

**SKRIPSI**

**“ANALISIS RISIKO INSTALASI PIPA BAWAH LAUT TN AA-381/383RC DI PT. KALIRAYA SARI DENGAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS*”**

Disusun dan diajukan oleh:

**AMIRUDDIN  
D081 18 1303**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS RISIKO INSTALASI PIPA BAWAH LAUT TN AA-381/383RC DI PT. KALIRAYA SARI DENGAN METODE FAULT TREE ANALYSIS**

Disusun dan diajukan oleh:

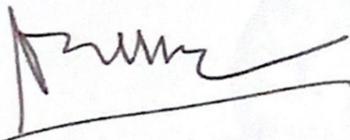
**AMIRUDDIN**  
D081 18 1303

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Kelautan Fakultas Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 23 November 2022  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

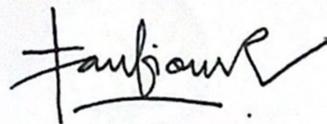
Menyetujui,

Pembimbing I,



Ir. H. Juswan, MT.  
NIP.196212311989031031

Pembimbing II,



Dr. Ir. Taufiqur Rachman, ST., MT.  
NIP. 196908021997021001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.  
NIP.197506052002121003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Amiruddin  
NIM : D081181303  
Program Studi : Departemen Teknik Kelautan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

"Analisis Risiko Instalasi Pipa Bawah Laut TN AA-381383RC di PT. Kaliraya Sari  
Dengan Metode *Fault Tree Analysis*"

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari dosen pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 23/11/ 2022

Yang Menyatakan,



## ABSTRAK

**AMIRUDDIN.** *Analisis Risiko Instalasi Pipa Bawah Laut TN AA-381/383RC di PT.Kaliraya Sari Dengan Metode Fault Tree Analysis*

Penggunaan pipa bawah laut dalam industri minyak dan gas bumi lepas pantai merupakan salah satu alternatif mode transportasi, sarana ini harus dirancang dan dipasang sedemikian rupa hingga dapat menjamin proses transportasi yang aman, efisien dan handal. Pada industri *offshore Pipeline* salah satu tantangan yang dihadapi berkaitan dengan berbagai risiko yang ada dari ancaman dari tiap risiko yang terjadi akibat permasalahan teknis hingga *human error*. Selama penggunaannya pipa bawah laut tidak dapat lepas dari risiko kegagalan yang akan terjadi sehingga dibutuhkan analisis untuk mengetahui risiko pada instalasi pipa bawah laut TN-AA381/383rc. Proyek pembangunan TN-AA381/383rc merupakan proyek dari PT. Pertamina Hulu Mahakam (PHM) Untuk pengembangan awal sumur Gas di area *South Processing Unit* (SPU) Delta Mahakam, Kalimantan Timur, dimana pembagian dari wilayah kerja Mahakam di area seluas 3.266,44 kilometer Delta Sungai Mahakam hingga perairan Selat Makassar. Pada Proyek pembangunan TN-AA381/383rc terdapat beberapa item pekerjaan yaitu pekerjaan persiapan, penanganan jangkar, *trenching* dan pemasangan *pipeline*. Untuk membuat analisis risiko pada proyek ini digunakan *software* metode *Fault Tree Analysis* yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (*top event*) kemudian merinci ke sebab-sebab suatu *top event* sampai pada suatu kegagalan dasar (*root cause*) untuk mengidentifikasi terjadinya suatu kegagalan dari berbagai cara, baik dari faktor fisik maupun manusia, yang dapat mengarah pada penyebab dari terjadinya kegagalan/kesalahan tersebut. Hasil yang diperoleh berdasarkan metode *Fault Tree Analysis* yaitu terdapat 37 risiko dari setiap pekerjaan dimana aktivitas (A4-1), pada pekerjaan pemasangan pipeline (T-13) mempunyai nilai kumulatif tertinggi sebesar 0,75 kemudian aktivitas (A3-1), (A2-1) dan terendah aktivitas (A1-1) pekerjaan persiapan (T-3) sebesar 0,1.

Kata Kunci: Risiko, Pipa Bawah Laut, *Fault Tree Analysis*

## ABSTRACT

**AMIRUDDIN.** *Risk Analysis of Subsea Pipeline Installation TN AA-381/383RC at PT. Kaliraya Sari Using Fault Tree Analysis Method*

*The use of subsea pipelines in the offshore oil and gas industry is an alternative mode of transportation, this facility must be designed and installed in such a way as to ensure a safe, efficient and reliable transportation process. In the offshore pipeline industry, one of the challenges faced is related to the various risks that exist from the threat of each risk that occurs due to technical problems to human error. During its use, the underwater pipeline cannot be separated from the risk of failure that will occur, so an analysis is needed to determine the risks in the TN-AA381/383rc underwater pipeline installation. The TN-AA381/383rc construction project is a project of PT. Pertamina Hulu Mahakam (PHM) For the initial development of gas wells in the South Processing Unit (SPU) area of the Mahakam Delta, East Kalimantan, where the division of the Mahakam working area covers an area of 3,266.44 Kilometer from the Mahakam River Delta to the waters of the Makassar Strait. In the TN-AA381/383rc construction project, there are several work items, namely preparation work, anchor handling, trenching and pipeline installation. To make a risk analysis in this project, the Fault Tree Analysis method software is used which begins with the assumption of failure or loss from the top event then details the causes of a top event to a root cause to identify the occurrence of a failure. from various ways, both from physical and human factors, which can lead to the cause of the failure/error. The results obtained based on the Fault Tree Analysis method are that there are 37 risks from each job where activity (A4-1), in pipeline installation work (T-13) has the highest cumulative value of 0.75 then activity (A3-1), (A2 -1) and the lowest activity (A1-1) is preparatory work (T-8) of 0.25*

*Keywords: Risk, Subsea Pipeline, Fault Tree Analysis*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT .....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN .....	xi
KATA PENGANTAR .....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Kebutuhan Minyak dan Gas.....	4
2.2 Konstruksi Pipa Bawah Laut .....	5
2.3 Instalasi Pipa Bawah Laut.....	7
2.3.1 Teknologi Pemasangan Pipa Bawah Laut.....	8
2.3.1.1 Metode Pemasangan Pipa Bawah Laut .....	8
2.3.2 Kapal Pemasangan Pipa Bawah Laut.....	12
2.3.3 Pemilihan Rute Pipa Bawah Laut.....	15
2.4 Definisi Risiko .....	16
2.4.1 Penilaian Risiko .....	17
2.4.2 Identifikasi Risiko .....	17
2.4.3 Analisis Risiko.....	20
2.5. Keterlambatan Proyek .....	21
2.6. Penyebab Keterlambatan Proyek.....	21
2.7 <i>Fault Tree Analysis</i> .....	22
2.8 Teori Probabilitas .....	27

BAB III METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Jenis Penelitian.....	29
3.2 Lokasi Penelitian.....	29
3.3 Prosedur Penelitian.....	29
3.4 Diagram Alir.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Pelaksanaan Penelitian .....	32
4.1.1 Profil Perusahaan Kontraktor .....	32
4.1.2 Profil Proyek Instalasi Pipa Bawah Laut.....	32
4.1.3 Prosedur Pekerjaan Instalasi Pipa Bawah Laut.....	33
4.1.4 Prosedur Pekerjaan <i>Trenching</i> .....	38
4.2 Identifikasi Risiko .....	45
4.2.1 Konstruksi Diagram <i>Fault Tree Analysis</i> .....	45
4.2.2 Probabilitas <i>Basic Event</i> (Analisa Kuantitatif).....	61
4.2.3 Probabilitas Pada <i>Fault Tree Analysis</i> .....	64
BAB V PENUTUP.....	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jaringan Pipa Bawah Laut .....	1
Gambar 2.1 Inspeksi Pipa bawah laut.....	5
Gambar 2.2 Pengelasan Pipa bawah laut.....	6
Gambar 2.3 <i>Non-Destructive Test</i> .....	6
Gambar 2.4 <i>Coating</i> pada Pipa Bawah Laut.....	7
Gambar 2.5 Proteksi Katodik pada Pipa Bawah Laut.....	7
Gambar 2.6 Potongan melintang pipa.....	8
Gambar 2.7 Metode <i>S-lay</i> .....	9
Gambar 2.8 Metode <i>J-lay</i> .....	10
Gambar 2.9 Metode <i>Reel Lay</i> .....	11
Gambar 2.10 Metode <i>Tow or pull</i> .....	11
Gambar 2.11 <i>Pipelay semisubmersibles</i> .....	12
Gambar 2.12 <i>Pipelay Ship dan Pipelay Barge</i> .....	13
Gambar 2.13 <i>Pipelay Reel Ships</i> .....	14
Gambar 2.14 <i>Tow or Pull vessels</i> .....	15
Gambar 2.15 Pemilihan Rute.....	15
Gambar 2.16 Posisi identifikasi risiko dalam proses manajemen risiko.....	17
Gambar 2.17 Istilah dan Kegunaan .....	25
Gambar 2.18 Simbol-simbol dalam <i>Fault Tree Analysis</i> .....	26
Gambar 2.19 Contoh <i>Fault Tree Analysis</i> .....	26
Gambar 3.1 Peta Lokasi Wellhead Platform TN-AA381/383rc .....	29
Gambar 3.2 Diagram alir.....	31
Gambar 4.1 Tata letak pemosisian <i>Landing Craft Tank</i> untuk menjatuhkan <i>backhoe</i> rawa .....	39
Gambar 4.2 Tata Letak Degradasi Rawa <i>Backhoe</i> .....	40

