TUGAS AKHIR – MO 141326

ANALISA RISIKO *REPLACEMENT OF* PLEEM SPOOL & INSTALASI *SUBSEA HOSE* PADA SPM YANG BERADA DI PAGERUNGAN

Taufiq Iqbal Tito Irhamni
NRP. 04311440000145

Dosen Pembimbing:

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

Agro Wisudawan ST, MT

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018

FINAL PROJECT – MO 141326

RISK ANALYSIS OF REPLACEMENT OF PLEEM SPOOL & INSTALLATION SUBSEA HOSE SPM LOCATED IN PAGERUNGAN FIELD

Taufiq Iqbal Tito Irhamni

NRP. 04311440000145

Supervisors:

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

Agro Wisudawan ST, MT

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018

Analisa Risiko *Replacement Of* PLEM Spool & Instalasi *Subsea Hose* pada SPM yang Berada Di Pagerungan

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S -1 Departemen Teknik Kelautan

Falkutas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Taufiq Iqbal Tito Irhamni

NRP. 04311440000145

Disetujui Oleh :

1. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D, MRINA (Pembimbing 1)

   .....

2. Agro Wisudawan, S.T., M.T. (Pembimbing 2)

   .....

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

   .....

4. Prof. Ir. Soegiono (Penguji 2)

   .....

Surabaya, Juli 2018

ABSTRAK

ANALISA RISIKO *REPLACEMENT OF* PLEEM SPOOL & INSTALASI *SUBSEA HOSE* PADA SPM YANG BERADA DI PAGERUNGAN

Nama Mahasiswa : Taufiq Iqbal Tito Irhamni

NRP : 04311440000145

Departemen : Teknik Kelautan

Dosen Pembimbing : Prof. Daniel M. Rosyid, Ir., Ph.D., MRINA

Agro Wisudawan ST, MT

Condensate Export PLEM Leak & repair Plan, merupakan proyek PT. Kangean Energy Indonesia untuk perbaikan SPM yang berada di Pagerungan. Analisa risiko adalah sebuah prosedur untuk mengenali suatu ancaman dan kerentanan, kemudian menganalisisnya untuk memastikan hasil, dan menyoroti bagaimana dampak-dampak yang ditimbulkan dapat dihilangkan atau dikurangi. Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) merupakan salah satu metode untuk menganalisa suatu risiko. Pada penelitian ini peneliti memfokuskan pada pekerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose*. Pada seluruh tahapan pekerjaan yang berpotensi risiko diidentifikasi dan dianalisa tingkat keparahannya dengan menggunakan FMEA. Setelah itu akan diberikan saran pengendalian risiko. Teridentifikasi 44 variabel mode kegagalan yang mungkin terjadi. Mode kegagalan yang memiliki RPN terbesar adalah: Kondensat tumpah ke laut sebesar 36; pekerja tertimpa benda yang jatuh sebesar 36; *subsea hose* menghantam *mooring chain* sebesar 36; *diver* mengalami *decompresi* sebesar 45; dan penyelam terhantam *subsea hose* sebesar 45. Dari 5 mode kegagalan yang memiliki RPN terbesar diberikan saran pengendalian risiko untuk meminimalisir kemungkinan atau dampak yang ditimbulkan.

Kata kunci: SPM, PLEM Spool, *Subsea Hose,* Analisa Risiko, Metode FMEA

ABSTRACT

RISK ANALYSIS OF REPLACEMENT OF PLEEM SPOOL & INSTALLATION SUBSEA HOSE SPM LOCATED IN PAGERUNGAN FIELD

Name : Taufiq Iqbal Tito Irhamni

REG : 04311440000145

Department : *Department Of Ocean Engineering*

Supervisors : Prof. Daniel M. Rosyid, Ir., Ph.D., MRINA

Agro Wisudawan ST, MT

Condensate Export PLEM Leak & Repair Plan, is a project of PT. Kangean Energy Indonesia to repair SPM located in Pagerungan. Risk analysis is a procedure for recognizing a threat and vulnerability, then analyzing it to ensure results, and analyze how impacts can be eliminated or mitigated. Method FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) is one method to analyze a risk. In this study the researchers focused on the replacement of PLEM spool and subsea hose installation. At all stages of work with the potential risk to be identified and analyzed for its severity using FMEA. After that will be given risk control advice. 44 variables of possible failure modes are identified. Failure modes that have the largest RPN are: Condensate spill into the sea of 36; workers falling objects that fall by 36; subsea hose hit the mooring chain by 36; diver decompress by 45; and divers hit by subsea hose of 45. Of the five filure modes that have the largest RPN are given risk control advice to minimize the possibility or impact caused.

Keywords – SPM, PLEM Spool, *Subsea Hose*, Risk Analysis, FMEA Method

KATA PENGANTAR

Assalamu`alaikum Wr. Wb

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan karunia yang telah diberikan oleh-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik. Sholawat serta salam juga penulis haturkan kepada junjungan seluruh umat manusia Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas akhir ini berjudul "Analisa Risiko *Replacement Of* PLEM Spool & Instalasi *Subsea Hose* Pada SPM Yang Berada Di Pagerungan". Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas akhir ini membahas tentang analisa risiko pada pekerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose* pada SPM yang berada di Pagerungan *field* dengan menggunakan metode FMEA.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pihak lain. Akhir kata penulis berharap penelitian ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan serta bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Juni 2018

Taufiq Iqbal Tito I

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dengan segala kerendahan hati kepada seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung, terutama:

1. Allah SWT yang telah memberikan petunjuk dan kemudahan sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Bapak Eko S dan Ibu Indrati selaku kedua orang tua saya, dan Biyas R dan Diah Rachmi selaku kakak saya yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Daniel M. Rosyid, Ir., Ph.D., MRINA selaku dosen pembimbing satu saya dan Bapak Agro Wisudawan ST, MT selaku dosen pembimbing dua saya dalam tugas akhir. Terima kasih atas bimbingan, ilmu serta dukungan kepada saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Prof. Daniel M. Rosyid, Ir., Ph.D., MRINA selaku dosen wali saya selama kuliah di Departemen Teknik Kelautan FTK-ITS ini. Terima kasih atas bimbingan dan arahan bapak sehingga saya bisa menjadi mahasiswa yang lebih baik.
5. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kelautan FTK-ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada saya selama menjalani perkuliahan.
6. Bapak Sudjarwoko PT Kangean Energy Indonesia. Terima kasih atas inspirasi, fasilitas, bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Rekan-rekan Maelstrom L-32 Teknik Kelautan 2014 yang selalu mendukung dan membantu hingga tugas akhir ini selesai.

Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu. Terima kasih atas bantuan, motivasi, dan doa sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas akhir ini. Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN iii
ABSTRAK iv
ABSTRACT v
KATA PENGANTAR vi
UCAPAN TERIMAKASIH vii
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xii

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 5
1.3 Tujuan 5
1.4 Manfaat 5
1.5 Batasan Masalah 6
1.6 Sistematika Penulisan 6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 7
2.1 Tinjauan Pustaka 7
2.2 Dasar Teori 7
2.2.1 Hazard 7
2.2.2 Risiko 8
2.2.3 Penilaian Risiko 12
2.2.4 Pengendalian Risiko 13
2.2.5 Metode FMEA 14
2.2.6 Perhitungan RPN 16
2.2.7 Metode Expert Judgement 18
2.2.8 SPM 19
2.2.9 PLEM 21

2.2.10 Spool 23
2.2.11 Subsea Hose 23
2.2.12 Equipment Yang Digunakan 25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... 27
3.1 Diagram Alir Penelitian 27
3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian 28

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN..... 31
4.1 Pengumpulan Data 31
4.1.1 Langkah Pengerjaan *Condensate Export PLEM Leak & Repair Plan*..... 31
4.2 Uraian Kegiatan 32
4.2.1 Replacement of PLEM Spool 32
4.2.2 Instalasi Subsea Hose 32
4.3 Penjelasan Tahapan Kegiatan & Identifakasi Mode Kegagalan 32
4.3.1 Mengatur Posisi Vessel 33
4.3.2 Diver Melakukan Operasi di Dasar Laut 34
4.3.3 Pelepasan Spool Lama 36
4.3.4 Penarikan Spool Lama 37
4.3.5 Penurunan Spool Baru & Instalasi Spool Baru 37
4.3.6 Penarikan Subsea Hose Ke Tempat Kerja 40
4.3.7 Transfer Subsea Hose..... 41
4.3.8 Memotong Floating Drum..... 44
4.3.9 Instalasi Subsea Hose..... 46
4.4 Analisa dengan Metode FMEA..... 48
4.4.1 Penilaian Tingkat Keparahan 48
4.4.2 Penilaian Tingkat Kejadian 50
4.4.3 Penilaian Tingkat Deteksi 54
4.4.4 Perhitungan *Risk Priority Number* 55
4.5 Saran Pengendalian Risiko..... 58

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... 61
5.1 Kesimpulan 61
5.2 Saran..... 62

DAFTAR PUSTAKA 63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Bagian Pada SPM 1
Gambar 1.2 SPM Pada Pagerungan *Field* 3

Gambar 2.1 Risiko dan Komponen yang Membentuknya 9
Gambar 2.2 Hirarki Pengendalian Risiko 14
Gambar 2.3 SPM 20
Gambar 2.4 Bagian Pada SPM 21
Gambar 2.5 *PLEM* 23
Gambar 2.6 PLEM Spool 23
Gambar 2.7 Subsea Hose Tipe 1000 SHC 23
Gambar 2.8 Subsea Hose Tipe 1010 SHC 22
Gambar 2.9 Subsea Hose Tipe 1020 SHC 24
Gambar 2.10 Konfigurasi Subsea hose 24

Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir 28

Gambar 4.1 PLEM Spool 32
Gambar 4.2 Posisi *Vessel* Saat Penggantian Spool Pada *PLEM* 33
Gambar 4.3 *hydraulic splitter* 36
Gambar 4.4 Sistematika Penurunan Spool 38
Gambar 4.5 *hydraulic torque wrench* 38
Gambar 4.6 Proses transfer *subsea hose* dari kapal penarik menuju *vessel* DP 2. 43
Gambar 4.7 Posisi *subsea hose* pada *vessel* DP 2 44
Gambar 4.8 Proses Menenggelamkan Subsea Hose 46
Gambar 4.9 Instalasi Subsea Hose Pada PLEM 47
Gambar 4.10 Detail Pembesaran Gambar Instalasi Subsea Hose Pada PLEM 48

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Lingkungan SPM Pagerungan 2
Tabel 1.2 Klasifikasi SPM Pagerungan 2

Tabel 2.1 Kategori Risiko 11
Tabel 2.2 Parameter Probabilitas Risiko 13
Tabel 2.3 Parameter Konsekuensi Risiko 13
Tabel 2.4 Acuan Penilaian Tingkat Keparahan 17
Tabel 2.5 Acuan Penilaian Tingkat Kejadian 17
Tabel 2.6 Acuan Penilaian Tingkat Deteksi 18

Tabel 4.1 langkah pengerjaan proyek *Condensate Export PLEM Leak & repair Plan* 31
Tabel 4.2 Identifikasi mode kegagalan mengatur posisi *vessel* DP 2 pada penggantian *PLEM* spool 34
Tabel 4.3 Identifikasi mode kegagalan *Diver* melakukan operasi di dasar laut 35
Tabel 4.4 Identifikasi mode kegagalan Pelepasan spool lama 36
Tabel 4.5 Identifikasi mode kegagalan Penarikan spool lama, Penurunan spool baru, dan Instalasi spool baru 39
Tabel 4.6 Identifikasi mode kegagalan penarikan *subsea hose* ke tempat kerja 40
Tabel 4.7 Identifikasi mode kegagalan transfer *subsea hose* ke *vessel* DP 2 41
Tabel 4.8 Identifikasi mode kegagalan Memotong *floatingdrum* dan menenggelamkan *subsea hose* 45
Tabel 4.9 Identifikasi mode kegagalan instalasi *subsea hose* 46
Tabel 4.10 Acuan Penilaian Tingkat Keparahan 49
Tabel 4.11 Acuan Penilaian Tingkat Kejadian 50
Tabel 4.12 Acuan Penilaian Tingkat Kejadian pada *Historical Data Analysis* 51
Tabel 4.13 Hasil perhitungan *Historical Data Analysis* 52
Tabel 4.14 Acuan Penilaian Tingkat Deteksi 54
Tabel 4.15 Acuan tingkatan index 55
Tabel 4.16 Risk Priority Number setiap Mode Kegagalan 56

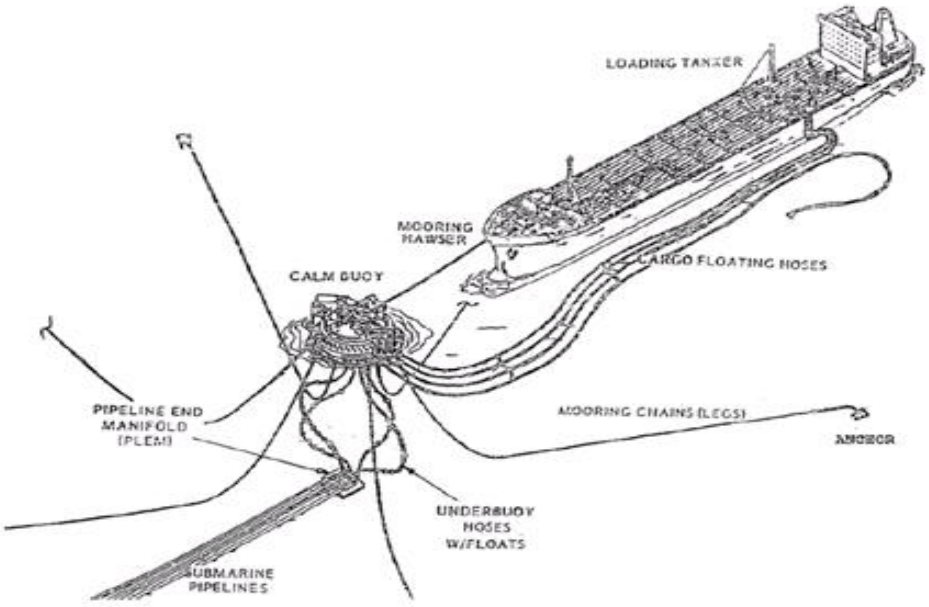
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Industri migas yang terus berkembang ke arah laut dalam (*deep water*) turut memacu perkembangan teknologi di bidang eksplorasi, eksploitasi serta transportasi migas. Salah satu contoh adalah mengenai teknologi *loading* dan *offloading* untuk minyak bumi hasil eksploitasi maupun hasil olahan dari minyak tersebut. Salah satu cara memindahkan minyak tersebut adalah dengan kapal tanker. Kapal tanker memerlukan dermaga dengan kedalaman yang dalam agar bisa bersandar. Dengan menggunakan SPM (*Single Point Mooring*) akan memungkinkan kapal tanker dapat melakukan *loading-offloading* tanpa harus merapat ke dermaga.

SPM (*Single Point Mooring*) adalah suatu struktur terapung berlokasi di lepas pantai yang berfungsi sebagai penambat dan interkoneksi untuk muatan tanker atau bongkar muat produk gas atau *liquid.* Terdapat banyak komponen yang ada pada SPM, diantaranya adalah *calm bouy* (tubuh pelampung), *mooring lines,* PLEM (*Pipe Line End Manifold*), *subsea hose* dan *floating hose.*



Gambar 1.1 bagian pada SPM (*Single Point Mooring*) (sumber: helmidadang.wordpress.com)

SPM (*Single Point Mooring*) merupakan bagunan lepas pantai yang sebagian besar perusahaan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi membutuhkan. PT. Kangean Energy Indonesia merupakan salah satu perusahaan yang menggunakan SPM sebagai proses bongkar muat kondensat ke tanker. SPM yang berada di Pagerungan memiliki 6 *mooring chain* yang berfungsi untuk sistem tambat. *Subsea hose* yang mengubungkan *calm bouy* dengan PLEM (*pipe line end manifold*).

Tabel I.1 data lingkungan SPM Pagerungan

No.	kategori	SPM Pagerungan
1	*Maximum tide*	2,3 meter (+7,5 ft)
2	*Lowest tide*	-0,006 meter (-0,2 ft)
3	*Wind speed*	92 mph (*instant*)
		74 mph (1 *minute continous*)
		57 mph (1 *hour continous*)
4	*Wave height*	8,5 meter (*maximum*)
		4,6 meter (*significant*)
5	Arus	1,04 meter/second (*max surface*)
6	*Water depth*	65 meter

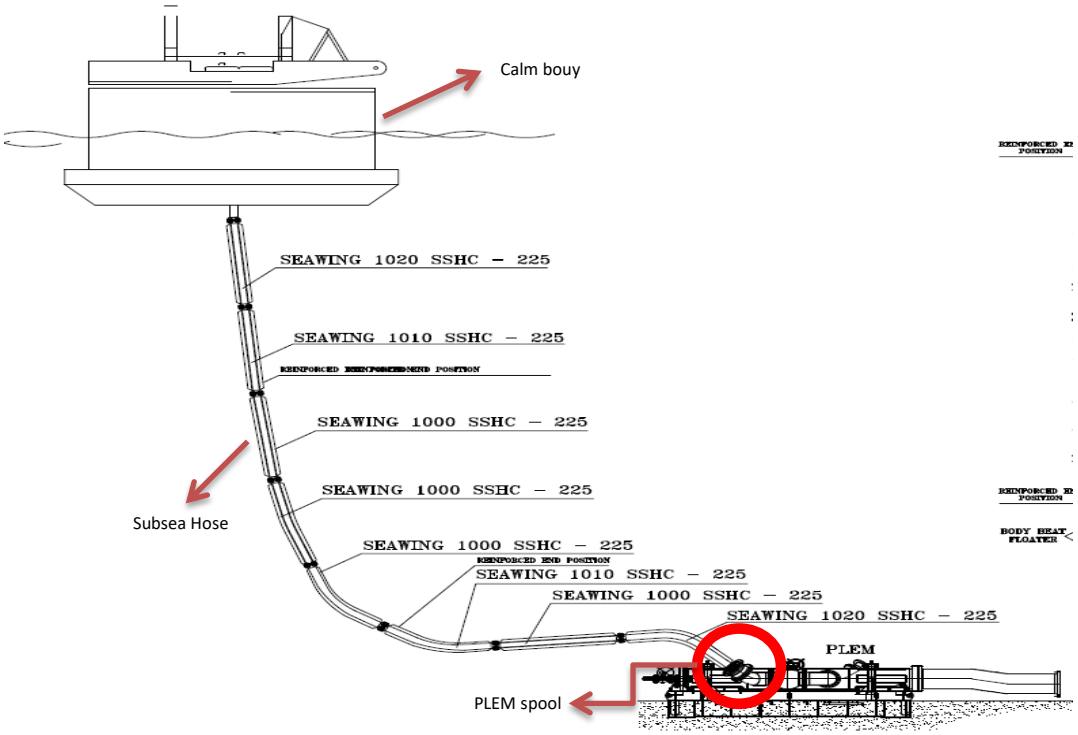
(sumber: PT Kangean Energy Indonesia, 2017)

