagi perusahaan dalam membuat perencanaan proyek, serta menambah pengetahuan dan wawasan bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2020

Jordy Revanda Widiardo Apcar

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji hanya milik Allah SWT berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini tanpa kendala dan halangan yang berarti. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis, Bapak Didik Iskandar Apcar dan Ibu Dewi Isnawati Q. Istambah dan keluarga besar penulis atas doa, semangat, dan dukungan bagi penulis selama masa perkuliahan dan penyusunan tugas akhir ini.
2. Ibu Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D. dan Prof. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M.RINA selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, memotivasi, dan selalu sabar dalam berdiskusi, serta memberikan masukan berupa kritik maupun saran selama proses penyusunan tugas akhir ini.
3. Prof. Ir. Soegiono, Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T., serta Bapak Raditya Danu, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan untuk penulis demi kebaikan dan kelancaran tugas akhir ini.
4. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc., selaku dosen wali penulis yang selalu memberikan nasihat dan dukungan moral selama masa perkuliahan penulis.
5. Bapak Januar A. M., selaku mentor kerja praktik yang baik hati dan dosen pembimbing 3 yang telah meluangkan waktunya membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Para ahli dan teknisi serta pihak yang telah bersedia menjadi responden dalam kusioner tugas akhir ini.
7. Muhamad Farid Samad selaku sahabat yang telah meluangkan waktunya dalam membantu dan membimbing penulis selama penyusunan tugas akhir ini.
8. Muhammad Baharsyah dan Fadhil Syahran selaku sahabat yang selalu membantu penulis semasa perkuliahan.
9. Dea Prameswari, Hana Fauziyah dan Fakhri Arifin selaku sahabat dan tetangga penulis yang selalu memberikan motivasi kepada penulis selama masa perkuliahan.
10. Ibrahim T, Bagas A, dan Pipo Riyadi selaku sahabat seperjuangan tugas akhir.

11. Fachri Kurnia M, Adriawan P. Hamami, Innokey Arizona T, Axelino Bramantyo, Raihan Barihazim, Ade Rizky, Dowglas Malau, Fachry M, Ariadna K, Farras R, Rizal H, Arifin Amanto, Ari Affandi, M. Arief, M. Naufal, Frankie Samuel, Aldi Megantara, Abbiyu, Adam R, Ahmad Farhan, Amril Pawi, M. Rizqy Jafa dan Nauval Rifqy selaku sahabat yang menemani penulis dan membantu penulis berkembang semasa perkuliahan.
12. Kawan-kawan Marginal; Prajna Pnk, Radifan H, Rafi Riananta A, Almer A, Kitto Ario B, Bianca M, Violisa Linanda, Joey Deborah, Ghina Latifah, Cindy D Yumm, Nadira Ifti Raisya selaku sahabat yang selalu menghibur, mendukung dan menemani penulis semasa perkuliahan.
13. Kawan-kawan GEBE; Amanda Rizkia, Arryo Prakoso, Denyendra, Dimas Satrio, Almira Tri Aulia, Hasna dan Dea Nabila, Cut Vaya, Shifa Nurzahra, Felita, Riani Talitha selaku sahabat yang selalu mendukung dan memotivasi penulis semasa perkuliahan.
14. Kavaleri 70 cabang Surabaya; Cahyo, Giovan, Hirzie selaku sahabat minum kopi dan memberikan pelajaran kehidupan bagi penulis.
15. Kawan-kawan sepembimbingan tugas akhir; Zullian Hafiz, Yohana S, Novanti Ismi, Inneza N, Daris An-Nahdah, Sharas T, Enggar banyu biru selaku sahabat yang telah memotivasi dan mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
16. Teman-teman angkatan 2015, 2016, dan 2017 Teknik Kelautan, dan;
17. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga segala bimbingan, bantuan dan dukungan dari semua pihak diberi balasan oleh Allah SWT

Surabaya, Januari 2020

Jordy Revanda Widiardo Apear

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 <i>Offshore Pipeline Replacement</i>	8
2.2.2 Proyek.....	10
2.2.3 Manajemen Proyek.....	11
2.2.4 Keterlambatan Proyek.....	13
2.2.5 Risiko	15
2.2.6 Manajemen Risiko	16
2.2.7 <i>Precedence Diagram Method (PDM)</i>	18
2.2.8 <i>Critical Path Method</i>	19
2.2.9 <i>Six Sigma Analysis</i>	20
2.2.10 <i>Project Charter</i>	21

2.2.11	<i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	22
2.2.10	<i>Event Tree Analysis (ETA)</i>	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1	Diagram Alir	25
3.2	Penjelasan Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2.1	Membuat Latar Belakang dan Merumuskan Masalah.....	27
3.2.2	Studi Literatur	27
3.2.3	Pengumpulan Data-Data	28
3.2.4	Input Data ke Perangkat Lunak <i>Primavera 6.0</i>	28
3.2.5	Membuat <i>Network Diagram</i> dan Melakukan Perhitungan Manual <i>Critical Path</i>	28
3.2.6	Menentukan Kegiatan-Kegiatan Kritis Dalam Proyek.....	28
3.2.7	Identifikasi Masalah Menggunakan <i>Six Sigma Analysis (Define, Measure, Analyze, Improve)</i>	29
3.2.8	<i>Define</i>	29
3.2.9	<i>Measure</i>	29
3.2.10	<i>Analyze</i>	29
3.2.11	Identifikasi Objek FTA dan ETA.....	30
3.2.12	Menentukan <i>Top Event</i> FTA dan <i>Initiating Event</i> ETA.....	30
3.2.13	Menentukan <i>Basic Event</i> FTA dan <i>Pivotal Event</i> ETA.....	30
3.2.14	<i>Input Probability Fault Tree Analysis (FTA)</i> dan <i>Event Tree Analysis (ETA)</i>	30
3.2.15	Validasi <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i> dan <i>Event Tree Analysis (ETA)</i>	30
3.2.16	<i>Improve</i>	30
3.2.17	Kesimpulan dan Saran	31
BAB IV		33
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Pengumpulan Data Kegiatan, Durasi, Hubungan antar Kegiatan Proyek (<i>Predecessor</i>), dan <i>Excel Planned Value</i> serta <i>Earned Value</i>	33
4.2	<i>Input Data</i> ke Perangkat Lunak <i>Primavera 6.0</i>	37
4.2.1	<i>Input Data</i>	37
4.2.2	Hasil <i>Output</i> Perangkat Lunak <i>Primavera 6.0</i>	39

4.3	Membuat <i>Network Diagram</i> dan Melakukan Perhitungan Manual <i>Critical Path Method</i>	40
4.3.1	Perhitungan <i>Forward Pass</i>	40
4.3.2	Perhitungan <i>Backward Pass</i>	45
4.3.3	Perhitungan <i>Float</i>	51
4.4	Menentukan Kegiatan-Kegiatan Kritis Dalam Proyek	54
4.5	Identifikasi Masalah Menggunakan <i>Six Sigma Analysis</i>	57
4.5.1	<i>Define</i>	57
4.5.2	<i>Measure</i>	67
4.5.3	<i>Analyze</i>	71
4.5.4	<i>Improve</i>	103
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		105
5.1	Kesimpulan	105
5.2	Saran	106
DAFTAR PUSTAKA.....		107
LAMPIRAN		111
BIODATA PENULIS		112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 .1 Peta Lokasi Proyek Pipeline Replacement, 80 – 200 km Timur Laut dari Jakarta.....	1
Gambar 2. 1 Penggunaan Pipa Bawah Laut.....	9
Gambar 2. 2 <i>Project Manangement Life Cycle</i>	11
Gambar 2. 3 Sasaran Proyek atau Hubungan <i>Triple Constrain</i>	12
Gambar 2. 4 Kontribusi Penilaian Risiko Pada Proses Manajemen Risiko.....	18
Gambar 2. 5 Contoh <i>Fault Tree Diagram</i>	23
Gambar 2. 6 <i>Event Tree Diagram</i>	24
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 4. 1 <i>Input Data</i> Kegiatan Proyek dan Durasi Proyek Pada <i>Primavera P6</i>	37
Gambar 4. 2 <i>Input Data</i> Kegiatan Pendahulu (<i>Predecessor</i>) Pada <i>Primavera P6</i>	38
Gambar 4. 3 <i>Gantt Chart</i> Dari Proyek <i>Offshore Pipelines Replacement</i>	39
Gambar 4. 4 <i>Gantt Chart</i> Versi Kritis Dari Proyek <i>Offshore Pipelines Replacement</i>	40
Gambar 4. 5 Kegiatan Kritis Pada Proyek <i>Offshore Pipelines Replacement</i> PT. X	56
Gambar 4. 6 <i>Pivotal Event ETA</i>	78
Gambar 4. 7 <i>Top Event</i> Keterlambatan Proyek <i>Offshore Pipelines Replacement</i> PT. X.....	79
Gambar 4. 8 Tahap <i>Procurement</i> Mengalami Gangguan	80
Gambar 4. 9 Tahap Konstruksi Mengalami Gangguan	81
Gambar 4. 10 Bagian Peralatan Bermasalah.....	82
Gambar 4. 11 Bagian Tenaga Kerja Bermasalah	82
Gambar 4. 12 Terjadi Kecelakaan Dalam Proses Konstruksi	83
Gambar 4. 13 Terjadi Kesalahan Dalam Proses Konstruksi	83
Gambar 4. 14 Tahap Instalasi Mengalami Gangguan.....	85
Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan <i>Intermediate Event Probability</i>	95
Gambar 4. 16 <i>Event Tree Analysis</i> Proyek <i>Offshore Pipelines Replacement</i>	97

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Indikasi Keterlambatan Pada Progress Pengerjaan Proyek <i>Offshore Pipelines Replacement</i> Sumber : PT.X	3
Tabel 4. 1 Data Kegiatan, Durasi dan <i>Predecessor</i> Proyek	33
Tabel 4. 2 Perhitungan <i>Early Start</i> (ES) dan <i>Early Finish</i> (EF)	40
Tabel 4. 3 Perhitungan <i>Latest Start</i> (LS) dan <i>Latest Finish</i> (LF).....	46
Tabel 4. 4 Perhitungan <i>Float</i> Pada Tiap Kegiatan.....	51
Tabel 4. 5 Kegiatan Kritis Pada Proyek <i>Offshore Pipelines Replacement</i>	54
Tabel 4. 6 <i>Project Charter – General Information</i>	57
Tabel 4. 7 <i>Project Charter – Project Scope</i>	58
Tabel 4. 8 <i>Project Charter – Resource Requirements</i>	61
Tabel 4. 9 <i>Project Charter – High-Level Milestone and Duration</i>	62
Tabel 4. 10 <i>Project Charter – Project Team Roles and Responsibilities</i>	63
Tabel 4. 11 Tabel Konversi Angka DPMO ke Angka Sigma	68
Tabel 4. 12 <i>Intermediate Event</i> dan <i>Basic Event</i> FTA	72
Tabel 4. 13 <i>Pivotal Event</i> ETA.....	76
Tabel 4. 14 Data Responden Kuisisioner <i>Basic Event</i>	86
Tabel 4. 15 Rekapitulasi Hasil Kuisisioner <i>Basic Event</i> FTA.....	87
Tabel 4. 16 <i>Frequency Index</i>	89
Tabel 4. 17 <i>Basic Event Probability</i>	90
Tabel 4. 18 Tahap <i>Procurement</i> Mengalami Gangguan.....	91
Tabel 4. 19 Tahap Konstruksi Mengalami Gangguan	92
Tabel 4. 20 Tahap Instalasi Mengalami Gangguan	93
Tabel 4. 21 <i>Top Event Probability</i> FTA	95
Tabel 4. 22 Rekapitulasi Hasil Kuisisioner <i>Pivotal Event Probability</i> ETA.....	96
Tabel 4. 23 Konsekuensi <i>Events</i> ETA	99
Tabel 4. 24 <i>Frequency Index</i>	100
Tabel 4. 25 <i>Severity Index</i>	100
Tabel 4. 26 <i>Risk Matrix</i>	101
Tabel 4. 27 <i>Keterlambatan Risiko</i> Proyek <i>Offshore Pipelines Replacement</i>	101
Tabel 4. 28 Hasil <i>Events</i> ETA ke Matriks Risiko	102

DAFTAR LAMPIRAN

1. *Precedence Diagram Method (PDM)*
2. *Fault Tree Analysis (FTA) dan Event Tree Analysis (ETA)*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

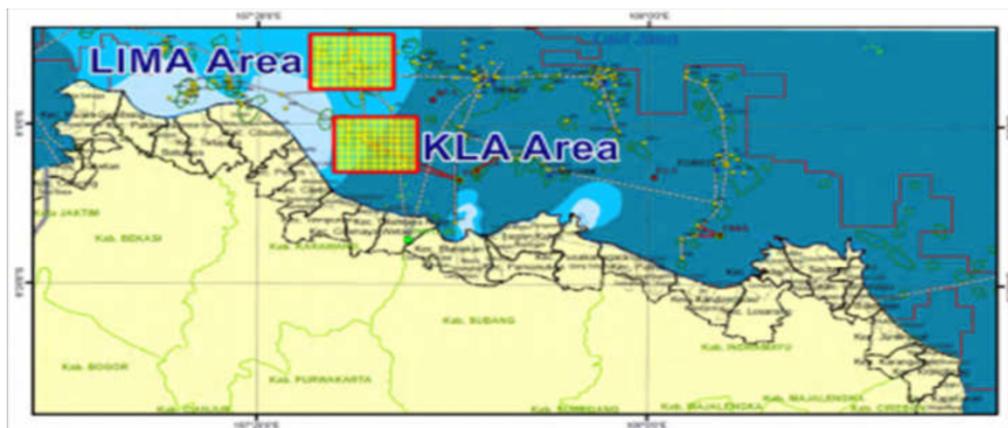
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

PT. X merencanakan untuk melakukan *offshore pipeline repair and replacement*. Proyek *pipeline repair and replacement* ini mencakup aspek *engineering, procurement, construction*, dan *intallation* atau proyek ini disebut dengan proyek EPCI. Lokasi pipa terletak sejauh 80 – 200 km timur laut dari Jakarta. Inti dari proyek ini adalah untuk mengganti pipa yang kondisinya sudah tidak layak pakai dengan melakukan instalasi *pipeline* baru terhadap *existing deteriorated pipelines*. Ada 3 *pipelines* yang direncanakan akan diganti yaitu :

1. *Pipeline A* dengan ukuran OD 12”, panjang 1 km, dan *service main oil line*.
2. *Pipeline B* dengan ukuran OD 10”, panjang 7,2 km, dan *service main oil line*.
3. *Pipeline C* dengan ukuran OD 8”, panjang 7,2 km, dan *service gas lift*.

Berikut peta lokasi dari proyek *pipeline replacement* :



Gambar 1 .1 Peta Lokasi Proyek *Offshore Pipeline Replacement*, 80 – 200 km Timur Laut dari Jakarta.

Sumber : PT. X

Menurut Ervianto (2005) manajemen proyek adalah semua perencanaan, pelaksanaan, pengendalian, dan koordinasi suatu proyek dari awal (gagasan) hingga berakhirnya proyek untuk menjamin pelaksanaan proyek secara tepat waktu, tepat biaya, dan tepat mutu. Suatu proyek dikatakan sesuai dengan objektif apabila dapat diselesaikan dengan 3 nilai yang penting dari proyek yaitu waktu, biaya, dan kualitas. Proyek yang baik akan selesai dengan tepat waktu, dengan biaya yang tidak *overcost*, dan dengan kualitas yang baik.

Pelaksanaan pekerjaan suatu proyek harus didukung dengan suatu manajemen proyek yang baik. Ketidakadaan manajemen proyek akan membawa kekacauan, objektif yang tidak jelas, perencanaan yang tidak realistis, risiko tinggi, kualitas proyek yang buruk, biaya proyek yang melebihi anggaran, dan keterlambatan penyelesaian proyek. Manajemen proyek dapat dibagi kembali seperti manajemen waktu proyek, manajemen sumber daya manusia proyek, dan manajemen risiko proyek (PMBOK, 2008).

Namun, menurut Samad (2019) pada penelitiannya menyatakan bahwa sektor proyek konstruksi memiliki tanggung jawab dan kompleksitas yang tinggi. Menurut Baccarini (1966) juga menyatakan bahwa semua proyek konstruksi bisa dikategorikan sebagai proyek yang kompleks. Hal ini disebabkan oleh hubungan langsung antara kompleksitas dan melibatkan berbagai bagian yang saling terkait yang harus dikelola mengenai kondisi diferensiasi dan interdependensi, sehingga menyebabkan proyek konstruksi memiliki risiko yang tinggi.

Menurut Waluyo dan Aditama (2017) pada penelitiannya proyek konstruksi merupakan suatu rangkaian kegiatan yang hanya satu kali dilaksanakan dan umumnya berjangka waktu pendek. George R. Terry dalam bukunya *Principle of Management* mengatakan bahwa proses yang baik dan benar dalam mengolah sumber daya (*man, money, machine, material, method, and market*) merupakan tujuan utama mengendalikan kompleksitas proyek pada manajemen proyek.

Berdasarkan penjelasan pada paragraf diatas, proyek ini merupakan proyek yang kompleks karena memiliki 3 objek proyek dengan ukuran dan panjang pipa yang berbeda. Maka dari itu, penulis ingin mengantisipasi risiko proyek yang

berupa *overtime* (keterlambatan proyek) yang dapat berdampak pada *project overcost* (pembengkakan biaya). Resiko proyek yang berupa *overtime* dan *overcost* harus dihindari karena dapat merugikan semua belah pihak seperti *owner* dan kontraktor, contohnya dari pihak *owner* akan mengalami kerugian karena objek proyek belum dapat beroperasi, sehingga tidak menghasilkan keuntungan. Dari segi kontraktor harus bertanggung jawab atas keterlambatan dan nama baik kontraktor menjadi buruk.

Tabel 1. 1 Indikasi Keterlambatan Pada Progress Pengerjaan Proyek *Offshore Pipelines Replacement*
Sumber : PT. X

	Juni 2018	Juni 2018	Sept 2018	Oct 2018
<i>Planned Value</i>	0,06%	6,32%	40,11%	53,20%
<i>Earned Value</i>	0,00%	5,63%	39,71%	48,15%

Pada tabel 1.1 menjelaskan bahwa terdapat 4 indikasi keterlambatan pada pengerjaan proyek *replacement pipeline* baru terhadap *existing deteriorated pipelines*. Indikasi tersebut terjadi pada bulan Desember 2017, Maret 2018, September 2018, dan Oktober 2018. Deviasi antara *planned value* dan *earned value* yang terbesar terjadi pada bulan Oktober 2018 yaitu sebesar 5,05%.

Banyak faktor yang dapat membuat suatu proyek menjadi terlambat, contohnya faktor cuaca yang tidak memungkinkan untuk melakukan pekerjaan atau faktor kekurangan utilitas maupun peralatan konstruksi, terlambatnya *purchase order material*, kurangnya sumber daya manusia yang berpengalaman dan ahli pada bidang tersebut, terlambatnya biaya yang turun untuk kegiatan pembelian pada proyek. Selain itu, terjadinya keterlambatan pada kegiatan kritis karena kegiatan kritis memiliki dampak yang besar terhadap durasi proyek.

Maka dari itu perlu adanya analisa keterlambatan dengan mencari kegiatan apa saja yang merupakan kegiatan kritis pada proyek dan faktor-faktor yang dapat menyebabkan *overtime*. Untuk menghindari *overtime* pada proyek instalasi *pipeline* baru ini karena dapat merugikan *owner* dan kontraktor yang dimana telah dijelaskan

pada paragraph sebelumnya. Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai penentuan lintasan kritis, penentuan *root cause* atau faktor penyebab yang dapat menyebabkan *overtime*, besar resiko *overtime*, dan perbaikan apa yang dapat dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, maka dapat dirumuskan pokok permasalahan yang akan dijadikan penelitian yaitu :

1. Menentukan kegiatan kritis pada proyek *replacement pipeline* baru PT. X ?
2. Faktor apa saja yang dapat menyebabkan *overtime* pada proyek *replacement pipeline* baru PT. X ?
3. Berapa probabilitas *project overtime* pada proyek *replacement pipeline* baru PT. X ?
4. Berapa resiko *overtime* pada proyek *replacement pipeline* baru PT. X ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang dinyatakan di atas, maka didapatkan tujuan penelitian yaitu :

1. Untuk menentukan kegiatan kritis pada proyek *replacement pipeline* baru PT.X
2. Untuk mengetahui faktor apa saja yang dapat menyebabkan *overtime* pada proyek *replacement pipeline* baru PT.X
3. Untuk mengetahui berapa probabilitas *project overtime* pada proyek *replacement pipeline* baru PT.X
4. Untuk mengetahui berapa resiko *overtime* pada proyek *replacement pipeline* baru PT.X.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, penulis berharap pembaca mendapatkan manfaat dengan menambah pengetahuan dari hasil analisis waktu dan risiko proyek. Selain itu, penulis berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat kepada perusahaan *owner* maupun kontraktor dalam analisis kegiatan kritis proyek dan manajemen risiko proyek. Penulis juga berharap penelitian ini dapat

memberikan informasi dan pengetahuan kepada pembaca khususnya dalam bidang manajemen proyek dan manajemen risiko proyek.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Tidak membahas detail struktur pipa.
2. Tidak terjadi masalah moneter dalam maupun luar negeri.
3. Penelitian ini mengasumsikan detail proyek tidak ada perubahan atau sesuai dengan surat kontrak.

1.6 Sistematika Penulisan

Hal-hal yang tercantum dalam penelitian tugas akhir ini dapat diketahui dengan membuat sistematika penulisan, yaitu :

Pada Bab I Pendahuluan menjelaskan tentang latar belakang masalah dari penelitian yang dilakukan, rumusan masalah yang akan dibahas, tujuan penelitian yang akan dicapai, manfaat penelitian yang akan diperoleh, batasan masalah dari penelitian yang dilakukan, dan sistematika penulisan dari tugas akhir.

Pada Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori menjelaskan tentang dasar-dasar teori yang mendukung dalam perencanaan manajemen proyek *replacement offshore pipelines* PT. X.

Pada Bab III Metodologi Penelitian menjelaskan tentang alur dalam pengerjaan penelitian yang direpresentasikan dengan diagram alir (*flow chart*). Tahapan-tahapan pengerjaan dimulai dari perumusan masalah, studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, analisis data, dan kesimpulan, serta saran.

Bab IV Analisis Data dan Pembahasan menjelaskan tentang data yang diperoleh, pengolahan data, dan analisis data yang diawali dengan penentuan durasi proyek, penentuan lintasan kritis dalam proyek menggunakan *critical path method*, identifikasi proyek menggunakan *six sigma*, analisa proyek menggunakan *fault tree analysis* dan *event tree analysis*, dan penilaian risiko yang menyebabkan proyek terlambat.

Bab IV Kesimpulan dan Saran menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil perencanaan manajemen proyek yang dilakukan beserta pemberian saran yang dapat diaplikasikan untuk meningkatkan kinerja perusahaan dan penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Orangi et al (2011) menjelaskan bahwa kompleksitas proyek menyebabkan kekhawatiran akan keterlambatan dalam penyelesaian proyek. Risiko yang kemungkinan terjadi adalah risiko terhadap waktu dan biaya yang melebihi perencanaan, risiko ini merupakan hal yang serius. Pada penelitiannya didapatkan faktor apa saja yang mempengaruhi dalam keterlambatan proyek, antara lain desain yang direvisi, buruknya komunikasi dan koordinasi saat perencanaan maupun eksekusi, keterlambatan pada pengiriman maupun penerimaan barang atau material proyek, cuaca yang tidak mendukung atau buruk, pengulangan pekerjaan konstruksi, buruknya pengawasan proyek, dan ketidakefektifan perencanaan dan penjadwalan proyek.

Fallahnejad (2012) menjelaskan tentang identifikasi dan pengurutan penyebab terjadinya keterlambatan pada proyek transmisi pipa gas di Iran. Pada penelitiannya didapatkan 10 faktor penyebab utama keterlambatan, yaitu material impor, durasi proyek yang tidak realistis, material tambahan yang diajukan oleh klien, perampasan lahan, penggantian pesanan, metode pemilihan kontraktor, pembayaran kepada kontraktor, mendapatkan izin, pemasok, dan arus kas kontraktor.

Penyebab keterlambatan waktu sangat penting bagi profitabilitas sebagian besar proyek konstruksi. Banyak peneliti telah mengidentifikasi masalah ini sebagai faktor yang mempengaruhi keterlambatan proyek konstruksi dan akan mempengaruhi kinerja perusahaan. Pada penelitiannya didapatkan rekomendasi untuk meminimalkan dan mengendalikan keterlambatan suatu proyek (Aziz, 2013).

Hadju (2013) dalam penelitian yang berjudul “*Two Scheduling Models, One Project: Are Models Applicable in Case of Real Projects?*” menjelaskan bahwa *modern* ini manajemen proyek telah mengembangkan banyak teknik berdasarkan perhitungan model matematika untuk dapat merencanakan tahapan proyek dalam waktu, biaya, dan sumber daya.

Salah satu metode yang paling populer untuk manajemen proyek adalah *critical path method*. Metode ini dikembangkan tidak lama setelah perang dunia ke-2 dan digunakan sejak tahun 1950-an untuk memperkirakan waktu penyelesaian suatu proyek. *Critical path method* adalah pendekatan deterministik untuk menghitung durasi proyek (Islam, 2013)

Rosqvist et al (2013) dalam penelitian yang berjudul “*Event Tree Analysis for Flood Protection – An Exploratory Study in Finland*” menjelaskan tentang penggunaan *event tree analysis* pada proteksi banjir di Finlandia. Penggunaan *event tree analysis* dapat memberikan informasi terstruktur tentang skenario banjir, dampak dan konsekuensi sistem, risiko, dan tindakan yang diambil.

Peixoto et al (2014) menjelaskan mengenai praktik pada manajemen risiko suatu proyek perlu diaplikasikan karena menyediakan proses yang mengarah pada identifikasi dan pengelolaan tindakan apabila risiko itu muncul.

Menurut Crispim dan Silva (2014), perlu adanya manajemen proyek yang baik, yaitu manajemen risiko proyek. Crispim dan Silva juga melakukan *review* literatur sejumlah 93 literatur pada penelitiannya yang memfokuskan pada identifikasi risiko saja.

Identifikasi dan pemahaman hubungan antara faktor penentu keberhasilan metode *six sigma* dengan kinerja proyek. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan dampak signifikan penggunaan metode *six sigma* terhadap manajemen proyek dan performa proyek (Marzagao dan Carvalho, 2016).

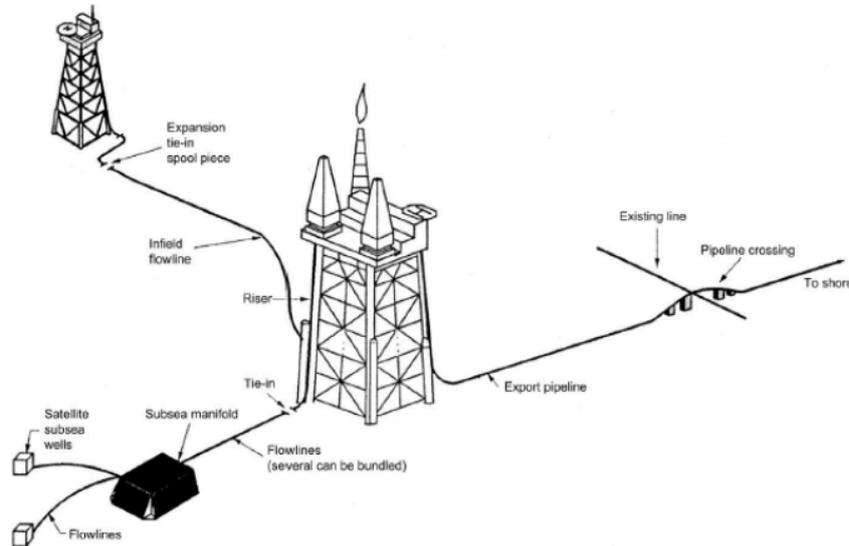
Fault tree analysis adalah metode yang kuat dan mudah dimengerti. Metode ini banyak digunakan untuk menentukan ketergantungan antar kegiatan didalam suatu proyek. Pada *fault tree analysis* ketergantungan antar kegiatan disajikan secara grafis, sehingga mudah dimengerti. Hasil analisis menggunakan metode ini dapat menunjukkan bagaimana komponen kegagalan atau kondisi tertentu dapat bergabung dan menyebabkan kegagalan system (Kabir, 2017).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Offshore Pipeline Replacement

Menurut Bai dan Bai (2005) dalam bukunya yang berjudul “*Subsea Pipelines and Risers*”, *pipeline* merupakan bagian dari suatu jaringan pipa bawah laut yang biasanya disebut dengan *subsea flowlines*. *Pipeline* dari fasilitas proses

menuju darat disebut *export pipeline*, sedangkan *pipeline* dari *platform* ke peralatan bawah laut untuk mengirimkan air atau inhibitor kimia disebut *water injection* atau *chemical flowline*.