Gambar 4.3 Panduan Pemasangan Tata Letak Tumpukan .....	41
Gambar 4.4 <i>Layout Trenching</i> .....	42
Gambar 4.5 Pekerjaan Jangkar Darurat <i>Backhoe Rawa</i> .....	44
Gambar 4.6 Pekerjaan Persiapan .....	46
Gambar 4.7 Pekerjaan Penanganan Jangkar .....	47
Gambar 4.8 Pekerjaan <i>Trenching</i> .....	48
Gambar 4.9 Pekerjaan Pemasangan <i>Pipeline</i> .....	49
Gambar 4.10 Gambar Keseluruhan Pekerjaan .....	50
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Probabilitas <i>Basic Event</i> .....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Hasil identifikasi risiko pekerjaan persiapan (A1-1) dengan menggunakan metode <i>Fault Tree Analysis</i> .....	51
Tabel 4.2. Hasil identifikasi risiko pekerjaan penanganan jangkar (A2-1) dengan menggunakan metode <i>Fault Tree Analysis</i> .....	55
Tabel 4.3. Hasil identifikasi risiko pekerjaan <i>trenching</i> (A3-1) dengan menggunakan metode <i>Fault Tree Analysis</i> .....	57
Tabel 4.4. Hasil identifikasi risiko pekerjaan pemasangan <i>pipeline</i> (A4-1) dengan menggunakan metode <i>Fault Tree Analysis</i> .....	59
Tabel 4.5 <i>Frequency Index</i> .....	61
Tabel 4.6 Tabel Probabilitas <i>Basic Event</i> .....	61

## DAFTAR LAMPIRAN

Kuesioner Penelitian.....	72
---------------------------	----

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT, atas limpahan rahmat, hidayah, inayah dan nikmat-Nya yakni berupa nikmat kesehatan rohani dan jasmani yang diberikan kepada penulis, sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini sesuai dengan yang diharapkan. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Baginda Rasulullah SAW, sahabat, keluarga, serta orang-orang yang senantiasa istiqomah di jalan-Nya. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam proses penyusunan sampai dengan terselesainya skripsi yang berjudul “**Analisis Risiko Instalasi Pipa Bawah Laut TN AA-381/383RC Di PT. Kaliraya Sari Dengan Metode *Fault Tree Analysis***” penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sampai terselesainya skripsi ini.

Teristimewa penulis haturkan terima kasih kepada ibunda **Nirwana** dan ayahanda **Ambo Ali** selaku orang tua dan juga Kakak dan Adik kandung penulis yang selama ini memberikan kasih sayang, dukungan dan doa yang tak henti-hentinya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan pendidikan sebagai sarjana.

Dengan rasa terima kasih dan rendah hati penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak **Ir. Juswan, MT.** Selaku pembimbing 1 yang telah memberi bimbingan dan arahan dari awal penelitian hingga terselesainya penulisan skripsi ini.
2. Bapak **Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT.** Selaku pembimbing 2 telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesainya penulisan skripsi ini.

3. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.** Selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam lingkungan Departemen Teknik Kelautan.
4. Bapak **Ashury, ST., MT.** Selaku Sekertaris Kemahasiswaan Departemen Teknik Kelautan yang telah memberikan saran-saran pada saat mengurus di organisasi HMTK FT-UH.
5. Bapak **Sabarrudin Rahman, ST., MT., Ph.D.** Selaku penasehat akademik saya selama kuliah.
6. Segenap **Dosen-dosen** dan **staf akademik** Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin telah membantu penulis selama menjalani perkuliahan.
7. Teman-teman Teknik Kelautan angkatan 2018 dimana penulis tidak dapat menyebut satu-persatu suatu kebahagiaan tersendiri bagi penulis dapat melewati masa-masa perkuliahan bersama kalian.
8. Kepada teman-teman Labo *Offshore* Production Management and Underwater Works (OPART) yang telah bersama-sama mengerjakan skripsi.
9. Teman-teman IPMIL RAYA UNHAS terutama LK 9 yang telah memberikan dukungan dan semangat untuk saya.
10. Seluruh kawan-kawan Thruzter Crew yang telah kebersamai baik itu suka maupun duka.
11. Seluruh anggota dan pengurus HMTK FT-UH Periode 2020/2021, Pengurus SMFT-UH Periode 2021/2022, Unit Kegiatan Archery 09 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang memberikan begitu banyak wawasan dan pengalaman dilingkup organisasi.
12. Kepada Muhammad Aras dan Muhammad Jumardin, kakak dan adik ku yang selalu memberikan dukungan selama perkuliahan
13. Kepada Nurul Khaerunnisa, adik bungsu yang selalu membuat saya tertawa terbahak-bahak.
14. Kepada Elisa, yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam mengerjakan skripsi ini.
15. Dan semua orang yang tidak sempat penulis sebutkan satu-persatu, terima kasih atas seluruh bantuan moril maupun materil yang telah diberikan.

Penulis menyadari keterbatasannya sehingga mungkin dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat beberapa kekurangan dan kesalahan yang perlu diberi saran dan kritik yang membangun dari semua pihak.

Akhir kata penulis berharap apa yang telah dipaparkan dalam tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca, khususnya bagi mahasiswa/i yang akan melakukan penelitian dalam bidang yang serupa. Aamiin.

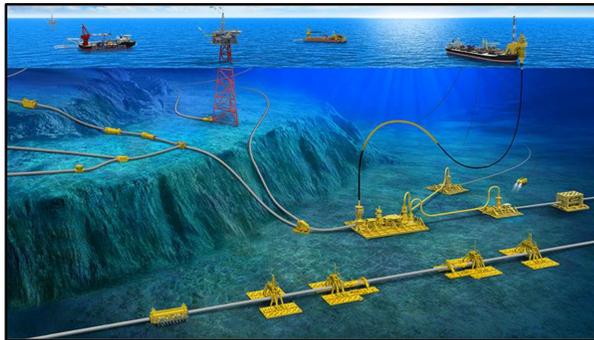
Gowa, Oktober 2022

Amiruddin

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Penggunaan pipa bawah laut (*subsea Pipeline*) dalam industri minyak dan gas bumi lepas pantai merupakan salah satu alternatif mode transportasi untuk memindahkan produk penambangan tersebut dari suatu tempat ke tempat pengumpul atau terminal, dari terminal ke fasilitas proses dan sebagainya. Instalasi pipa bawah laut sebagai sarana transportasi demikian itu, selain dari aspek ekonomis yang lebih murah daripada jenis moda transportasi yang lainnya, sarana ini harus dirancang dan dipasang sedemikian rupa hingga dapat menjamin proses transportasi yang aman, efisien dan handal[1].



**Gambar 1.1 Jaringan Pipa Bawah Laut[2]**

Pada industri *offshore Pipeline* salah satu tantangan yang dihadapi berkaitan dengan berbagai risiko yang ada dari ancaman dari tiap risiko yang terjadi akibat permasalahan teknis hingga *human error*. Selama penggunaannya pipa bawah laut tidak dapat lepas dari risiko kegagalan yang akan terjadi sehingga dibutuhkan manajemen pencegahan dan pengendalian risiko yang tepat untuk pipa bawah laut. Faktor penyebab terjadinya risiko juga dikategorikan menjadi 2 yaitu faktor, yaitu internal dan eksternal. Dimana faktor internal disebabkan oleh umur, ketebalan, dan korosi pipa. Lalu faktor eksternal disebabkan oleh lingkungan sekitar[3].

*Pipeline* pada masa operasinya mempunyai beberapa kemungkinan risiko, dimana hal ini disebabkan oleh kombinasi pertemuan antara *Probability of Failure* dan *Consequence of Failure*[4].

Guna meminimalisir risiko kecelakaan kerja dalam industri, maka diperlukan upaya yang terkoordinasi dalam pengelolaan risiko bahaya yang mungkin terjadi dan dialami oleh pekerja. Pengelolaan risiko saat bekerja dapat dilakukan dengan melakukan identifikasi bahaya hingga melakukan penilaian terhadap risiko itu sendiri. Melalui penilaian risiko, maka kecelakaan kerja yang berpotensi mengakibatkan cedera hingga berdampak pada kerugian perusahaan, dapat dikurangi bahkan dihilangkan[5].

Dari beberapa faktor penyebab terjadinya risiko maka diambil suatu metode *Fault Tree Analysis* yang bertujuan untuk melakukan analisis risiko yang tepat untuk pekerjaan instalasi pipa bawah laut. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top down*, yang diawali dengan asumsi kegagalan dari kejadian puncak (*Top Event*) kemudian merinci sebab-sebab suatu *Top Event* sampai pada suatu kegagalan dasar (*Root Cause*)[6].