Tabel I.2 Klasifikasi SPM Pagerungan

No.	Kategori	SPM Pagerungan
1	*Maximum tanker*	125.000 DWT
2	Pipa *onshore* menuju PLEM	16 inch
3	*subsea hose*	12 inch
4	Panjang keseluruhan/diamter SPM	15 meter
5	*Hull depth*	4,5 meter

(sumber: PT Kangean Energy Indonesia, 2017)

SPM yang berada di Pagerungan memiliki jadwal operasi yang begitu padat dan dari data yang ada *Subsea hose* pada SPM Pagerungan sudah mencapai batas umurnya. Hal tersebut menyebabkan sambungan antara *subsea hose* dengan PLEM (spool) patah dan mengakibatkan kebocoran, sehingga proses bongkar muat kondesat yang berada di Pagerungan harus diberhentikan sementara. Dari data yang diperoleh perlu dilakukan penggantian spool dan perbaikan *subsea hose* pada SPM.



Gambar 1.2 SPM (*Single Point Mooring*) pada Pagerungan *field* (sumber: PT. Kangean Energy Indonesia, 2017)

Condensate Export PLEM Leak & repair Plan, merupakan proyek dari PT. Kangean Energy Indonesia untuk perbaikan SPM yang berada di Pagerungan. Terdapat banyak pekerjaan untuk melakukan perbaikan SPM Pagerungan. Pekerjaan tersebut antara lain adalah pelepasan *subsea hose* lama, *hydro test subsea hose* baru, *towing subsea hose from* SPM *to* Pagerungan, *replacement of* PLEM spool, instalasi *subsea hose to* PLEM spool. Pada penelitian ini peneliti memfokuskan pada pekerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose to* PLEM spool.

Pada pengerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose to* PLEM spool banyak langkah-langkah yang terindikasi bahaya. Indikasi bahaya ini dapat menyebabkan kegagalan pada proyek yang akan dilaksanakan, seperti:

- Putusnya komunikasi antara *diver* dengan *supervisor*
- *Umbilical* tersangkut dengan *mooring chain* atau *marine growth* yang keras
- Cuaca yang buruk dan ombak yang besar
- Tertabrak oleh *vessel/boat*

Untuk meminimalisir kegagalan pada proyek ini, maka harus dilakukan analisa risiko. Analisa risiko dilakukan agar dapat mengetahui bagaimana cara pengendalian risiko yang tepat untuk pengerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose* pada SPM yang berada di Pagerungan.

Analisis risiko adalah sebuah prosedur untuk mengenali suatu ancaman dan kerentanan, kemudian menganalisisnya untuk memastikan hasil, dan menyoroti bagaimana dampak-dampak yang ditimbulkan dapat dihilangkan atau dikurangi. Analisis risiko juga dipahami sebagai sebuah proses untuk menentukan pengamanan macam apa yang cocok atau layak. Banyak metode untuk menganalisis sebuah risiko. Salah satunya adalah metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Metode FMEA adalah metode sistematis dalam menganalisis dan meranking risiko sehubungan dengan beragam mode kegagalan produk atau proses, membuat prioritas untuk melakukan tindakan perbaikan pada ranking tertinggi dan melakukan evaluasi sampai hasil perbaikan bisa diterima (Barends, Oldenhof, & Nauta, 2012).

Berdasarkan penjelasan di atas, maka tugas akhir ini bermaksud untuk meneliti tentang analisa risiko pada pengerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose* pada SPM yang berada di Pagerungan *field.* Analisa risiko menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Dengan tujuan untuk mengetahui risiko paling dominan yang dapat terjadi, dan bagaimana cara pengendalian risiko tersebut agar dapat meminimalisir dampak dari risiko tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

1. Apa saja mode kegagalan yang dapat menyebabkan kegagalan pada pengerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose* pada SPM (*Single Point Mooring*) yang berada di Pagerungan *field* ?
2. Apa saja mode kegagalan paling dominan yang dapat terjadi pada pengerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose* pada SPM yang berada di Pagerungan *field* ?
3. Bagaimana cara pengendalian risiko yang tepat untuk pengerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose* pada SPM yang berada di Pagerungan *field* ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui mode kegagalan yang dapat menyebabkan kegagalan pada pengerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose* pada SPM (*Single Point Mooring*) yang berada di Pagerungan *field.*
2. Mengetahui mode kegagalan paling dominan yang dapat terjadi pada pengerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose* pada SPM yang berada di Pagerungan *field.*
3. Mengetahui cara pengendalian risiko yang tepat untuk pengerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose* pada SPM yang berada di Pagerungan *field.*

1.4 Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui risiko yang dapat menyebabkan kegagalan pada pengerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose* sehingga dapat meminimalisir risiko yang ada.
2. Memberikan rekomendasi kepada perusahaan pengendalian yang tepat unuk mencegah kegagalan pada pengerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose*

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan pada proyek *Condensate Export PLEM Leak & repair Plan* SPM yang berada di Pagerungan *field.*
2. Tidak memperhitungkan estimasi biaya dan waktu.
3. Untuk mengetahui risiko yang paling dominan menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*).

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini dijelaskan sebagai berikut. Pada bab I ini penulis menjelaskan mengenai latar belakang permasalahan dari penelitian yang akan dilakukan, rumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah yang menjadi pembatas dalam melakukan penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir.

Pada bab II akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka dan dasar teori. Pada bagian ini penulis menjelaskan beberapa teori dasar yaitu, pengertian dari risiko, langkah-langkah analisa risiko, penjelasan mengenai metode FMEA, serta penjelasan mengenai bagian-bagian pada SPM yaitu, PLEM, spool, dan *sebsea hose*. Pada bab III penulis menjelaskan metodelogi penulisan, penulis menggambarkan dan menjelaskan diagram alir *(flow chart)* langkah-langkah dalam melakukan peneltian tugas akhir ini yang tersusun secara sistematik.

Pada Bab IV akan dijelaskan hasil dan pembahasan dari analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini. Pembahasan yang dimaksud meliputi identifikasi risiko yang terdiri dari penentuan variabel risiko, dilanjutkan dengan perhitungan RPN (*Risk Priority Number*) yang didapatkan dari hasil survey atau wawancara terhadap respoden dan dimasukkan dalam matriks risiko. Kemudian dilanjutkan dengan memberikan rencana penanganan yang tepat untuk risiko yang paling dominan. Dan diakhiri dengan Bab V penutup. Berisi penjelasan mengenai kesimpulan penelitian dari hasil analisis yang dilakukan dan pemberian saran terhadap analisis risiko, serta masukan untuk penelitian selanjutnya ataupun bagi perusahaan terkait.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tugas akhir ini bermaksud untuk meneliti tentang analisa risiko pada pengerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose* pada SPM yang berada di Pagerungan *field* dengan menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) untuk mengetahui risiko yang paling dominan yang dapat terjadi dan bagaimana cara pengendalian risiko tersebut agar dapat meminimalisir dampak dari risiko tersebut.

Penelitian mengenai analisa risiko dengan menggunakan metode FMEA ini sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu diantaranya sebagai berikut:

Pasabiru H.P., Setiawan H., Ervianto W.I (2017) meneliti tentang analisa risiko kecelakaan kerja pada proyek bagunan gedung dengan metode FMEA. Hasilnya didapatkan 10 kegiatan yang memiliki risiko paling dominan. Hal ini dapat dimanfaatkan kontraktor untuk menyusun progrma keselamatan kerja yang lebih baik.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Hazard*

Bahaya didefinisikan sebagai situasi yang berpotensi menyebabkan kerugian bagi keselamatan manusia, lingkungan, properti atau bisnis. Ini mungkin situasi fisik misalnya, (kapal tanker antar-jemput berbahaya karena dapat bertabrakan dengan instalasi produksi), suatu aktivitas misalnya, (operasi derek adalah bahaya karena muatannya mungkin turun) atau material misalnya, (bahan bakar minyak adalah bahaya karena itu mungkin terbakar). Dalam praktiknya, istilah "bahaya" sering digunakan untuk kombinasi situasi fisik dengan keadaan tertentu yang dapat menyebabkan kerusakan, misalnya, tabrakan kapal tanker antar jemput, sebuah muatan turun atau tembakan bahan bakar minyak. Inti bahaya adalah berpotensi menimbulkan risiko, terlepas dari kemungkinan yang disengaja atau kemungkinan yang tidak disengaja seperti itu. *Hazard identification* (HAZID) adalah proses identifikasi bahaya, yang merupakan

langkah awal penting dalam penilaian risiko. Ada dua kemungkinan tujuan dalam mengidentifikasi bahaya:

- Untuk mendapatkan daftar bahaya untuk evaluasi selanjutnya dengan menggunakan teknik penilaian risiko lainnya. Ini kadang dikenal sebagai "pemilihan kasus kegagalan".
- Melakukan evaluasi kualitatif tentang pentingnya bahaya dan tindakan untuk mengurangi risiko dari bahaya tersebut. Ini kadang dikenal sebagai "penilaian bahaya".