Gambar 2. 1 Penggunaan Pipa Bawah Laut

Sumber : Bai dan Bai, 2005, *Subsea Pipelines and Risers*

Offshore pipeline adalah elemen penting dari sistem transportasi bawah laut untuk transportasi dan pengiriman fluida, seperti produk karbon dari lokasi sumber daya ke kilang minyak, lalu ke pasar. Desain, konstruksi, instalasi, dan operasi jaringan *offshore pipeline* memerlukan elemen-elemen manajemen agar transportasi dan pengiriman berjalan dengan lancar (Kenny, 2018).

Offshore pipeline replacement merupakan kegiatan penggantian pipa bawah laut salah satunya dikarenakan pipa yang akan diganti mengalami penurunan fungsi akibat umur atau masalah lainnya. Proses proyek dikenal sebagai EPCI (*Engineering, Procurement, Construction, and Installation*). Proses tersebut memiliki banyak cabang, seperti survei topografi dari pipa yang akan diganti, pembuatan *detail engineering*, pengadaan barang dan sumber daya manusia, proses instalasi, dan lain-lain. Dalam proses instalasi dilakukan *shut-down oil/gas flowline* dan *decommissioning* sebelum dilakukan *cutting* pada pipa lama, kemudian pipa baru dilakukan pengelasan dan NDT (*Non-destructive test*) yang kemudian di turunkan menggunakan metode s-lay, j-lay, reel-lay atau towing untuk mengganti

pipa lama. Setelah itu, dilakukan *commissioning* sebelum *start-up* (mulainya proses produksi).

2.2.2 Proyek

Proyek merupakan kegiatan sekali lewat dengan waktu dan sumber daya terbatas untuk mencapai hasil akhir yang telah ditentukan. Menurut Soeharto (1999), proyek memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

- Bertujuan menghasilkan suatu produk atau hasil kerja akhir dalam lingkup (*deliverable*) tertentu.
- Ditentukan jumlah biaya, jadwal, dan kriteria mutu untuk mewujudkan lingkup di atas.
- Bersifat sementara atau terbatas. Titik awal dan titik akhir kegiatan ditentukan dengan jelas.
- Macam dan intensitas kegiatan berubah sepanjang proyek berlangsung.

Proyek mempunyai tiga karakteristik, yaitu :

- Bersifat unik
Keunikan dari suatu proyek adalah tidak pernah terjadi rangkaian kegiatan yang sama persis. Tidak ada proyek yang identik, yang ada adalah proyek sejenis. Proyek bersifat sementara dan selalu terlibat dalam *group* pekerja yang berbeda-beda.
- Dibutuhkan sumber daya (*resource*)
Setiap proyek membutuhkan sumber daya. Sumber daya yang dibutuhkan meliputi *man, money, machine, material, method, and market*. Mengkoordinasikan pekerja (*man*) lebih sulit dibandingkan dengan sumber daya lainnya.
- Organisasi
Menurut Ervianto (2005), setiap organisasi mempunyai keragaman tujuan dimana didalamnya terlibat sejumlah individu dengan keahlian yang bervariasi, perbedaan ketertarikan, kepribadian bervariasi, dan ketidakpastian. Langkah awal yang harus dilakukan adalah menyusun visi menjadi satu tujuan yang telah ditetapkan oleh organisasi.

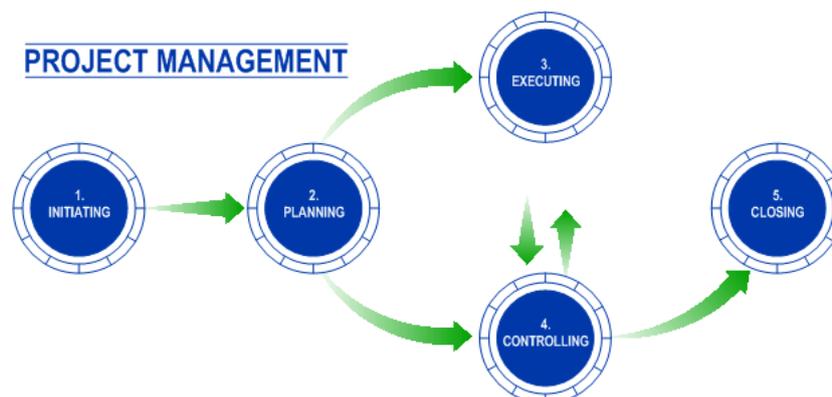
Pada penelitian ini, proyek yang diteliti oleh penulis merupakan *pipeline repair and replacement project* yang mencakup aspek *engineering, procurement, construction, dan intallation* atau proyek ini disebut dengan proyek EPCI. Lokasi pipa terletak sejauh 80 – 200 km timur laut dari Jakarta. Inti dari proyek ini adalah untuk mengganti pipa yang kondisinya sudah tidak layak pakai dengan melakukan instalasi *pipeline* baru terhadap *existing deteriorated pipelines*. Ada 3 *pipelines* yang direncanakan akan diganti yaitu :

- *Pipeline A* dengan ukuran OD 12”, panjang 1 km, dan *service main oil line*.
- *Pipeline B* dengan ukuran OD 10”, panjang 7,2 km, dan *service main oil line*.
- *Pipeline C* dengan ukuran OD 8”, panjang 7,2 km, dan *service main gas lift*.

Penggantian pipa ini akan menyelamatkan produksi minyak, mencegah pipa bocor dan meningkatkan keandalan pipa.

2.2.3 Manajemen Proyek

Menurut PMBOK (2008), manajemen proyek merupakan penerapan pengetahuan, kemampuan, alat, dan teknik untuk memenuhi persyaratan dan kebutuhan proyek itu sendiri. Manajemen proyek terdiri dari 5 tahapan utama yaitu *initiating, planning, executing, monitoring and controlling, serta closing*.



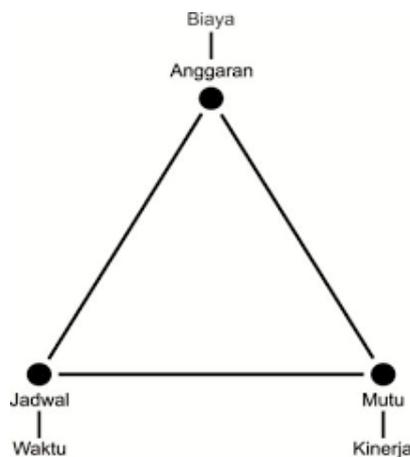
Gambar 2. 2 *Project Manangement Life Cycle*

Sumber : google

Manajemen proyek biasanya meliputi identifikasi persyaratan proyek, mengatasi berbagai kebutuhan, kekhawatiran, dan harapan pemegang saham, serta mengatasi dan menyeimbangkan hambatan proyek, seperti cakupan, kualitas,

jadwal, anggaran, sumber daya, dan risiko. Hubungan antara faktor-faktor ini saling mempengaruhi, sehingga jika ada satu faktor yang berubah kemungkinan faktor yang lain akan terpengaruh. Misalnya, jika jadwal proyek dipercepat seringkali anggaran perlu ditingkatkan karena penambahan sumber daya tambahan untuk menyelesaikan jumlah pekerjaan yang sama dalam waktu yang lebih singkat. Jika peningkatan anggaran tidak memungkinkan, ruang lingkup atau kualitas dapat dikurangi untuk menghasilkan produk dalam waktu kurang untuk anggaran yang sama. *Stakholder* proyek mungkin akan memberikan ide yang berbeda mengenai faktor mana yang lebih penting, seperti menciptakan tantangan yang lebih besar dengan mengubah persyaratan proyek yang kemungkinan dapat menciptakan risiko tambahan. Oleh karena itu tim manajemen proyek harus dapat menilai situasi dan kondisi untuk menghasilkan proyek yang sukses.

Menurut Samad (2019) dalam penelitiannya menyatakan manajemen proyek adalah merencanakan, mengorganisir, memimpin, dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan. Manajemen proyek memiliki fungsi dasar yang terdiri dari pengelolaan lingkup kerja, waktu, biaya, dan kualitas. Kunci keberhasilan dari penyelenggaraan proyek jika dapat mengelola aspek-aspek tersebut dengan benar. Biaya, waktu, dan kualitas dalam konteks pengertian kegiatan proyek merupakan sasaran yang harus dicapai. Dengan demikian, jadwal, biaya, dan kualitas memiliki kedudukan ganda, yaitu sebagai sasaran dan juga sebagai fungsi dasar pengelolaan.



Gambar 2. 3 Sasaran Proyek atau Hubungan *Triple Constraint*

Sumber : Iman Soeharto, 1999, *manajemen proyek*, edisi kedua

Menurut Soeharto (1999) dalam bukunya yang berjudul “*Manajemen Proyek*”, edisi kedua, dalam proses mencapai tujuan ada sasaran yang harus dipenuhi, yaitu besar biaya (anggaran) yang dialokasikan, waktu proyek (jadwal) yang sudah ditetapkan, dan kinerja proyek (mutu) yang harus dipenuhi. Ketiga hal tersebut merupakan parameter penting sebagai sasaran pada penyelenggaraan proyek. Ketiga sasaran tersebut disebut juga sebagai *triple constrain* yang mengusahakan agar semua rangkaian kegiatan pada suatu proyek dapat :

- Tepat waktu, tidak terjadi keterlambatan pada penyelesaian suatu proyek yang sudah ditetapkan sebelumnya.
- Biaya yang dialokasikan untuk kegiatan proyek sesuai perencanaan, tidak ada biaya tambahan yang mengakibatkan *overcost*.
- Kualitas harus memenuhi spesifikasi sesuai persyaratan.
- Proses kegiatan dapat berjalan dengan lancar.

Sasaran tersebut saling berkaitan. Artinya, jika ingin meningkatkan kinerja yang telah disepakati, maka umumnya berakibat pada naiknya biaya sehingga melebihi anggaran. Sebaliknya, jika ingin menekan biaya proyek, maka umumnya harus berkompromi dengan mutu. Ukuran keberhasilan proyek dikaitkan dengan sejauh mana sasaran-sasaran tersebut terpenuhi.

2.2.4 Keterlambatan Proyek

Menurut Praboyo (1999) dalam penelitiannya yang berjudul “*Keterlambatan Waktu Pelaksanaan Proyek: Klasifikasi dan Peringatan dari Penyebab-Penyebabnya*” dalam pelaksanaan proyek berisiko terjadinya keterlambatan. Keterlambatan pelaksanaan proyek umumnya selalu menimbulkan akibat yang merugikan tidak hanya bagi pemilik atau *owner*, tetapi juga bagi kontraktor karena dampak dari keterlambatan adalah konflik dan perdebatan tentang apa dan siapa yang menjadi penyebab, tidak hanya itu waktu dan biaya juga terpengaruh.

Menurut Hassan (2016) yang melakukan penelitian mengenai keterlambatan proyek yang berjudul “*Faktor-Faktor Penyebab Keterlambatan Pada Proyek Konstruksi dan Alternatif Penyelesaiannya (Studi Kasus : Di Manado Town Square 3)*” menyatakan bahwa keterlambatan proyek disebabkan oleh

beberapa faktor yang berasal dari kontraktor, *owner*, dan selain kedua belah pihak. Faktor-faktor penyebab, antara lain :

- Keterlambatan akibat kesalahan kontraktor, antara lain :
 - Pelaksanaan proyek terlambat dimulai.
 - Pekerja dan pelaksana kurang berpengalaman.
 - Terlambat mendatangkan peralatan.
 - Mandor yang kurang aktif.
 - Rencana kerja yang kurang baik.
- Keterlambatan akibat kesalahan *owner*, antara lain :
 - Terlambatnya angsuran pembayaran kepada kontraktor.
 - Terlambatnya penyediaan lahan.
 - Mengadakan perubahan pekerjaan yang besar.
 - Penugasan kontraktor lain untuk mengerjakan proyek tersebut.
- Keterlambatan yang diakibatkan selain kedua belah pihak diatas, yaitu :
 - Kebakaran yang bukan diakibatkan oleh kesalahan kontraktor, konsultan, maupun *owner*.
 - Bencana alam, seperti gempa dan banjir.
 - Bencana akibat manusia, seperti perang.
 - Perubahan moneter.

Menurut Ismael (2013), kemungkinan adanya kendala selama pelaksanaan proyek bisa terjadi akibat manajemen yang kurang baik, sumber daya yang tidak sesuai, metode kerja yang digunakan tidak tepat sehingga berpengaruh terhadap kinerja waktu. Kinerja waktu yang terpengaruh dapat menyebabkan keterlambatan pekerjaan proyek konstruksi dan secara langsung menyebabkan keterlambatan pekerjaan proyek.

Menurut Husen (2011) dalam bukunya yang berjudul "*Manajemen Proyek Perencanaan, Penjadwalan dan Pengendalian Proyek*" menjelaskan bahwa masalah-masalah yang timbul yang dapat menghambat kinerja waktu, antara lain :

- Alokasi penempatan sumber daya tidak efektif karena penyebaran fluktuatif dan ketersediaan sumber daya yang tidak mencukupi.
- Jumlah tenaga kerja yang terbatas.
- Peralatan yang tidak mencukupi.

- Metode kerja yang salah.
- Kondisi lingkungan, seperti cuaca yang buruk.

Selain itu, keterlambatan proyek dapat juga dipengaruhi oleh faktor sosial ekonomi, menurut Yasin (2014), aspek yang sulit diprediksi karena tergantung dari karakteristik, kondisi masyarakat setempat, dan permasalahan dalam bidang ekonomi yang mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap kelancaran proyek.

Abdul et al (2016) menjelaskan mengenai dampak keterlambatan proyek, yaitu sebagai berikut :

- Pihak kontraktor
Keterlambatan penyelesaian proyek berakibat naiknya biaya karena bertambah panjangnya waktu pelaksanaan, sehingga menjadikan *overcost*. Biaya *overcost* 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.
- Pihak konsultan
Konsultan akan mengalami kerugian waktu, serta akan terlambat dalam mengerjakan proyek yang lainnya, jika pelaksanaan proyek mengalami keterlambatan penyelesaian
- Pihak *owner*
Keterlambatan proyek pada pihak *owner*, berarti kehilangan penghasilan dari bangunan yang seharusnya sudah dapat digunakan.

Pada penelitian yang dilakukan penulis, kasus keterlambatan yang terjadi di dalam proyek belum diputuskan apakah proyek terlambat atau tidak karena proyek masih *on going*, tetapi terlihat indikasi keterlambatan pada kurva *planned value* dan *earned value* dari data PT. X.

2.2.5 Risiko

Menurut Szymanski (2017), risiko merupakan kombinasi dari probabilitas suatu kejadian dan dampak dari kejadian tersebut, dampak tersebut memungkinkan dapat lebih dari satu untuk satu kejadian. Namun, risiko pada umumnya dipandang sebagai hal negatif seperti bahaya, kehilangan, dan dampak lainnya. Dampak dan kerugian tersebut sebenarnya merupakan bentuk ketidakpastian yang seharusnya dipahami dan dikelola secara efektif oleh pelaksana proyek.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Samad (2019) dengan judul “*Analisis Jadwal dan Risiko Keterlambatan Proyek Onshore Pipeline X di Malaka*” menjelaskan tentang probabilitas risiko yang di rumuskan seperti dibawah ini :

$$Risk = risk\ likelihood \times risk\ impact$$

Risk likelihood adalah probabilitas terjadinya risiko, sedangkan dampak risiko sering disebut dengan *risk impact*. Jenis-jenis risiko, antara lain:

- *Operational risk*
Kejadian risiko yang berhubungan dengan operasional proyek mencakup risiko yang berhubungan dengan sistem proyek, proses kerja, teknologi, dan sumber daya manusia.
- *Financial risk*
Risiko yang berdampak pada keuangan proyek seperti kejadian risiko akibat dari fluktuasi mata uang, tingkat suku bunga, dan pembayaran angsuran proyek yang terlambat.
- *Hazard risk*
Risiko yang berhubungan dengan kecelakaan fisik seperti kejadian atau kerusakan yang menimpa harta perusahaan dan adanya ancaman perusahaan.
- *Strategic risk*
Risiko yang berhubungan dengan strategi perusahaan, politik, ekonomi, dan peraturan perundangan. Risiko yang berkaitan dengan reputasi organisasi kepemimpinan dan termasuk perubahan keinginan pelanggan.

2.2.6 Manajemen Risiko

Menurut Crispim dan Silva (2014), suatu proses manajemen resiko dalam proyek adalah suatu keputusan yang rasional yang diambil oleh para pengambil keputusan untuk menjaga pelaksanaan proyek dalam kondisi tertentu. Para pengambil keputusan perlu mengidentifikasi, menganalisis, dan mengevaluasi risiko dalam semua kegiatan proyek dan menggunakan struktur organisasi dan praktik administrasi untuk bertindak atas risiko yang menguntungkan proyek. Kompleksitas proyek dan kematangan organisasi dipandang sebagai factor penting yang dapat mempengaruhi keberhasilan suatu proyek.

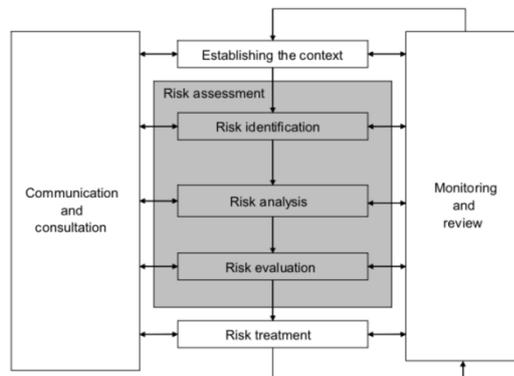
Manajemen risiko memiliki penilaian risiko (*risk assessment*) yang dilakukan dalam kerangka kerja yang dijelaskan dalam ISO 31000. Kerangka kerja manajemen risiko memberikan kebijakan, prosedur, dan pengaturan organisasi yang akan menanamkan manajemen risiko di seluruh struktur organisasi. Sebagai bagian dari kerangka kerja ini, organisasi harus memiliki kebijakan atau strategi untuk memutuskan dan bagaimana risiko harus dinilai. Penilaian risiko harus jelas dan rasional mengenai :

- Konteks dan tujuan organisasi.
- Tingkat dan jenis risiko yang dapat ditoleransi dan bagaimana risiko yang tidak dapat diterima diperlakukan.
- Bagaimana penilaian risiko diintegrasikan ke dalam proses organisasi.
- Metode dan teknik yang akan digunakan untuk penilaian risiko dan kontribusinya terhadap proses manajemen.
- Akuntabilitas, tanggung jawab, dan wewenang untuk melakukan penilaian risiko.
- Sumber daya yang tersedia untuk melakukan penilaian risiko.
- Bagaimana penilaian risiko akan dilaporkan dan ditinjau.

Penilaian risiko terdiri dari elemen-elemen inti dari proses manajemen risiko yang didefinisikan dalam ISO 31000 dan mengandung elemen-elemen berikut :

- *Communication and consultation.*
- *Establishing the context.*
- *Risk assessment.*
 - *Risk identification*
 - *Risk analysis*
 - *Risk evaluation*
- *Risk treatment.*
- *Monitoring and review.*

Penilaian risiko mungkin memerlukan pendekatan multi-disiplin karena risiko dapat mencakup penyebab dan konsekuensi.



Gambar 2. 4 Kontribusi Penilaian Risiko Pada Proses Manajemen Risiko

Sumber : ISO 31010, 2009, *Risk management – Risk assessment techniques*

2.2.7 Precedence Diagram Method (PDM)

Pada PDM terdapat istilah konstrain. Setiap satu konstrain hanya menghubungkan dua node, dikarenakan setiap node hanya memiliki dua ujung. Yaitu pada ujung awal atau mulai = (S) dan ujung akhir atau selesai (F) (Rahmadani dan Sumarningsih, 2018).

Menurut Samad (2019), kelebihan PDM dibandingkan metode lain adalah dapat menggunakan 4 konstrain yang berbeda sehingga dapat menganalisa kegiatan yang bertumpuk atau terjadi pada satu waktu. Konstrain tersebut, antara lain :

1. SS (*Start to Start*)

$SS(i-j) = x$, artinya suatu kegiatan j dapat dimulai setelah x hari kegiatan terdahulu i dimulai. Konstrain ini bisa dimaksudkan kegiatan j dimulai bersamaan dengan kegiatan i, atau dimulai sebelum kegiatan terdahulu i selesai 100%. Besar x tidak boleh melebihi angka kurun waktu kegiatan terdahulu.

2. SF (*Start to Finish*)

$SF(i-j) = x$, artinya suatu kegiatan j selesai setelah x hari kegiatan terdahulu i dimulai. Sebagian kegiatan terdahulu harus selesai sebelum akhir kegiatan yang dimaksud boleh diselesaikan.

3. FF (*Finish to Finish*)

$FF(i-j) = x$, artinya suatu kegiatan j selesai setelah setelah x hari kegiatan terhadulu i selesai. Konstrain ini bisa dimaksudkan kegiatan j selesai bersamaan dengan kegiatan i, atau selesai sebelum/sesudah kegiatan i. Besar x tidak boleh melebihi angka kurun waktu kegiatan terdahulu.

4. FS (*Finish to Start*)

$FS(i-j) = x$, artinya suatu kegiatan j dapat dimulai setelah x hari kegiatan terhadulu i selesai. Konstrain ini bisa dimaksudkan kegiatan j dimulai setelah kegiatan i selesai dilaksanakan. Besar x bisa sama dengan nol dan bisa lebih dari nol.

2.2.8 *Critical Path Method*

Critical path adalah teknik manajemen proyek yang menggunakan hanya satu faktor waktu per kegiatan. *Critical path* atau jalur kritis adalah jalur tercepat pada pekerjaan proyek setiap proyek yang termasuk pada jalur ini tidak diberikan waktu jeda/istirahat untuk pengerjaannya. Jalur kritis merupakan jalur yang terdiri dari kegiatan-kegiatan yang bila terlambat akan mengakibatkan keterlambatan penyelesaian proyek (Heizer dan Render, 2014)

Menurut Samad (2019) pada penelitiannya menjelaskan mengenai istilah ES (*Early Start*), EF (*Early Finish*), LS (*Latest Start*), dan LF (*Latest Finish*) pada kegiatan kritis. Pada penelitian ini menghitung besar ES, EF, LS, dan LF digunakan teknik *forward pass* dan *backward pass* sebagai sebagai berikut :

1. Early Start (ES)

$$ES_j = ES_i + x \text{ (untuk konstrain SS)}$$

$$ES_j = EF_i + x \text{ (untuk konstrain FS)}$$

$$ES_j = EF_j - \text{durasi kegiatan (untuk konstrain FF)}$$

2. Early Finish (EF)

$$EF_j = ES_j + \text{durasi kegiatan (untuk konstrain SS)}$$

$$EF_j = ES_j + \text{durasi kegiatan (untuk konstrain FS)}$$

$$EF_j = EF_i + x \text{ (untuk konstrain FF)}$$

3. Latest Start (LS)

$$LS_j = LF_j - \text{durasi kegiatan (untuk konstrain SS)}$$

$$LS_j = LF_j - \text{durasi kegiatan (untuk konstrain FS)}$$

$$LS_j = LFi - \text{durasi kegiatan (untuk konstrain FF)}$$

4. Latest Finish (LF)

$$LF_j = LS_j + \text{durasi kegiatan (untuk konstrain SS)}$$

$$LFi = LF_j + \text{durasi kegiatan (untuk konstrain FS)}$$

$$LF_j = LFi + x \text{ (untuk konstrain FF)}$$

2.2.9 Six Sigma Analysis

Menurut Nasution (2015) pada bukunya yang berjudul “*Manajemen Mutu Terpadu (Total Quality Management)*”, edisi ketiga, menjelaskan bahwa *six sigma* merupakan pendekatan ilmu statistik untuk menghilangkan penyimpangan, mengurangi pemborosan, maupun memperbaiki efektivitas dalam suatu kegiatan tertentu.

Konsep statistik yang mengukur suatu proses yang berpanutan dengan angka *sigma*, dimana semakin mendekati angka 6 maka hasil akan sesuai yang diharapkan. *Six sigma* merupakan falsafah manajemen yang berfokus untuk menghapus cacat dengan cara menekankan pemahaman, pengukuran, dan perbaikan proses (Brue, 2002)

Menurut Gaspersz (2013) dalam bukunya yang berjudul “*All-in-one: 150 Key Performance Indicators and Balanced Scorecard, Malcolm Baldrige, Lean Six Sigma Supply Chain Management*” menjelaskan dalam *six sigma* ada siklus lima fase DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, and Control*) merupakan suatu proses *closed-loop* yang berfokus pada pengukuran-pengukuran baru dan menerapkan hasil yang didapatkan untuk peningkatan angka *sigma* menuju target *six sigma*. Berikut penjelasan lebih lanjut mengenai DMAIC (Larasati, 2019) :

1. Define

Dalam analisa *six sigma* langkah awal adalah proses *define* dimana manajemen *team* suatu perusahaan melakukan identifikasi terhadap masalah yang dihadapi dalam proyek secara jelas. Manajemen *team* harus memetakan proses kegiatan sehingga masalah dapat dilokalisir dan dipahami dengan jelas. Define bertujuan mengidentifikasi proses yang akan diperbaiki dan menentukan sumber-sumber apa yang dibutuhkan dalam pelaksanaan proyek. Pada penelitian ini menggunakan *project charter* dalam mengidentifikasi masalah.

2. *Measure*

Measure adalah tahap lanjutan dari define dimana pada tahap ini dilakukan validasi suatu masalah dengan perhitungan dan memperoleh angka-angka yang dapat memberi petunjuk tentang masalah tersebut.

3. *Analyze*

Pada tahap ini, penyebab terjadinya penyimpangan pada suatu proyek akan diselidiki dengan hipotesa yang selanjutnya akan diuji. Pada penelitian ini menggunakan *fault tree analysis* dan *event tree analysis* guna mendapatkan *root cause* dan risiko proyek.

4. *Improve*

Pada tahap ini, manajemen team memastikan faktor utama dan memberikan pengaruh baru sehingga mendapatkan hasil yang diinginkan. Tujuan dari tahapan ini untuk mengimplementasikan sistem baru sehingga proyek dapat berjalan lebih optimal.

5. *Control*

Pada tahap ini manajemen team harus mempertahankan perubahan-perubahan yang telah dilakukan melalui alat ukur tertentu sehingga dapat dinilai apakah sistem baru tersebut optimal diimplementasikan pada proyek tersebut. Pada penelitian ini tidak dilakukan *control* hanya sampai tahap *improve*.

2.2.10 *Project Charter*

Project Charter adalah perintah kerja yang disiapkan oleh klien sebagai pemberi kerja. *Project Charter* merupakan dokumen bertanda tangan yang secara resmi mendefinisikan serta mengesahkan proyek (Hutapea et al, 2017).

Project Charter dapat memberikan informasi berupa *general information*, *project scope*, *resource requirements*, *high-level milestones and timeline*, *project team roles and responsibilities* dalam bentuk tabel dan dengan penjelasan sebagai berikut :

1. *General Information*

Pada tabel ini memuat nama proyek, kontak *project manager*, kontak eksekutif sponsor, dan kontrak proyek.

2. *Project Scope*

Pada tabel ini memuat situasi atau masalah proyek saat ini, proyek *goals*, dan *scope of work*.

3. *Resource Requirements*

Pada tabel ini memuat sumber daya yang dibutuhkan dalam proyek mencakup sumber daya manusia, waktu dan biaya.

4. *High-level Milestones and Timeline*

Pada tabel ini memuat durasi kegiatan yang menunjukkan kegiatan kritis proyek.

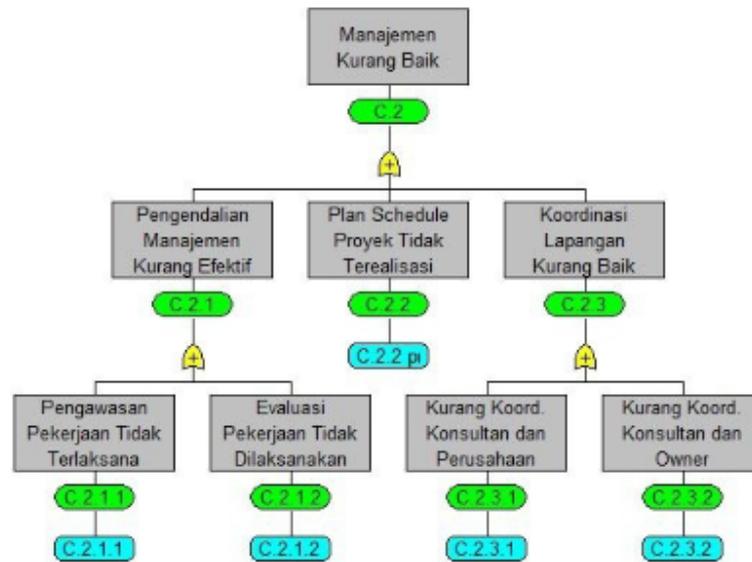
5. *Project Team Roles and Responsibilities*

Pada tabel ini memuat peran dan tanggung jawab anggota tim dalam menjalankan proyek.