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul “Analisis Risiko Instalasi Pipa Bawah Laut TN-AA381/383RC di PT. Kaliraya Sari dengan Metode *Fault Tree Analysis*”

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian di atas, maka rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini, antara lain:

1. Apa saja risiko yang terjadi pada pekerjaan instalasi pipa bawah laut dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* ?
2. Bagaimana penilaian risiko pada pekerjaan instalasi pipa bawah laut dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Untuk menghindari penelitian yang meluas dan untuk membuat penelitian menjadi terarah serta mempermudah penyelesaian masalah dengan baik sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka penelitian dibatasi dengan beberapa hal sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian adalah PT. Kaliraya Sari, Kutai Kartanegara
2. Risiko yang diteliti adalah faktor-faktor yang berpotensi menyebabkan risiko instalasi pipa bawah laut
3. Ruang lingkup pekerjaan yaitu proses instalasi pipa bawah laut
4. Metode yang digunakan yaitu Metode *Fault Tree Analysis*

## 5. Menggunakan *Software Fault Tree Analysis* (FTA)

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui risiko dan bagaimana penilaian risiko pada proses instalasi pipa bawah laut TN-AA381/383RC di PT. Kaliraya Sari, Kutai Kartanegara

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya:

1. Bagi bidang akademis, dapat memperdalam wawasan mahasiswa dan memberikan masukan bagi ilmu pengetahuan, khususnya mengetahui analisis risiko instalasi pipa bawah laut
2. Bagi bidang industri, memberikan informasi mengenai risiko yang dapat terjadi pada proses instalasi pipa bawah laut
3. Sebagai informasi untuk mengetahui risiko pada proses instalasi pipa bawah laut di PT. Kaliraya Sari, Kutai Kartanegara

### 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disusun dengan menggunakan sistematika sebagai berikut:

**BAB I PENDAHULUAN:** Bab ini menjelaskan tentang latar belakang dari penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA:** Bab ini menguraikan beberapa teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

**BAB III METODE PENELITIAN:** Bab ini berisikan jenis penelitian, lokasi penelitian dan model penelitian.

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN:** Bab ini menyajikan hasil penelitian dari penelitian disertai pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.

**BAB V PENUTUP:** Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang dihasilkan dari penelitian.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Kebutuhan Minyak dan Gas**

Minyak bumi dan gas (migas) atau yang sering disebut dengan *petroleum* merupakan sumber utama energi dunia karena hampir seluruh kegiatan manusia era ini membutuhkan minyak bumi. Industri migas mencakup beberapa kegiatan yang terdiri dari eksplorasi, ekstraksi, produksi atau pengolahan dan transportasi. Eksplorasi minyak bumi tidak hanya dilakukan di daerah daratan (*onshore*), karena keterbatasan sumber daya, maka industri migas juga melakukan eksplorasi pada daerah lepas pantai (*offshore*). Pada industri migas lepas pantai dibutuhkan suatu moda transportasi fluida yang efisien dan aman. Pipa bawah laut atau biasa disebut *Offshore Pipeline* merupakan moda transportasi fluida yang efisien dan aman. Hampir seluruh hasil minyak maupun gas bumi ditransportasikan menggunakan *Pipeline*. mengingat pentingnya pipa bawah laut bagi industri, dilakukan berbagai penelitian untuk memelihara dan menjaga pipa saat operasi yang didasarkan pada risiko-risiko yang ada[2].

Untuk mendistribusikan minyak atau gas dengan menggunakan pipa bawah laut juga harus diperhatikan mengenai material pipa yang digunakan. Pemilihan material menggunakan logam sudah mulai diterapkan secara umum sejak tahun 1950-an berdasarkan standar API (*American petroleum institute*) 5L tentang pemilihan material pipa. Setiap tipe material mempunyai karakteristik zat dan material penyusun masing – masing. Spesifikasi material baja yang digunakan tergantung pada komposisi kimiawi, kekuatan material, dan toleransi pipa dalam industri dan manufaktur[1].

Berdasarkan Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor 300.K/38/M.PE/1997 mengenai Keselamatan Kerja Pipa Penyalur Minyak Dan Gas Bumi pada pasal 13 disebutkan bahwa :

Pipa Penyalur yang digelar di laut wajib memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- a. Dalam hal kedalaman dasar laut kurang dari 13 meter maka pipa harus ditanam sekurang kurangnya 2 (dua) meter di bawah dasar laut (*seabed*), serta dilengkapi dengan sistem pemberat agar pipa tidak tergeser atau berpindah, atau disanggah dengan pipa pancang.
- b. Dalam hal kedalaman dasar laut 13 (tigabelas) meter atau lebih maka pipa dapat diletakkan di dasar laut, serta dilengkapi dengan sistem pemberat agar pipa tidak tergeser atau berpindah[7].

## 2.2 Konstruksi Pipa Bawah Laut

Pada konstruksi pipa bawah laut, ada beberapa proses yang akan dilakukan hingga pipa gas bawah laut dinyatakan bisa di instalasi ke bawah laut. Beberapa proses konstruksi pipa bawah laut pada dasarnya sebagai berikut:

- a. Inspeksi Pipa Bawah Laut Pada proses ini pipa batangan dari pabrik akan di cek dan di data mengenai record pipa itu sendiri yang kemudian akan diberi identitas dari pipa-pipa batangan tersebut yang mulai dari *pipe number*, *heat number*, dan sebagainya. Seperti pada gambar 2.1 pipa akan diberi nomor supaya mudah dalam pelacakannya[8].



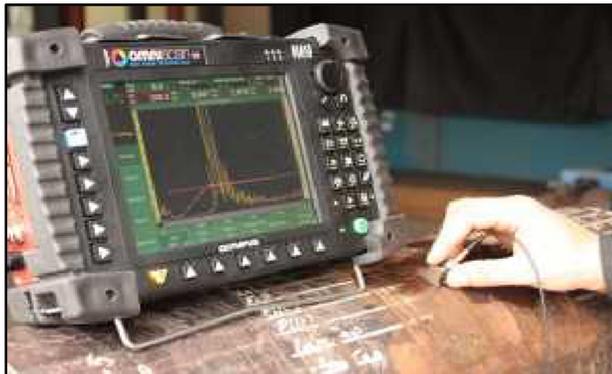
**Gambar 2.1** Inspeksi pipa bawah laut[8]

- b. Pengelasan Pipa bawah laut digunakan untuk menyambung satu batang pipa dengan batang pipa yang lain. Pada proses ini pipa akan di las untuk disambung dengan menggunakan alat berat dan dibutuhkan tenaga ahli dalam pengerjaannya. Seperti pada gambar 2.2 pengelasan pipa dibantu dengan alat pengelasan otomatis[8].



**Gambar 2.2** Pengelasan pipa bawah laut[8]

- c. NDT *Test* atau singkatan dari *Non-Destructive Test* adalah pengetesan pipa bawah laut yang sudah di sambung dengan pengelasan. Pada proses ini pipa akan di tes untuk mengetahui adakah kecacatan dalam proses pengelasan. *Non-Destructive Test* dapat dilakukan dengan menembak sinar-x atau sinar gamma. Dari hasil tersebut akan diketahui letak dimana adanya kecacatan las. Seperti pada gambar 2.3 digunakan alat untuk pengecekan adanya kecacatan dalam pipa. Jika kecacatan sudah diperbaiki maka *Non-Destructive Test* harus dilakukan kembali hingga lolos dari tes tersebut[8].



**Gambar 2.3** *Non-Destructive Test* [8]

- d. *Coating* Pada struktur pipa bawah laut, *coating* atau lapisan pelindung digunakan sebagai pelindung pertama untuk mencegah terjadinya korosi. *Coating* pada pipa bawah laut digunakan untuk melindungi pipa bawah laut dari lingkungannya agar secara fisik dapat lebih efektif memisahkan baja pipa dengan lingkungannya yang berpotensi menimbulkan korosi.

*Coating* bisa dengan menggunakan cat atau dengan menggunakan bahan *concrete* seperti pada gambar 2.4[8].



**Gambar 2.4** *Coating pada Pipa Bawah Laut*[8]

- e. Proteksi Katodik Proteksi katodik seperti pada gambar 2.5 merupakan suatu metode perlindungan logam dari korosi dengan cara mengorbankan anoda. Pada dasarnya korosi terjadi karena adanya reaksi kimia. Proteksi katodik juga perlu untuk di cek secara berkala apakah anoda masih mampu untuk menahan laju korosi[8].



**Gambar 2.5** *Proteksi Katodik pada Pipa Bawah Laut* [8]

### **2.3 Instalasi Pipa Bawah Laut**

Pipa bawah laut didesain untuk transportasi fluida seperti minyak, gas atau air dalam jumlah besar dan jarak yang jauh melalui laut atau daerah di lepas pantai. *Pipeline* bekerja 24 jam sehari, 365 hari dalam setahun selama umur pipa yang bisa sampai 30 tahun atau bahkan lebih.

Di Indonesia, Pemasangan pipa bawah laut yang pertama kali antara lain adalah dari sumur Parigi (Laut Jawa) ke Cilamaya sepanjang 42 km dengan diameter 24 inch pada tahun 1975.