Teknik yang sama bisa digunakan untuk keduanya, namun penekanan dan kesimpulannya akan berbeda.

Identifikasi bahaya adalah proses mengendalikan adanya suatu bahaya dan menetapkan karakteristiknya. Cara untuk melakukan identifikasi bahaya adalah:

1. Mengidentifikasi seluruh proses atau area yang ada dalam segala kegiatan
2. Mengidentifikasi sebanyak mungkin aspek bahaya pada setiap proses atau area yang telah diidentifikasi sebelumnya
3. Identifikasi bahaya dilakukan pada suatu proses kerja baik pada kondisi *normal, abnormal, emergency,* dan *maintenence.*

2.2.2 Risiko

Definisi risiko menurut kamus besar bahasa Indonesia (KBBI) akibat yang kurang menyenangkan (merugikan, membahayakan) dari suatu perbuatan atau tindakan. Menurut Griffin & Neal (2002), risiko adalah ketidakpastian tentang peristiwa masa depan atas hasil yang diinginkan atau tidak diinginkan.

Definisi risiko menurut Hanafi (2006), risiko adalah bahaya, akibat atau konsekuensi yang dapat terjadi akibat sebuah proses yang sedang berlangsung atau kejadian yang akan datang. Risiko didefinisikan sebagai kombinasi dari kemungkinan terjadinya kejadian berbahaya atau paparan dengan keparahan suatu cidera atau sakit penyakit yang dapat disebabkan oleh kejadian atau paparan tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi risiko, penilaian risiko, dan penetapan pengendalian yang diperlukan (OHSAS 18001:2007).

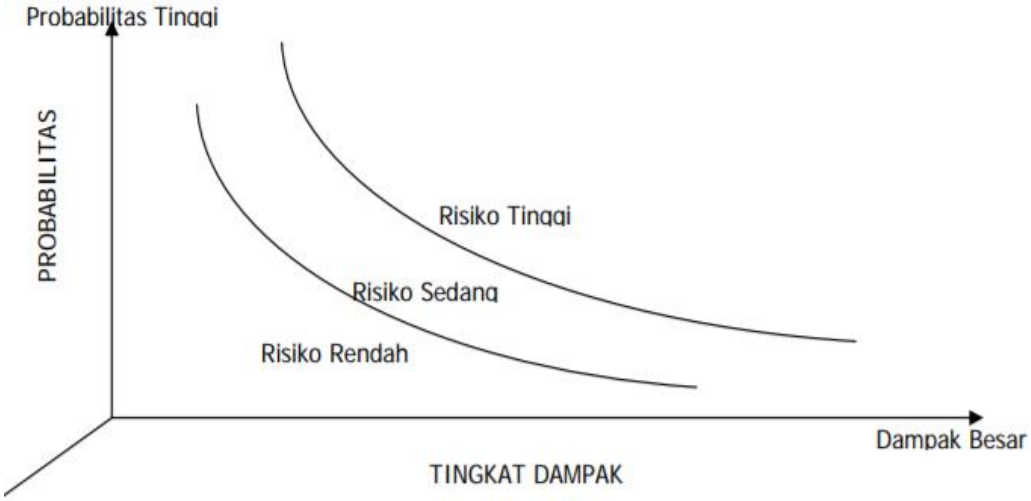
Risiko biasanya didefinisakan sebagai kombinasi dari tingkat keparahan dan probabilitas suatu kejadian. Dengan kata lain, seberapa sering hal itu bisa

terjadi dan seberapa buruknya bila terjadi. Risiko dapat dievaluasi secara kualitatif dan kuantitatif. Risiko dapat digambarkan dengan rumus :

RISK = FREQUENCY x *CONSEQUENCE OF HAZARD*

Risiko adalah ukuran dari besarnya probabilitas kejadian (frekuensi) dan konsekuensinya (dampak) yang berpengaruh terhadap tujuan proyek. Ada tiga komponen utama dalam risiko, yakni :

1. Kejadian (*event*)
2. Probabilitas dari kejadian (*probability of occurence*)
3. Dampak dari kejadian tersebut (*impact*)



Gambar 2.1 risiko dan komponen yang membentuknya (Sumber: Kerzner, Harold, PhD. 1998)

Menurut Hanafi (2006), terdapat dua jenis risiko scara umum, yaitu:

1. Risiko murni (*pure risk*)
2. Risiko spekulasi (*speculative risk*)

Berdasarkan kecenderungan peluang terjadinya risiko (*likehood*) dan konsekuensi yang diakibatkan (*consequences*), risiko dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu:

1. ***Unacceptable Risk***, adalah risiko yang tidak dapat diterima dan harus dihilangkan atau bila mungkin ditransfer kepada pihak lain.
2. ***Undesirable Risk***, adalah risiko yang memerlukan penanganan/ mitigasi risiko sampai pada tingkat yang dapat diterima.

3. ***Acceptable Risk***, adalah risiko yang dapat diterima karena tidak mempunyai dampak yang besar dan masih dalam batas yang dapat diterima.
4. ***Negligible Risk***, adalah risiko yang dampaknya sangat kecil sehingga dapat diabaikan

Menurut Darmawi (2008) tahapan pertama dalam proses manajemen risiko adalah tahap identifikasi risiko. Identifikasi risiko merupakan suatu proses yang secara sistematis dan terus menerus dilakukan untuk mengidentifikasi kemungkinan timbulnya risiko atau kerugian terhadap kekayaan, hutang, dan personil perusahaan. Proses identifikasi risiko ini mungkin adalah proses yang terpenting, karena dari proses inilah, semua risiko yang ada atau yang mungkin terjadi pada suatu proyek, harus diidentifikasi.

Tujuan utama dalam identifikasi risiko adalah untuk mengetahui daftar – daftar risiko yang potensial dan berpengaruh terhadap tujuan / proses bisnis suatu organisasi . Dalam pelaksanaannya, identifikasi risiko dapat dilakukan dengan beberapa teknik, antara lain:

a. *Brainstorming* dengan pihak terkait
b. Wawancara langsung kepada pihak yang bertanggung jawab
c. Kuisioner
d. Ceklis
e. Analisi proyek sebelumnya
f. Analisis SWOT
g. Analisis asumsi dan tim pakar

Selain hal tersebut, faktor-faktor lain yang juga perlu diperhatikan adalah:

- Pemilihan metodelogi identifikasi risiko yang sesuai dengan kondisi eksisting perusahaan atau organisasi
- Suberdaya manusia yang dilibatkan dalam aktifitas identifikasi risiko
- Pendekatan siklus hidup untuk mengidentifikasi risiko dan menentukan bagaimana risiko berubah dan masuk dalam siklus hidup tersebut.

Dalam mengidentifikasi risiko, beberapa ahli membaginya menjadi beberapa kategori, di antaranya :

Tabel 2.1 kategori risiko

No.	Kategori Risiko	Sumber Referensi
1	Risiko eksternal	Kerzner, 1995
2	Risiko internal	
3	Risiko teknis	
4	Risiko legal	
1	Risiko yang berhubungan dengan teknis	Fisk, 1997
2	Risiko fisik	
3	Risiko kontraktual dan legal	
4	Risiko pelaksanaan	
5	Risiko politik dan umum	
1	Risiko finansial	Shen, Wu, Ng, 2001
2	Risiko legal	
3	Risiko manajemen	
4	Risiko pasar	
5	Risiko politik dan kebijakan	
6	Risiko teknis	
1	Risiko teknologi	Loosemore, Raftery, Reilly, Higgon, 2006
2	Risiko manusia	
3	Risiko lingkungan	
4	Risiko komersial dan legal	
5	Risiko manajemen	
6	Risiko ekonomi dan finansial	
7	Risiko partner bisnis	
8	Risiko politik	
1	Risiko finansial dan ekonomi	Al Bahar dan Crandall, 1990
2	Risiko desain	
3	Risiko politik dan lingkungan	
4	Risiko yang berhubungan dengan kontruksi	
5	Risiko fisik	
6	Risiko bencana alam	

Untuk kepentingan ini, kategori – kategori risiko yang dikemukakan oleh Al Bahar dan Crandall (1990), dimodifikasi sedemikian rupa sehingga sesuai dengan kondisi yang diinginkan, yaitu risiko yang diperhitungkan dari sudut pandang perusahaan developer properti.

2.2.3 Penilaian Risiko (*Risk Assessment)*

Tujuan RA (*Risk Assessment*) adalah untuk mengidentifikasi dan mengurangi risiko pada tingkat yang dapat diterima. Jika risikonya tidak dapat dikurangi sampai tingkat yang dapat diterima, pekerjaan tidak boleh dilanjutkan dalam bentuknya yang sekarang. Setiap pihak yang terlibat dalam operasi harus memiliki prosedur yang tepat untuk melakukan penilaian risiko mereka sendiri, jika sesuai. RA harus mencakup semua pihak yang terlibat dalam operasi yang terkait dengannya. RA harus dilakukan untuk proses atau operasi yang lengkap dan harus mencakup pengaturan tanggap darurat yang relevan. Personil yang melakukan RA harus dilatih dan kompeten dalam masalah ini. Penilaian Risiko harus mengidentifikasi hal berikut:

1. Semua bahaya yang terkait dengan operasi yang diusulkan.
2. Probabilitas bahaya yang membahayakan personil, aset atau lingkungan.
3. Kemungkinan besarnya bahaya yang mungkin ditimbulkan.
4. Langkah-langkah mitigasi.