2.2.11 *Fault Tree Analysis (FTA)*

Fault tree analysis adalah metode untuk mengidentifikasi dan menganalisis semua faktor yang mungkin menyebabkan kegagalan sistem dan memberi pijakan perhitungan peluang kejadian kegagalan tersebut. Kejadian yang tidak diinginkan yang berada di atas (*top event*) untuk semua akar penyebab yang mungkin terjadi pada bagian bawahnya. Faktor-faktor penyebab diidentifikasi secara deduktif, diatur secara logis dan diwakili menggunakan gambar dalam diagram pohon yang menggambarkan faktor-faktor penyebab dan hubungan logisnya dengan peristiwa puncak. (ISO 31010).

Faktor-faktor yang diidentifikasi dalam struktur pohon dapat berupa peristiwa yang berhubungan dengan kegagalan proses, kesalahan manusia atau peristiwa terkait lainnya yang mengarah pada peristiwa yang tidak diinginkan.



Gambar 2. 5 Contoh *Fault Tree Diagram*

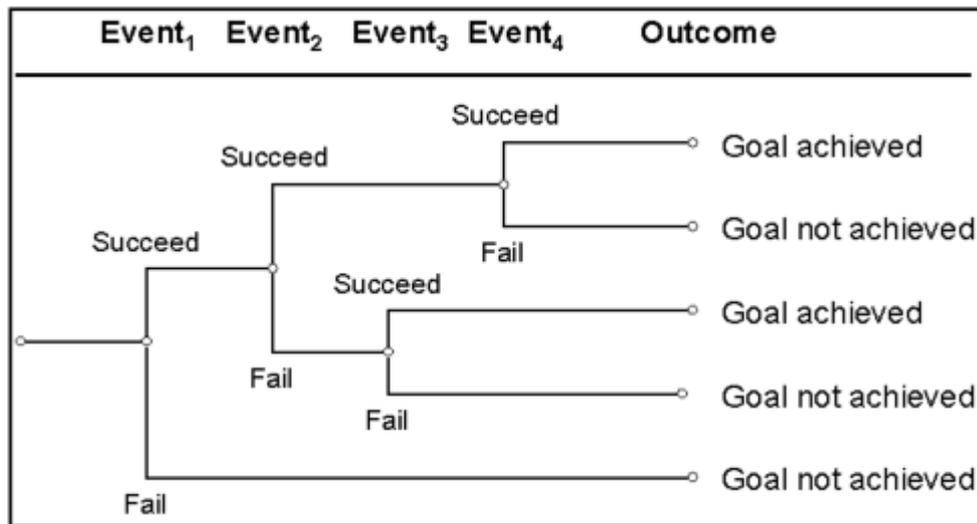
Sumber : Redana (2016)

2.2.10 *Event Tree Analysis (ETA)*

Menurut Redana (2016) pada penelitiannya yang berjudul “*Analisa Keterlambatan pada Proyek Pembangunan Jacket Structure*” menjelaskan bahwa *event tree analysis* adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi proses dan kejadian yang mengarah pada kemungkinan kegagalan. Metode ini berguna dalam menganalisa konsekuensi yang timbul dari kegagalan atau kejadian yang tidak diinginkan. Konsekuensi dari kejadian diikuti melalui serangkaian kemungkinan. Dengan menganalisa semua hasil yang mungkin, adalah mungkin untuk menentukan presentase hasil yang mengarah pada hasil yang diinginkan maupun hasil yang tidak diinginkan.

Menurut Ericson (2005) pada bukunya yang berjudul “*Hazard Analysis Techniques for System Safety*” menjelaskan bahwa *event tree analysis* adalah teknik analisis untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi urutan peristiwa dalam skenario kecelakaan potensial setelah terjadinya peristiwa awal atau *initiating event*. *Event tree analysis* menggunakan struktur pohon logika visual yang dikenal sebagai pohon peristiwa. Tujuan *event tree analysis* adalah untuk menentukan apakah *initiating event* akan berkembang menjadi kecelakaan serius atau apakah acara

tersebut cukup dikontrol oleh sistem keselamatan dan prosedur yang diterapkan dalam desain sistem. *Event tree analysis* dapat menghasilkan banyak hasil yang berbeda dari satu peristiwa awal, dan ini memberikan kemampuan untuk memperoleh probabilitas untuk setiap hasil.

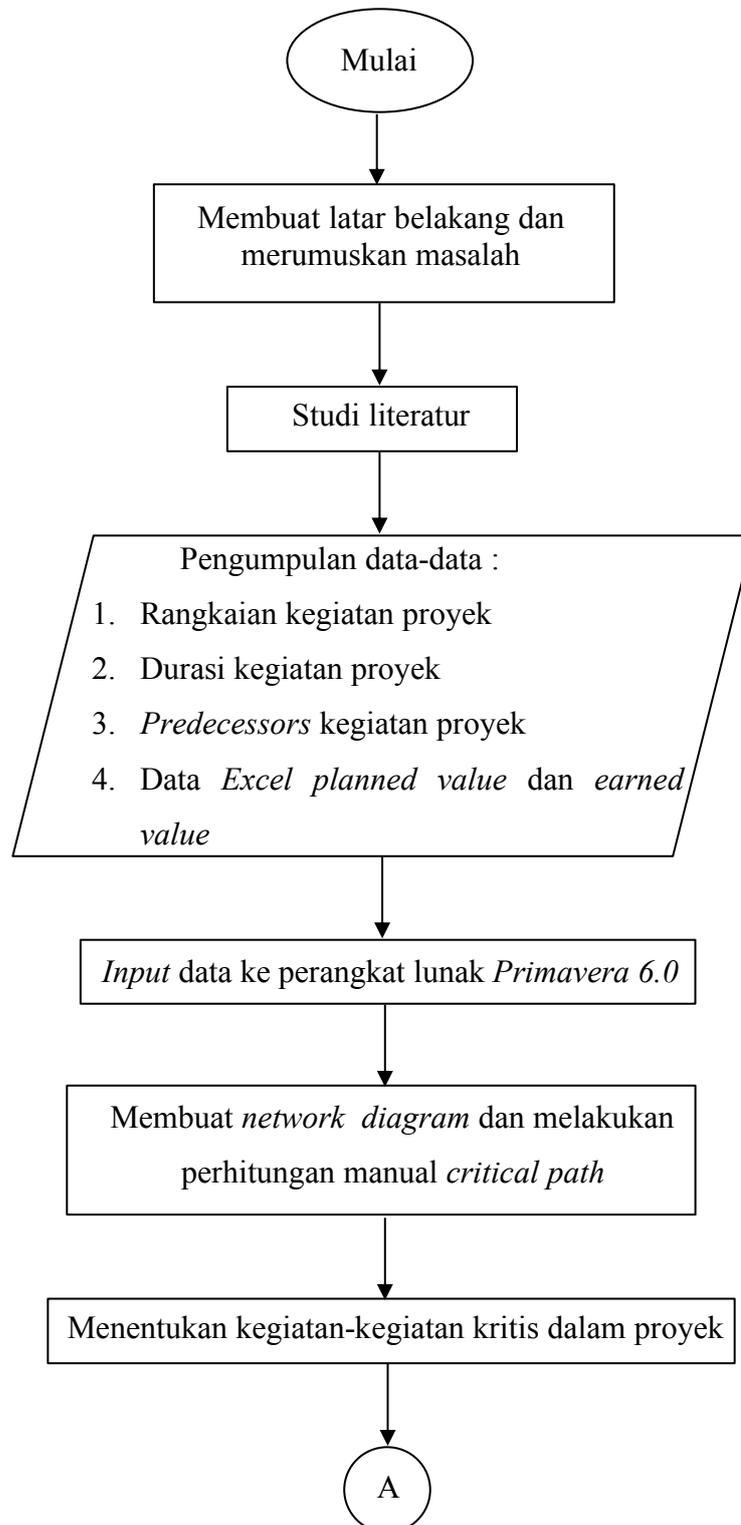


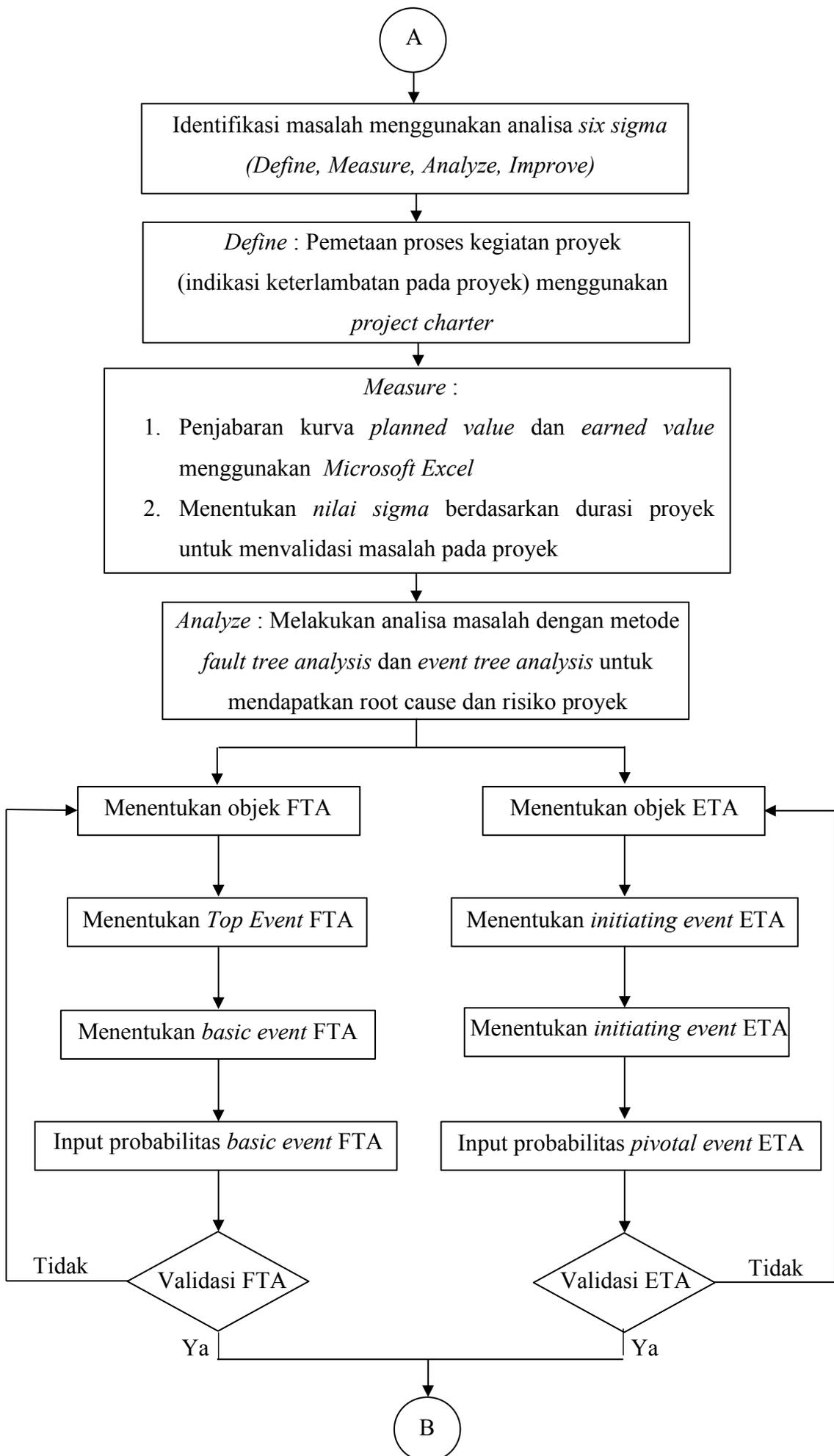
Gambar 2. 6 *Event Tree Diagram*

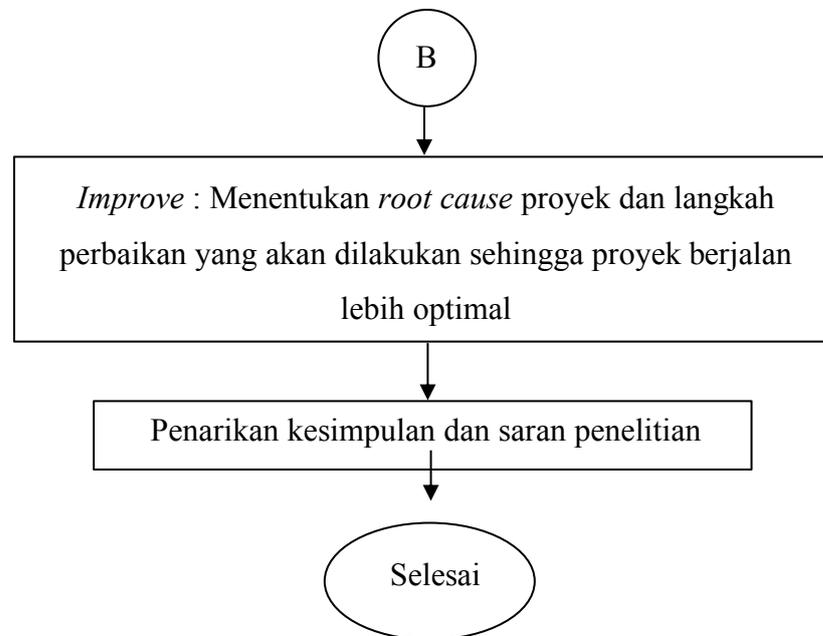
Sumber : Ericson, 2005, *Hazard Analysis Techniques for System Safety*

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir







Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan diagram alir pada gambar 3.1, penjelasan lebih lanjut mengenai pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Membuat Latar Belakang dan Merumuskan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka dirumuskan pokok permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kegiatan kritis pada proyek *replacement pipeline* baru PT. X ?
2. Faktor apa saja yang dapat menyebabkan *overtime* pada proyek *replacement pipeline* baru PT. X ?
3. Berapa probabilitas *project overtime* pada proyek *replacement pipeline* baru PT. X ?
4. Berapa resiko *overtime* pada proyek *replacement pipeline* baru PT. X ?

3.2.2 Studi Literatur

Untuk mendukung pengerjaan tugas akhir, diperlukan pembelajaran literatur-literatur untuk pengembangan wawasan dan analisa yang dilakukan. Berikut studi literatur yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi mengenai manajemen waktu proyek dan manajemen risiko proyek.
2. Studi mengenai analisa *Six Sigma*, *Critical Path*, *Fault Tree Analysis* (FTA), dan *Event Tree Analysis* (ETA).

3.2.3 Pengumpulan Data-Data

Pada tahapan ini, dilakukan pengumpulan data-data yang dibutuhkan untuk penelitian dan penyelesaian tugas akhir ini. Berikut data-data yang diperlukan antara lain :

1. Data rangkaian kegiatan proyek
2. Data durasi pengerjaan kegiatan proyek
3. Data *predecessors* kegiatan proyek
4. Data *Excel planned value* dan *earned value*

3.2.4 Input Data ke Perangkat Lunak Primavera 6.0

Pada tahap ini, dilakukan input data ke dalam perangkat lunak *Primavera 6.0* untuk memperoleh *network diagram*.

3.2.5 Membuat *Network Diagram* dan Melakukan Perhitungan Manual *Critical Path*

Pada tahapan ini, dilakukan *network diagram* dengan menggunakan perangkat lunak *Primavera 6.0*. Kemudian dilakukan perhitungan *critical path* secara manual. Pada tahapan ini, kegiatan-kegiatan dalam proyek akan digambarkan di dalam *node* dan hubungan antar kegiatan digambarkan dengan tanda panah. Didalam *node* berisikan :

1. Nomor Kegiatan
2. Nama Kegiatan
3. Durasi Kegiatan
4. *Early Start* (ES)
5. *Early Finish* (EF)
6. *Latest Start* (LS)
7. *Latest Finish* (LF)

3.2.6 Menentukan Kegiatan-Kegiatan Kritis Dalam Proyek

Setelah membuat *network diagram*, dilakukan penentuan kegiatan kritis dalam proyek dengan menggunakan *critical path method* yang dimana kegiatan kritis proyek ditentukan dengan durasi lintasan terpanjang pada *network diagram*. Lintasan kritis dilakukan dengan melakukan perhitungan ES, EF dan LS, LF. Setelah itu, dilakukan perhitungan *float* yang merupakan pengurangan dari LS dan

ES atau LF dan EF. Kegiatan yang memiliki *float* sejumlah 0, ditentukan sebagai kegiatan kritis.

3.2.7 Identifikasi Masalah Menggunakan *Six Sigma Analysis (Define, Measure, Analyze, Improve)*

Mengidentifikasi objek apa yang akan diteliti menggunakan analisa *six sigma*. Identifikasi ini meliputi 4 tahapan. Tahapan tersebut terdiri dari :

1. *Define*
2. *Measure*
3. *Analyze*
4. *Improve*

3.2.8 *Define* : Pemetaan Proses Kegiatan Proyek (Indikasi Keterlambatan Pada Proyek) Menggunakan *Project Charter*

Pada tahap ini, ditetapkan indikasi keterlambatan pada proyek menjadi objek utama yang penulis ingin teliti. Dilihat dari kurva *planned value* dan *earned value* dapat menunjukkan indikasi keterlambatan dalam proyek. Pemetaan proses kegiatan menggunakan tabel *project charter* yang terdiri dari *general information, project scope, resource requirements, high-level milestones and timeline, project team roles and responsibilities*.

3.2.9 *Measure*

Pada tahap ini, dilakukan penjabaran kurva *planned value* dan *earned value* menggunakan *Microsoft Excel* untuk menunjukkan indikasi keterlambatan dan menentukan angka *sigma* berdasarkan durasi proyek dengan memperoleh angka-angka yang dapat menunjukkan validasi masalah pada proyek.

3.2.10 *Analyze*

Pada tahap ini, Dilakukan analisa dengan metode *fault tree analysis* dan *event tree analysis* yang terdiri dari :

1. Identifikasi objek *fault tree analysis* (FTA) dan *event tree analysis* (ETA)
2. Menentukan *top event* FTA dan *Initiating event* ETA
3. Menentukan *basic event* FTA dan *pivotal event* ETA
4. Menginput *basic event probability* FTA dan *pivotal event probability* ETA
5. Evaluasi objek *fault tree analysis* (FTA) dan *event tree analysis* (ETA)

3.2.11 Identifikasi Objek FTA dan ETA

Mengidentifikasi objek apa yang akan diteliti pada penelitian ini sebagai permulaan kemudian akan dianalisa dengan *Fault Tree Analysis (FTA)* dan *Event Tree Analysis (ETA)*.

3.2.12 Menentukan *Top Event* FTA dan *Initiating Event* ETA

Setelah mengidentifikasi objek apa yang akan diteliti pada penelitian ini sebagai permulaan kemudian akan dianalisa dengan *Fault Tree Analysis (FTA)* dan *Event Tree Analysis (ETA)*, maka selanjutnya dilakukan penentuan *top event* pada FTA yang akan menjadi *initiating event* pada ETA.

3.2.13 Menentukan *Basic Event* FTA dan *Pivotal Event* ETA

Setelah dilakukan penentuan *top event* pada FTA yang akan menjadi *initiating event* pada ETA, langkah selanjutnya adalah menentukan *basic event* yang merupakan faktor pendukung dari *top event* yang dapat membantu pembuatan *fault tree diagram*. Selanjutnya adalah menentukan *pivotal event* dari *initiating event* untuk membantu pembuatan *event tree diagram*.

3.2.14 *Input Probability Fault Tree Analysis (FTA) dan Event Tree Analysis (ETA)*

Memasukan probabilitas tiap-tiap *basic event* dan *pivotal event* ke dalam *Fault Tree Analysis (FTA)* dan *Event Tree Analysis (ETA)* menggunakan perhitungan yang didapatkan dari kusioner yang diberikan kepada responden yang ahli pada bidang manajemen proyek.

3.2.15 Validasi *Fault Tree Analysis (FTA) dan Event Tree Analysis (ETA)*

Selanjutnya adalah tahap evaluasi *Fault Tree Analysis (FTA)* dengan validasi dengan responden (pihak proyek) dan *Event Tree Analysis (ETA)* dengan menggunakan matriks risiko (*risk matrix*).

3.2.16 *Improve*

Pada tahap ini, dilakukan penentuan *root cause* yang dapat menyebabkan keterlambatan pada proyek dan langkah apa saja yang dapat dilakukan dalam proyek, sehingga indikasi keterlambatan pada proyek dapat dihindari.

3.2.17 Kesimpulan dan Saran

Setelah semua tahapan dilakukan maka disusun kesimpulan dari hasil perencanaan manajemen proyek yang dilakukan beserta pemberian saran yang dapat diaplikasikan untuk meningkatkan kinerja perusahaan dan penelitian selanjutnya.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data Kegiatan, Durasi, Hubungan antar Kegiatan Proyek (*Predecessor*), dan *Excel Planned Value* serta *Earned Value*

Pengumpulan data merupakan hal yang paling penting dalam perencanaan proyek, tanpa adanya data yang lengkap perencanaan proyek tidak dapat direncanakan. Dalam penelitian ini, data-data berikut didapatkan dari PT.X. Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini, antara lain data pekerjaan kegiatan-kegiatan proyek, durasi kegiatan proyek, hubungan antar kegiatan proyek (*predecessor*), dan *Excel planned value* serta *earned value* proyek yang dapat dilihat pada tabel 4.1 :

Tabel 4. 1 Data Kegiatan, Durasi dan *Predecessor* Proyek

<i>Activity ID No.</i>	Nama Kegiatan	Durasi Kegiatan (hari)	<i>Predecessor</i>
1	<i>Project Start</i>	0	-
2	<i>Project Management & Service</i>	78	1FS+5
3	<i>Pipeline Report (Engineering)</i>	66	1FS+2
4	<i>Pipeline Drawing (Engineering)</i>	65	1FS+2; 3SS
5	<i>Material Take off (Engineering)</i>	45	1FS+2; 3SS
6	<i>Request for Quotation (Engineering)</i>	37	1FS+3; 3SS+1
7	<i>Pipeline Transportation Procedure Report (Engineering)</i>	111	2SS+13; 3SS
8	<i>Pipeline Transportation Report (Engineering)</i>	57	2SS+7; 4SS

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Durasi Kegiatan (hari)	Predecessor
9	Pipeline Transportation Drawing (<i>Engineering</i>)	45	5SS; 8SS
10	<i>Pre-Commissioning Procedure (Engineering)</i>	55	7SS+25
11	<i>Field Joint Coating Material and Heat Shrink Sleeve (Procurement)</i>	104	6SS+1
12	<i>Gaskets, Nuts and Botts (Procurement)</i>	96	6SS+4
13	<i>Steel Material (Procurement)</i>	53	6SS+12
14	<i>Civil Bulk For Concrete Mattras (Procurement)</i>	26	6SS+3
15	<i>WPS Qualification (Fabrication)</i>	37	11SS+5; 12SS+2
16	<i>Riser Clamps (Fabrication)</i>	30	13FS-1
17	<i>Fabrication Concrete Mattres</i>	51	14FS-1
18	<i>Loadout / Seafastening Pipeline (Fabrication)</i>	63	13FS; 14FS; 15FS; 17SS+39
19	<i>Pre-Construction Survey (Installation)</i>	5	14FS-4
20	<i>Mobilization & Demobilization Concrete Mattrass and Pipeline (Installation)</i>	58	9SS+40; 17SS+37; 18FF-7; 19FS

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Durasi Kegiatan (hari)	Predecessor
21	<i>Mobilization & Demobilization Riser Installation and Pre-Commissioning (Installation)</i>	65	16FS+10; 19FS
22	<i>Installation Concrete Mattras Pipeline B & C (Installation)</i>	12	19FS; 20SS+14
23	<i>Installation Concrete Mattras Pipeline A (Installation)</i>	7	22FS
24	<i>Installation Pipeline C - 8" 7,2 Km</i>	8	22FS+5
25	<i>Installation Pipeline B - 10" 7,2 Km</i>	9	24FS
26	<i>Installation Pipeline A - 12" 1 Km</i>	3	23FS; 25FS
27	<i>Installation Of Riser B1/C2</i>	9	21SS; 26FS
28	<i>Installation Of Riser C1</i>	5	24FS; 27FS
29	<i>Installation Of Riser B2</i>	5	25FS; 28FS

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Durasi Kegiatan (hari)	Predecessor
30	<i>Installation Of Riser A2</i>	5	26FS; 29FS+1
31	<i>Installation Of Riser A1</i>	8	26FS; 30FS
32	<i>Post-Lay Survey (Installation)</i>	5	26FS
33	<i>Pre-Commissioning Pipeline A</i>	6	10FS; 31FS; 32FS
34	<i>Pre-Commissioning Pipeline C</i>	9	33FS
35	<i>Pre-Commissioning Pipeline B</i>	9	34SS
36	<i>Provisional Acceptance (PAC)</i>	0	35SS
37	<i>Punch List PAC Completion</i>	18	33FS
38	<i>Final Acceptance</i>	12	36FS; 37FS+20

4.2 *Input Data ke Perangkat Lunak Primavera 6.0*

4.2.1 *Input Data*

Dalam menggunakan perangkat lunak *Primavera P6*, langkah pertama yang dilakukan adalah dengan memasukkan data yang terdapat pada tabel 4.1. Dalam kolom *activity*, dimasukkan semua daftar kegiatan pada kolom *activity name* dan durasi dari tiap kegiatan proyek pada kolom *original duration*. Setiap kegiatan yang dimasukkan, maka akan memiliki identitas kegiatan (*activity ID*). Terdapat contoh activity id, activity name, dan original duration pada gambar 4.1 berikut :

Activity ID	Activity Name	Original Duration	Remaining Duration
	TA_JORDY REPLACEMENT PIPELINE	468.0	468.0
A1000	Project Start	0.0	0.0
A1010	Project Management & Service	75.0	75.0
	TA_JORDY.1 ENGINEERING	123.0	123.0
A1020	Pipeline Report	65.0	65.0
A1030	Pipeline Drawing	64.0	64.0
A1040	Material Take Off	46.0	46.0
A1050	Request for Quotation	39.0	39.0
A1060	Pipeline Transportation Procedure Report	107.0	107.0
A1070	Pipeline Transportation Report	56.0	56.0
A1080	Pipeline Transportation Drawing	45.0	45.0
A1090	Pre-Commissioning Procedure	51.0	51.0
	TA_JORDY.2 PROCUREMENT	85.0	85.0
A1100	Field Joint Coating Material and Heat Shrink	85.0	85.0
A1110	Gaskets, Nuts, and Bolts	79.0	79.0
A1120	Steel Material	44.0	44.0
A1130	Civil Bulk for Concrete Matrices	24.0	24.0

Gambar 4. 1 *Input Data* Kegiatan Proyek dan Durasi Proyek Pada *Primavera P6*

Sumber : Dokumentasi pribadi

Kemudian langkah berikutnya adalah memasukan data kegiatan pendahulu (*predecessor*) dari tiap-tiap kegiatan proyek. Berdasarkan data yang didapat, hubungan antar kegiatan (*constrain*) yang terdapat pada proyek *offshore pipelines replacement* ini yaitu FS (*Finish to Start*), SS (*Start to Start*), dan FF (*Finish to Finish*). Untuk memasukan *predecessor* pada bagian *activity information*. Input *predecessor* pada *tab predecessor* yang telah tersedia. Letak *tab predecessor* untuk memasukan data *predecessor* ditujukan pada gambar 4.2, sebagai berikut :

The screenshot shows the Primavera P6 Activities window. The main table lists activities under a hierarchy: TA_JORDY REPLACEMENT PIPELINE (468.0), TA_JORDY.1 ENGINEERING (123.0), and TA_JORDY.2 PROCUREMENT (85.0). Activity A1010, 'Project Management & Service', is selected. Below the main table, the 'Predecessors' tab is active, showing a table with one entry: Activity ID A1000, Activity Name 'Project Start', Relation 'FS', Lag '5.0', Activity Status 'Not Started', and Primary Resource.