**Gambar 2.6** Potongan melintang pipa[9]

Bahan pipa dipilih berdasarkan aspek-aspek rancangan sebagai berikut:

- a. Diameter pipa
- b. Tekanan Internal dan Eksternal
- c. Beban Kerja
- d. Suhu dari muatan yang dialirkan
- e. *Code Compliance*
- f. Biaya

### **2.3.1 Teknologi Pemasangan Pipa Bawah Laut**

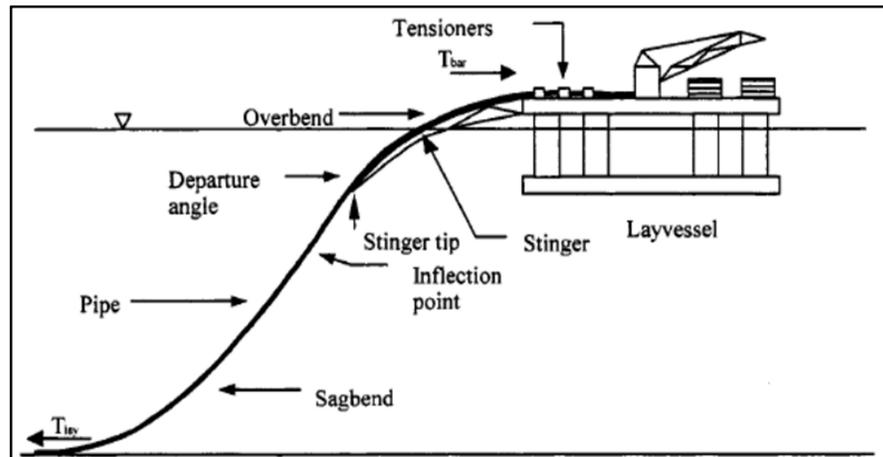
#### **2.3.1.1 Metode Pemasangan Pipa Bawah Laut**

Instalasi pipa laut dapat dilakukan dengan kapal pemasang yang khusus. Ada beberapa metode untuk memasang pipa laut, metode yang paling sering dipakai yaitu *S-lay*, *J-lay* dan *reeling*. Berdasarkan pada metode tersebut, pipa laut mengalami beban yang berbeda selama instalasi dari kapal pemasang. Beban-beban tersebut adalah tekanan hidrostatis, tarikan (*tension*) dan pembengkokan (*buckling*). Sebuah analisis instalasi dilakukan untuk mengestimasi gaya tarik minimum pada pipa untuk kurva radius yang sudah diberikan, untuk memastikan bahwa efek beban pada pipa ada dalam kriteria desain kekuatan[9].

Beberapa metode pemasangan pipa bawah laut:

### 1. S-lay

Perbedaan teknologi dan peralatan telah diadopsi untuk pemasangan pipa di lepas pantai. Salah satu metode untuk pemasangan pipa yaitu metode *S-lay*, disebut *S-lay* karena kurva pipa yang keluar dari kapal pemasang sampai seabed berbentuk seperti huruf S. *Pipeline* difabrikasi di atas kapal dengan satu, dua atau tiga *joints*. Membutuhkan *stinger* untuk mengontrol *bending* bagian atas dan *tensioner* untuk mengontrol bagian bawah. Laut yang lebih dalam membutuhkan *stinger* yang lebih panjang dan *tensioner* yang lebih kuat. *S-lay* laut dangkal hanya bisa dipakai sampai kedalaman sekitar 300 m saja. Untuk yang lebih dalam lagi, DP *S-lay* bisa dipakai sampai kedalaman 700 m. Kecepatan pasang sekitar 4-5 km per hari. Ukuran pipa maksimum yang bisa diinstal adalah 60" OD (*Allseas Solitair*)[9].

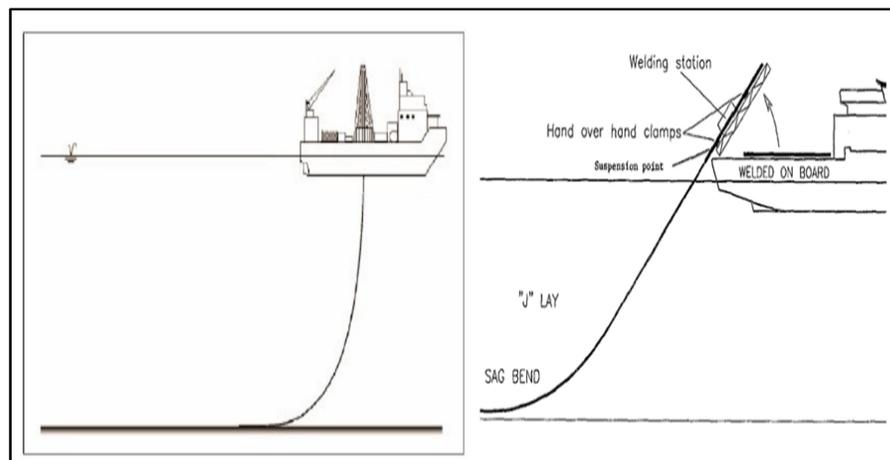


Gambar 2.7 Metode S-lay [9]

### 2. J-lay

Dalam metode ini, kapal menggunakan sebuah menara sentral, biasanya dikonversi dari kapal pengeboran, untuk melakukan pengelasan pada posisi vertikal dan peluncuran pipa dari menara. Pipa dilepaskan dengan cara yang membentuk kelengkungan *sagbending*, menghindari *overbending*, seperti yang ditunjukkan gambar dibawah. Kesulitan terbesar dalam metode ini adalah untuk melakukan pengelasan vertikal, meskipun membawa keuntungan dibandingkan dengan metode *S-lay* untuk perairan dalam. *J-lay* memiliki tingkat produksi yang relatif rendah

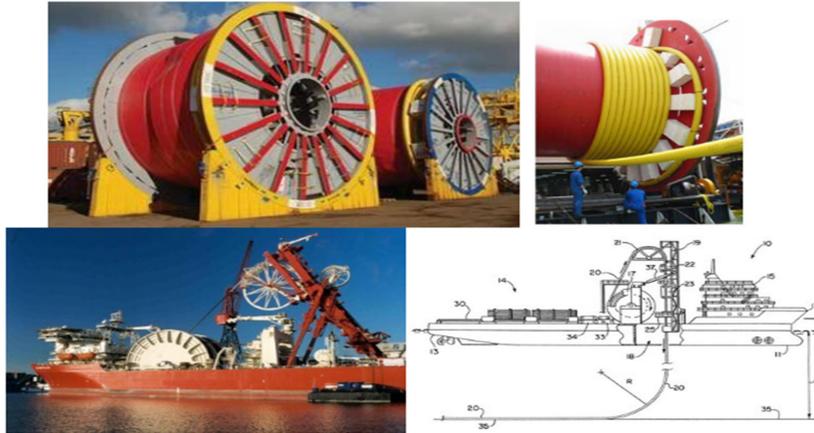
karena terbatasnya jumlah work station. Metode *J-lay* sangat cocok untuk perairan dalam dan tidak cocok untuk perairan dangkal. Pengelasan dilakukan hanya oleh satu section jadi lebih lambat dari *S-lay* dan untuk mempercepat proses, teknik pengelasan yang lebih canggih seperti *friction welding*, *electron beam welding* atau *laser welding* digunakan. Pipa yang akan dipasang mempunyai sudut yang mendekati vertikal sehingga tidak butuh tensioner. Teknik ini sangat cocok untuk instalasi di laut dalam. Beda dengan *S-lay*, *J-lay* tidak membutuhkan stinger. Kecepatan pasang sekitar 1-1,5 km per hari. Ukuran pipa maksimum yang bisa diinstal adalah 32" OD (Saipem S-7000)[9].



**Gambar 2.8** Metode *J-lay* [9]

### 3. *Reel Lay*

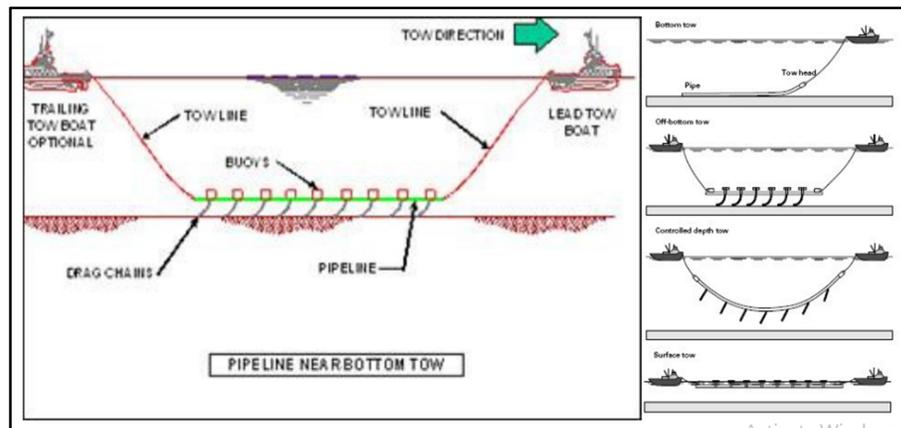
Dalam metode ini umumnya pipa yang dinstall adalah pipa berukuran diameter kecil atau pipa yang fleksibel. Pada instalasi ini dibutuhkan vessel yang memiliki drum dengan ukuran besar karena pipa tersebut digulung dalam drum ini. Jika pipa ini di instal secara horizontal maka akan berbentuk *S-lay* namun jika di install secara vertikal maka akan berbentuk *J-lay*. Metode ini lebih murah jika dibandingkan dengan metode lain ditinjau dari sisi waktu dan biaya, namun terbatas untuk pipa dengan ukuran diameter kecil.