Menurut Al Bahar dan Crandall (1990), analisis risiko didefinisikan sebagai sebuah proses yang menggabungkan ketidakpastian dalam bentuk kuantitatif, menggunakan teori probabilitas, untuk mengevaluasi dampak potensial suatu risiko.

Langkah pertama untuk melakukan tahapan ini adalah pengumpulan data yang relevan terhadap risiko yang akan dianalisis. Data – data ini dapat diperoleh dari data historis perusahaan atau dari pengalaman proyek pada masa lalu. Jika data historis tersebut kurang memadai, dapat dilakukan teknik identifikasi risiko yang lain.

Setelah data yang dibutuhkan terkumpul, selanjutnya dilakukan proses evaluasi dampak dari sebuah risiko. Proses evaluasi dampak risiko dilakukan dengan mengkombinasikan antara probabilitas dan dampak atau konsekuensi dari terjadinya sebuah risiko. Untuk melakukan proses evaluasi tersebut, dibutuhkan suatu parameter yang jelas untuk dapat mengukur dampak dari suatu risiko dengan tepat. Menurut Loosemore, Raftery, Reilly dan Higgon (2006), beberapa parameter untuk proses evaluasi risiko seperti pada Tabel II.2 dan tabel II.3.

Tabel 2.2 Parameter Probabilitas Risiko

Parameter	Deskripsi
Tidak signifikan	Tidak ada yang terluka; kerugian finansial kecil.
Kecil	Pertolongan pertama; kerugian finansial medium.
Sedang	Perlu perawatan medis; kerugian finansial cukup besar.
Besar	Cedera parah; kerugian finansial besar
Sangat signifikan	Kematian; kerugian finansial sangat besar.

(Sumber : Loosemore, M. Dkk (2006))

Tabel 2.3 Parameter konsekuensi risiko

Parameter	Deskripsi
Jarang terjadi	Peristiwa ini hanya muncul pada keadaan yang luar biasa jarang
Agak jarang terjadi	Peristiwa ini jarang terjadi
Mungkin terjadi	Peristiwa ini kadang terjadi pada suatu waktu
Sering terjadi	Peristiwa ini pernah terjadi dan mungkin terjadi lagi.
Hampir pasti terjadi	Peristiwa ini sering muncul pada berbagai keadaan

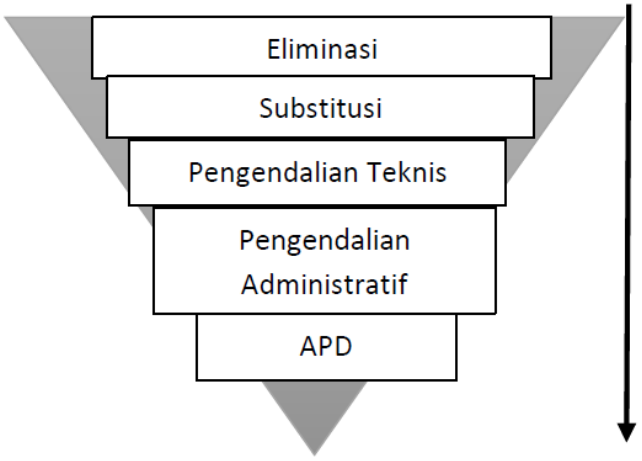
(Sumber : Loosemore, M. Dkk (2006))

2.2.4 Pengendalian Risiko

Pengendalian risiko dilakukan terhadap seluruh bahaya yang ditemukan dalam proses identifikasi bahaya dan mempertimbangkan peringkat risiko untuk menentukan prioritas dan cara pengendaliannya. Pengendalian risiko dapat dilakukan dengan beberapa pilihan yaitu:

a. Mengurangi Kemungkinan (*Reduce Likelihood*)
b. Mengurangi Keparahan (*Reduce Consequence*)
c. Pengalihan Risiko Sebagian atau Seluruhnya (*Risk Transfer*)
d. Menghindar dari Risiko (*Risk Avoid*)

Dalam menentukan pengendalian risiko harus memperhatikan hierarki pengendalian bahaya seperti yang terlihat pada gambar sebagai berikut:



`Gambar 2.2 Hirarki pengendalian risiko (*Sumber: Ramli, 2010*)

Keterangan:

- Eliminasi adalah teknik pengendalian dengan menghilangkan sumber bahaya.
- Subtitusi adalah teknik pengendalian bahaya dengan mengganti alat, bahan, sistem, atau prosedur yang berbahaya dengan yang lebih aman atau yang lebih rendah bahayanya.
- Pengendalian Teknis adalah teknik pengendalian peralatan atau sarana teknis yang ada di lingkungan kerja.
- Pengendalian Administratif adalah pengendalian bahaya dengan mengatur jadwal kerja, istirahat, cara kerja, atau prosedur kerja yang lebih aman, rotasi atau pemeriksaan kesehatan.
- Penggunaan alat pelindung diri (APD) adalah teknik pengendalian bahaya dengan memakai alat pelindung diri misalnya pelindung kepala, sarung tangan, pelindung pernafasan, pelindung jatuh, dan pelindung kaki.

2.2.5 Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

Metode FMEA pertama kali dikembangkan oleh militer Amerika Serikat, melalui prosedur militer MIL-P-1629 pada tanggal 9 November 1949 dengan judul "*Procedure for Performing a Failure Modes, Effects and Critically Analysis*". Metode FMEA kala itu digunakan sebagai teknik evaluasi reliablitas untuk mengevaluasi akibat dari kegagalan sistem perlengkapan.

Metode FMEA pertama kali digunakan secara umum oleh NASA pada tahun 1960 untuk memverifikasi dan memperbaiki reliabilitas dari space program hardware. Prosedur MIL-STD-1629A digunakan oleh NASA sebagai metode yang dapat diterima secar luas baik dari industri militer maupun komersial.

Beberapa definisi mengenai failure and mode effect analysis (FMEA) adalah sebagai berikut :

- Menurut (Hyatt, 2003), *Failure mode and effect analysis* (FMEA) adalah tools yang digunakan di beberapa industri yang berguna untuk mengidentifikasi kegagalan, mengevaluasi efek kegagalan, dan memprioritaskan kegagalan berdasarkan efek yang dihasilkan.
- Menurut (McDermott dkk, 2009), *Failure mode and effect analysis* (FMEA) adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi dan mencegah terjadinya masalah pada produk dan proses. FMEA berfokus pada pencegahan terhadap defect, meningkatkan keselamatan dan meningkatkan kepuasan pelanggan.
- Menurut (Ford Company, 2004), *Failure mode and effect analysis* (FMEA) adalah sekumpulan aktivitas sistematis yang bertujuan untuk mengetahui dan mengevaluasi potensi kegagalan produk/proses dan efek yang dihasilkan, mengidentifikasi tindakan mana yang dapat mengeliminasi atau mereduksi kesempatan munculnya kegagalan, medokumentasikan proses untuk melengkapi proses dalam mendefinisikan desain atau proses apa yang harus dilakukan untuk memuaskan pelanggan.

Tujuan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) menurut Carlson (2012) adalah sebagai berikut :

- Mengidentifikasi dan memahami moda kegagalan potensial dan penyebab dan efek kegagalan pada sistem atau pengguna akhir untuk produk atau proses tertentu.
- Menilai risiko dengan moda kegagalan yang teridentifikasi, efek dan penyebab, serta memprioritaskan pokok permasalahan untuk diberi tindakan perbaikan.

- Mengidentifikasi dan melaksanakan tindakan korektif untuk mengatasi masalah yang paling serius

Menurut McDermott dkk (2009), semua *design* FMEA dan *process* FMEA menggunakan sepuluh langkah, yaitu:

1. Meninjau proses atau produk
2. Melakukan *brainstorming* terhadap moda kegagalan potensial
3. Mendaftar potensi efek yang ditimbulkan untuk setiap moda kegagalan
4. Menetapkan peringkat *severity* untuk setiap efek yang ditimbulkan
5. Menetapkan peringkat *occurrence* untuk setiap efek yang ditimbulkan
6. Menetapkan peringkat *detection* untuk setiap efek yang ditimbulkan
7. Menghitung *Risk Priority Number* untuk setiap efek yang ditimbulkan
8. Memprioritaskan moda kegagalan yang akan ditindaklanjuti
9. Mengambil tindakan untuk menghilangkan atau mengurangi moda kegagalan yang beresiko tinggi
10. Menghitung hasil *Risk Priority Number* setelah moda kegagalan dikurangi atau dihilangkan

2.2.6 Perhitungan RPN (*Risk Priority Number*)

Hasil penyebaran kuisioner variabel risiko yang telah diisi oleh responden dari perusahaan, maka akan didapat *saverity* (tingkat keparahan), *occurrence* (tingkat kejadian), *detection* (deteksi). Perhitungan RPN dilakukan Dengan rumus :

RPN = S (*saverity*) x O (*occurrence*) x D (*detection*)

RPN adalah ukuran yang digunakan ketika menilai risiko untuk membantu mengidentifikasi risiko paling dominan. Untuk menilai tingkat *saverity* (tingkat keparahan), *occurrence* (tingkat kejadian), *detection* (deteksi), diperlukan adanya acuan penilaian untuk menentukan seberapa besar nilai tersebut di tentukan.