Activity ID	Activity Name	Original Duration	Remaining Duration
TA_JORDY REPLACEMENT PIPELINE			
A1000	Project Start	0.0	0.0
A1010	Project Management & Service	75.0	75.0
TA_JORDY.1 ENGINEERING			
A1020	Pipeline Report	65.0	65.0
A1030	Pipeline Drawing	64.0	64.0
A1040	Material Take Off	46.0	46.0
A1050	Request for Quotation	39.0	39.0
A1060	Pipeline Transportation Procedure Report	107.0	107.0
A1070	Pipeline Transportation Report	56.0	56.0
A1080	Pipeline Transportation Drawing	45.0	45.0
A1090	Pre-Commissioning Procedure	51.0	51.0
TA_JORDY.2 PROCUREMENT			
A1100	Field Joint Coating Material and Heat Shrink	85.0	85.0
A1110	Gaskets, Nuts, and Bolts	79.0	79.0
A1120	Steel Material	44.0	44.0
A1130	Civil Bulk for Concrete Mattrae	24.0	24.0

Activity ID	Activity Name	Relation	Lag	Activity Status	Primary Resource
A1000	Project Start	FS	5.0	Not Started	

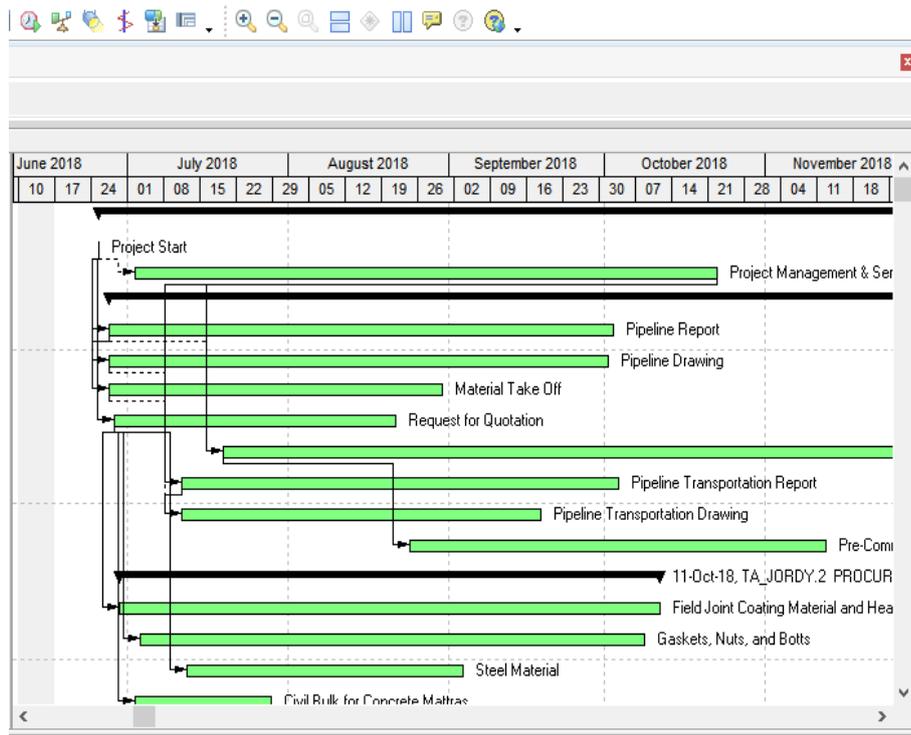
Gambar 4. 2 Input Data Kegiatan Pendahulu (*Predecessor*) Pada Primavera P6

Sumber : Dokumentasi pribadi

Setelah semua data kegiatan, durasi kegiatan, dan kegiatan pendahulu (*predecessor*) telah dimasukkan, maka pada bagian kanan software Primavera P6 akan ditampilkan diagram batang (*gant chart*), Primavera P6 juga dapat membantu dalam membentuk sebuah *network diagram*. *Network diagram* yang dibentuk menunjukkan diagram jenis AON (*Activity On Node*) dimana kegiatan proyek terletak pada *node*.

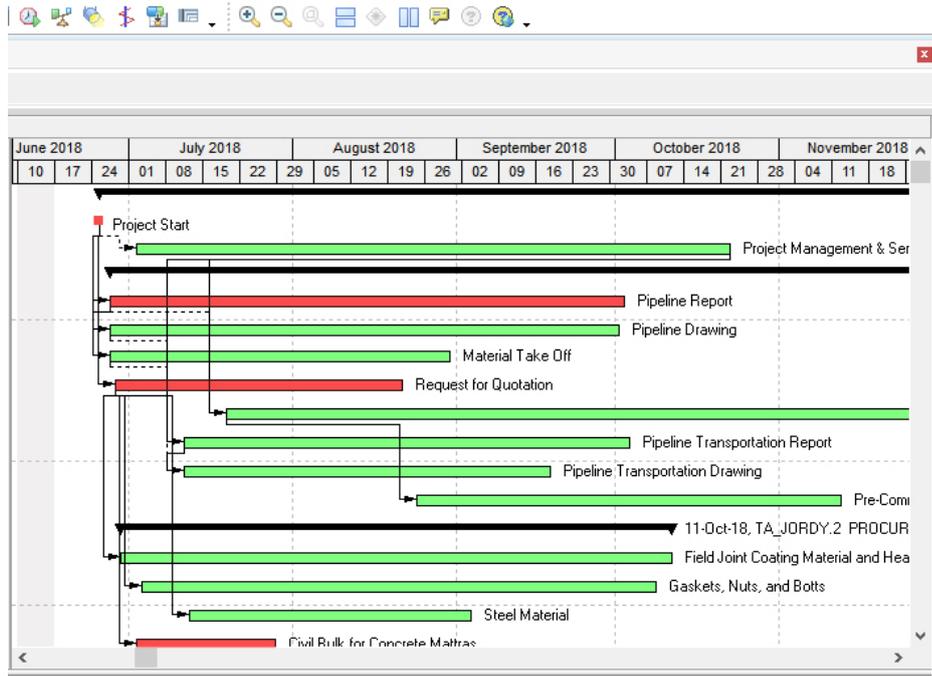
4.2.2 Hasil Output Perangkat Lunak Primavera 6.0

Primavera P6 menghasilkan output dalam bentuk sebuah gantt chart dan network diagram. *Network diagram* yang dibentuk pada Primavera P6 adalah diagram jenis AON (*Activity On Node*) dimana kegiatan proyek terletak pada *node*. Namun, Primavera P6 memiliki kelemahan yaitu tidak dapat menunjukkan besar ES (*Early Start*), EF (*Early Finish*), LS (*Latest Start*), dan LF (*Latest Finish*) secara manual. Berikut gambar *gant chart* dari proyek *offshore pipelines replacement* pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 :



Gambar 4. 3 Gantt Chart Dari Proyek *Offshore Pipelines Replacement*

Sumber : Dokumentasi pribadi



Gambar 4. 4 Gantt Chart Versi Kritis Dari Proyek *Offshore Pipelines Replacement*

Sumber : Dokumentasi pribadi

4.3 Membuat *Network Diagram* dan Melakukan Perhitungan Manual *Critical Path Method*

4.3.1 Perhitungan *Forward Pass*

Metode perhitungan *forward pass* digunakan untuk menghitung besar ES (*Early Start*) dan EF (*Early Finish*). Dalam perhitungan ini dilakukan perhitungan dari awal kegiatan proyek hingga akhir kegiatan proyek berdasarkan *network diagram* yang telah dibuat pada *Primavera P6*. Hasil yang paling besar dari tiap perhitungan akan diambil dalam *forward pass*. Berikut adalah perhitungan ES (*Early Start*) dan EF (*Early Finish*) pada tiap kegiatan proyek dengan metode perhitungan *forward pass* yang dapat dilihat pada tabel 4.2 :

Tabel 4. 2 Perhitungan *Early Start* (ES) dan *Early Finish* (EF)

<i>Activity ID No.</i>	Nama Kegiatan	Early Start (ES)	<i>Early Finish (EF)</i>
1	<i>Project Start</i>	$ES_1 = 0$	$EF_1 = 0$

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Early Start (ES)	Early Finish (EF)
2	<i>Project Management & Service</i>	$ES_2 = EF_1 + 5 = 5$	$EF_2 = ES_2 + 75 = 80$
3	<i>Pipeline Report (Engineering)</i>	$ES_3 = EF_1 + 2 = 2$	$EF_3 = ES_3 + 65 = 67$
4	<i>Pipeline Drawing (Engineering)</i>	(1) $ES_4 = EF_1 + 2 = 2$ (2) $ES_4 = ES_3 + 0 = 2$	$EF_4 = ES_4 + 64 = 66$
5	<i>Material Take off (Engineering)</i>	(1) $ES_5 = EF_1 + 2 = 2$ (2) $ES_5 = ES_3 + 0 = 2$	$EF_5 = ES_5 + 47 = 49$
6	<i>Request for Quotation (Engineering)</i>	(1) $ES_6 = EF_1 + 3 = 3$ (2) $ES_6 = ES_3 + 1 = 3$	$EF_6 = ES_6 + 39 = 42$
7	<i>Pipeline Transportation Procedure Report (Engineering)</i>	(1) $ES_7 = ES_2 + 13 = 18$ (2) $ES_7 = ES_3 + 0 = 2$	$EF_7 = ES_7 + 107 = 125$
8	<i>Pipeline Transportation Report (Engineering)</i>	(1) $ES_8 = ES_2 + 7 = 12$ (2) $ES_8 = ES_4 + 0 = 2$	$EF_8 = ES_8 + 56 = 68$
9	<i>Pipeline Transportation Drawing (Engineering)</i>	(1) $ES_9 = ES_5 + 0 = 2$ (2) $ES_9 = ES_8 + 0 = 12$	$EF_9 = ES_9 + 45 = 57$

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Early Start (ES)	Early Finish (EF)
10	<i>Pre-Commissioning Procedure (Engineering)</i>	$ES_{10} = ES_7 + 25 = 43$	$EF_{10} = ES_{10} + 51 = 94$
11	<i>Field Joint Coating Material and Heat Shrink Sleeve (Procurement)</i>	$ES_{11} = ES_6 + 1 = 4$	$EF_{11} = ES_{11} + 85 = 89$
12	<i>Gaskets, Nuts and Botts (Procurement)</i>	$ES_{12} = ES_6 + 4 = 7$	$EF_{12} = ES_{12} + 79 = 86$
13	<i>Steel Material (Procurement)</i>	$ES_{13} = ES_6 + 12 = 15$	$EF_{13} = ES_{13} + 44 = 59$
14	<i>Civil Bulk For Concrete Mattras (Procurement)</i>	$ES_{14} = ES_6 + 3 = 6$	$EF_{14} = ES_{14} + 24 = 30$
15	<i>WPS Qualification (Fabrication)</i>	(1) $ES_{15} = ES_{11} + 5 = 9$ (2) $ES_{15} = ES_{12} + 2 = 9$	$EF_{15} = ES_{15} + 37 = 46$
16	<i>Riser Clamps (Fabrication)</i>	$ES_{16} = EF_{13} - 1 = 58$	$EF_{16} = ES_{16} + 27 = 85$
17	<i>Fabrication Concrete Mattres</i>	$ES_{17} = EF_{14} - 1 = 29$	$EF_{17} = ES_{17} + 74 = 103$
18	<i>Loadout / Seafastening Pipeline (Fabrication)</i>	(1) $ES_{18} = EF_{13} + 0 = 59$ (2) $ES_{18} = EF_{14} + 0 = 30$ (3) $ES_{18} = EF_{15} + 0 = 46$ (4) $ES_{18} = ES_{17} + 39 = 68$	$EF_{18} = ES_{18} + 53 = 121$

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Early Start (ES)	Early Finish (EF)
19	<i>Pre-Construction Survey (Installation)</i>	$ES_{19} = EF_{14} - 4 = 26$	$EF_{19} = ES_{19} + 5 = 31$
20	<i>Mobilization & Demobilization Concrete Mattrass and Pipeline (Installation)</i>	(1) $ES_{20} = ES_9 + 40 = 52$ (2) $ES_{20} = ES_{17} + 37 = 66$ (3) $ES_{20} = EF_{19} + 0 = 31$ (4) $ES_{20} = EF_{20} - 48 = 66$	(1) $EF_{20} = EF_{18} - 7 = 114$ (2) $EF_{20} = ES_{20} + 48 = 114$
21	<i>Mobilization & Demobilization Riser Installation and Pre-Commissioning (Installation)</i>	(1) $ES_{21} = EF_{16} + 10 = 95$ (2) $ES_{21} = EF_{19} + 0 = 31$	$EF_{21} = ES_{21} + 53 = 148$
22	<i>Installation Concrete Mattras Pipeline B & C (Installation)</i>	(1) $ES_{22} = EF_{19} + 0 = 31$ (2) $ES_{22} = ES_{20} + 14 = 80$	$EF_{22} = ES_{22} + 11 = 91$
23	<i>Installation Concrete Mattras Pipeline A (Installation)</i>	$ES_{23} = EF_{22} + 0 = 91$	$EF_{23} = ES_{23} + 7 = 98$
24	<i>Installation Pipeline C - 8" 7,2 Km</i>	$ES_{24} = EF_{22} + 5 = 96$	$EF_{24} = ES_{24} + 8 = 104$
25	<i>Installation Pipeline B - 10" 7,2 Km</i>	$ES_{25} = EF_{24} + 0 = 104$	$EF_{25} = ES_{25} + 9 = 113$

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Early Start (ES)	Early Finish (EF)
26	<i>Installation Pipeline A - 12" 1 Km</i>	(1) $ES_{26} = EF_{23} + 0 = 98$ (2) $ES_{26} = ES_{25} + 0 = 113$	$EF_{26} = ES_{26} + 4 = 117$
27	<i>Installation Of Riser B1/C2</i>	(1) $ES_{27} = ES_{21} + 0 = 95$ (2) $ES_{27} = EF_{26} + 0 = 117$	$EF_{27} = ES_{27} + 9 = 126$
28	<i>Installation Of Riser C1</i>	(1) $ES_{28} = EF_{24} + 0 = 104$ (2) $ES_{28} = EF_{27} + 0 = 126$	$EF_{28} = ES_{28} + 4 = 130$
29	<i>Installation Of Riser B2</i>	(1) $ES_{29} = EF_{25} + 0 = 113$ (2) $ES_{29} = EF_{28} + 0 = 130$	$EF_{29} = ES_{29} + 5 = 135$
30	<i>Installation Of Riser A2</i>	(1) $ES_{30} = EF_{26} + 0 = 117$ (2) $ES_{30} = EF_{29} + 1 = 136$	$EF_{30} = ES_{30} + 4 = 140$
31	<i>Installation Of Riser A1</i>	(1) $ES_{31} = EF_{26} + 0 = 117$ (2) $ES_{31} = EF_{30} + 0 = 140$	$EF_{31} = ES_{31} + 8 = 148$
32	<i>Post-Lay Survey (Installation)</i>	$ES_{32} = EF_{26} + 0 = 117$	$EF_{32} = ES_{32} + 5 = 122$

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Early Start (ES)	Early Finish (EF)
33	<i>Pre-Commissioning Pipeline A</i>	(1) $ES_{33} = EF_{10} + 0 = 94$ (2) $ES_{33} = EF_{17} + 0 = 148$ (3) $ES_{33} = EF_{32} + 0 = 122$	$EF_{33} = ES_{33} + 6 = 154$
34	<i>Pre-Commissioning Pipeline C</i>	$ES_{34} = EF_{33} + 0 = 154$	$EF_{34} = ES_{34} + 8 = 162$
35	<i>Pre-Commissioning Pipeline B</i>	$ES_{35} = ES_{34} + 0 = 154$	$EF_{35} = ES_{35} + 8 = 162$
36	<i>Provisional Acceptance (PAC)</i>	$ES_{36} = ES_{35} + 0 = 154$	$EF_{36} = ES_{36} + 0 = 154$
37	<i>Punch List PAC Completion</i>	$ES_{37} = EF_{33} + 0 = 154$	$EF_{37} = ES_{37} + 11 = 165$
38	<i>Final Acceptance</i>	(1) $ES_{38} = EF_{36} + 0 = 154$ (2) $ES_{38} = EF_{37} + 20 = 185$	$EF_{38} = ES_{38} + 11 = 196$

4.3.2 Perhitungan *Backward Pass*

Langkah selanjutnya adalah menghitung secara *backward pass*, dimana dilakukan perhitungan dari akhir kegiatan proyek hingga awal kegiatan proyek. Perhitungan *backward pass* ini juga berdasarkan *network diagram* yang telah dibuat sebelumnya. Perhitungan *backward pass* mengambil hasil yang paling kecil dari tiap perhitungan. Berikut perhitungan LS (*Latest Start*) dan LF (*Latest Finish*) pada tiap kegiatan proyek dengan menggunakan *backward pass* yang dapat dilihat pada tabel 4.3 :

Tabel 4. 3 Perhitungan *Latest Start* (LS) dan *Latest Finish* (LF)

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Latest Start (LS)	Latest Finish (LF)
38	<i>Final Acceptance</i>	$LS_{38} = LF_{38} - 11$ $= 185$	$EF_{38} = LF_{38} = 196$
37	<i>Punch List PAC Completion</i>	$LS_{37} = LF_{37} - 11$ $= 154$	$LF_{37} = LS_{38} - 20 = 165$
36	<i>Provisional Acceptance (PAC)</i>	$LS_{36} = LF_{36} - 0 = 185$	$LF_{36} = LS_{38} - 0 = 185$
35	<i>Pre-Commissioning Pipeline B</i>	$LS_{35} = LS_{36} - 0 = 185$	$LF_{35} = LS_{35} + 8 = 193$
34	<i>Pre-Commissioning Pipeline C</i>	$LS_{34} = LS_{35} - 0 = 185$	$LF_{34} = LS_{34} + 8 = 193$
33	<i>Pre-Commissioning Pipeline A</i>	$LS_{33} = LF_{33} - 6 = 148$	(1) $LF_{33} = LS_{34} - 0 = 185$ (2) $LF_{33} = LS_{37} - 0 = 154$
32	<i>Post-Lay Survey (Installation)</i>	$LS_{32} = LF_{32} - 5 = 143$	$LF_{32} = LS_{33} - 0 = 148$
31	<i>Installation Of Riser A1</i>	$LS_{31} = LF_{31} - 8 = 140$	$LF_{31} = LS_{33} - 0 = 148$
30	<i>Installation Of Riser A2</i>	$LS_{30} = LF_{30} - 4 = 136$	$LF_{30} = LS_{31} - 0 = 140$
29	<i>Installation Of Riser B2</i>	$LS_{29} = LF_{29} - 5 = 130$	$LF_{29} = LS_{30} - 1 = 135$
28	<i>Installation Of Riser C1</i>	$LS_{28} = LF_{28} - 4 = 126$	$LF_{28} = LS_{29} - 0 = 130$

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Latest Start (LS)	Latest Finish (LF)
27	<i>Installation Of Riser B1/C2</i>	$LS_{27} = LF_{27} - 9 = 117$	$LF_{27} = LS_{28} - 0 = 126$
26	<i>Installation Pipeline A - 12" 1 Km</i>	$LS_{26} = LF_{26} - 4 = 113$	(1) $LF_{26} = LS_{27} - 0 = 117$ (2) $LF_{26} = LS_{30} - 0 = 136$ (3) $LF_{26} = LS_{31} - 0 = 140$ (4) $LF_{26} = LS_{32} - 0 = 143$
25	<i>Installation Pipeline B - 10" 7,2 Km</i>	$LS_{25} = LF_{25} - 9 = 104$	(1) $LF_{25} = LS_{26} - 0 = 113$ (2) $LF_{25} = LS_{29} - 0 = 130$
24	<i>Installation Pipeline C - 8" 7,2 Km</i>	$LS_{24} = LF_{24} - 8 = 96$	(1) $LF_{24} = LS_{25} - 0 = 104$ (2) $LF_{24} = LS_{28} - 0 = 126$
23	<i>Installation Concrete Mattras Pipeline A (Installation)</i>	$LS_{23} = LF_{23} - 7 = 106$	$LF_{23} = LS_{26} - 0 = 113$
22	<i>Installation Concrete Mattras Pipeline B & C (Installation)</i>	$LS_{22} = LF_{22} - 11 = 80$	(1) $LF_{22} = LS_{23} - 0 = 106$ (2) $LF_{22} = LS_{24} - 5 = 91$

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Latest Start (LS)	Latest Finish (LF)
21	<i>Mobilization & Demobilization Riser Installation and Pre-Commissioning (Installation)</i>	$LS_{21} = LS_{27} - 0 = 117$	$LF_{21} = LS_{21} + 53 = 170$
20	<i>Mobilization & Demobilization Concrete Mattrass and Pipeline (Installation)</i>	$LS_{20} = LS_{22} - 14 = 66$	$LF_{20} = LS_{20} + 48 = 114$
19	<i>Pre-Construction Survey (Installation)</i>	$LS_{19} = LF_{19} - 5 = 61$	(1) $LF_{19} = LS_{20} - 0 = 66$ (2) $LF_{19} = LS_{21} - 0 = 117$ (3) $LF_{19} = LS_{22} - 0 = 8$
18	<i>Loadout / Seafastening Pipeline (Fabrication)</i>	$LS_{18} = LF_{18} - 53 = 68$	$LF_{18} = LF_{20} + 7 = 121$
17	<i>Fabrication Concrete Mattres</i>	(1) $LS_{17} = LS_{18} - 39 = 29$ (2) $LS_{17} = LS_{20} - 37 = 29$	$LF_{17} = LS_{17} + 74 = 103$
16	<i>Riser Clamps (Fabrication)</i>	$LS_{16} = LF_{16} - 27 = 80$	$LF_{16} = LS_{21} - 10 = 107$
15	<i>WPS Qualification (Fabrication)</i>	$LS_{15} = LF_{15} - 37 = 31$	$LF_{15} = LS_{18} - 0 = 68$

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Latest Start (LS)	Latest Finish (LF)
14	<i>Civil Bulk For Concrete Mattras (Procurement)</i>	$LS_{14} = LF_{14} - 24$ $= 6$	(1) $LF_{14} = LS_{17} + 1 = 30$ (2) $LF_{14} = LS_{18} - 0 = 68$ (3) $LF_{14} = LS_{19} + 4 = 65$
13	<i>Steel Material (Procurement)</i>	$LS_{13} = LF_{13} - 44$ $= 24$	(1) $LF_{13} = LS_{16} + 1 = 81$ (2) $LF_{13} = LS_{18} - 0 = 68$
12	<i>Gaskets, Nuts and Botts (Procurement)</i>	$LS_{12} = LS_{15} - 2 =$ 29	$LF_{12} = LS_{12} + 79 =$ 108
11	<i>Field Joint Coating Material and Heat Shrink Sleeve (Procurement)</i>	$LS_{11} = LS_{15} - 5 =$ 26	$LF_{11} = LS_{11} + 85 =$ 111
10	<i>Pre-Commissioning Procedure (Engineering)</i>	$LS_{10} = LS_{10} - 51$ $= 154$	$LF_{10} = LS_{33} - 0 =$ 205
9	<i>Pipeline Transportation Drawing (Engineering)</i>	$LS_9 = LS_{20} - 40 =$ 26	$LF_9 = LS_9 + 45 =$ 71
8	<i>Pipeline Transportation Report (Engineering)</i>	$LS_8 = LS_9 - 0 =$ 26	$LF_8 = LS_8 + 56 =$ 82
7	<i>Pipeline Transportation Procedure Report (Engineering)</i>	$LS_7 = LS_{10} - 25 =$ 129	$LF_7 = LS_7 + 107 =$ 236

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Latest Start (LS)	Latest Finish (LF)
6	<i>Request for Quotation (Engineering)</i>	(1) $LS_6 = LS_{11} - 1 = 25$ (2) $LS_6 = LS_{12} - 4 = 25$ (3) $LS_6 = LS_{13} - 12 = 12$ (4) $LS_6 = LS_{14} - 3 = 3$	$LF_6 = LS_6 + 39 = 42$
5	<i>Material Take off (Engineering)</i>	$LS_5 = LS_9 - 0 = 26$	$LF_5 = LS_5 + 47 = 73$
4	<i>Pipeline Drawing (Engineering)</i>	$LS_4 = LS_8 - 0 = 26$	$LF_4 = LS_4 + 64 = 90$
3	<i>Pipeline Report (Engineering)</i>	(1) $LS_3 = LS_4 - 0 = 26$ (2) $LS_3 = LS_5 - 0 = 26$ (3) $LS_3 = LS_6 - 1 = 2$ (4) $LS_3 = LS_7 - 0 = 129$	$LF_3 = LS_3 + 65 = 67$
2	<i>Project Management & Service</i>	$LS_2 = LS_8 - 7 = 19$	$LF_2 = LS_2 + 75 = 94$
1	<i>Project Start</i>	$LS_1 = LF_1 - 0 = 0$	(1) $LF_1 = LS_2 - 5 = 14$ (2) $LF_1 = LS_3 - 2 = 0$

4.3.3 Perhitungan *Float*

Kemudian setelah melakukan perhitungan besar ES (*Early Start*) dan EF (*Early Finish*) dengan menggunakan *forward pass* serta menghitung LS (*Latest Start*) dan LF (*Latest Finish*) dengan menggunakan *backward pass*. Kemudian langkah selanjutnya adalah menghitung besar *float* pada setiap kegiatan. Besar *float* dapat didapatkan dari selisih dari besar LS (*Latest Start*) dan ES (*Early Start*) atau LF (*Latest Finish*) dan EF (*Early Finish*). Tabel perhitungan *float* dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut :

Tabel 4. 4 Perhitungan *Float* Pada Tiap Kegiatan

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Early Start (ES)	Latest Start (LS)	Float
1	<i>Project Start</i>	0	0	0
2	<i>Project Management & Service</i>	5	19	14
3	<i>Pipeline Report (Engineering)</i>	2	2	0
4	<i>Pipeline Drawing (Engineering)</i>	2	26	24
5	<i>Material Take off (Engineering)</i>	2	26	24
6	<i>Request for Quotation (Engineering)</i>	3	3	0
7	<i>Pipeline Transportation Procedure Report (Engineering)</i>	18	129	111
8	<i>Pipeline Transportation Report (Engineering)</i>	12	26	14
9	<i>Pipeline Transportation Drawing (Engineering)</i>	12	26	14
10	<i>Pre-Commissioning Procedure (Engineering)</i>	43	154	111

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Early Start (ES)	Latest Start (LS)	Float
11	<i>Field Joint Coating Material and Heat Shrink Sleeve (Procurement)</i>	4	26	22
12	<i>Gaskets, Nuts and Botts (Procurement)</i>	7	29	22
13	<i>Steel Material (Procurement)</i>	15	24	9
14	<i>Civil Bulk For Concrete Mattras (Procurement)</i>	6	6	0
15	<i>WPS Qualification (Fabrication)</i>	9	31	22
16	<i>Riser Clamps (Fabrication)</i>	58	80	22
17	<i>Fabrication Concrete Mattres</i>	29	29	0
18	<i>Loadout / Seafastening Pipeline (Fabrication)</i>	68	68	0
19	<i>Pre-Construction Survey (Installation)</i>	26	61	35
20	<i>Mobilization & Demobilization Concrete Mattrass and Pipeline (Installation)</i>	66	66	0
21	<i>Mobilization & Demobilization Riser Installation and Pre-Commissioning (Installation)</i>	95	117	22
22	<i>Installation Concrete Mattras Pipeline B & C (Installation)</i>	80	80	0
23	<i>Installation Concrete Mattras Pipeline A (Installation)</i>	91	106	15

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Early Start (ES)	Latest Start (LS)	Float
24	<i>Installation Pipeline C – 8” 7,2 Km</i>	96	96	0
25	<i>Installation Pipeline B - 10” 7,2 Km</i>	104	104	0
26	<i>Installation Pipeline A - 12” 1 Km</i>	113	113	0
27	<i>Installation Of Riser B1/C2</i>	117	117	0
28	<i>Installation Of Riser C1</i>	126	126	0
29	<i>Installation Of Riser B2</i>	130	130	0
30	<i>Installation Of Riser A2</i>	136	136	0
31	<i>Installation Of Riser A1</i>	140	140	0
32	<i>Post-Lay Survey (Installation)</i>	117	143	26
33	<i>Pre-Commissioning Pipeline A</i>	148	148	0
34	<i>Pre-Commissioning Pipeline C</i>	154	185	31
35	<i>Pre-Commissioning Pipeline B</i>	154	185	31
36	<i>Provisional Acceptance (PAC)</i>	154	185	31
37	<i>Punch List PAC Completion</i>	154	154	0
38	<i>Final Acceptance</i>	185	185	0