Gambar 2.9 Metode Reel Lay [9]

#### 4. Tow or pull

Metode ini digunakan dengan cara menarik pipa yang sudah disiapkan di darat dan kemudian ditarik ke tempat instalasi dengan cara ditarik oleh *tug boat*. Ada 4 jenis *tow* berdasarkan posisi pipa terhadap dasar laut: *bottom tow*, *off-bottom tow*, *controlled depth tow* and *surface tow*. Selain *bottom tow*, diperlukan minimal dua buah kapal, satu di depan dan satu di belakang. Dalam *controlled depth tow*, kecepatan kapal harus disesuaikan dengan kedalaman pipa yang diinginkan pada saat *towing*. Dalam *towing lay*, semua fabrikasi dikerjakan di *onshore* termasuk pemasangan anode dan coating di sambungan. Menarik buat lapangan yang terletak tidak terlalu jauh dari pantai. Juga cocok untuk aplikasi PIP dan *pipe bundle*[9].

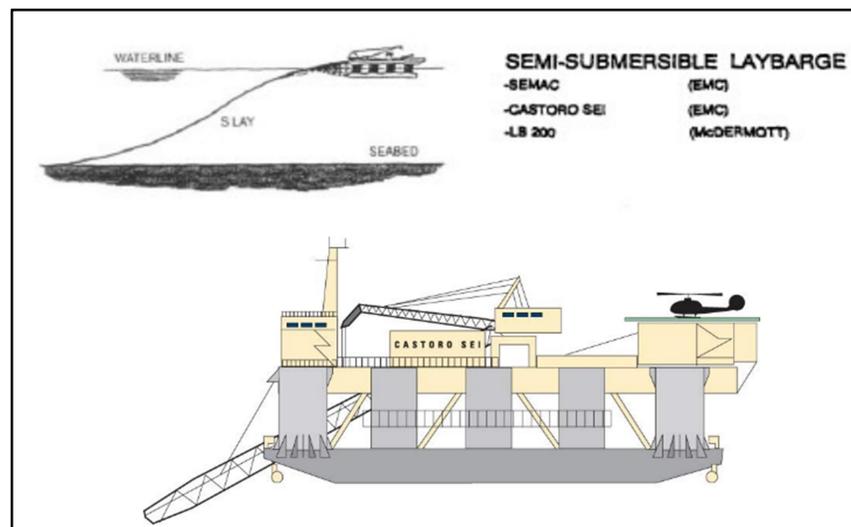


Gambar 2.10 Metode Tow or pull [9]

### 2.3.2 Kapal Pemasang Pipa Bawah Laut

#### A. *Pipelay semisubmersibles*

Kapal ini mempunyai kemampuan yang baik terhadap cuaca apapun dan merupakan platform yang stabil untuk pemasangan pipa di laut yang memiliki 8 kondisi gaya *Beaufort*. *Pipelay semisubmersibles* dapat memasang pipa dengan diameter 6" sampai 40" dengan kedalaman laut 10-1500 m. Kekurangannya yaitu biaya yang mahal dalam pengoperasiannya karena masih menggunakan jangkar untuk menjaga posisinya[9].

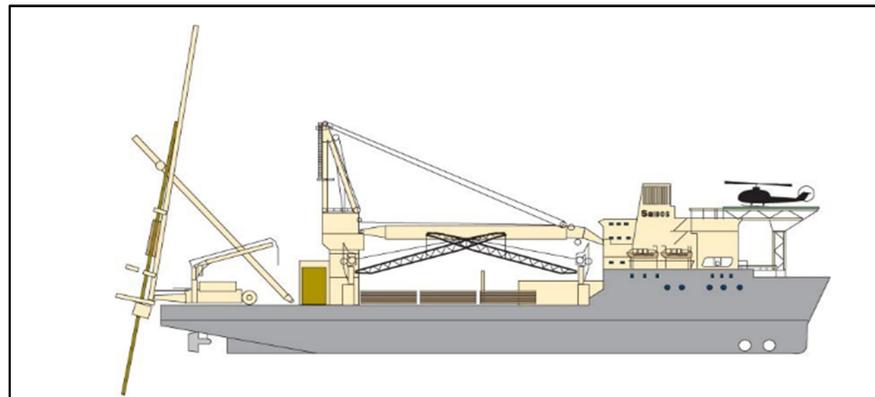
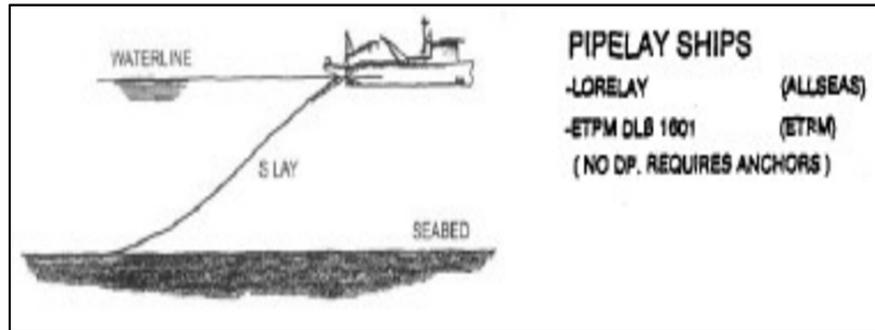


Gambar 2.11 *Pipelay semisubmersibles* [9]

#### B. *Pipelay ships* (kapal) dan *pipelay barge* (tongkang)

*Pipelay ships/barge* memasang pipa dengan cara yang sama dengan *pipelay semisubmersibles*. Perbedaan yang mendasar adalah kapal ini hanya mempunyai satu lambung (*monohull*) sehingga kemampuan untuk menjaga kestabilan lebih rendah dari *semisubmersibles*. *Barge* yang datar mempunyai kemampuan menjaga kestabilan yang lebih buruk dari kapal dan hanya dapat digunakan dalam kondisi laut yang tenang. *Pipelay ships* mempunyai kemampuan yang hampir sama dengan *pipelay semisubmersibles*. Jangkauan yang luas untuk diameter pipa yang dipasang pada kedalaman laut 15 m sampai lebih dari 1000 m. Kelebihan *pipelay ships* yaitu biaya pengoperasian yang relatif lebih murah

ketimbang dengan *pipelay semisubmersibles* apalagi ditambah dengan teknologi *dynamic positioning system* sehingga tidak memerlukan jangkar untuk menjaga posisinya[9].

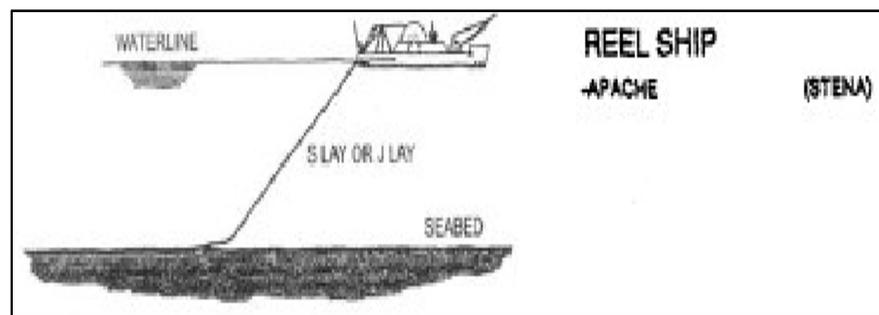


**Gambar 2.12** *Pipelay Ship dan Pipelay Barge* [9]

### C. *Pipelay Reel Ships*

Metode dengan menggunakan gulungan digunakan untuk pipa yang berdiameter hingga 16". Pipa dibuat di darat dan digulung ke drum yang lebar pada kapal. Selama proses penggulungan pipa mengalami deformasi plastis pada drum. Keuntungan utama dari metode ini adalah:

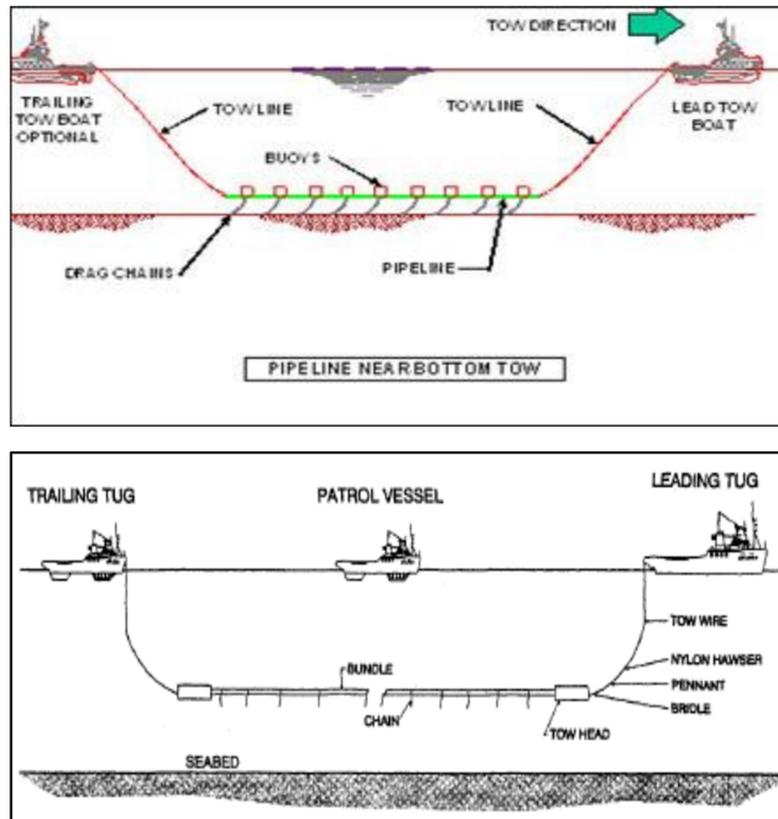
1. Durasi pemasangan yang singkat.
2. Minimal dalam penyebaran lepas pantai (tidak memerlukan jangkar).