1. *saverity* (tingkat keparahan)

   merupakan penilaian risiko berdasarkan pada tingkat keparahan dari efek yang ditimbulkan risiko tersebut.

Tabel 2.4 Acuan Penilaian Tingkat Keparahan

Rating	**Kriteria**
1	pengaruh buruk yang dapat diabaikan, tidak ada personil yang terluka, sistem masih berjalan
2	Kegagalan menghasilkan kerusakan sistem yang kecil tetapi tidak menyebabkan cidera pada personel, memungkinkan segala jenis paparan kepada para personil operasional atau mengizinkan pelepasan bahan kimia ke lingkungan.
3	Kegagalan menghasilkan paparan tingkat rendah terhadap personel, atau mengaktifkan sistem alarm fasilitas.
4	Kegagalan menghasilkan cedera ringan pada personel, paparan personil terhadap bahan kimia atau radiasi berbahaya, kebakaran atau pelepasan bahan kimia ke lingkungan.
5	Kegagalan menghasilkan cedera besar atau kematian personil

2. *occurrence* (tingkat kejadian)

   merupakan penilaian risiko berdasarkan pada tingkat kejadian dari risiko tersebut. Seberapa sering risiko tersebut kemungkinan akan terjadi.

Tabel 2.5 Acuan Penilaian Tingkat Kejadian

Rating	**Kriteria**
1	Jarang terjadi, hanya dapat terjadi pada keadaan tertentu
2	Kecil kemungkinan terjadi, mungkin terjadi sewaktu-waktu
3	Mungkin dapat terjadi, dapat terjadi sewaktu-waktu
4	Cenderung untuk terjadi, sangat mungkin terjadi pada semua keadaan
5	Hampir pasti akan terjadi, terjadi hampir pada semua keadaan

3. *detection* (deteksi)

   merupakan penilaian risiko berdasarkan pada tingkat deteksi dari risiko tersebut. Seberapa mudah risiko tersebut terdeteksi dan dapat dicegah sehingga risiko tak terjadi lagi.

Tabel 2.6 Acuan Penilaian Tingkat Deteksi

Rating	Kriteria
1	Metode pencegahan sangat efektif. Tidak ada kesempatan penyebab mungkin muncul
2	Kemungkinan penyebab terjadi sangat rendah
3	Kemungkinan penyebab terjadi bersifat mederat. Metode pencegahan kadang memungkinkan penyebab itu terjadi
4	Kemungkinan penyebab terjadi masih tinggi. Metode pencegahan kurang efektif
5	Kemungkinan penyebab terjadi masih sangat tinggi. Metode pencegahan tidak efektif. Penyebab masih berulang kembali

Sumber: Gazpers, 2002

2.2.7 Metode *Expert Judgement*

Validasi pakar atau *Expert Judgement* merupakan kumpulan data yang diberikan oleh seorang pakar (*expert)* terhadap suatu permasalahan teknis. Secara umum *expert judgement* dapat dipandang sebagai representasi atau gambaran dari pengetahuan pakar terhadap permasalahan tertentu di waktu tertentu. Pakar merupakan seseorang yang memiliki latar belakang di suatu bidang tertentu yang dianggap mampu menjawab persoalan yang diberikan. Metode ini sangat efektif untuk digunakan ketika pengukuran, observasi, sedangkan pada eksperimen dan simulasi sulit untuk dilakukan.

Metode *expert judgement* cocok digunakan untuk memenuhi tujuan berikut :

- Mengestimasi fenomena yang tergolong baru, langka, kompleks dan sukar untuk dimengerti
- Memprediksi kejadian di masa depan
- Melakukan integrasi dan interpretasi terhadap data yang sudah ada

- Mempelajari proses pemecahan masalah yang dilakukan oleh sekelompok penalar
- Menentukan apa yang saat ini diketahui, tidak diketahui dan layak untuk dipelajari pada suatu bidang ilmu pengetahuan.

Identifikasi para ahli mensyaratkan bahwa seseorang mengembangkan beberapa kriteria di mana keahlian dapat diukur. Umumnya, seorang ahli adalah orang yang "memiliki atau diduga memiliki pengetahuan yang unggul tentang data, model, dan aturan di area atau bidang tertentu". Daftar berikut berisi indikator untuk metode *expert judgment*:

- Penelitian di bidang yang telah teridentifikasi oleh publikasi dan hibah.
- Kutipan pekerjaan.
- Gelar, penghargaan, atau jenis pengakuan lainnya.
- Rekomendasi dan nominasi dari badan dan orang yang dihormati.
- Jabatan.
- Keanggotaan atau penunjukan untuk meninjau dewan, komisi, dll.

2.2.8 SPM (*SINGLE POINT MOORING*)

Single point mooring (SPM) adalah pelampung terapung yang berlabuh di lepas pantai untuk memungkinkan penanganan muatan cair seperti produk minyak bumi untuk kapal tanker. SPM terutama digunakan di daerah di mana fasilitas khusus untuk memuat atau membongkar muatan cair tidak tersedia. Terletak pada jarak beberapa kilometer dari fasilitas pantai dan terhubung menggunakan jaringan pipa *subsea*.

SPM (*Single Point Mooring*) berfungsi sebagai penghubung antara shore-facilities dan tanker untuk memuat atau melepas muatan cair dan gas. Beberapa manfaat utama penggunaan SPM adalah:

- Kemampuan untuk menangani kapal ekstra besar.
- Tidak memerlukan kapal untuk sampai ke pelabuhan dan dengan demikian menghemat bahan bakar dan waktu.

- Kapal dengan konsep tinggi dapat ditambatkan dengan mudah.
- Kualitas kargo yang besar bisa dengan mudah ditangani.

SPM ditambatkan ke dasar laut dengan menggunakan pengaturan tambat yaitu menggunakan *mooring line*. Pengaturan penambatan sedemikian rupa sehingga memungkinkan pelampung bergerak bebas dalam batasan yang ditentukan, dengan mempertimbangkan kondisi angin, ombak, arus, dan kapal tanker. Sistem transfer produk terletak pada *mooring bouy*. Sistem ini memindahkan produk ke kapal tanker dari *Pipeline End Manifold* (PLEM) (lokasi geostatik) yang berada di dasar laut. Selang fleksibel yang dikenal sebagai *riser* menghubungkan pipa bawah laut ke sistem transfer produk pelampung.

Gambar 2.3 SPM (single Point Mooring) (Sumber: Dokumentasi pribadi)

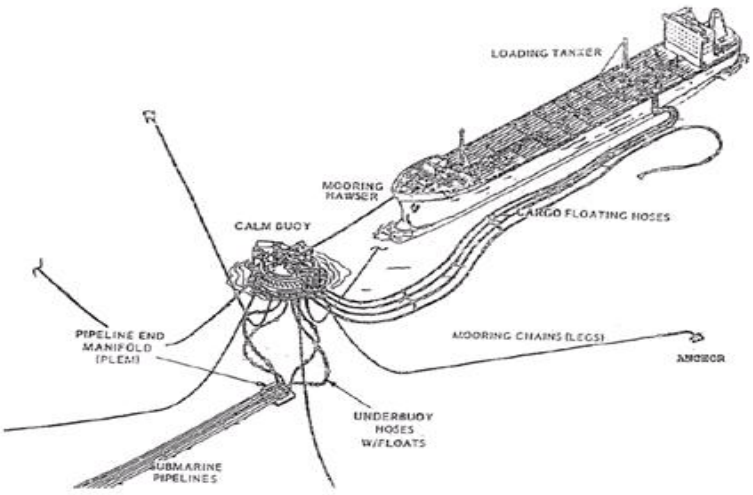
Terdapat bagian-bagian pada SPM (*Single Point Mooring*), yaitu diantara lainnya adalah:

1. *Calm buoy* (tubuh pelampung)
2. *Mooring* (sistem tambat)
3. PLEM (*Pipeline End Manifold)* atau PLET (*Pipeline end termination*)
4. *Subsea hose* (*riser*)

Terdapat bagian-bagian lainnya seperti:

- *Landing boat* untuk akses ke geladak pelampung dari kapal Tanker.
- *Fender* untuk melindungi *calm buoy.*
- *Toolkit* untuk penanganan penanganan material yang rusak.

- Sebuah Subsistem Listrik untuk memungkinkan operasi katup dan navigasi atau peralatan lainnya.
- *Floating hose* untuk menghubungkan pelampung ke kapal tanker.



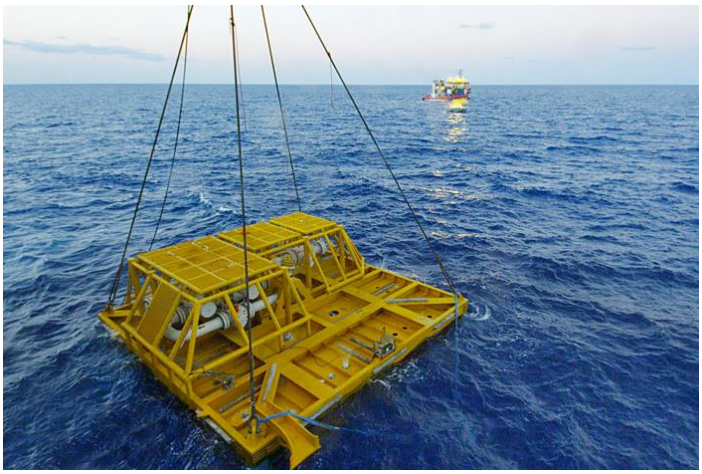
Gambar 2.4 bagian pada SPM (*Single Point Mooring*) (sumber: helmidadang.wordpress.com)

2.2.9 PLEM (*PIPELINE END MANIFOLD*)

Manifold merupakan sebuah peralatan bawah laut (*subsea*) yang mengumpulkan beberapa jalur pipa untuk kemudian diteruskan ke dalam satu jalur yang berbeda. Biasanya *manifold* digunakan untuk mengoptimasi beberapa jumlah riser yang digunakan pada platform, agar tiap jalur pipa tidak perlu memmiliki riser masing-masing. *Manifold* dipergunakan agar satu buah riser digunakan untuk beberapa jalur pipa.