4.4 Menentukan Kegiatan-Kegiatan Kritis Dalam Proyek

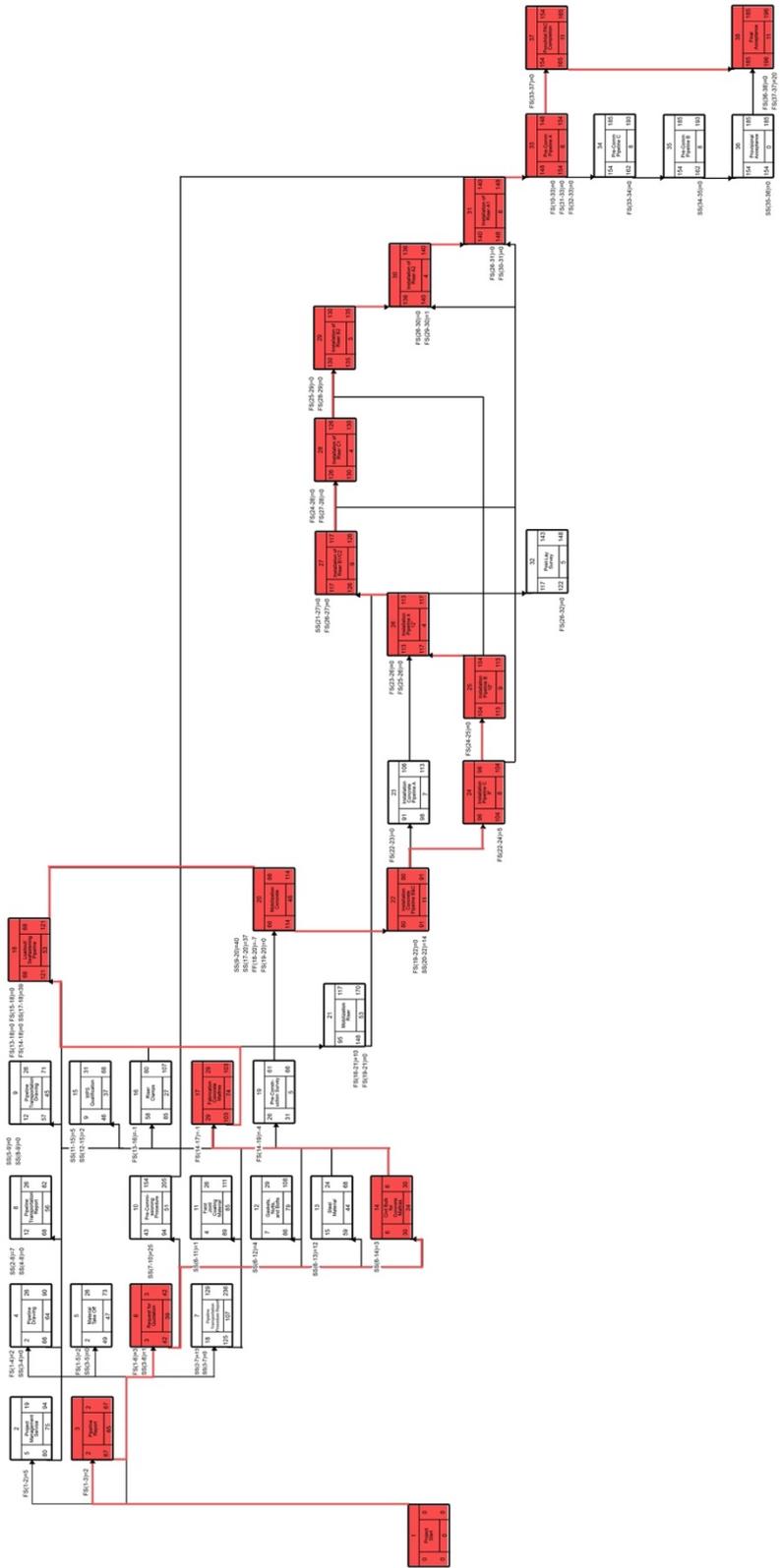
Kemudian setelah menghitung semua *float* pada setiap kegiatan proyek, maka didapatkan kegiatan kritis (*critical activities*) dimana besar *float* dari kegiatan tersebut adalah 0. Jalur kritis (*critical path*) terbentuk dari hubungan antar kegiatan kritis yang dimana apabila salah satu atau lebih dari kegiatan proyek mengalami keterlambatan, maka akan mengakibatkan keseluruhan proyek mengalami keterlambatan. Oleh karena itu, kegiatan pada jalur kritis perlu pengawasan yang lebih dalam ketepatan waktu penyelesaian. Berikut daftar kegiatan kritis proyek *offshore pipelines replacement* yang dapat dilihat pada tabel 4.5 :

Tabel 4. 5 Kegiatan Kritis Pada Proyek *Offshore Pipelines Replacement*

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Early Start (ES)	Latest Start (LS)	Float
1	<i>Project Start</i>	0	0	0
3	<i>Pipeline Report (Engineering)</i>	2	2	0
6	<i>Request for Quotation (Engineering)</i>	3	3	0
14	<i>Civil Bulk For Concrete Mattras (Procurement)</i>	6	6	0
17	<i>Fabrication Concrete Mattres</i>	29	29	0
18	<i>Loadout / Seafastening Pipeline (Fabrication)</i>	68	68	0
20	<i>Mobilization & Demobilization Concrete Mattrass and Pipeline (Installation)</i>	66	66	0
22	<i>Installation Concrete Mattras Pipeline B & C (Installation)</i>	80	80	0
24	<i>Installation Pipeline C - 8" 7,2 Km</i>	96	96	0

Activity ID No.	Nama Kegiatan	Early Start (ES)	Latest Start (LS)	Float
25	<i>Installation Pipeline B - 10" 7,2 Km</i>	104	104	0
26	<i>Installation Pipeline A - 12" 1 Km</i>	113	113	0
27	<i>Installation Of Riser B1/C2</i>	117	117	0
28	<i>Installation Of Riser C1</i>	126	126	0
29	<i>Installation Of Riser B2</i>	130	130	0
30	<i>Installation Of Riser A2</i>	136	136	0
31	<i>Installation Of Riser A1</i>	140	140	0
33	<i>Pre-Commissioning Pipeline A</i>	148	148	0
37	<i>Punch List PAC Completion</i>	154	154	0
38	<i>Final Acceptance</i>	185	185	0

Pada gambar 4.5 dapat dilihat letak kegiatan kritis pada *network diagram*. *Node* kegiatan yang diwarnai dengan warna merah menunjukkan kegiatan kritis (*critical activity*) dan arah panah merah menunjukkan jalur kritis (*critical path*). Pada *node* bagian kiri atas menunjukkan ES (*Early Start*) untuk EF (*Early Finish*) ditunjukkan pada bagian kiri bawah *node*, sedangkan untuk LS (*Latest Start*) dan LF (*Latest Finish*) ditunjukkan pada bagian kanan atas dan bawah *node*.



Gambar 4. 5 Kegiatan Kritis Pada Proyek *Offshore Pipelines Replacement* PT. X

Sumber : Dokumentasi pribadi

4.5 Identifikasi Masalah Menggunakan *Six Sigma Analysis*

4.5.1 *Define*

Masalah yang menjadi objek penelitian adalah dikarenakan adanya perbedaan data *planned value* dan *earned value* proyek PT. X, dimana data tersebut memiliki deviasi antar satu dengan yang lainnya. Berdasarkan data periode Juni – Oktober 2018 saja memiliki persentase deviasi sebesar 5,05% pada bulan Oktober. Pada tahapan ini akan dibuat *project charter* untuk menggambarkan informasi dan masalah yang kemungkinan terjadi pada proyek *offshore pipelines replacement* PT. X.

Project Charter dapat memberikan informasi mengenai *general information, project scope, resource requirements, high-level milestones and timeline, project team roles and responsibilities* yang tertera pada tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4. 6 *Project Charter – General Information*

General Information		
Project Title		Project Contract (year)
<i>offshore pipelines replacement project</i>		2018 - 2020
Project Manager	Phone	Email
Mr/Mrs. E	-	-
Executive Sponsor	Phone	Email
PT. X	-	-
Document Version		Updated Date
(konfidensial)		2018

Tabel 4. 7 *Project Charter – Project Scope*

Project Scope
Situation / Problem / Opportunity
Pada proyek ini terdapat indikasi keterlambatan dikarenakan adanya deviasi cukup besar pada data perencanaan proyek.
Project Goals
Mempertahankan produksi migas perusahaan serta untuk mendapatkan produksi tambahan dengan memasang jaringan pipa baru untuk mengganti pipa yang rusak yang sudah ada sebelumnya.
In Scope / Out of Scope
<p>In Scope :</p> <p>Pipa A :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instalasi pipa baru dengan ukuran OD 12” dan panjang pipa 1 km. • Melakukan <i>pre construction survey</i>. • Penghapusan <i>subsea obstacle</i> yang dapat menghambat instalasi pipa baru. • <i>Survey</i> peletakan pipa bawah laut dengan ROV. • Instalasi <i>riser, bends, dan spool</i>. • Melakukan <i>post lay survey</i>. • Instalasi <i>supports</i> pada jalur pipa yang teridentifikasi <i>free spans</i>. • <i>Flooding, pigging, hydrotest, drying, purging</i> dan <i>pre-commissioning</i> pipa baru. • Instalasi <i>break out spool</i> antara <i>riser</i> dan <i>topside piping</i>. • Membongkar <i>riser</i> ukuran OD 8” yang ada, termasuk <i>riser clamps</i> dan instalasi <i>end caps</i>. • Melakukan aktivitas pekerjaan dengan menggunakan lingkungan bertekanan untuk pemasangan <i>riser clamps</i>. • Melakukan perbaikan <i>bevel end</i> pada ujung pipa. • <i>Welding procedure specification</i> menggunakan ASME IX code, API 1104 (PSL 2), AWS D1.1 dan spesifikasi perusahaan.

In Scope / Out of Scope

Pipa B :

- Instalasi pipa baru dengan ukuran OD 10” dan panjang pipa 7,2 km.
- Melakukan pre construction survey.
- Penghapusan *subsea obstacle* yang dapat menghambat instalasi pipa baru.
- *Survey* peletakan pipa bawah laut dengan ROV.
- Instalasi *riser, bends, dan spool*,
- Melakukan *post lay survey*.
- Instalasi *supports* pada jalur pipa yang teridentifikasi *free spans*.
- *Flooding, pigging, hydrotest, drying, purging* dan *pre-commissioning* pipa baru.
- Fabrikasi dan instalasi *break out spools* antara *riser* dan *topside piping*.
- *Welding procedure specification* menggunakan ASME IX code, API 1104 (PSL 2), AWS D1.1 dan spesifikasi perusahaan.

Pipa C :

- Instalasi pipa baru dengan ukuran OD 8” dan panjang pipa 7,2 km.
- Melakukan pre construction survey.
- Penghapusan *subsea obstacle* yang dapat menghambat instalasi pipa baru.
- *Survey* peletakan pipa bawah laut dengan ROV.
- Instalasi *riser, bends, dan spool*.
- Melakukan *post lay survey*.
- Instalasi *supports* pada jalur pipa yang teridentifikasi *free spans*.
- *Flooding, pigging, hydrotest, drying, purging* dan *pre-commissioning* pipa baru.

In Scope / Out of Scope
<ul style="list-style-type: none"> • Fabrikasi dan instalasi <i>break out spools</i> antara <i>riser</i> dan <i>topside piping</i>. • <i>Welding procedure specification</i> menggunakan ASME IX code, API 1104 (PSL 2), AWS D1.1 dan spesifikasi perusahaan. <p>Out of Scope :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tidak ada masalah moneter di dalam maupun luar negeri selama pengerjaan proyek. • <i>Project detail procedure</i> tidak ada perubahan dan sesuai dengan kontrak selama pengerjaan proyek.
Objectives
<ul style="list-style-type: none"> • Proyek tepat waktu yang sesuai dijadwalkan. • Tanpa kendala atau kecelakaan kerja. • Proyek tidak <i>overcost</i>. • Tahapan pekerjaan dijalankan sesuai dengan standar kualitas.
Project Assumptions
<ul style="list-style-type: none"> • Proses dokumen engineering berjalan lancar. • Proses procurement berjalan lancar. • Proses konstruksi berjalan lancar. • Proses instalasi dan pengecekan berjalan lancar.
Risk and Dependencies
<ul style="list-style-type: none"> • Kurangnya sumber daya. • Risiko proyek terlambat dikarenakan pekerja yang merangkap.

Risk and Dependencies
<ul style="list-style-type: none"> • Peningkatan biaya proyek karena akurasi estimasi biaya dan ruang lingkup yang buruk. • Risiko bahwa proyek akan gagal menghasilkan hasil sesuai standar dengan spesifikasi proyek. • Kesalahan dalam strategi seperti memilih teknologi yang tidak dapat berfungsi dengan baik. • Risiko operasional mencakup risiko dari implementasi yang buruk dan masalah proses seperti pengadaan, produksi, dan distribusi. • Risiko yang terkait dengan bahaya eksternal, termasuk badai, banjir, dan gempa bumi.

Tabel 4. 8 *Project Charter – Resource Requirements*

Resources Requirements
<ul style="list-style-type: none"> • Sumber Daya Manusia - PMT (<i>Project Management Team</i>) <ul style="list-style-type: none"> – <i>Project Sponsor</i> – <i>Project Manager</i> – <i>Project Engineer</i> – <i>Project Engineering Manager</i> – <i>Procurement Manager</i> – <i>Offshore Construction Manager</i> – <i>Pre-Commissioning and Commissioning Manager</i> – <i>HSSE Manager</i> – <i>Project Service Manager</i> – <i>QA and QC Manager</i>

Resources Requirements
<ul style="list-style-type: none"> • Sumber Daya Waktu Estimasi awal durasi proyek <i>offshore pipelines replacement</i> untuk pipa A, pipa B, dan pipa C adalah 196 hari atau sekitar 6 bulan. Proyek termasuk ke dalam proyek besar tahun 2018 – 2020. • Sumber Daya Biaya Anggaran yang disetujui untuk <i>proyek offshore pipelines replacement</i> adalah \$15.000.000. Anggaran aktual akan diestimasi setelah menyelesaikan persyaratan.

Tabel 4. 9 *Project Charter – High-Level Milestone and Duration*

High-Level Milestone and Duration
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Project Start</i> (0 hari) • <i>Pipeline Report (Engineering)</i> (65 hari) • <i>Request for Quotation (Engineering)</i> (39 hari) • <i>Civil Bulk For Concrete Mattras (Procurement)</i> (24 hari) • <i>Fabrication Concrete Mattres</i> (74 hari) • <i>Loadout / Seafastening Pipeline (Fabrication)</i> (53 hari) • <i>Mobilization & Demobilization Concrete Mattrass and Pipeline (Installation)</i> (48 hari) • <i>Installation Concrete Mattras Pipeline B & C (Installation)</i> (11 hari) • <i>Installation Pipeline C - 8" 7,2 Km</i> (8 hari)

High-Level Milestone and Duration
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Installation Pipeline B - 10" 7,2 Km (9 hari)</i> • <i>Installation Pipeline A - 12" 1 Km (4 hari)</i> • <i>Installation Of Riser B1/C2 (9 hari)</i> • <i>Installation Of Riser C1 (4 hari)</i> • <i>Installation Of Riser B2 (5 hari)</i> • <i>Installation Of Riser A2 (4 hari)</i> • <i>Installation Of Riser A1 (8 hari)</i> • <i>Pre-Commissioning Pipeline A (6 hari)</i> • <i>Punch List PAC Completion (11 hari)</i> • <i>Final Acceptance (11 hari)</i>

Tabel 4. 10 *Project Charter – Project Team Roles and Responsibilities*

Project Team Roles and Responsibilities		
Team Member	Roles	Responsibilities
Mr/Mrs. D	Project Sponsor	Bertanggung jawab atas keseluruhan proyek, menginterpretasikan kasus bisnis, mengkomunikasikan strategi bisnis kepada tim, mengamankan pendanaan dan sumber daya untuk tahap proyek selanjutnya, serta memastikan semua tujuan proyek sesuai dengan strategi bisnis.

Team Member	Roles	Responsibilities
Mr/Mrs. E	Project Manager	Mengelola seluruh proyek untuk pelaksanaan pekerjaan. Pekerjaannya meliputi perencanaan, koordinasi, penjadwalan, dan pengendalian biaya proyek, termasuk menetapkan prioritas dan alokasi tenaga kerja untuk memastikan semua standar teknis, teknik, biaya dan keselamatan yang diperlukan terpenuhi dan kata sifat proyek tercapai.
Mr/Mrs. F	Project Engineer	Mendukung manajer proyek dalam inisiasi proyek, yang mencakup berbagai <i>scopes</i> . Berpartisipasi dalam perencanaan proyek dan membantu dalam masalah-masalah besar, konflik kebijakan dan menghilangkan hambatan.
Mr/Mrs. G	Project Engineer Manager	Bertanggung jawab atas desain dan koordinasi dengan para ahli kontraktor, dan memastikan bahwa semua desain mematuhi persyaratan pekerjaan.

Team Member	Roles	Responsibilities
Mr/Mrs. H	Procurement Manager	Bertanggung jawab atas perencanaan dan penempatan staf tim pengadaan, menetapkan prosedur dan perencanaan pembelian, mempercepat transportasi, mengatur, memantau dan mengendalikan kegiatan pengadaan sesuai dengan tujuan proyek.
Mr/Mrs. I	Offshore Construction Manager	Mengelola dan menyelesaikan semua kegiatan fabrikasi di lapangan termasuk semua masalah instalasi dan operasional lepas pantai dengan tim dan bekerja sama dengan manajer proyek dan manajer teknik selama pekerjaan.
Mr/Mrs. J	Pre-Commission and Commission Manager	Bertanggung jawab memastikan semua kegiatan terkait <i>pre-commissioning</i> dan <i>commissioning</i> dilakukan dengan sukses. Berkoordinasi dengan manajer proyek, <i>commissioning engineer</i> , manajer konstruksi dan

Team Member	Roles	Responsibilities
		<p>timnya sendiri untuk koordinasi kegiatan sesuai dengan rencana pelaksanaan proyek.</p>
Mr/Mrs. K	<p>HSSE Manager</p>	<p>Bertanggung jawab atas semua keamanan terkait kesehatan dan kegiatan terkait lingkungan selama proyek. Memastikan tindakan pencegahan dan kehati-hatian yang diambil selama pelaksanaan proyek untuk keselamatan banyak orang.</p>
Mr/Mrs. L	<p>Project Service Manager</p>	<p>Bertanggung jawab mengeluarkan jadwal proyek dan memastikan semua disiplin dalam mengikuti jadwal. Menerbitkan laporan proyek dalam mingguan dan bulanan sebagai alat pengontrol proyek. Jika progres proyek negatif, <i>project service manager</i> harus berdiskusi dengan manajer proyek untuk rencana mitigasi.</p>

Team Member	Roles	Responsibilities
Mr/Mrs. M	QA and QC Manager	Bertanggung jawab untuk menetapkan prosedur terkait QA/QC dalam proyek. Memastikan bahwa semua kode dan standar yang terkait dengan <i>engineering</i> , fabrikasi, dan pengadaan dipatuhi dalam proyek.

4.5.2 Measure

Setelah sudah mendapatkan informasi proyek pada tahapan *define*, dilanjutkan untuk mengukur masalah, dimana ketepatan waktu diartikan sebagai elemen yang berkaitan langsung dengan pencapaian waktu yang diharapkan. Waktu perencanaan proyek harus sejalan dengan waktu progres sebenarnya. Oleh karena itu, pada tahapan ini dilakukan analisa apakah dengan deviasi sekian persen antara waktu perencanaan dan waktu progres sebenarnya memperoleh angka sigma (maks. 6) dibawah angka yang diharapkan atau termasuk ke dalam angka yang tidak menimbulkan masalah. Perhitungan angka sigma didapat dari konversi angka DPMO (*defect per million opportunity*). Angka DPMO didapat dari memperhitungkan persentase penyimpangan dari waktu proyek, yaitu deviasi yang terjadi antara waktu perencanaan proyek dan waktu progres sebenarnya.

Untuk perhitungan lebih spesifik diambil deviasi terbesar antara waktu perencanaan dan waktu progres sebenarnya selama jalannya proyek, dalam proyek ini dihitung setiap bulannya. Diketahui pada bulan Oktober sudah terjadi penyimpangan waktu sebesar 5,05%.

Defect per Million Opportunity (DPMO) didapatkan dari rumus :

$$DPMO = Besar Penyimpangan \times 1000000$$

Pada perhitungan ini, angka DPMO adalah :

$$\text{DPMO} = 5,05\% \times 1000000 = 50500$$

Hasil perhitungan angka DPMO menunjukkan setiap penyimpangan dari target dianggap kegagalan. Angka DPMO ini selanjutnya akan digunakan untuk mendapatkan tingkat sigma dengan melakukan konversi angka DPMO ke tingkat sigma.

Adapun cara untuk menghitung angka sigma menggunakan tabel konversi Gaspersz (2013) Adalah :

Tabel 4. 11 Tabel Konversi Angka DPMO ke Angka Sigma

Sigma	DPMO	Sigma	DPMO	Sigma	DPMO	Sigma	DPMO
0,00	933.193	0,51	838.913	1,02	684.386	1,53	488.033
0,01	931.888	0,52	836.457	1,03	680.822	1,54	484.047
0,02	930.563	0,53	833.977	1,04	677.242	1,55	480.061
0,03	929.219	0,54	831.472	1,05	673.645	1,56	476.078
0,04	927.855	0,55	828.944	1,06	670.031	1,57	472.097
0,05	926.471	0,56	826.391	1,07	666.402	1,58	468.119
0,06	925.066	0,57	823.814	1,08	662.757	1,59	464.144
0,07	923.641	0,58	821.214	1,09	659.097	1,60	460.172
0,08	922.196	0,59	818.589	1,10	655.422	1,61	456.205
0,09	920.730	0,60	815.940	1,11	651.732	1,62	452.242
0,10	919.243	0,61	813.267	1,12	648.027	1,63	448.283
0,11	917.736	0,62	810.570	1,13	644.309	1,64	444.330
0,12	916.207	0,63	807.850	1,14	640.576	1,65	440.382
0,13	914.656	0,64	805.106	1,15	636.831	1,66	436.441
0,14	913.085	0,65	802.338	1,16	633.072	1,67	432.505
0,15	911.492	0,66	799.546	1,17	629.300	1,68	428.576
0,16	909.877	0,67	796.731	1,18	625.516	1,69	424.655
0,17	908.241	0,68	793.892	1,19	621.719	1,70	420.740
0,18	906.582	0,69	791.030	1,20	617.911	1,71	416.834
0,19	904.902	0,70	788.145	1,21	614.092	1,72	412.936
0,20	903.199	0,71	785.236	1,22	610.261	1,73	409.046
0,21	901.475	0,72	782.305	1,23	606.420	1,74	405.165
0,22	899.727	0,73	779.350	1,24	602.568	1,75	401.294
0,23	897.958	0,74	776.373	1,25	598.706	1,76	397.432
0,24	896.165	0,75	773.373	1,26	594.835	1,77	393.580
0,25	894.350	0,76	770.350	1,27	590.954	1,78	389.739
0,26	892.512	0,77	767.305	1,28	587.064	1,79	385.908
0,27	890.651	0,78	764.238	1,29	583.166	1,80	382.089
0,28	888.767	0,79	761.148	1,30	579.260	1,81	378.281
0,29	886.860	0,80	758.036	1,31	575.345	1,82	374.484
0,30	884.930	0,81	754.903	1,32	571.424	1,83	370.700
0,31	882.977	0,82	751.748	1,33	567.495	1,84	366.928
0,32	881.000	0,83	748.571	1,34	563.559	1,85	363.169
0,33	878.999	0,84	745.373	1,35	559.618	1,86	359.424
0,34	876.976	0,85	742.154	1,36	555.670	1,87	355.691
0,35	874.928	0,86	738.914	1,37	551.717	1,88	351.973
0,36	872.857	0,87	735.653	1,38	547.758	1,89	348.268
0,37	870.762	0,88	732.371	1,39	543.795	1,90	344.578
0,38	868.643	0,89	729.069	1,40	539.828	1,91	340.903
0,39	866.500	0,90	725.747	1,41	535.856	1,92	337.243
0,40	864.334	0,91	722.405	1,42	531.881	1,93	333.598
0,41	862.143	0,92	719.043	1,43	527.903	1,94	329.969
0,42	859.929	0,93	715.661	1,44	523.922	1,95	326.355
0,43	857.690	0,94	712.260	1,45	519.939	1,96	322.758
0,44	855.428	0,95	708.840	1,46	515.953	1,97	319.178
0,45	853.141	0,96	705.402	1,47	511.967	1,98	315.614
0,46	850.830	0,97	701.944	1,48	507.978	1,99	312.067
0,47	848.495	0,98	698.468	1,49	503.989	2,00	308.538
0,48	846.136	0,99	694.974	1,50	500.000	2,01	305.026
0,49	843.752	1,00	691.462	1,51	496.011	2,02	301.532
0,50	841.345	1,01	687.933	1,52	492.022	2,03	298.056

Sumber: nilai-nilai dibangkitkan menggunakan program oleh: Vincent Gaspersz (2002)

Sigma	DPMO	Sigma	DPMO	Sigma	DPMO	Sigma	DPMO
2,04	294.598	2,55	146.859	3,06	59.380	3,57	19.226
2,05	291.160	2,56	144.572	3,07	58.208	3,58	18.763
2,06	287.740	2,57	142.310	3,08	57.053	3,59	18.309
2,07	284.339	2,58	140.071	3,09	55.917	3,60	17.864
2,08	280.957	2,59	137.857	3,10	54.799	3,61	17.429
2,09	277.595	2,60	135.666	3,11	53.699	3,62	17.003
2,10	274.253	2,61	133.500	3,12	52.616	3,63	16.586
2,11	270.931	2,62	131.357	3,13	51.551	3,64	16.177
2,12	267.629	2,63	129.238	3,14	50.503	3,65	15.778
2,13	264.347	2,64	127.143	3,15	49.471	3,66	15.386
2,14	261.086	2,65	125.072	3,16	48.457	3,67	15.003
2,15	257.846	2,66	123.024	3,17	47.460	3,68	14.629
2,16	254.627	2,67	121.001	3,18	46.479	3,69	16.262
2,17	251.429	2,68	119.000	3,19	45.514	3,70	13.903
2,18	248.252	2,69	117.023	3,20	44.565	3,71	13.553
2,19	245.097	2,70	115.070	3,21	43.633	3,72	13.209
2,20	241.964	2,71	113.140	3,22	42.716	3,73	12.874
2,21	238.852	2,72	111.233	3,23	41.815	3,74	12.545
2,22	235.762	2,73	109.349	3,24	40.929	3,75	12.224
2,23	232.695	2,74	107.488	3,25	40.059	3,76	11.911
2,24	229.650	2,75	105.650	3,26	39.204	3,77	11.604
2,25	226.627	2,76	103.835	3,27	38.364	3,78	11.304
2,26	223.627	2,77	102.042	3,28	37.538	3,79	11.011
2,27	220.650	2,78	100.273	3,29	36.727	3,80	10.724
2,28	217.695	2,79	98.525	3,30	35.930	3,81	10.444
2,29	214.764	2,80	96.801	3,31	35.148	3,82	10.170
2,30	211.855	2,81	95.098	3,32	34.379	3,83	9.903
2,31	208.970	2,82	93.418	3,33	33.625	3,84	9.642
2,32	206.108	2,83	91.759	3,34	32.884	3,85	9.387
2,33	203.269	2,84	90.123	3,35	32.157	3,86	9.137
2,34	200.454	2,85	88.508	3,36	31.443	3,87	8.894
2,35	197.662	2,86	86.915	3,37	30.742	3,88	8.656
2,36	194.894	2,87	85.344	3,38	30.054	3,89	8.424
2,37	192.150	2,88	83.793	3,39	29.379	3,90	8.198
2,38	189.430	2,89	82.264	3,40	28.716	3,91	7.976
2,39	186.733	2,90	80.757	3,41	28.067	3,92	7.760
2,40	184.060	2,91	79.270	3,42	27.429	3,93	7.549
2,41	181.411	2,92	77.804	3,43	26.803	3,94	7.344
2,42	178.786	2,93	76.359	3,44	26.190	3,95	7.143
2,43	176.186	2,94	74.934	3,45	25.588	3,96	6.947
2,44	173.609	2,95	73.529	3,46	24.998	3,97	6.756
2,45	171.056	2,96	72.145	3,47	24.419	3,98	6.569
2,46	168.528	2,97	70.781	3,48	23.852	3,99	6.387
2,47	166.023	2,98	69.437	3,49	23.295	4,00	6.210
2,48	163.543	2,99	68.112	3,50	22.750	4,01	6.037
2,49	161.087	3,00	66.807	3,51	22.215	4,02	5.868
2,50	158.655	3,01	65.522	3,52	21.692	4,03	5.703
2,51	156.248	3,02	64.256	3,53	21.178	4,04	5.543
2,52	153.864	3,03	63.008	3,54	20.675	4,05	5.386
2,53	151.505	3,04	61.780	3,55	20.182	4,06	5.234
2,54	149.170	3,05	60.571	3,56	19.699	4,07	5.085

Sumber: nilai-nilai dibangkitkan menggunakan program oleh: Vincent Gaspersz (2002)

Sigma	DPMO	Sigma	DPMO	Sigma	DPMO	Sigma	DPMO
4,08	4.940	4,59	1.001	5,10	159	5,61	20
4,09	4.799	4,60	968	5,11	153	5,62	19
4,10	4.661	4,61	936	5,12	147	5,63	18
4,11	4.527	4,62	904	5,13	142	5,64	17
4,12	4.397	4,63	874	5,14	136	5,65	17
4,13	4.269	4,64	845	5,15	131	5,66	16
4,14	4.145	4,65	816	5,16	126	5,67	15
4,15	4.025	4,66	789	5,17	121	5,68	15
4,16	3.907	4,67	762	5,18	117	5,69	14
4,17	3.793	4,68	736	5,19	112	5,70	13
4,18	3.681	4,69	711	5,20	108	5,71	13
4,19	3.573	4,70	687	5,21	104	5,72	12
4,20	3.467	4,71	664	5,22	100	5,73	12
4,21	3.364	4,72	641	5,23	96	5,74	11
4,22	3.264	4,73	619	5,24	92	5,75	11
4,23	3.167	4,74	598	5,25	88	5,76	10
4,24	3.072	4,75	577	5,26	85	5,77	10
4,25	2.980	4,76	557	5,27	82	5,78	9
4,26	2.890	4,77	538	5,28	78	5,79	9
4,27	2.803	4,78	519	5,29	75	5,80	9
4,28	2.718	4,79	501	5,30	72	5,81	8
4,29	2.635	4,80	483	5,31	70	5,82	8
4,30	2.555	4,81	467	5,32	67	5,83	7
4,31	2.477	4,82	450	5,33	64	5,84	7
4,32	2.401	4,83	434	5,34	62	5,85	7
4,33	2.327	4,84	419	5,35	59	5,86	7
4,34	2.256	4,85	404	5,36	57	5,87	6
4,35	2.186	4,86	390	5,37	54	5,88	6
4,36	2.118	4,87	376	5,38	52	5,89	6
4,37	2.052	4,88	362	5,39	50	5,90	5
4,38	1.988	4,89	350	5,40	48	5,91	5
4,39	1.926	4,90	337	5,41	46	5,92	5
4,40	1.866	4,91	325	5,42	44	5,93	5
4,41	1.807	4,92	313	5,43	42	5,94	5
4,42	1.750	4,93	302	5,44	41	5,95	4
4,43	1.695	4,94	291	5,45	39	5,96	4
4,44	1.641	4,95	280	5,46	37	5,97	4
4,45	1.589	4,96	270	5,47	36	5,98	4
4,46	1.538	4,97	260	5,48	34	5,99	4
4,47	1.489	4,98	251	5,49	33	6,00	3
4,48	1.441	4,99	242	5,50	32		
4,49	1.395	5,00	233	5,51	30		
4,50	1.350	5,01	224	5,52	29		
4,51	1.306	5,02	216	5,53	28		
4,52	1.264	5,03	208	5,54	27		
4,53	1.223	5,04	200	5,55	26		
4,54	1.183	5,05	193	5,56	25		
4,55	1.144	5,06	185	5,57	24		
4,56	1.107	5,07	179	5,58	23		
4,57	1.070	5,08	172	5,59	22		
4,58	1.035	5,09	165	5,60	21		

Catatan: Tabel konversi ini Mencakup pengeseran 1,5-sigma untuk semua nilai Z

Sumber: nilai-nilai dibangkitkan menggunakan program oleh: Vincent Gaspersz (2002)

Setelah dikonversi, hasil perhitungan angka sigma sebesar 3,13 – 3,15 yang tentunya masih dapat ditingkatkan dengan dilakukannya perbaikan.