**Gambar 2.13** *Pipelay Reel Ships* [9]

### D. *Tow or Pull Vessels*

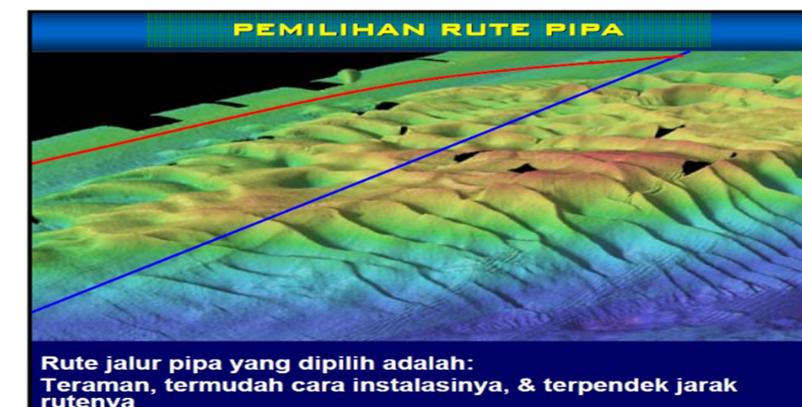
Metode ini digunakan untuk pipa yang tidak terlalu panjang, biasanya kurang dari 4 km. Pipa dibuat di darat dan setelah selesai kemudian ditarik ke laut. Daya apung dari pipa diatur untuk mengontrol kedalaman pipa saat ditarik untuk dipasang. Keuntungannya yaitu biaya peralatan yang rendah karena pipa dibuat di darat sehingga waktu pemasangan menjadi sangat singkat[9].



Gambar 2.14 *Tow or Pull vessels*[9]

### 2.3.3 Pemilihan Rute Pipa Bawah Laut

Pada dasarnya rute langsung dan terdekat merupakan yang terbaik, meskipun hal tersebut tidak selalu mungkin untuk dilaksanakan. Pemilihan awal rute pipa ini didasarkan pada informasi kondisi dasar laut yang telah ada dan persyaratan umum rute pipa[9].



Gambar 2.15 *Pemilihan Rute*[9]

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan rute yakni:

1. Bahaya di dasar laut seperti kerangka kapal karam, batu, karang, dan tumbuhan laut, gas – gas yang mungkin terdapat pada perairan dangkal, sarana atau fasilitas laut yang ada (seperti jaringan pipa, kepala sumur dan lain – lain), akses untuk *tie-ins*, kaki *drilling rig*, jangkar dan pukot kapal ikan.
2. Keadaan dasar laut meliputi : *slopes*, profil, sifat tanah dasar laut yang sukar, pasir dan lempung yang bergelombang (tidak rata).
3. Penggunaan lingkungan pantai, hambatan pada waktu pemasangan pola kapal – kapal lego jangkar dan toleransi untuk peletakan pipa.
4. Dampak dari pemasangan pipa itu sendiri terhadap lingkungan sekitar tempat pemasangan pipa.

#### **2.4 Definisi Risiko**

Risiko menurut ISO 31000 didefinisikan sebagai “efek ketidakpastian dari suatu tujuan” dimana efeknya adalah penyimpangan negatif dari hasil yang diharapkan. Dikatakan juga bahwa kita berada pada dunia yang tidak pasti. Kapanpun kita mencoba mencapai suatu tujuan selalu ada peluang bahwa segalanya tidak berjalan dengan rencana. Definisi tradisional mengatakan bahwa risiko mengkombinasikan tiga elemen, mulai dari peristiwa potensial, kemudian menggabungkan probabilitas dan potensi keparahannya. Peristiwa berisiko tinggi akan memiliki kemungkinan tinggi terjadi dan jika terjadi akan membuat dampak yang cukup parah.[10]

Sedangkan, menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) risiko adalah akibat yang kurang menyenangkan (merugikan, membahayakan) dari suatu perbuatan atau tindakan. Risiko juga dikatakan sebagai situasi atau kejadian dimana nilai manusia telah dipertaruhkan dan hasilnya tidak pasti. Sehingga dapat dikatakan risiko adalah kombinasi dari kemungkinan terjadinya kejadian berbahaya atau yang dapat disebabkan oleh kejadian tertentu. Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi risiko, penilaian risiko, dan penetapan pengendalian dapat diambil kesimpulan bahwa definisi risiko adalah suatu kondisi yang timbul karena ketidakpastian

dengan seluruh konsekuensi tidak menguntungkan yang mungkin terjadi.[11]

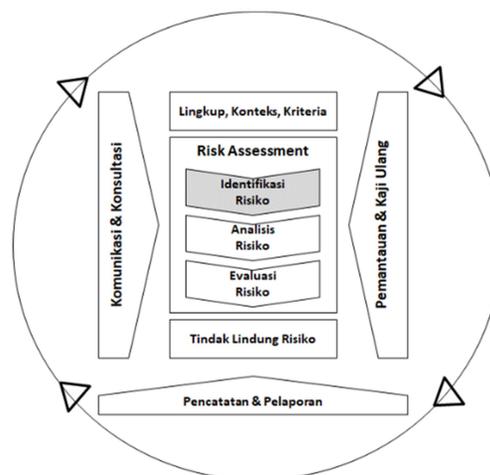
#### 2.4.1 Penilaian Risiko

Risiko dapat diartikan sebagai ukuran potensi kerugian dari suatu sistem/proses/aset atau objek dan aktivitas lainnya. Potensi kerugian umumnya diwujudkan dalam dua ukuran yakni dimensi frekuensi atau probabilitas (kejadian bahaya/unit waktu) dan ukuran dimensi konsekuensi (efek/kejadian bahaya)[12].

Penilaian Risiko adalah keseluruhan dari proses identifikasi risiko, analisis risiko dan evaluasi risiko[13]. Penilaian risiko bukan metode baru dalam menilai ukuran potensi kerugian sebuah aset atau sistem. Pada perkembangannya, penilaian risiko mengarah pada upaya – upaya perlindungan terhadap masyarakat dan lingkungan yang menuntut perusahaan harus menerapkan langkah – langkah pengurangan risiko, perlindungan asuransi atau bukti bahwa perusahaan/industri dapat beroperasi pada level yang dapat diterima[12].

#### 2.4.2 Identifikasi Risiko

Identifikasi risiko adalah proses menemukan, mengenali dan mencatat risiko. identifikasi risiko merupakan bagian yang dilakukan paling terdahulu dalam proses *assessment* risiko[14].



Gambar 2.16 Posisi identifikasi risiko [14]

Tujuan dari identifikasi risiko adalah untuk mengidentifikasi hal-hal, kejadian-kejadian atau situasi yang mungkin terjadi yang dapat mempengaruhi pencapaian tujuan organisasi termasuk penyebab dan sumber risiko, deskripsi kejadian risiko dan dampaknya terhadap tujuan organisasi[14].

Beberapa penulis, menganggap fase identifikasi risiko sebagai salah satu tahap terpenting dalam proses manajemen risiko atau bahkan fase yang paling menantang dan relevan dalam proses manajemen risiko.

Fase identifikasi risiko dibagi menjadi tiga kategori[15]:

- Identifikasi risiko yang hanya dilakukan oleh seorang analis risiko dan didasarkan secara eksklusif pada praktik, pengetahuan, dan kapasitasnya
- Identifikasi risiko yang dilakukan melalui wawancara analis risiko dengan anggota proyek untuk menganalisis data yang ditinjau berdasarkan pengetahuan dan keahlian orang yang diwawancarai
- Identifikasi risiko dimana analis risiko memandu satu atau banyak kelompok kerja yang menerapkan identifikasi risiko.

Teknik identifikasi risiko antara lain:

1) *Brainstorming*

Teknik ini dibagi menjadi dua fase, fase (i) fase membuat gagasan, dimana peserta membuat gagasan/ide sebanyak mungkin, (ii) fase pemilihan ide, dimana setiap peserta mempertahankan gagasannya untuk meyakinkan yang lainnya, fase ini berguna untuk menyaring ide-ide yang nantinya akan disetujui oleh kelompok.