Terdapat berbagai jenis *subsea manifold,* diantaranya adalah PLEM (*Pipeline End Manifold*) dan PLET (*Pipeline End Termination*). Perbedaan keduanya hanya pada jumlah pipa yang dapat dikumpulkan. PLEM dapat mengumpulkan lebih dari dua jalur pipa untuk kemudian disambungkan pada satu buah riser. PLET hanya dapat menyambungkan satu buah jalur pipa dengan satu buah riser.

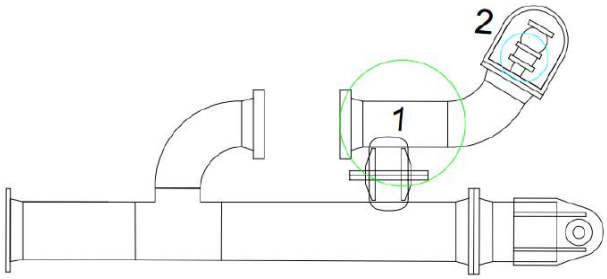
PLEM adalah struktur bawah laut yang ditetapkan pada akhir jaringan pipa yang digunakan untuk menghubungkan pada *flexyble pipe* atau *subsea hose*. Intinya, PLEM adalah sejenis cluster *manifold*, yang juga memiliki beberapa fungsi penting untuk mengumpulkan minyak dan gas atau memisahkan air.



Gambar 2.5 PLEM (Sumber: nfatmala.blogspot.co.id)

2.2.10 SPOOL

Spool merupakan sambungan yang berada pada PLEM. Spool berfungsi untuk menyambungkan *subsea hose* pada PLEM.



Gambar 2.6 PLEM spool (sumber: PT Kangen Energy Indonesia)

2.2.11 *Subsea Hose*

Hose merupakan suatu peralatan yang berbentuk seperti selang yang dibuat dengan bahan tertentu yang dapat menahan sistem pergerakan aliran yang terjadi dialamnya. *Hose* menjadi struktur yang sangat penting dalam proses *crude oil shipping.* Karena dengan menggunakan *hose* struktur FSO, SPM dan tanker dapat saling terhubung. *Hose* terdari dari dua jenis yaitu *floating hose* (terapung) dan *submarine hose* (berada di dalam air). Keduanya memiliki peranan masing-masing dalam proses penyaluran minyak mentah. Sistem *hose* memiliki beberapa peranan yang sangat penting untuk tetap dijaga agar jalannya operasi tidak

terganggu. Seperti pada *subsea hose* ada bagian tertentu yang memiliki perbedaan dengan bagian lainnya.

Subsea Hose adalah salah satu bagian pipa yang berfungsi sebagai pipa penghubung elastis yang digunakan untuk menyalurkan kondensat dari suatu tempat ke tempat lainnya. Berikut adalah beberapa jenis sub-sea hose yang digunakan oleh PT. Kangean Energy Indonesia dan dibuat oleh perusahaan GoodYear sesuai dengan katalog yang terlampir. Jenis-jenis *subsea hose* anata lain, adalah:

- **1000 SHSC**

  Merupakan selang bawah laut bertipe *Single Caracass* yang biasanya digunakan untuk menghubungkan *CALM BUOY* dan *PLEM*, biasanya di tempatkan diantara dua *reinforced end pipe*.

Gambar 2.7 *subsea hose* tipe 1000 SHSC (Sumber: GoodYear *catalog*)

- **1010 SHSC**

  Merupakan selang bawah laut *Single Carcass* dengan salah satu ujung yang diperkuat atau kedua ujung diperkuat sesuai dengan permintaan, digunakan untuk menghubungkan *hose* dengan *rigid manifolds*, seperti *Calm Buoy* dan *PLEM.*

Gambar 2.8 *subsea hose* tipe 1010 SHSC (Sumber: GoodYear *catalog*)

- **1020 SHSC**

  Jenis ini hampir sama dengan jenis 1010 SHSC yang membedakan jenis ini dari jenis 1010 SHSC adalah jenis ini diperkuat di kedua ujungnya. Jenis ini biasa digunakan untuk menghubungkan *hose* dengan *rigid manifolds* seperti *Calm Buoy* dan *Plem.*

Gambar 2.9 *subsea hose* tipe 1020 SHSC (Sumber: GoodYear *catalog*)

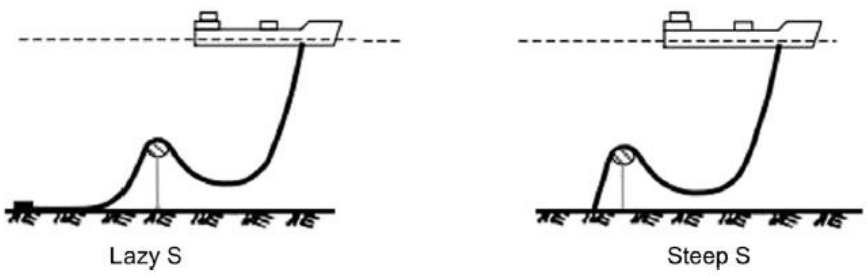
Flexible risers dapat dipasang di sejumlah konfigurasi yang berbeda. Desain konfigurasi riser harus dilakukan sesuai dengan persyaratan produksi dan kondisi lingkungan spesifik lokasi. Analisis statik harus dilakukan untuk menentukan konfigurasi. Dasar berikut harus diperhitungkan saat menentukan konfigurasi riser:

- Perilaku dan geometri global
- Integritas struktural, kekakuan dan kontinuitas
- Sifat penampang melintang
- Sarana dukungan
- Bahan
- Biaya

Subsea hose yang menghubungkan antara *Calm Buoy* dan *Plem* memiliki berbagai macam konfigurasi, berikut adalah jenis dan definisi dari konfigurasi *sub-sea hose* :

- ***Lazy-S dan Steep-S***

  Pada konfigurasi riser Lazy S dan Steep S terdapt buoy, buoy yang terdapat pada konfigurasi ini terbagi menjadi 2 jenis. Jenis yang pertama adalah jenis fixed, yaitu jenis buoy yang terpasang permanen pada struktur. Yang kedua adalah buoy yang mengapung yang diatur posisinya menggunakan rantai.



Gambar 2.10 konfigurasi *subsea hose lazy-s & steep-s* (Sumber: Bai, Y. Bai, Q 2014)

2.2.12 *Equipment* yang di Gunakan

PT Kangean Energy Indonesia mempercayakan PT Warma Trierindo sebagai jasa *under water service* untuk pekerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose.*

Banyak peralatan yang digunakan pada pekerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose.* Peralatan yang di Gunakan Untuk pekerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose* harus diperhatikan sertifikatnya. Dalam hal ini sertifikat untuk setiap *equipment* yang digunakan harus berstandart dan diharuskan sertifikat yang terbaru. Pada proyek ini perlatan yang digunakan anatara lain :

1. ***SCUBA DIVING***

   Scuba Diving merupakan penyelaman yang dilakukan dengan menggunakan peralatan selam lengkap atau biasa disebut sebagai peralatan SCUBA (*Self Breathing Underwater Breathing Apparatus*). Biasanya digunakan untuk penyelam komersial (*Engineering Dive, Ship Salvage, Inspection & Repair*).

2. ***Scuba Tank*/Tabung**

   Tabung selam merupakan botol udara yang bertekanan tinggi dibuat untuk menampung udara yang dimampatkan secara aman.

3. ***Umbilical***

   Alat yang berfungsi sebagai pemasok gas untuk bernafas diver. *Umbilical* (terdiri dari selang udara, kabel komunikasi, kabel kamera atau video dan kabel pengukur tekanan udara) .