Pada perhitungan angka sigma yang lebih spesifik bisa dilakukan perhitungan menggunakan *Microsoft Excel*.

Adapun rumus untuk menghitung angka sigma adalah :

$$\text{Angka Sigma} = \text{NORMSINV} (1 - \text{Besarnya Penyimpangan}) + 1,5$$

Dengan menggunakan data yang sudah ada sebelumnya maka angka sigma adalah sebagai berikut :

$$\text{Angka Sigma} = \text{NORMSINV} (1 - 5,05\%) + 1,5 = 3,140025$$

Hasil perhitungan angka sigma menunjukkan hasil yang lebih spesifik sebesar 3,14 dari 6 (maksimum) yang tentunya masih dapat ditingkatkan lagi dengan dilakukan perbaikan. Hasil tersebut terjadi pada bulan Oktober dimana terdapat 3 tahap *procurement*, konstruksi, dan instalasi.

4.5.3 Analyze

4.5.3.1 Identifikasi Objek FTA dan ETA

Pada penelitian ini, analisa menggunakan FTA dan ETA pada proyek *offshore pipelines replacement* ini untuk menentukan faktor atau *root cause* yang dapat menyebabkan keterlambatan pada proyek, probabilitas keterlambatan proyek, dan risiko keterlambatan proyek.

4.5.3.2 Menentukan Top Event FTA dan Initiating Event ETA

Pada tugas akhir ini, keterlambatan proyek *offshore pipelines replacement* menjadi *Top Event* pada FTA dan *Initiating Event* pada ETA yang akan diteliti. Dalam penyusunan FTA menggunakan *software Top Event FTA*, pada *software* tersebut dilakukan *input data basic event, intermediate event, dan top event*. Kemudian *input probability* pada tiap *basic event*. Pada analisa ETA tidak menggunakan bantuan *software* seperti pada analisa FTA.

4.5.3.3 Menentukan *Basic Event* FTA dan *Pivotal Event* ETA

Penentuan *basic event* dilakukan dengan melakukan *review* literatur tentang faktor-faktor keterlambatan proyek konstruksi dan faktor-faktor keterlambatan proyek *offshore pipelines replacement* yang kemudian akan divalidasi oleh responden ahli. Selanjutnya, *basic event* dikelompokkan pada tiap *intermediate event* FTA. Dibawah ini tabel 4.12 menunjukkan FTA dimulai dari *intermediate event level 1*, *intermediate event level 2*, dan *basic event*, berikut tabel 4.12 :

Tabel 4. 12 *Intermediate Event* dan *Basic Event* FTA

<i>Intermediate Event Level 1</i>	<i>Intermediate Event Level 2</i>	<i>Basic Event</i>	
Tahap <i>Procurement</i> Mengalami Gangguan	Kesalahan dalam pemesanan material	Perencanaan <i>procurement</i> kurang matang	
		Kelalaian penyedia material	
		Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	
	Material terlambat sampai di tempat proyek	Pengiriman barang dari luar negeri	
		Pemesanan material terlambat	
		Proses fabrikasi mengalami keterlambatan	
		Pengiriman material terlambat	
	Masalah dalam pembayaran		

<i>Intermediate Event Level 1</i>	<i>Intermediate Event Level 2</i>	<i>Basic Event</i>
Tahap Konstruksi Mengalami Gangguan	Bagian peralatan bermasalah	Kurangnya jumlah peralatan
		Peralatan mengalami kerusakan
		Peralatan terlambat datang
		Rendahnya kemampuan peralatan
	Bagian tenaga kerja bermasalah	Kurangnya jumlah tenaga kerja
		Kesulitan dalam mobilisasi tenaga kerja
		Produktivitas tenaga kerja kurang
		Tenaga kerja absen
		Tenaga kerja kurang berpengalaman
		Timbul masalah antar tenaga kerja
	Perubahan desain yang mengakibatkan penambahan pekerjaan	
	Cuaca buruk	
	Terjadi bencana alam	

<i>Intermediate Event Level 1</i>	<i>Intermediate Event Level 2</i>	<i>Basic Event</i>	
	Terjadi kecelakaan dalam proses konstruksi	Kecelakaan yang tidak terduga	
		Pengawasan dan kontrol kurang	
		Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	
		Timbul masalah antar tenaga kerja	
		Kurangnya sosialisasi dan pelatihan keselamatan kerja	
	Terjadi kesalahan dalam proses konstruksi	Dokumen/gambar kurang detil	
		Tenaga kerja kurang berpengalaman	
		Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	
	Tahap Instalasi Mengalami Gangguan	Bagian peralatan bermasalah	Peralatan mengalami kerusakan
			Rendahnya kemampuan peralatan
Cuaca buruk			
Terjadi bencana alam			

<i>Intermediate Event Level 1</i>	<i>Intermediate Event Level 2</i>	<i>Basic Event</i>
	Terjadi kecelakaan dalam proses instalasi	Kecelakaan yang tidak terduga
		Pengawasan dan kontrol kurang
		Komunikasi dan koordinasi kurang jelas
		Timbul masalah antar tenaga kerja
		Kurangnya sosialisasi dan pelatihan keselamatan kerja
	Terjadi kesalahan dalam proses instalasi	Dokumen/gambar kurang detil
		Tenaga kerja kurang berpengalaman
		Komunikasi dan koordinasi kurang jelas

Setelah menentukan *basic event*, *intermediate event*, maka langkah selanjutnya menentukan *pivotal event* dalam proyek *offshore pipelines replacement*. Dalam menentukan *pivotal event*, dilakukan *review literature* terlebih dahulu.

Redana (2016), menyusun *pivotal event* pada keterlambatan proyek pembangunan *jacket structure*, seperti berikut :

1. Pendanaan proyek berjalan lancar.
2. Pengadaan material sesuai jadwal yang direncanakan.
3. Sistem manajemen yang baik.
4. Sumber daya manusia sesuai kebutuhan dan berkualifikasi.
5. Sarana dan prasarana lengkap dan sesuai standar.

Dalam Samad (2019), menyebutkan *pivotal event* dalam keterlambatan proyek pembangunan *onshore pipelines di Malaka*, yaitu :

1. Segala pembiayaan proyek onshore pipeline berjalan dengan lancar.
2. Pengadaan material proyek tidak mengalami keterlambatan.
3. Proses manajemen dan pengawasan proyek terlaksana dengan baik.
4. Jumlah tenaga kerja proyek mencukupi dan berpengalaman.
5. Peralatan tersedia dengan kondisi yang baik dan jumlah yang cukup.

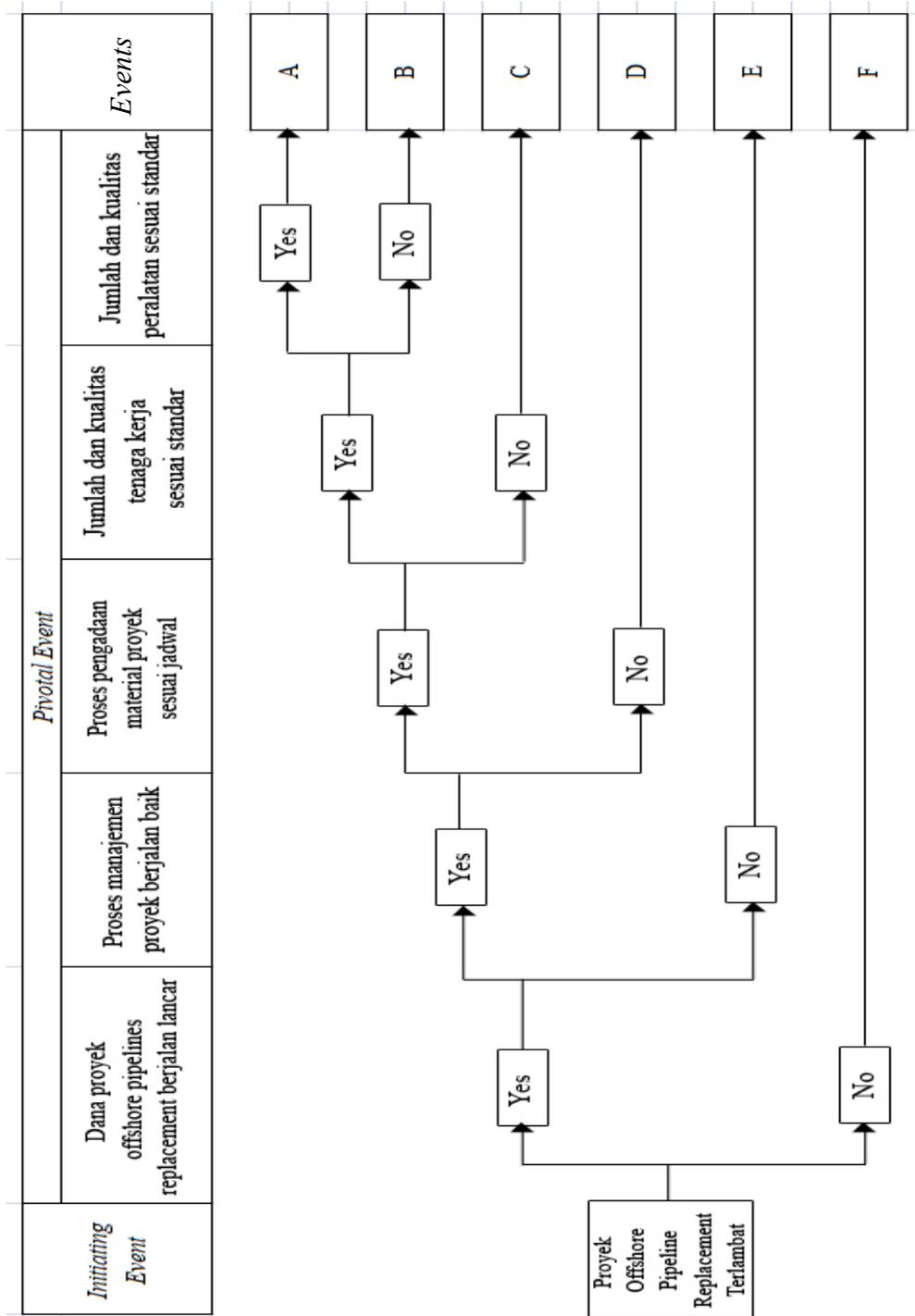
Dalam penelitian ini, *review literature* sangat diperlukan untuk mengetahui *pivotal event* apa saja yang terdapat pada keterlambatan proyek konstruksi, selanjutnya penulis membuat *pivotal event* yang akan dilakukan diskusi dan validasi dengan para ahli dalam proyek tersebut. Pada penelitian ini responden ahli yang menvalidasi *pivotal event* adalah Bapak Januar A.M selaku ahli yang berkecimpung langsung dalam proyek *offshore pipelines replacement* dengan pengalaman kerja 10 tahun dan pendidikan terakhir Strata-2. Berikut *pivotal event* proyek *offshore pipelines replacement* yang dapat dilihat pada tabel 4.13 :

Tabel 4. 13 *Pivotal Event* ETA

No.	<i>Pivotal Events</i>
1	Dana proyek <i>offshore pipelines replacement</i> berjalan lancar
2	Proses manajemen proyek berjalan baik
3	Proses pengadaan material proyek sesuai jadwal
4	Jumlah dan kualitas tenaga kerja sesuai standar
5	Jumlah dan kualitas peralatan sesuai standar

Pada proyek ini, *pivotal event* untuk pembiayaan proyek diposisikan pada posisi pertama karena jika pembiayaan suatu proyek tidak berjalan dengan lancar, maka proyek dipastikan tidak akan bisa berjalan. Segala kebutuhan proyek seperti peralatan, material dan tenaga kerja membutuhkan biaya. Kemudian *pivotal event*

untuk manajemen proyek diposisikan pada posisi kedua karena tanpa adanya manajemen dan pengawasan proyek yang baik, maka proyek tidak akan berjalan dengan optimal. Pada posisi ketiga yaitu pengadaan material proyek yang tidak mengalami keterlambatan, apabila material proyek terlambat maka proyek khususnya pekerjaan konstruksi tidak bisa berjalan meskipun tersedia tenaga kerja dan peralatan. Pada posisi keempat dan kelima yaitu jumlah tenaga kerja proyek mencukupi dan sesuai standar (pengalaman kerja), dan peralatan tersedia dengan kondisi yang baik dan mencukupi.

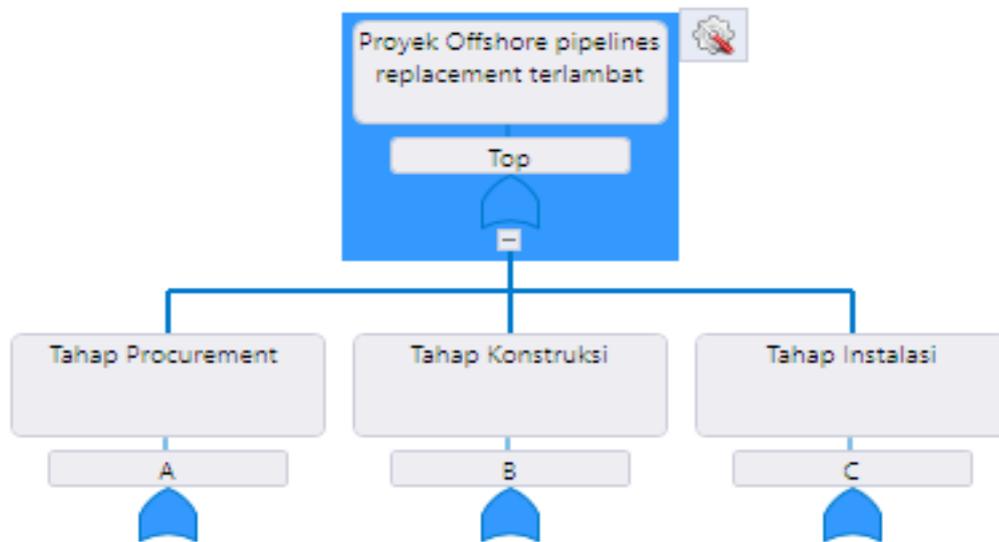


Gambar 4. 6 *Pivotal Event ETA*

Sumber : dokumentasi pribadi

4.5.3.4 Input *Basic Event Probability* FTA dan *Pivotal Event Probability* ETA

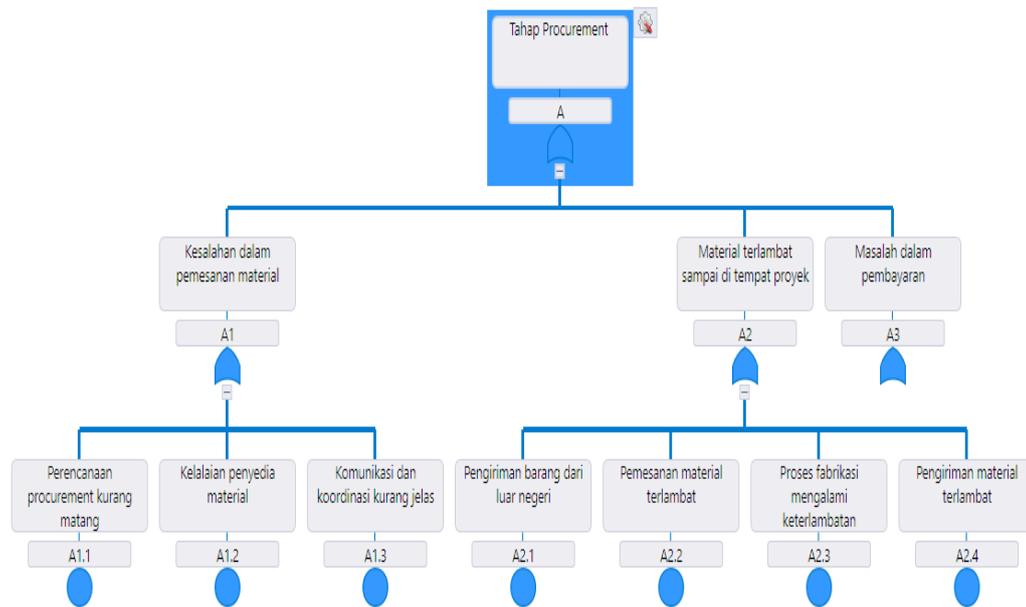
Pada *fault tree analysis*, langkah selanjutnya setelah menentukan *basic event*, *intermediate event* adalah membuat *fault tree diagram* untuk memudahkan dalam pemahaman *fault tree analysis* dan membantu perhitungan probabilitas pada *top event*. Pembuatan *fault tree diagram* menggunakan software *Top Event FTA*. Berikut adalah *fault tree diagram* :



Gambar 4. 7 *Top Event* Keterlambatan Proyek *Offshore Pipelines Replacement* PT. X

Sumber : dokumentasi pribadi

Pada gambar 4.7, menjelaskan bahwa *top event* keterlambatan proyek *offshore pipelines replacement* PT. X memiliki 3 cabang *intermediate event level 1* yaitu tahap pengadaan material atau *procurement*, tahap konstruksi, dan tahap instalasi. Keterlambatan proyek dapat disebabkan apabila pada tahap *procurement* mengalami gangguan, atau tahap konstruksi yang mengalami gangguan, atau tahap instalasi yang mengalami gangguan. *Top event* keterlambatan proyek ini dihasilkan dari indikasi keterlambatan pada bulan Oktober 2018, dimana pada bulan tersebut terdapat 3 kegiatan yang meliputi tahapan pada gambar 4.7.

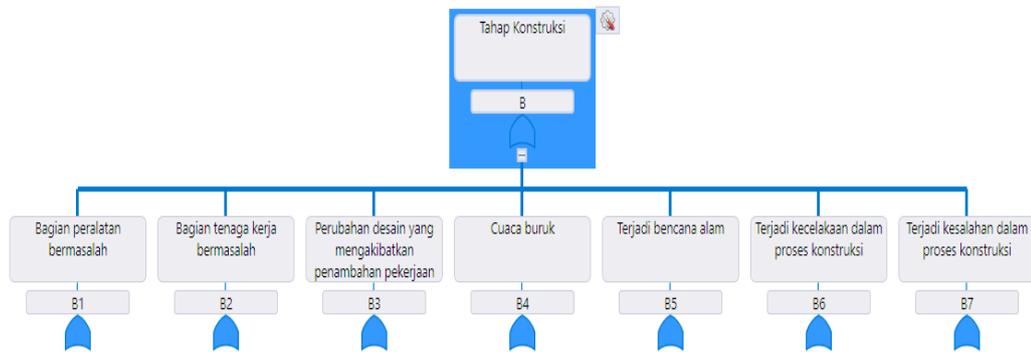


Gambar 4. 8 Tahap *Procurement* Mengalami Gangguan

Sumber : dokumentasi pribadi

Pada gambar 4.8, ditampilkan apabila pada tahap *procurement* mengalami gangguan seperti terjadi ketidaksesuaian material dengan pesanan atau material terlambat sampai di lapangan atau masalah dalam pembayaran. Material tidak sesuai dengan pesanan dapat disebabkan oleh perencanaan *procurement* yang dibuat kurang matang atau penyedia jasa material lalai dalam menyediakan material atau komunikasi dan koordinasi antar penyedia jasa material dan kontraktor kurang baik. Keterlambatan material juga dapat disebabkan oleh keterlambatan proses fabrikasi atau pengiriman barang dari luar negeri atau keterlambatan pemesanan maupun pengiriman material. Tahap *procurement* atau pengadaan material merupakan tahapan yang sangat penting dalam menjalankan proyek konstruksi. Ketidakadaan material saat proyek berjalan sangat mempengaruhi durasi proyek. Oleh karena itu, tim manajemen harus dapat berhati-hati dalam menjalankan tahapan ini untuk menghasilkan proyek yang optimal dalam biaya maupun waktu. Tahap *procurement* ini juga termasuk pada tahapan yang kompleks karena terdiri dari beberapa kegiatan dan termasuk kedalam kegiatan kritis proyek dan tahap

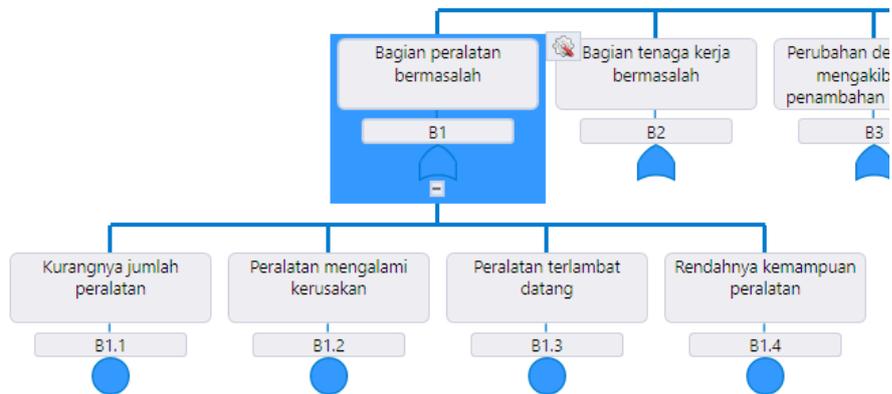
procurement merupakan tahapan awal proyek dimana jika terjadi kesalahan akan berpengaruh dan menyebabkan keterlamabatan pada proyek.



Gambar 4. 9 Tahap Konstruksi Mengalami Gangguan

Sumber : dokumentasi pribadi

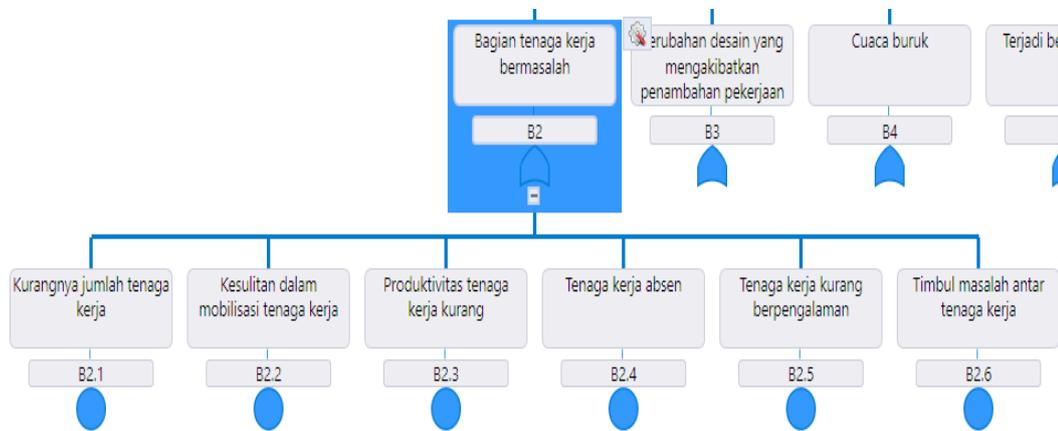
Pada gambar 4.9, ditampilkan apabila tahap konstruksi mengalami gangguan seperti terjadi masalah pada bagian peralatan atau bagian tenaga kerja bermasalah atau terjadi perubahan desain yang mengakibatkan perubahan pekerjaan atau cuaca buruk atau terjadi bencana alam atau terjadi kecelakaan dalam proyek konstruksi atau terjadi kesalahan dalam proses konstruksi. Tahap konstruksi merupakan salah satu tahapan yang sangat penting dalam menjalankan proyek konstruksi. Konstruksi yang tidak berjalan dengan baik dan optimal sangat mempengaruhi durasi proyek. Oleh karena itu, tim manajemen harus dapat berhati-hati dalam menjalankan tahapan ini untuk menghasilkan proyek yang optimal dalam biaya maupun waktu.



Gambar 4. 10 Bagian Peralatan Bermasalah

Sumber : dokumentasi pribadi

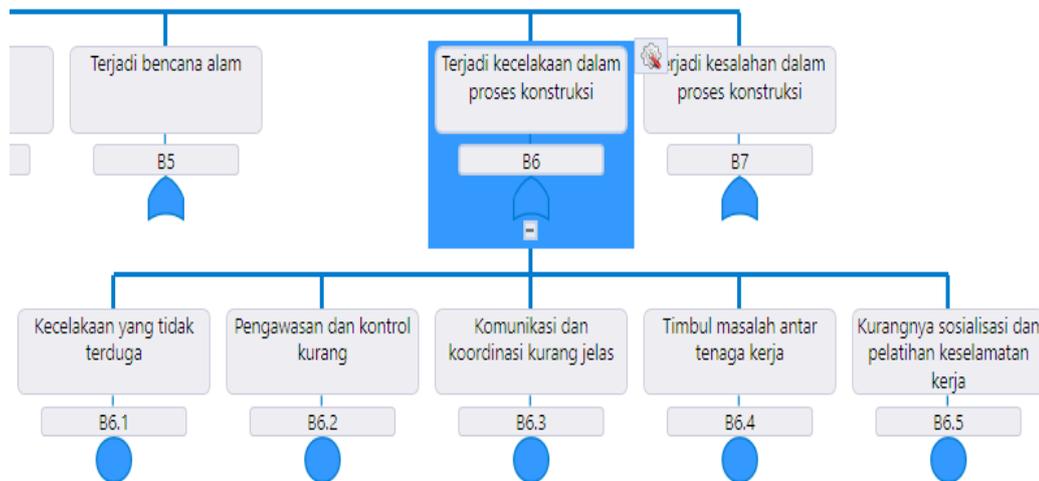
Pada gambar 4.10, ditampilkan apabila masalah dalam peralatan terjadi dikarenakan kurangnya jumlah peralatan yang sesuai standar dan sesuai pesanan atau peralatan mengalami kerusakan atau peralatan datang terlambat atau rendahnya kemampuan peralatan.