2) Teknik Dephi

Delphi adalah teknik untuk memperoleh konsensus pendapat tentang peristiwa yang akan datang dari sekelompok ahli yang didukung oleh pengetahuan terstruktur, pengalaman, dan kreativitas dari panelis ahli.

3) *Influence diagram*

Diagram pengaruh dibentuk oleh tiga jenis simpul: utilitas, keputusan, dan peluang; dan oleh dua jenis hubungan: kausalitas dan informasional. Hubungan kausalitas terjalin antara utilitas dan peluang dan mewakili ketergantungan probabilistik. Hubungan informasional terjadi antara simpul keputusan dan mewakili prioritas waktu

4) *Interview/pertimbangan ahli*

5) *Checklist*

Terdiri dari daftar item yang ditandai sebagai “ya” atau “tidak” dan dapat digunakan oleh anggota tim secara individu, kelompok, atau dalam sebuah wawancara.

6) *Nominal group technique*

Dirancang untuk digunakan dalam kegiatan perencanaan dalam rangka meningkatkan kreativitas kelompok, memfasilitasi keputusan, merangsang penciptaan ide-ide kritis dan bekerja sebagai alat pengelompokan ide.

7) *Flowcharts*

Grafik yang menunjukkan langkah-langkah dari suatu proses. Teknik ini diterapkan untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang risiko atau keterkaitan elemen.

8) *Pondering*

Individu mempertimbangkan atau merenungkan masalah, kemudian membuat daftar opsi

9) *Root cause identification*

Ini digunakan dalam penyelidikan dan kategorisasi penyebab penting dari risiko proyek yang dibagi kedalam empat fase: pengumpulan data, pembuatan diagram faktor penyebab, identifikasi akar penyebab, pembuatan rekomendasi dan implementasi.

10) *Diagram sebab akibat*

Diagram ini disebut diagram *ishikawa* atau *fishbone*, yang menggambarkan bagaimana berbagai faktor bisa saja terhubung

kepada potensi permasalahan atau akibat. Diagram ini dibuat dengan membuat daftar akibat disebelah kanan dan daftar penyebab di sebelah kiri.

11) Analisis SWOT,

Analisis SWOT adalah alat perencanaan strategis yang digunakan untuk mengevaluasi proyek, bisnis atau situasi lainnya yang melibatkan keputusan dengan mengacu pada empat aspek yaitu kekuatan, kelemahan, kesempatan, dan ancaman.

12) Pendekatan berbasis kasus

Teknik ini berdasarkan teori fleksibilitas kognitif, yaitu kemampuan manusia untuk merestrukturisasi pengetahuan untuk memecahkan masalah ketika situasi berubah. Dengan cara ini menggunakan kasus sebagai fokus pendekatan, dimana setiap kasus diuraikan kedalam kasus yang lebih kecil kemudian diselesaikan.

### **2.4.3 Analisis Risiko**

Analisis risiko didefinisikan sebagai pemeriksaan terperinci yang dilakukan untuk memahami konsekuensi negatif yang tidak diinginkan terhadap kehidupan manusia, kesehatan, properti, atau lingkungan; proses analitis untuk memberikan informasi mengenai kejadian-kejadian yang tidak diinginkan; proses kuantifikasi probabilitas dan konsekuensi yang diperkirakan untuk mengidentifikasi risiko[16].

Dalam menganalisis risiko, digunakan dua metode yaitu metode analisis frekuensi dan permodelan konsekuensi. Analisis frekuensi digunakan untuk memperkirakan seberapa besar kemungkinan terjadinya kecelakaan/bahaya (*probability*), sedangkan permodelan konsekuensi mengevaluasi konsekuensi atau dampak yang dihasilkan jika risiko terjadi[17].

## 2.5 Keterlambatan Proyek

Pengertian keterlambatan adalah sebagian waktu pelaksanaan yang tidak dapat dimanfaatkan sesuai dengan rencana, sehingga menyebabkan beberapa kegiatan yang mengikuti menjadi tertunda atau tidak dapat diselesaikan tepat sesuai jadwal yang telah direncanakan. Keterlambatan dapat terjadi karena faktor-faktor lain yang berpengaruh terhadap proyek konstruksi atau bahkan kontraktor itu sendiri. Keterlambatan dapat disebabkan oleh pemilik proyek, perencana, kontraktor utama, subkontraktor, pemasok, serikat pekerja, perusahaan penyedia fasilitas, atau organisasi lainnya yang berkaitan dengan pekerjaan proyek tersebut[19].

Karena proyek konstruksi umumnya berada di lokasi terbuka, keterlambatan sangat memungkinkan untuk terjadi dengan berbagai penyebab. Penyebab yang umum terjadi adalah terjadinya perbedaan kondisi di lapangan, perubahan desain rencana, pengaruh cuaca, kekurangan pekerja, material, atau peralatan, kesalahan perencanaan atau spesifikasi, bahkan intervensi dari pemilik proyek. Pengaruh keterlambatan tidak hanya menyebabkan waktu pelaksanaan menjadi lebih lama, tetapi akan berpengaruh kepada peningkatan biaya konstruksi.[19]

## 2.6 Penyebab Keterlambatan

Penyebab keterlambatan sebuah proyek dapat berasal dari beberapa faktor, seperti dari pihak pemilik, pelaksana, dan selain dari kedua pihak.

a. Keterlambatan akibat kesalahan pihak pelaksana (kontraktor),

- Terlambatnya memulai pelaksanaan proyek
- Pekerja dan pelaksana kurang berpengalaman
- Terlambat mendatangkan peralatan
- Mandor yang kurang aktif
- Rencana kerja yang kurang baik

b. Keterlambatan akibat kesalahan pihak pemilik (*owner*),

- Terlambatnya angsuran pembayaran oleh kontraktor
- Terlambatnya penyediaan lahan
- Mengadakan perubahan kerja yang besar

- Pemilik proyek menugaskan kontraktor lain untuk mengerjakan proyek tersebut
- c. Keterlambatan akibat kesalahan selain dari kedua pihak,
- Akibat kebakaran yang bukan berasal dari pihak pelaksana, pemilik, konsultan
  - Akibat banjir, gempa bumi, perang, atau bencana lainnya
  - Perubahan moneter

## 2.7 **Fault Tree Analysis**

Untuk menentukan ruang lingkup dari analisa risiko pada instalasi pipa bawah laut tersebut bisa menggunakan banyak metode. Beberapa metode yang bisa digunakan yaitu menggunakan metode *Fault Tree Analysis*, *fishbone*, atau dengan menggunakan *event tree analysis*. Pada tugas akhir ini hanya menggunakan metode *Fault Tree Analysis* dalam menentukan sebab-akibat dari pada ruang lingkup analisa. *Fault Tree Analysis* dapat dideskripsikan sebagai analisa teknikal di dalam sebuah sistem karena adanya suatu kejadian yang tidak diinginkan terjadinya. Selanjutnya sistem tersebut dianalisa dengan kondisi lingkungan dan operasional yang ada untuk menemukan penyebab dasar yang menjadi penyebab masalah (*undesired event*) yang merupakan penyebab utama (*top event*)[19]

Metode FTA ini umum digunakan dalam penilaian risiko, khususnya pada sistem yang memiliki tingkat konsekuensi tinggi atau sistem-sistem yang melibatkan fungsi control untuk menjamin keselamatan (*safety oriented system*).[21]

*Fault Tree Analysis* (FTA) adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi kejadian yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top-down*, yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (*top event*) kemudian merinci ke sebab-sebab suatu *top event* sampai pada suatu kegagalan dasar (*root cause*) untuk mengidentifikasi terjadinya suatu kegagalan dari berbagai cara, baik dari faktor fisik maupun manusia, yang dapat mengarah pada penyebab dari terjadinya kegagalan/kesalahan tersebut. *Fault Tree Analysis* (FTA) disini bersifat

*top-down*, artinya analisa yang dilakukan dimulai dari kejadian umum (kerusakan secara umum) selanjutnya penyebabnya[8].

terdapat 5 tahapan untuk melakukan analisa dengan *Fault Tree Analysis* (FTA), yaitu sebagai berikut [20]:

- Mendefinisikan masalah dan kondisi batas dari suatu sistem yang ditinjau
- Penggambaran model grafis *Fault Tree*
- Mencari *minimal cut set* dari analisa *Fault Tree*
- Melakukan analisa kualitatif dari *Fault Tree*
- Melakukan analisa kuantitatif dari *Fault Tree*

Langkah pertama diatas bertujuan untuk mencari *top event* yang merupakan definisi dari kegagalan suatu sistem, ditentukan terlebih dahulu dalam menentukan sebuah model grafis FTA.

Tahapan kedua membuat model grafis *Fault Tree*. Aturan dalam membuat FTA adalah:

- Mendeskripsikan *fault event* (kejadian gagal)
- Mengevaluasi *fault event* (kejadian gagal)
- Melengkapi semua gerbang logika (*logical gate*)

Model grafis FTA memuat beberapa simbol, yaitu simbol kejadian, simbol gerbang dan simbol transfer. Simbol kejadian adalah simbol yang berisi kejadian pada sistem yang dapat digambarkan dengan bentuk lingkaran, persegi dan yang lainnya, yang mempunyai arti masing-masing. Contoh dari simbol kejadian adalah *intermediate event* dan *Basic Event*. Sedangkan untuk simbol gerbang, menyatakan hubungan kejadian *input* yang mengarah pada kejadian *output*. Hubungan tersebut dimulai dari *top event* sampai ke *event* yang paling mendasar. Contoh dari symbol gerbang adalah *AND* dan *OR*.