Gambar 4. 11 Bagian Tenaga Kerja Bermasalah

Sumber : dokumentasi pribadi

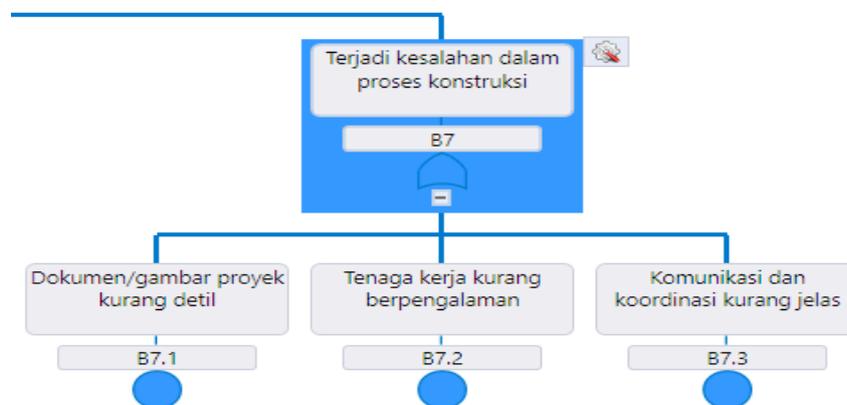
Pada gambar 4.11, ditampilkan apabila terjadi masalah dalam tenaga kerja dapat disebabkan kurangnya jumlah tenaga kerja atau kesulitan dalam mobilisasi tenaga kerja atau produktifitas tenaga kerja kurang optimal atau tenaga kerja absen atau tenaga kerja kurang berpengalaman atau timbul masalah antar tenaga kerja.



Gambar 4. 12 Terjadi Kecelakaan Dalam Proses Konstruksi

Sumber : dokumentasi pribadi

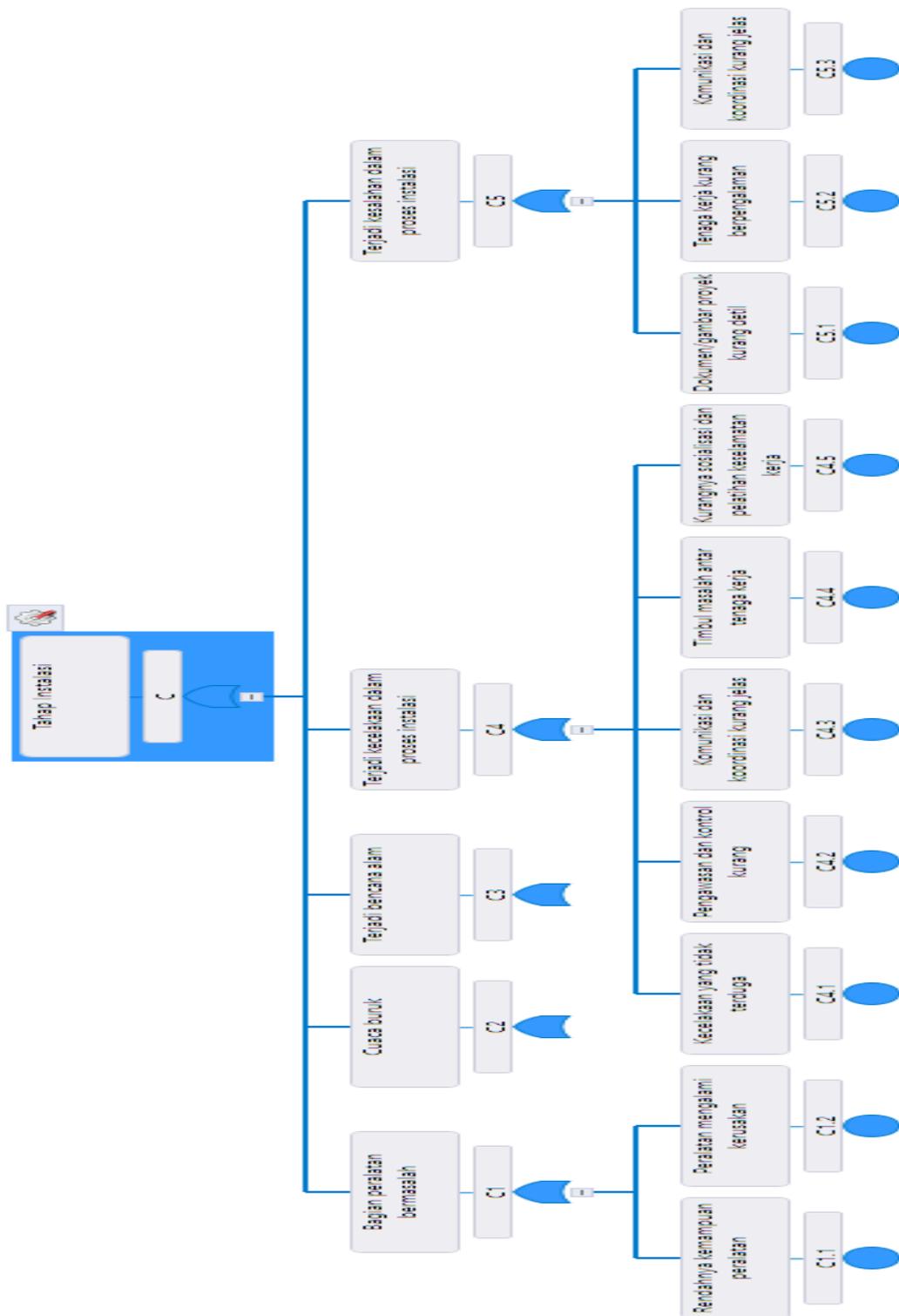
Pada gambar 4.12, ditampilkan bahwa kecelakaan dalam proses konstruksi dapat terjadi apabila terjadi kejadian yang tidak terduga dan menyebabkan kecelakaan atau kurangnya pengawasan dan kontrol dalam proses konstruksi atau komunikasi dan koordinasi kurang jelas saat berjalannya proyek atau timbul masalah antar tenaga kerja atau kurangnya sosialisasi maupun pelatihan keselamatan kerja. Keselamatan tenaga kerja merupakan salah satu faktor penting selama proyek berjalan karena keselamatan kerja adalah kewajiban setiap individu dan perusahaan.



Gambar 4. 13 Terjadi Kesalahan Dalam Proses Konstruksi

Sumber : dokumentasi pribadi

Pada gambar 4.13, ditampilkan kesalahan dalam proses konstruksi dapat terjadi apabila dokumen/gambar proyek kurang detil atau tenaga kerja kurang berpengalaman atau komunikasi dan koordinasi kurang jelas selama berjalannya proyek sehingga dapat menyebabkan kesalahan dalam proses konstruksi. Kesalahan seperti ini sebaiknya dihindari karena dapat menyebabkan keterlambatan pada proyek sehingga proyek tidak berjalan dengan optimal. Kesalahan seperti ini mampu memberikan dampak terhadap biaya proyek. Kesalahan dalam proses konstruksi merupakan salah satu pokok penting yang dapat dianalisa sehingga dimasa yang akan datang dapat dihindari.



Gambar 4. 14 Tahap Instalasi Mengalami Gangguan

Sumber : dokumentasi pribadi

Pada gambar 4.14, ditampilkan pada tahap instalasi, memiliki 5 cabang pada *intermediate event level 2*, kemudian bagian peralatan bermasalah memiliki dua cabang, yaitu rendahnya kemampuan peralatan dan peralatan mengalami kerusakan. Pada *event* terjadi kecelakaan dalam proses instalasi terdapat beberapa cabang, antara lain kecelakaan yang tidak terduga, pengawasan dan kontrol kurang, komunikasi dan koordinasi kurang jelas, timbul masalah antar tenaga kerja, serta kurangnya sosialisasi maupun pelatihan keselamatan kerja. Untuk *event* terjadi kesalahan dalam proses instalasi terdapat beberapa cabang, antara lain dokumen atau gambar kurang detil, tenaga kerja kurang berpengalaman, dan komunikasi dan koordinasi kurang jelas.

Setelah menentukan dan membuat *fault tree diagram* menggunakan *software Top Event FTA* dilakukan input probabilitas, sebelumnya dilakukan penyebaran kuisioner untuk menghitung probabilitas tiap *basic event*. Didapatkan 8 responden ahli yang berpengalaman dengan proyek *offshore pipelines replacement* yang dimana data responden dapat dilihat pada tabel 4.14 :

Tabel 4. 14 Data Responden Kuisioner *Basic Event*

No	Nama	Jabatan Pekerjaan	Pengalaman Kerja (Tahun)
1	Ganes	<i>Material Coordinator</i>	6 Tahun
2	Garniko Mulia Nugraha	<i>Project Quality Lead</i>	19 Tahun
3	Ridwan	<i>Project Cost Control</i>	20 Tahun
4	Dimas Sasongko	<i>FC & EI Safety Superintendent</i>	20 Tahun
5	Andry Hardyanto	<i>Construction Senior Engineer</i>	27 Tahun
6	Aditya Pratama	<i>Project Engineer</i>	6 Tahun
7	Asti	<i>Contract Engineer</i>	9 Tahun

Setelah melakukan penyebaran kuisiener menggunakan *google form* dan mendapatkan hasil kuisiener yang diinginkan sebanyak 7 responden ahli, maka dilakukan perhitungan hasil akhir kuisiener *basic event* FTA yang ditampilkan pada tabel 4.15 berikut :

Tabel 4. 15 Rekapitulasi Hasil Kuisiener *Basic Event* FTA

<i>Intermediate Event Level 1</i>	<i>Intermediate Event Level 2</i>	<i>Basic Event</i>	<i>Frequency Index</i>					
			n1	n2	n3	n4	n5	
Tahap <i>Procurement</i> Mengalami Gangguan	Kesalahan dalam pemesanan material	Perencanaan procurement kurang matang	1	2	4	0	0	
		Kelalaian penyedia material	2	2	2	1	0	
		Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	2	1	4	0	0	
	Material terlambat sampai di tempat proyek	Pengiriman barang dari luar negeri	1	1	3	2	0	
		Pemesanan material terlambat	1	2	2	2	0	
		Proses fabrikasi mengalami keterlambatan	0	3	2	2	0	
		Pengiriman material terlambat	0	2	2	2	1	
	Masalah dalam pembayaran		3	2	2	0	0	
	Tahap <i>Konstruksi</i> Mengalami Gangguan	Bagian peralatan bermasalah	Kurangnya jumlah peralatan	1	2	3	1	0
			Peralatan mengalami kerusakan	0	2	4	0	1
Peralatan terlambat dating			1	1	4	1	0	
Rendahnya kemampuan peralatan			2	4	1	0	0	
Bagian tenaga kerja bermasalah		Kurangnya jumlah tenaga kerja	1	3	3	0	0	
		Kesulitan dalam mobilisasi tenaga kerja	1	3	2	0	1	
		Produktivitas tenaga kerja kurang	0	6	1	0	0	
		Tenaga kerja absen	2	4	1	0	0	
		Tenaga kerja kurang berpengalaman	2	3	2	0	0	

<i>Intermediate Event Level 1</i>	<i>Intermediate Event Level 2</i>	<i>Basic Event</i>	<i>Frequency Index</i>				
			<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>n3</i>	<i>n4</i>	<i>n5</i>
		Timbul masalah antar tenaga kerja	4	2	1	0	0
		Perubahan desain yang mengakibatkan penambahan pekerjaan	1	0	4	2	0
		Cuaca buruk	1	1	3	1	1
		Terjadi bencana alam	4	1	2	0	0
	Terjadi kecelakaan dalam proses konstruksi	Kecelakaan yang tidak terduga	2	2	3	0	0
		Pengawasan dan kontrol kurang	2	2	3	0	0
		Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	2	2	3	0	0
		Timbul masalah antar tenaga kerja	4	2	1	0	0
		Kurangnya sosialisasi dan pelatihan keselamatan kerja	4	2	1	0	0
	Terjadi kesalahan dalam proses konstruksi	Dokumen/gambar kurang detil	3	2	1	1	0
		Tenaga kerja kurang berpengalaman	2	3	2	0	0
		Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	2	2	3	0	0
Tahap Instalasi Mengalami Gangguan	Bagian peralatan bermasalah	Peralatan mengalami kerusakan	2	3	2	0	0
		Rendahnya kemampuan peralatan	2	3	2	0	0
		Cuaca buruk	0	1	4	0	2
		Terjadi bencana alam	4	2	1	0	0
	Terjadi kecelakaan dalam proses instalasi	Kecelakaan yang tidak terduga	3	1	2	1	0
		Pengawasan dan kontrol kurang	2	2	3	0	0
		Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	2	2	3	0	0
		Timbul masalah antar tenaga kerja	3	3	1	0	0
		Kurangnya sosialisasi dan pelatihan keselamatan kerja	4	1	2	0	0

<i>Intermediate Event Level 1</i>	<i>Intermediate Event Level 2</i>	<i>Basic Event</i>	<i>Frequency Index</i>				
			<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>n3</i>	<i>n4</i>	<i>n5</i>
	Terjadi kesalahan dalam proses instalasi	Dokumen/gambar kurang detil	2	3	1	0	1
		Tenaga kerja kurang berpengalaman	2	3	2	0	0
		Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	2	2	3	0	0

Kemudian dilakukan perhitungan *basic event probability* dengan menggunakan rumus probabilitas, yaitu :

$$Probability = \frac{\sum_1^5 a_i n_i}{5N} \times 100\% \times \text{quantitative at frequency index}$$

Dimana :

a_i : bobot yang diberikan oleh responden dengan angka 1,2,3,4, atau 5

n_i : jumlah responden yang menjawab dengan angka i

N : jumlah seluruh responden

Quantitative at frequency index : angka kuantitatif yang tercantum pada tabel *frequency index*

Perhitungan *basic event probability* ini mengacu pada *frequency index* pada DNV RP F107 (*Pipeline Risk Assessment*) dapat dilihat pada tabel 4.16 berikut :

Tabel 4. 16 *Frequency Index*

<i>Category</i>	<i>Description</i>	<i>Quantitative</i>
1 (<i>Very Low</i>)	<i>So low frequency that event considered negligible</i>	10^{-6}
2 (<i>Low</i>)	<i>Event rarely expected to occur</i>	10^{-5}
3 (<i>Medium</i>)	<i>Event individually not expected to happen, but may happen once</i>	10^{-4}
<i>Category</i>	<i>Description</i>	<i>Quantitative</i>

4 (<i>High</i>)	<i>Event individually may be expected to occur</i>	10 ⁻³
5 (<i>Very High</i>)	<i>Event individually may be expected to happen more than once</i>	10 ⁻²

Sumber : DNV RP F107 (*Pipeline Risk Assessment*)

Tabel 4. 17 *Basic Event Probability*

<i>Intermediate Event Level 2</i>	<i>Basic Event</i>	<i>Probabilitas Basic Event</i>
Kesalahan dalam pemesanan material	Perencanaan procurement kurang matang	0,000035457
	Kelalaian penyedia material	0,000132629
	Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	0,000034914
Material terlambat sampai di tempat proyek	Pengiriman barang dari luar negeri	0,000254886
	Pemesanan material terlambat	0,000246886
	Proses fabrikasi mengalami keterlambatan	0,000247429
	Pengiriman material terlambat	0,007389714
Masalah dalam pembayaran		0,000018371
Bagian peralatan bermasalah	Kurangnya jumlah peralatan	0,000141171
	Peralatan mengalami kerusakan	0,007178286
	Peralatan terlambat datang	0,000149171
	Rendahnya kemampuan peralatan	0,000010914
Bagian tenaga kerja bermasalah	Kurangnya jumlah tenaga kerja	0,000027457
	Kesulitan dalam mobilisasi tenaga kerja	0,007161743
	Produktivitas tenaga kerja kurang	0,000012000
	Tenaga kerja absen	0,000010914
	Tenaga kerja kurang berpengalaman	0,000018914
	Timbul masalah antar tenaga kerja	0,000009829
Perubahan desain yang mengakibatkan penambahan pekerjaan		0,000262886
Cuaca buruk		0,007283457
Terjadi bencana alam		0,000017829
<i>Intermediate Event Level 2</i>	<i>Basic Event</i>	<i>Probabilitas Basic Event</i>
	Kecelakaan yang tidak terduga	0,000026914

Terjadi kecelakaan dalam proses konstruksi	Pengawasan dan kontrol kurang	0,000026914
	Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	0,000026914
	Timbul masalah antar tenaga kerja	0,000009829
	Kurangnya sosialisasi dan pelatihan keselamatan kerja	0,000009829
Terjadi kesalahan dalam proses konstruksi	Dokumen/gambar kurang detil	0,000124086
	Tenaga kerja kurang berpengalaman	0,000018914
	Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	0,000026914
Bagian peralatan bermasalah	Peralatan mengalami kerusakan	0,000018914
	Rendahnya kemampuan peralatan	0,000018914
Cuaca buruk		0,014320571
Terjadi bencana alam		0,000009829
Terjadi kecelakaan dalam proses instalasi	Kecelakaan yang tidak terduga	0,000132086
	Pengawasan dan kontrol kurang	0,000026914
	Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	0,000026914
	Timbul masalah antar tenaga kerja	0,000010371
	Kurangnya sosialisasi dan pelatihan keselamatan kerja	0,000017829
Terjadi kesalahan dalam proses instalasi	Dokumen/gambar kurang detil	0,007153200
	Tenaga kerja kurang berpengalaman	0,000018914
	Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	0,000026914

Setelah menghitung dan mendapatkan probabilitas pada tiap *basic event* FTA, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan total pada ke-3 cabang *intermediate event*. Langkah pertama yang dilakukan adalah menginput semua *basic event probability* pada ke-3 *intermediate event*.

Tabel 4. 18 Tahap *Procurement* Mengalami Gangguan

No.	<i>Basic Event</i>	<i>Probability</i>
1	Perencanaan procurement kurang matang	0,000035457
2	Kelalaian penyedia material	0,000132629
3	Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	0,000034914
4	Pengiriman barang dari luar negeri	0,000254886

5	Pemesanan material terlambat	0,000246886
6	Proses fabrikasi mengalami keterlambatan	0,000247429
7	Pengiriman material terlambat	0,007389714
8	Masalah dalam pembayaran	0,000018371
Total (I₁)		0,008360286

Pada tabel 4.18 dapat dilihat bahwa faktor yang mempengaruhi keterlambatan adalah pengiriman material karena memiliki probabilitas yang paling tinggi menurut responden ahli dan faktor ini sering menjadi kendala bagi tim manajemen dalam menjalankan proyek.

Tabel 4. 19 Tahap Konstruksi Mengalami Gangguan

No.	<i>Basic Event</i>	<i>Probability</i>
1	Kurangnya jumlah peralatan	0,000141171
2	Peralatan mengalami kerusakan	0,007178286
3	Peralatan terlambat datang	0,000149171
4	Rendahnya kemampuan peralatan	0,000010914
5	Kurangnya jumlah tenaga kerja	0,000027457
6	Kesulitan dalam mobilisasi tenaga kerja	0,007161743
7	Produktivitas tenaga kerja kurang	0,000012000
8	Tenaga kerja absen	0,000010914
No.	<i>Basic Event</i>	<i>Probability</i>
9	Tenaga kerja kurang berpengalaman	0,000018914

10	Timbul masalah antar tenaga kerja	0,000009829
11	Perubahan desain yang mengakibatkan penambahan pekerjaan	0,000262886
12	Cuaca buruk	0,007283457
13	Terjadi bencana alam	0,000017829
14	Kecelakaan yang tidak terduga	0,000026914
15	Pengawasan dan kontrol kurang	0,000026914
16	Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	0,000026914
17	Kurangnya sosialisasi dan pelatihan keselamatan kerja	0,000009829
18	Dokumen/gambar kurang detail	0,000124086
Total (I₂)		0,022554886

Pada tabel 4.19 dapat dilihat bahwa faktor yang memiliki probabilitas cukup tinggi dan mempengaruhi keterlambatan pada tahap konstruksi menurut responden ahli adalah cuaca buruk yang berdampak pada kesulitan dalam mobilisasi tenaga kerja dan peralatan yang mengalami kerusakan. Faktor ini sering menjadi kendala bagi tim manajemen dalam menjalankan proyek.

Tabel 4. 20 Tahap Instalasi Mengalami Gangguan

No.	<i>Basic Event</i>	<i>Probability</i>
1	Peralatan mengalami kerusakan	0,000018914
2	Rendahnya kemampuan peralatan	0,000018914
3	Cuaca buruk	0,000149171
4	Terjadinya bencana alam	0,000010914
No.	<i>Basic Event</i>	<i>Probability</i>

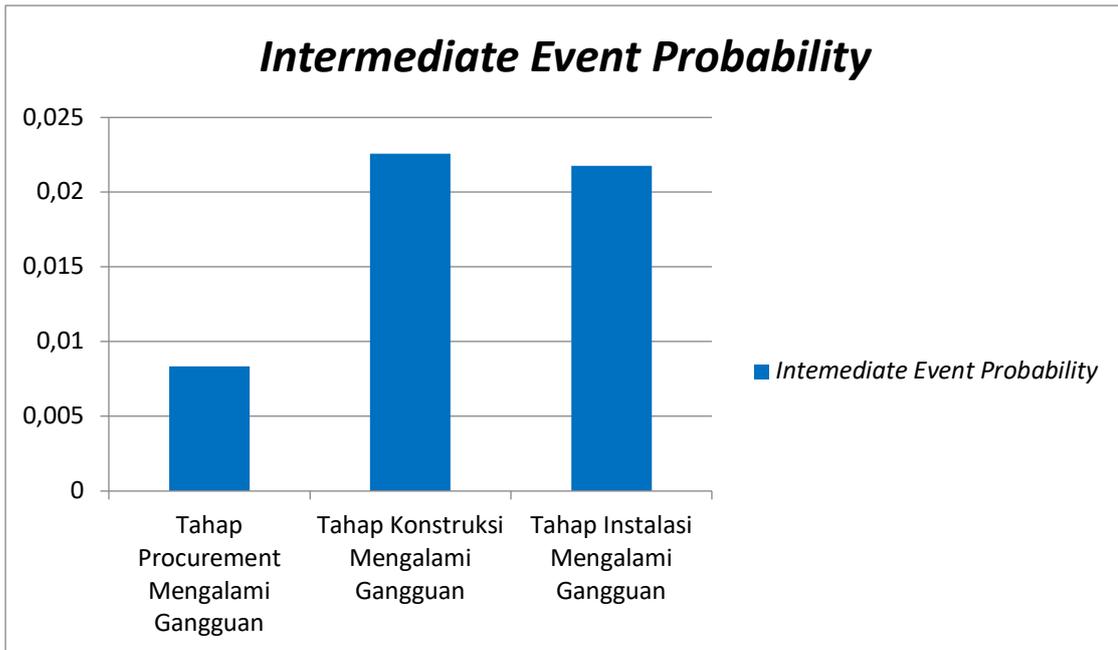
5	Kecelakaan yang tidak terduga	0,000132086
6	Pengawasan dan kontrol kurang	0,000026914
7	Komunikasi dan koordinasi kurang jelas	0,000026914
8	Timbul masalah antar tenaga kerja	0,000010371
9	Kurangnya sosialisasi dan pelatihan keselamatan kerja	0,000017829
10	Dokumen/gambar kurang detil	0,007153200
11	Tenaga kerja kurang berpengalaman	0,000018914
Total (I₃)		0,021781371

Pada tabel 4.21 dapat dilihat bahwa faktor yang memiliki probabilitas cukup tinggi dan mempengaruhi keterlambatan pada tahap instalasi menurut responden ahli adalah dokumen atau gambar yang kurang detil sehingga tenaga kerja yang mengerjakan proses instalasi menunggu dokumen/gambar yang lebih detil untuk pengerjaan instalasi pada proyek *offshore pipelines replacement*, akan tetapi dikarenakan pengalaman yang cukup keterlambatan proyek dapat dikurangi walaupun tidak dapat dihindari jika terdapat gambar/dokumen kurang detil.

Dari hasil perhitungan *intermediate event probability* dari tabel 4.19 hingga tabel 4.21 di atas, didapatkan hasil probabilitas pada ketiga *intermediate event* FTA. Berikut hasil dari tiap perhitungannya :

1. T_1 (Tahap *Procurement* Mengalami Gangguan) = 0,008360286
2. T_2 (Tahap Konstruksi Mengalami Gangguan) = 0,022554886
3. T_3 (Tahap Instalasi Mengalami Gangguan) = 0,021781371

Dari hasil perhitungan *intermediate event probability* dapat disimpulkan bahwa tahap konstruksi mengalami gangguan memiliki probabilitas yang paling tinggi. Terlihat dari banyaknya kegiatan kompleks pada tahap konstruksi yang mungkin menjadi indikasi keterlambatan proyek di bulan Oktober 2018.



Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan *Intermediate Event Probability*

Sumber : dokumentasi pribadi

Jadi, *top event probability* keterlambatan proyek *offshore pipelines replacement* adalah :

$$T = I_1 + I_2 + I_3$$

$$T = 0,008360286 + 0,022554886 + 0,021781371$$

$$T = 0,052696543$$

Perhitungan *top event probability* juga bisa dilihat pada tabel 4.21

Tabel 4. 21 *Top Event Probability* FTA

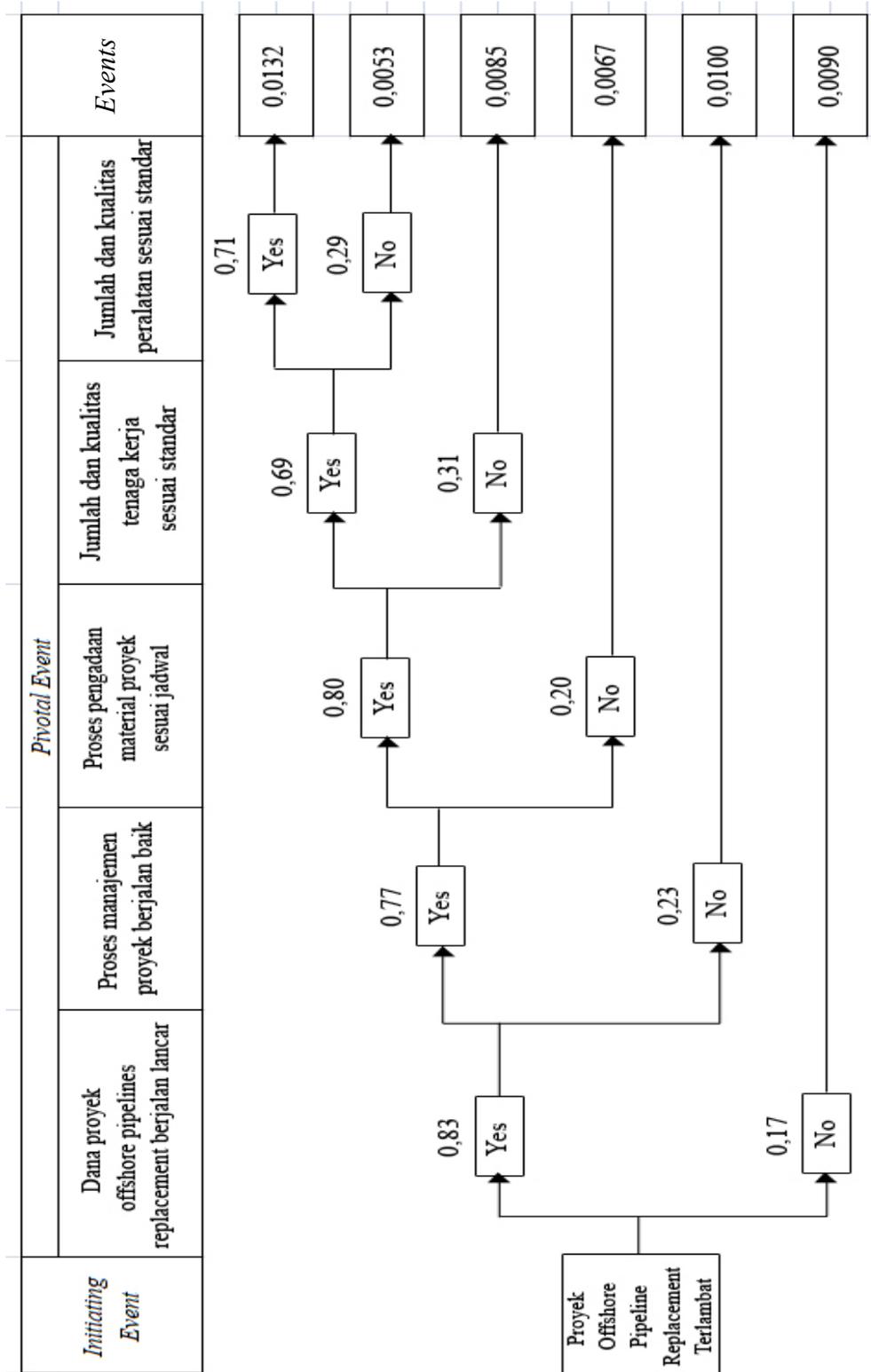
No.	<i>Basic Event</i>	<i>Probability</i>
1	Tahap <i>Procurement</i> Mengalami Gangguan	0,008360286
2	Tahap Konstruksi Mengalami Gangguan	0,022554886
3	Tahap Instalasi Mengalami Gangguan	0,021781371
<i>Top Event Probability</i> FTA (Total)		0,052696543

Setelah menghitung probabilitas FTA, maka langkah selanjutnya adalah menghitung probabilitas ETA. Pada proyek *offshore pipelines replacement* terbagi menjadi 5 *pivotal events* yaitu dana proyek *offshore pipelines replacement* berjalan lancar, proses manajemen proyek berjalan baik, proses pengadaan material proyek sesuai jadwal, jumlah dan kualitas tenaga kerja sesuai standar, serta jumlah dan kualitas peralatan sesuai standar. Probabilitas pada *pivotal event* terbagi menjadi dua yaitu peluang terlaksana (*yes*) dan peluang tidak terlaksana (*no*). Berikut merupakan rekapitulasi kuisioner responden ahli yang tercantum pada tabel 4.22 :

Tabel 4. 22 Rekapitulasi Hasil Kuisioner *Pivotal Event Probability* ETA

No.	<i>Pivotal Events</i>	1	2	3	4	5	6	7	<i>Probability (Yes)</i>
1	Dana proyek <i>offshore pipelines replacement</i> berjalan lancar	0,8	0,6	0,6	1	1	1	0,8	0,83
2	Proses manajemen proyek berjalan baik	0,8	0,6	0,6	0,8	1	0,8	0,8	0,77
3	Proses pengadaan material proyek sesuai jadwal	0,8	0,6	0,6	1	1	0,8	0,8	0,80
4	Jumlah dan kualitas tenaga kerja sesuai standar	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,8	0,69
5	Jumlah dan kualitas peralatan sesuai standar	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,71

Dari rekapitulasi hasil kuisioner *pivotal event* ETA dan mendapatkan peluang terlaksana (*yes*) dan peluang tidak terlaksana (*no*), maka dilakukan *input* angka probabilitas pada diagram ETA seperti pada gambar 4.16, batasan yang digunakan hanya menggunakan 5 *pivotal events* sebagai skenario yang menghasilkan 6 *events* dengan asumsi hanya ada peluang terlaksana (*yes*) dan peluang tidak terlaksana (*no*), tidak ada peluang kemungkinan bisa/tidak terlaksana (*maybe*) setelah peluang tidak terlaksana (*no*).