Tahapan ketiga yaitu mencari *minimal cut set*. Mencari *minimal cut set* merupakan analisa kualitatif yang mana dipakai *Aljabar Boolean*. *Aljabar Boolean* merupakan aljabar yang dapat digunakan untuk melakukan penyederhanaan atau menguraikan rangkaian logika yang rumit dan kompleks menjadi rangkaian yang lebih sederhana

Langkah terakhir yaitu melakukan analisa kuantitatif, yang mana dipakai teori realibilitas untuk menyelesaikannya. Keandalan/*Realibility* dapat

didefinisikan sebagai nilai probabilitas bahwa suatu komponen atau suatu sistem akan sukses menjalani fungsinya, dalam jangka waktu dan kondisi operasi tertentu. Keandalan bernilai antara 0-1, dimana nilai 0 menunjukkan sistem gagal menjalankan fungsi dan 1 menunjukkan system 100% berfungsi.

Manfaat metode *Fault Tree Analysis* (FTA) ialah sebagai berikut;

- Dapat menentukan faktor penyebab yang kemungkinan besar menimbulkan kegagalan.
- Menentukan tahapan kejadian yang kemungkinan besar sebagai penyebab kegagalan.
- Menganalisa kemungkinan sumber-sumber risiko sebelum kegagalan timbul.
- Menginvestigasi suatu kegagalan.

Kelebihan dari metode *Fault Tree Analysis* adalah;

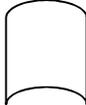
- Mudah menjelaskan semua perbedaan interaksi penyebab untuk menghasilkan kerugian.
- Penyebab dasar dan logis dalam penyebab kerugian bisa dimengerti.
- Dapat membuat tindakan pencegahan yang tepat untuk mengeliminir penyebab dasar sehingga kerugian yang sama tidak akan muncul lagi.
- Dapat menghitung evaluasi kualitatif dan kuantitatif dari kerugian.

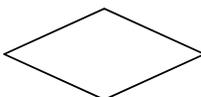
Pada dasarnya,, *Fault Tree Analysis* berisi seperti yang dijelaskan Dibawah ini:

Istilah	Keterangan
<i>Event</i>	Penyimpangan yang tidak diharapkan dari suatu keadaan normal pada suatu komponen dari sistem.
<i>Top Event</i>	Kejadian yang dikehendaki pada “puncak” yang akan diteliti lebih lanjut kearah kejadian dasar lainnya dengan menggunakan gerbang

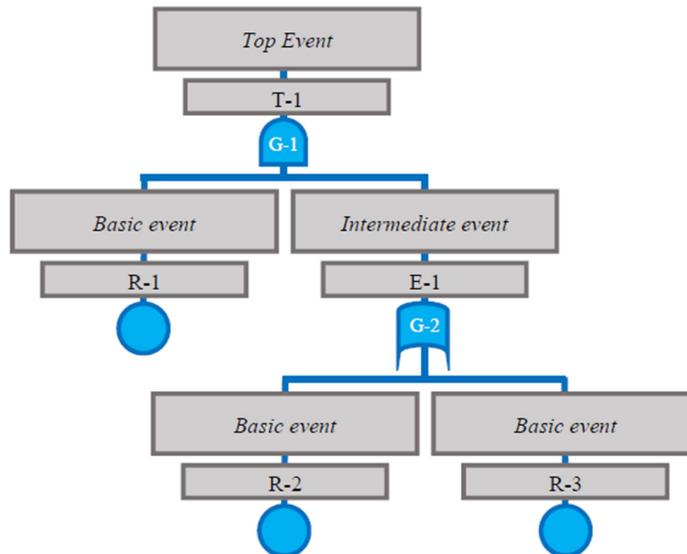
	logika untuk menentukan penyebab kegagalan.
<i>Logic Event</i> <i>AND Gate dan OR Gate</i>	<i>AND Gate</i> menyatakan bahwa sebuah peristiwa risiko dapat terjadi apabila seluruh input peristiwa di bawahnya terjadi. Sedangkan <i>OR Gate</i> menyatakan bahwa sebuah peristiwa risiko dapat terjadi apabila salah satu atau lebih dari input peristiwa di bawahnya terjadi.
<i>Transferred Event</i>	Segitiga yang digunakan simbol transfer. Simbol ini menentukan bahwa uraian lanjutan kejadian berada di halaman lain.
<i>Undeveloped Event</i>	Kejadian dasar ( <i>Basic Event</i> ) yang tidak akan dikembangkan lebih lanjut karena tidak tersediannya informasi.
<i>Basic Event</i>	Kejadian yang tidak diharapkan yang dianggap sebagai penyebab dasar sehingga tidak perlu dilakukan analisa lebih lanjut.

**Gambar 2.17** Istilah dan Kegunaan[18]

Simbol	Keterangan
	<i>Top Event</i>
	<i>Logic Event OR</i>
	<i>Logic Event AND</i>

	<i>Transferred Event</i>
	<i>Undeveloped Event</i>
	<i>Basic Event</i>

**Gambar 2.18** Simbol-simbol dalam *Fault Tree Analysis* [18]



**Gambar 2.19** Contoh *Fault Tree Analysis*[19]

Untuk mempermudah penggunaan metode *Fault Tree Analysis*, digunakan *identifier* yang membantu mengenali setiap *fault event* yang terjadi pada *fault tree*. Untuk *fault event* yang menjadi *top event* sebuah *fault tree* diberikan kode T-1, T-2, T-3,..., T-n. Untuk *fault event* yang menjadi *intermediate event* sebuah *fault tree* akan diberi kode E-1, E-2, E-3,..., E-n. Untuk gerbang logika (*logic gate*) yang dipakai di dalam *fault tree* diberi kode G-1, G-2, G-3,..., G-n. Sedangkan untuk *fault event* yang menjadi *Basic Event* yang merupakan risiko keterlambatan yang terjadi dalam pelaksanaan proyek diberikan kode R-1, R-2, R-3,..., R-n.

## 2.8 Teori Probabilitas

Probabilitas suatu peristiwa adalah harga numerik yang menunjukkan seberapa besar kemungkinan bahwa peristiwa itu akan terjadi. Nilai probabilitas suatu peristiwa berada pada 0 sampai 1. Indeks numerik 0 akan mendefinisikan suatu kejadian yang pasti tidak akan terjadi, sedang indeks numerik 1 akan mendefinisikan suatu kejadian yang pasti terjadi. Berikut diberikan definisi kejadian bebas, gabungan dan kondisional

Definisi kejadian bebas (*independent events*) adalah jika hasil dari satu *event* tidak mempengaruhi hasil dari *event* yang lain. Contoh dari kejadian bebas ini adalah bila kita melemparkan sebuah dadu dan dan sebuah koin secara bersama-sama. Apapun hasil keluaran yang dihasilkan oleh dadu tidak akan mempengaruhi hasil keluaran koin.

Definisi kejadian gabungan eksklusif (*mutually exclusive events*) adalah bila dua kejadian tersebut tidak dapat terjadi secara bersama-sama. Contoh dari kejadian gabungan eksklusif ini adalah bila kita melempar sebuah koin, keluaran yang mungkin adalah bagian atas atau bagian bawah dari uang logam itu, tetapi keduanya tidak mungkin terjadi secara bersama-sama. Contoh lainnya adalah bila kita melempar sebuah dadu, maka mata dadu yang keluar mungkin mata 1, 2, 3, 4, 5, atau 6, tetapi keenam mata dadu ini tidak mungkin keluar secara bersamaan.

Definisi kejadian kondisional (*conditional events*) adalah kejadian yang kondisi terjadinya tergantung dari kejadian lain. Misalkan ada dua kejadian A dan B. Probabilitas dari kejadian A adalah diekspresikan dengan  $P(A)$  dan probabilitas dari kejadian B diekspresikan dengan  $P(B)$ , selain itu misalkan pula ada kejadian dari A setelah kondisi B terjadi. Probabilitas dari kejadian ini dapat dinotasikan dengan ekspresi  $P(A|B)$ . Ekspresi  $P(A|B)$  dapat dibaca sebagai probabilitas kondisional kejadian A akan terjadi pada saat kejadian B telah terjadi.

Secara matematis probabilitas kondisional ini dapat diekspresikan sebagai

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}$$

Untuk probabilitas gabungan dua peristiwa : jika terdapat peristiwa A dan B, gabungan kejadian yang mencakup semua unsur atau bagian dari A atau B atau keduanya, probabilitasnya adalah

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

Jika diketahui peristiwa A dan B *mutually exclusive* (saling lepas) maka

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

Untuk probabilitas irisan dua peristiwa: irisan peristiwa A dan B adalah peristiwa yang mengandung semua unsur persekutuan peristiwa A dan B, probabilitasnya dapat dicari dengan rumus

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B | A) \text{ atau } P(A \cap B) = P(B) \cdot P(A | B)$$

Jika peristiwa A dan B saling bebas maka

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$$