Gambar 4.16 Event Tree Analysis Proyek Offshore Pipelines Replacement

Sumber : dokumentasi pribadi

Event tree diagram menunjukkan *initiating event* dari penelitian ini yaitu proyek *offshore pipelines replacement* terlambat memiliki 6 *events probability* A, B, C, D, E, dan F. Perhitungan pada diagram ETA menggunakan konsep :

$$(probability\ of\ success) + (probability\ of\ failure) = 1$$

dengan rumus sebagai berikut :

$$Event = (Initiating\ Event/Probability\ Top\ Event\ FTA) \times Probability\ Pivotal\ Event\ 1 \times Probability\ Pivotal\ Event\ 2 \times Probability\ Pivotal\ Event\ n...$$

Berikut penjelasan mengenai *event tree diagram* proyek *offshore pipelines replacement* yang tertera pada gambar 4.16 :

1. *Event A*

Pergantian pipa bawah laut selesai tepat waktu karena berjalan lancar dan tidak terjadi masalah pada salah satu *pivotal event*. *Event probability A* dihitung dengan cara: $0,05270 \times 0,83 \times 0,77 \times 0,80 \times 0,69 \times 0,71 = 0,0132$.

2. *Event B*

Pergantian pipa bawah laut selesai tetapi tertunda selama 5 - 6 minggu karena kekurangan peralatan yang sesuai standar. *Event probability B* dihitung dengan cara: $0,05270 \times 0,83 \times 0,77 \times 0,80 \times 0,69 \times 0,29 = 0,0053$.

3. *Event C*

Pergantian pipa bawah laut selesai tetapi dapat tertunda selama 3-4 bulan karena kekurangan tenaga kerja yang tidak berpengalaman. *Event probability C* dihitung dengan cara: $0,05270 \times 0,83 \times 0,77 \times 0,80 \times 0,31 = 0,0085$.

4. *Event D*

Pergantian pipa bawah laut selesai tetapi dapat tertunda selama 4-5 bulan karena keterlambatan pengadaan material. *Event probability D* dihitung dengan cara: $0,05270 \times 0,83 \times 0,77 \times 0,20 = 0,0067$

5. *Event E*

Pergantian pipa bawah laut selesai tetapi dapat tertunda selama 5-6 bulan karena kurangnya implementasi dan pengawasan manajemen proyek. *Event probability E* dihitung dengan cara: $0,05270 \times 0,83 \times 0,23 = 0,0100$

6. *Event F*

Pergantian pipa bawah laut tidak dapat diselesaikan karena masalah biaya selama proyek mengingat biaya adalah hal utama dari keberhasilan proyek. *Event probability F* dihitung dengan cara: $0,05270 \times 0,17 = 0,0090$

Dilihat dari hasil perhitungan *event probability A* (proyek diselesaikan sesuai jadwal) lebih besar dibandingkan dengan *event probability F* (proyek gagal dilaksanakan) maupun *event probability B,C,D*, dan *E*. Hasil diskusi dengan responden ahli mengenai konsekuensi yang dapat terjadi adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 23 Konsekuensi *Events* ETA

<i>EVENTS</i>	<i>PROBABILITY</i>	<i>QONSEQUENCES</i>
A	0,0132	Proyek berjalan sesuai dengan jadwal
B	0,0053	5 minggu - 6 minggu
C	0,0085	3 bulan - 4 bulan
D	0,0067	4 bulan - 5 bulan
E	0,0100	5 bulan - 6 bulan
F	0,0090	Proyek gagal dilaksanakan

Langkah selanjutnya adalah menentukan kategori risiko dari setiap *event* ke dalam matriks risiko. Probabilitas setiap *event* dicocokkan ke dalam tabel *Frequency Index* (FI) dan konsekuensi dari setiap *event* dicocokkan ke dalam tabel *Severity Index* (SI). Tabel FI dan SI dirujuk dari DNV RP F107 (*Pipeline Risk Assessment*).

Tabel 4. 24 *Frequency Index*

Category	Description	Quantitative
1 (<i>Very Low</i>)	<i>So low frequency that event considered negligible</i>	10^{-6}
2 (<i>Low</i>)	<i>Event rarely expected to occur</i>	10^{-5}
3 (<i>Medium</i>)	<i>Event individually not expected to happen, but may happen once</i>	10^{-4}
4 (<i>High</i>)	<i>Event individually may be expected to occur</i>	10^{-3}
5 (<i>Very High</i>)	<i>Event individually may be expected to happen more than once</i>	10^{-2}

Sumber : DNV RP F107 (*Pipeline Risk Assessment*)

Tabel 4. 25 *Severity Index*

Category	Description	Delay/Downtime
1 (<i>Very Low</i>)	<i>Insignificant effect on operation.</i>	<i>0 days</i>
2 (<i>Low</i>)	<i>Repair can be deferred until schedule shutdown, some cost spend will occur.</i>	<i>< 1 month</i>
3 (<i>Medium</i>)	<i>Failure causes extended schedule and significant cost spend.</i>	<i>1-3 months</i>
4 (<i>High</i>)	<i>Failure cause indefinite shutdown and significant facility or system failure cost.</i>	<i>3-12 months</i>
5 (<i>Very High</i>)	<i>Failures resulting in shut down of project and large cost spend during shut down of production.</i>	<i>1-3 years</i>

Sumber : DNV RP F107 (*Pipeline Risk Assessment*)

Tabel 4. 26 Risk Matrix

		<i>Severity</i>				
		1	2	3	4	5
<i>Frequency</i>	5					
	4					
	3					
	2					
	1					

Sumber : DNV RP F107 (*Pipeline Risk Assessment*)

Keterangan :

- Low* :
- Medium* :
- High* :

Penentuan kategori risiko pada tiap *event* dilakukan dengan mengaitkan *frequency index* dan *severity index* dari tiap *event* ETA. Berikut ringkasan *event* ETA sesuai dengan *frequency index* dan *severity index* yang bisa dilihat pada tabel 4.27 :

Tabel 4. 27 Keterlambatan Risiko Proyek Offshore Pipelines Replacement

<i>Events</i>	<i>Probability</i>	<i>Frequency Index</i>	<i>Consequence</i>	<i>Severity Index</i>	<i>Risk Index</i>
A	0,0132	<i>Very High</i> (5)	Proyek berjalan sesuai dengan jadwal	<i>Very Low</i> (1)	<i>Medium</i>
B	0,0053	<i>High</i> (4)	5 minggu - 6 minggu	<i>Medium</i> (3)	<i>High</i>

<i>Events</i>	<i>Probability</i>	<i>Frequency Index</i>	<i>Consequence</i>	<i>Severity Index</i>	<i>Risk Index</i>
C	0,0085	<i>High (4)</i>	3 bulan - 4 bulan	<i>High (4)</i>	<i>High</i>
D	0,0067	<i>High (4)</i>	4 bulan - 5 bulan	<i>High (4)</i>	<i>High</i>
E	0,0100	<i>Very High (5)</i>	5 bulan - 6 bulan	<i>High (4)</i>	<i>High</i>
F	0,0090	<i>High (4)</i>	Proyek gagal dilaksanakan	<i>Very High (5)</i>	<i>High</i>

Tabel 4. 28 Hasil *Events* ETA ke Matriks Risiko

		<i>Severity</i>				
		1	2	3	4	5
<i>Frequency</i>	5	A			E,F	
	4			B	C,D	
	3					
	2					
	1					

Tabel 4.28 menjelaskan bahwa *event A* dikategorikan sebagai risiko sedang sedangkan *event B, C, D, E, dan F* dikategorikan sebagai risiko tinggi karena probabilitas tinggi dan tingkat keparahan tinggi. Dalam hasil ini, tidak ada hasil risiko rendah karena probabilitas terendah dari *event* dikategorikan dalam probabilitas tinggi (4) dan sangat tinggi (5).

4.5.3.5 Validasi FTA dan ETA

Validasi dilakukan lewat diskusi dan wawancara oleh responden ahli Bapak Januar A. M terhadap *fault tree analysis* dan *event tree analysis*. Hasil yang telah dihitung sudah divalidasi dan perhitungan dianggap sudah sesuai dengan proyek *offshore pipelines replacement*.

4.5.4 Improve

4.5.4.1 Penentuan Root Cause

Pada tahap ini, dilakukan penentuan akar penyebab yang dapat menyebabkan keterlambatan pada proyek dan langkah apa saja yang dapat dilakukan dalam proyek, sehingga menyebabkan keterlambatan pada proyek dapat dihindari. Dari hasil probabilitas FTA dikerucutkan *root cause* pada *basic event* yang memiliki probabilitas tertinggi dan dikerjakan pada bulan Oktober 2018.

Diketahui pada bulan tersebut terdapat kegiatan pengiriman material, kemungkinan yang terjadi adalah pengiriman material terlambat dilihat dari probabilitas yang cukup besar pada *basic event*. Pengiriman material terlambat memiliki probabilitas sebesar 0,007389714.

4.5.4.2 Penentuan Langkah Preventif

Langkah yang dapat dilakukan adalah dengan menyelesaikan segala pembiayaan material karena dengan pemantauan terhadap pendanaan dalam pemesanan material merupakan hal penting karena dengan tidak adanya dana barang tidak dapat dipesan maupun diantar tepat waktu. Untuk proyek selanjutnya diharapkan *procurement plan* dapat direncanakan dengan sebaik mungkin sehingga tidak ada lagi kesalahan dalam pengiriman material dan proyek berjalan optimal.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dalam Tugas Akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Proyek *offshore pipelines replacement* memiliki 19 aktivitas kritis yang dibuat dari 38 aktivitas proyek. Aktivitas kritis ini tersebar pada tahap *engineering, procurement, construction, dan installation*. Aktivitas kritis tersebut tersambung satu sama lain yang dinamakan jalur kritis.
2. Banyak faktor yang menyebabkan *over time* atau keterlambatan proyek. Faktor-faktor tersebut terbagi menjadi 3 cabang *intermediate event*, yaitu tahap *procurement*, konstruksi, dan instalasi. Kemudian ketiga cabang tersebut dibagi lagi menjadi banyak *event*, disebut juga dengan *basic event*. Terdapat 37 *basic event* pada proyek *offshore pipelines replacement*. Faktor keterlambatan proyek pada proyek ini berupa keterlambatan pengiriman material ditunjang dari probabilitas yang cukup besar sehingga menjadikan salah satu faktor keterlambatan yang perlu diawasi dan diperhatikan selama berjalannya proyek.
3. Proyek *offshore pipelines replacement* menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA) didapatkan hasil *top event probability* pada proyek ini sebesar 0,05270 dengan *events probability* A,B,C,D,E, dan F pada hasil *Event Tree Analysis* (ETA) sebagai berikut :
 - a. *Event A* dengan *event probability* 0,0132 – Pergantian pipa bawah laut selesai tepat waktu dan berjalan lancar.
 - b. *Event B* dengan *event probability* 0,0053 – Pergantian pipa bawah laut selesai tetapi tertunda selama 5-6 minggu.
 - c. *Event C* dengan *event probability* 0,0085 – Pergantian pipa bawah laut selesai tetapi tertunda selama 3-4 bulan.

- d. *Event D* dengan *event probability* 0,0067 - Pergantian pipa bawah laut selesai tetapi tertunda selama 4-5 bulan.
 - e. *Event E* dengan *event probability* 0,0100 - Pergantian pipa bawah laut selesai tetapi tertunda selama 5-6 bulan.
 - f. *Event F* dengan *event probability* 0,0090 - Pergantian pipa bawah laut tidak dapat diselesaikan.
4. Proyek *offshore pipelines replacement* menggunakan *Event Tree Analysis* (ETA) memperoleh 6 *events* dengan probabilitas dan konsekuensi yang berbeda. Proyek ini memiliki risiko penundaan dari 2-6 bulan. Proyek ini termasuk kedalam proyek kompleks yang memiliki *risk index*, yaitu *high*.

5.2 Saran

Saran yang ingin penulis berikan adalah pada penentuan langkah preventif sebaiknya dilakukan dengan pembagian kuisisioner pada responden ahli guna mendapatkan hasil yang lebih baik dan dapat dipertimbangkan. Kemudian untuk responden ahli sebaiknya dilakukan pembobotan berdasarkan posisi, gelar dan jam terbang individu dan dimasukkan kedalam perhitungan probabilitas untuk mendapatkan hasil yang lebih detil. Penulis juga menyarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan data biaya sehingga dapat diperlihatkan konsekuensi nyata seperti *penalty cost*. Penulis juga menyarankan untuk melanjutkan penelitian penulis dengan menambahkan tahap *control* dalam *six sigma analysis* sehingga dapat diketahui apakah tindakan korektif yang diberikan dapat diimplementasikan dengan baik atau tidak.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, A., Riyandi, M. & Ratna, D., 2016. Analisa Faktor Penyebab Keterlambatan Progress Terkait dengan Manajemen Waktu. *Wahana Teknik Sipil*, volume 21, pp. 61-74.
- Aziz, R. F., 2013. Ranking of Delay Factors in Construction Projects After Egyptian Revolution. *Alexandria Engineering Journal*, I(52), pp. 387-406.
- Bai, Y. & Bai, Q., 2005. *Subsea Pipeline and Risers*. Elsevier Science, USA.
- Baccarini, David., 1996. The Concept of Project Complexity – a review. *International Journal of Project Management*, volume 14, I(4), pp. 201-204.
- Brue, G., 2002. Six Sigma for Managers: 1st Edition. McGraw-Hill Publishing, New York.
- Ericson, C. A., 2005. *Hazard Analysis Techniques for System Safety*. A John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Ervianto, I. W., 2005. *Manajemen Proyek Konstruksi Edisi Revisi*. Andi Publisher, Yogyakarta.
- Fallahnejad, M. H., 2012. Delay Causes in Iran Gas Pipeline Projects. *International Journal of Project Management*, I(31), pp. 136-146.
- Gaspersz, V., 2013. *All-in-one: 150 Key Performance Indicators and Balanced Scorecard, Malcolm Baldrige, Lean Six Sigma Supply Chain Management*. Tri-Al-Bros Publishing, Bogor
- Hadju, M., 2013. Two Scheduling Models, One Project: Are Models Applicable in Case of Real Projects??. *Procedia Engineering*, I(74), pp. 165-174.
- Hassan, H., 2016. *Faktor-Faktor Penyebab Keterlambatan Pada Proyek Konstruksi dan Alternatif Penyelesaiannya (Studi Kasus : Di Manado Town Square)*. Manado: Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi.

- Heizer, J. & Render, B., 2014. *Operation Management Sustainability and Supply Chain Management: 11th Edition*. Pearson.
- Husen, A., 2011. *Manajemen Proyek Perencanaan, Penjadwalan dan Pengendalian Proyek Edisi Revisi*. Andi Publisher, Yogyakarta.
- Hutapea, M. J., Pribadi, T. W. & Baihaqi, I. 2017. *Perancangan Aplikasi Berbasis Android untuk Manajemen Proyek Reparasi Kapal*. Surabaya: Departemen Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ISO 31000, 2009. *Risk Management – Guidelines*. British Standard Institution.
- ISO 31010, 2009. *Risk Management – Risk Assessment Techniques*. British Standard Institution.
- Islam, Nafish S., 2013. Complex Project Crashing Algorithm. *Journal of Business and Management*, volume 11, I(4), pp. 10-17.
- Ismael, I., 2013. *Keterlambatan Proyek Konstruksi Gedung: Faktor Penyebab dan Tindakan Pencegahannya*. Jurnal Momentum, Padang: Dosen Teknik Sipil Institut Teknologi Padang.
- Kabir, S., 2017. An Overview of Fault Tree Analysis and Its Application in Model Based Dependability Analysis. *Expert Systems With Applications*, I(77), pp. 114-135.
- Kenny, S., 2018. Offshore Pipelines – Elements of Managing Risk. *Methods in Chemical Process Safety*, volume 2, pp. 289-325.
- Larasati, Dea P., 2019. *Perbaikan Kualitas Produksi Botol dengan Metode Six Sigma dan Metode Data Mining di PT. Bumimulia Indah Lestari*. Jakarta: Teknik Industri Universitas Trisakti.
- Marzagao, D. S. L. & Carvalho, M. M., 2016. Critical Success Factors For Six Sigma Projects. *International Journal of Project Management*, volume 34, pp. 1505-1518.

- Nasution, M. N., 2015. *Manajemen Mutu Terpadu (Total Quality Management) Edisi Ketiga*. Ghalia Indonesia, Bogor.
- Orangi, A., Palaneeswaran, E. & J, W., 2011. Exploring Delays in Victoria-Based Astralian Pipeline Projects. *Procedia Engineering*, I(14), pp. 874-881.
- Peixoto, J., Tereso, A., Fernandes, G. & Almeida, R. 2014. Project Risk Management Methodology: A Case Study on an Electric Energy Organization. *Procedia Technology*, volume 16, pp. 1096-1105, Elsevier Ltd..
- PMBOK, 2008. *A Guide to Project Management Body of Knowledge*. Newtown Square: Project Management Institute.
- Proboyo, B., 1999. Keterlambatan Waktu pada Pelaksanaan Proyek: Klasifikasi dan Peringkat dari Penyebab-penyebabnya. *Dimensi Teknik Sipil*, volume 1, pp. 49-58.
- Rahmadani, W. R & Sumarningsih, T., 2018. *Percepatan Jadwal dengan Sistem Shift Menggunakan Analisa PDM (Precedence Diagramming Method)*. Yogyakarta: Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
- Rosqvist, T., Molarius, R., Virta, H. & Perrels, A., 2013. Event Tree Analysis for Flood Protection – An Exploratory Study in Finland. *Reliability Engineering and System Safety*, I(112), pp. 1-7.
- Redana, F., 2016. *Analisa Keterlambatan pada Proyek Pembangunan Jacket Structure*. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Samad, F., 2019. *Analisis Jadwal dan Risiko Keterlambatan Proyek Onshore Pipeline X di Melaka*. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Silva, L. H. R.-d. & Crispim, J. A., 2014. The Project Risk Management Process, a Preliminary Study. *Procedia Technology*, volume 16, pp. 943-949, Elsevier Ltd..
- Soeharto, I., 1999. *Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional) Edisi Kedua*. Penerbit Erlangga, Jakarta.

- Szymanski, P., 2017. Risk Management in Construction Projects. *Procedia Engineering*, I(208), pp. 174-182.
- Terry, George R., 2005. *Principles of Management*. New York: Alexander Hamilton Institute.
- Waluyo, R. & Aditama, S., 2017. *Pengaruh Resource Leveling Terhadap Alokasi Tenaga Kerja Pada Proyek Konstruksi*. Palangka Raya: Universitas Palangka Raya.
- Yasin, N., 2014. *Kontrak Konstruksi di Indonesia Edisi Kedua*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

LAMPIRAN

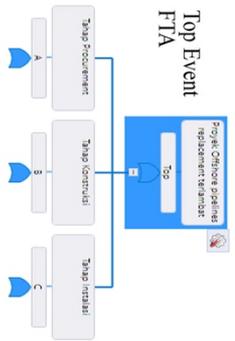
BIODATA PENULIS



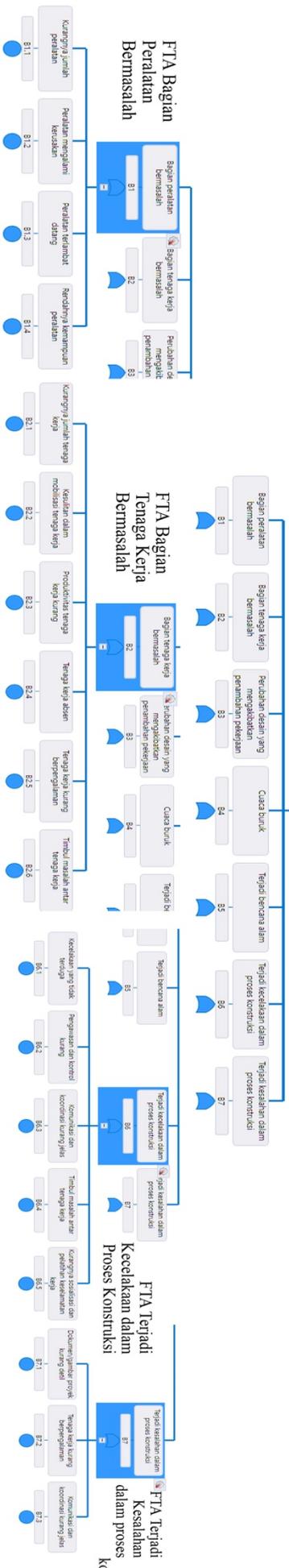
Jordy Revanda Widiardo Apcar lahir di Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta pada tanggal 5 Desember 1996, penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Islam Terpadu Auliya Tangerang Selatan, lalu melanjutkan pendidikan di SMP Labschool Kebayoran, Jakarta. Penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri Unggulan M. H. Thamrin Jakarta pada tahun pertama dan pindah ke SMA Negeri 70 Jakarta pada tahun kedua. Setelah penulis menyelesaikan pendidikan sekolah menengah tingkat kedua pada tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan Perguruan Tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya mengambil program studi gelar S-1 di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan. Selama di perkuliahan penulis aktif dalam bidang akademis dan non-akademis baik itu dalam skala regional, nasional, maupun internasional. Pada tahun 2016, penulis menjadi Staff Ahli Media dan Informasi Himpunan Teknik Kelautan ITS (regional), *Volunteer* pada acara PETROLIDA 2016 yang diselenggarakan oleh *Society of Petroleum Engineers Student Chapter* ITS (nasional), *Fundraising Staff of CSR Society of Petroleum Engineers Student Chapter* ITS (regional), dan penulis mengikuti *Workshop Integrated Petroleum Exploration Exploitation* yang diselenggarakan *Society of Petroleum Engineers Student Chapter* ITS dan *Society of Exploration Geophysicists Student Chapter* ITS (internasional). Pada tahun 2017 sampai 2018, penulis menjadi Staff Ahli *Internal Affair Society of Petroleum Engineers Student Chapter* ITS (regional), Staff Ahli *Public Relation National Association of Corrosion Engineers Student Chapter* ITS (regional), *Staff Public Relation OCEANO 2017* (nasional), *Staff Creative Design OCEANO 2018* (nasional), penulis mengikuti *Corrosion Camp* yang diselenggarakan oleh *National Association of Corrosion Engineers International* di Malaysia (internasional), dan pada tahun yang sama penulis berkesempatan untuk menjalankan kerja praktik selama dua bulan di

Pertamina Hulu Energi Jakarta bagian *management team pipeline repair and replacement project*. Pada tahun 2019, penulis menjadi *Staff Intern Outgoing Global Talent AIESEC Surabaya* (internasional), penulis juga mendapat kesempatan dipercaya memegang proyek *Global Volunteer Earth Heroes AIESEC Surabaya* selama 2 bulan menjadi *OC Finance* (internasional), pada tahun yang sama penulis juga mengikuti *PIPESIM Workshop* yang diselenggarakan oleh Schlumberger Ltd. (nasional), dan penulis mendapat kesempatan menjadi *author* dan *presenter* pada *7th International Seminar on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management* (internasional). Penulis menyelesaikan pendidikan strata-1 dengan melakukan penelitian pada Tugas Akhir yang berjudul “Perencanaan Proyek *Offshore Pipelines Replacement*”. Jika pembaca berminat memberi kritik dan saran, dapat menghubungi penulis diemail yang tertera di bawah ini.

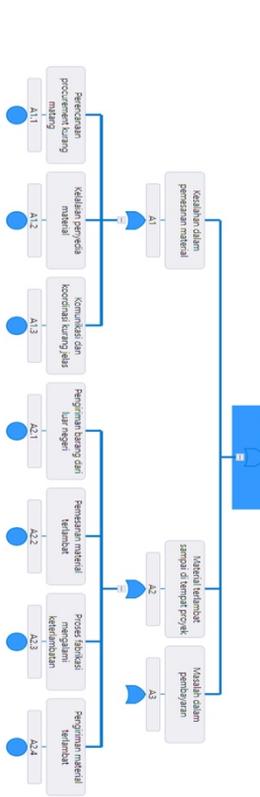
Email : jordyrvd@hotmail.com



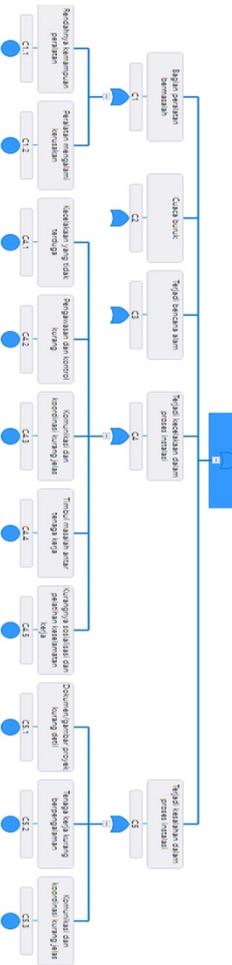
FTA Tahap Konstruksi



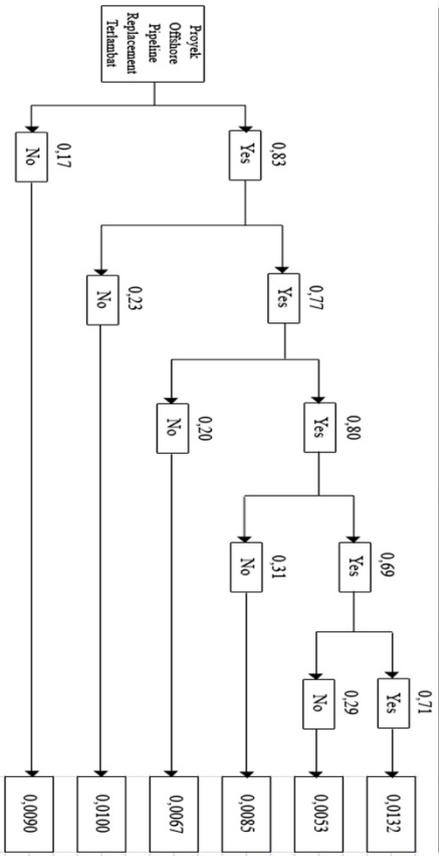
FTA Tahap Procurement



FTA Tahap Instalasi



Initiating Event	Primary Event	Event
Dana proyek offshore pipelines replacement berjalan lancar	Proses pengadaan material proyek sesuai jadwal	Jumlah dan kualitas tenaga kerja sesuai standar
Proses manajemen proyek berjalan baik	Jumlah dan kualitas tenaga kerja sesuai standar	Jumlah dan kualitas peralatan sesuai standar



Event Tree Analysis (ETA)