4. ***Diver Helmet***

   Alat yang memungkinkan penyelam untuk melihat jelas kedalam air dan juga melidungi kepala *diver* saat sedang melakukan pekerjaan yang berbahaya. Dan biasanya alat ini memungkinkan *diver* untuk berkomunikasi dengan personel yang ada di darat dan juga penyelam lainnya

5. **ROV dan Control Panel**

ROV (*Remotely Operated Vehicle*) adalah pada dasarnya sebuah robot bawah laut yang dikendalikan oleh operator ROV. ROV yang di gunakan untuk pekerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose* memiliki dimensi 1x1 meter

6. Riding Winch

Alat yang berfungsi untuk megatur "tegang" dan "renggang" nya sebuah tali. Di sini alat ini digunakan untuk menaik turunkan tempat diver. Tempat diver tersebut berbentuk kandang yang ditalikan pada *riding winch* yang dapat di naik turunkan

7. Diver's Chamber

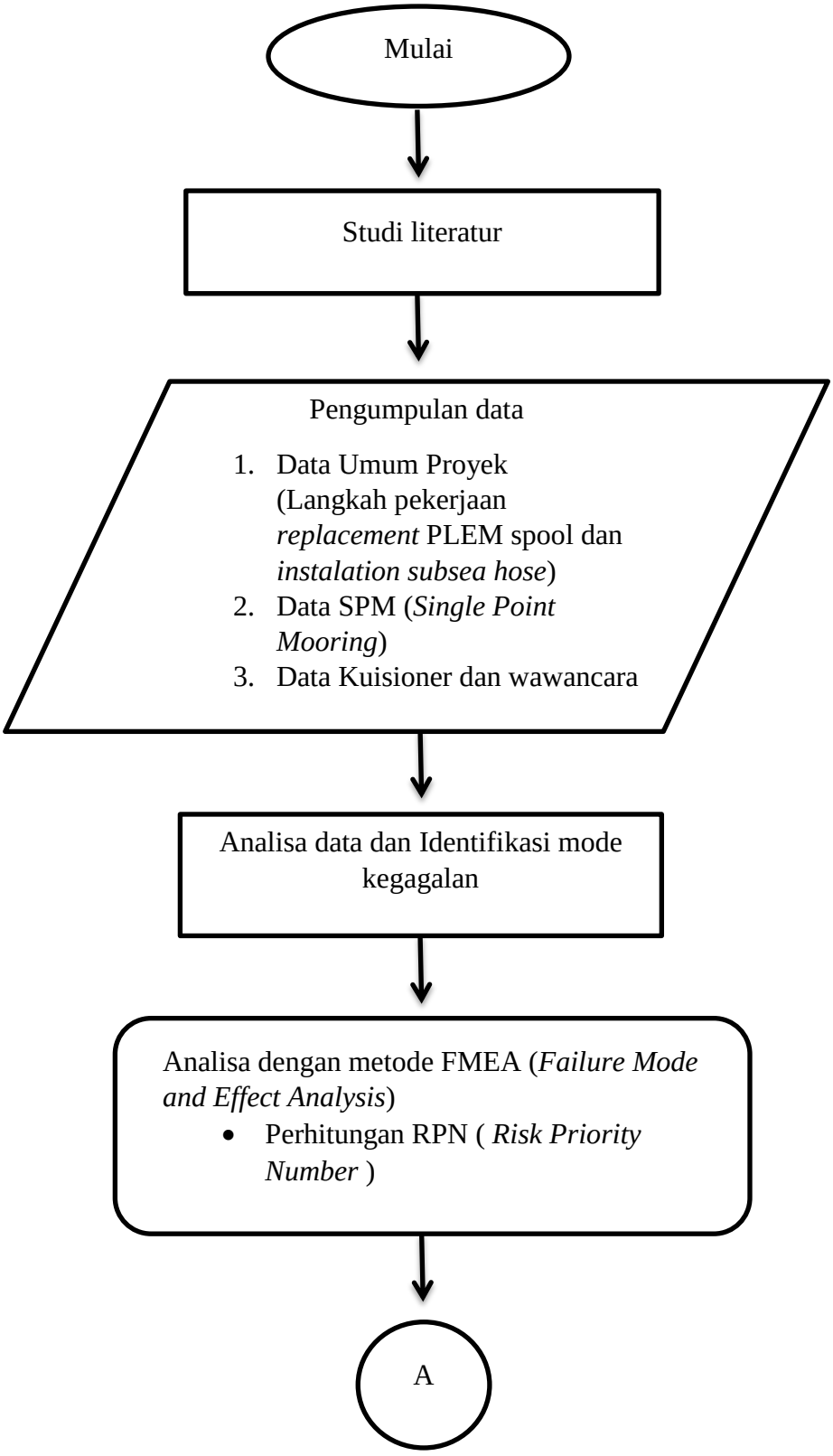
Diver`s chamber adalah alat Ruang menyelam bejana untuk pendudukan manusia. Digunakan untuk untuk mengendalikan tekanan internal, dan pasokan gas pernapasan untuk penyelam. Diver dapat mengalami kecacatan ataupun kematian apabila tidak terdapat *diver chamber* ini.

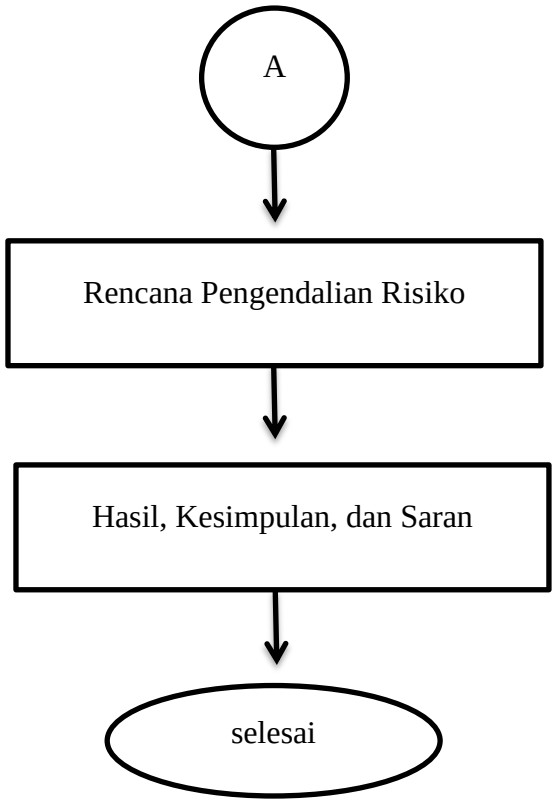
8. Generator

Alat ini berfungsi sebagai sumber listrik untuk seluruh alat yang di gunakan pada pekerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose.*

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram alir proses pengerjaan tugas akhir

3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Penjelasan tahapan-tahapan diagram alir tugas akhir yang tertera pada gambar 3.1 akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Studi Literatur

   Berdasarkan tujuan penelitian, studi literatur ini akan dilakukan dengan mempelajari jurnal, buku, dan laporan tugas akhir yang berkaitan dengan rumusan masalah tugas akhir ini. Studi literatur yang digunakan anatara lain adalah :

   - Studi mengenai analisa risiko.
   - Studi mengenai SPM (*Single Point Mooring*) dan bagian-bagian pada SPM seperti PLEM (*Pipe Line End Manifold*) dan *subsea hose.*
   - Studi mengenai proses *replacement* PLEM spool dan *instalation subsea hose*.

- Studi mengenai metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*).

2. Pengumpulan Data

Bertujuan untuk menunjang pengerjaan penelitian ini. Data yang diperlukan anatara lain adalah:

1. Data SPM (*Single Point Mooring*)

   Data SPM yang digunakan adalah SPM yang beroperasi pada Pagerungan *field*

2. Data *subsea hose*

   Meliputi jenis *subsea hose*, diameter, dan jumlah *segment* yang digunakan SPM pada Pagerungan *field.*

3. Data kegiatan proyek

   Merupakan jadwal dan langkah-langkah pada pekerjaan *replacement* PLEM spool dan *instalation subsea hose*.

4. Data organisasi proyek

   Merupakan pekerja berpengalaman yang terlibat pada proyek untuk menentukan responden yang akan mengisi kuisioner yang akan dibagikan

5. Data kuisioner

   Merupakan kuisioner yang akan disebar pada pekerja berpengalaman yang terlibat pada proyek untuk mendapatkan *saverity* (tingkat keparahan), *occurrence* (tingkat kejadian), *detection* (deteksi).

3. Analisa data dan Identifikasi mode kegagalan

Setelah memperoleh data yang dibutuhkan maka dilakukan analisis risiko pada setiap langkah-langkah pekerjaan *replacement* PLEM spool dan *instalation subsea hose* dengan membuat identifikasi mode kegagalan.

4. Analisa Risiko menggunakan Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

   Setelah membuat identifikasi mode kegagalan maka di tentukan nilai risiko dengan menggunakan metode FMEA. Dari metode FMEA akan di dapatkan nilai risiko yang paling dominan atau nilai yang paling kritis.

   - Perhitungan RPN (*Risk Priority Number*)

     Hasil penyebaran kuisioner variabel risiko yang telah diisi oleh responden dari perusahaan, maka akan didapat *saverity* (tingkat keparahan), *occurrence* (tingkat kejadian), *detection* (deteksi). Perhitungan RPN dilakukan Dengan rumus :

     RPN = S (*saverity*) * O (*occurrence*) * D (*detection*)

     RPN adalah ukuran yang digunakan ketika menilai risiko untuk membantu mengidentifikasi risiko paling dominan.

5. Rencana Pengendalian Risiko

   Pada tahap rencana pengendalian risiko dilakukan untuk mencegah agar risiko yang menyebabkan kegagalan proyek tidak terjadi. Hal ini juga dilakukan untuk mengurangi dampak dari risiko tersebut.

6. Kesimpulan dan Saran

   Pada penelitian ini akan memberikan kesimpulan mengenai analisa risiko *replacement* PLEM spool dan *instalation subsea hose*, dan rekomendasi pengendalian risiko yang tepat. Dapat memberikan rekomendasi pada perusahaan serta memberikan manfaat kepada pembaca ataupun peneliti selanjutnya.

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Langkah Pengerjaan *Condensate Export PLEM Leak & Repair Plan*

Seperti yang telah di ketahui bahwa SPM (*single point mooring*) yang berada pada Pagerungan *field* mengalami kerusakan. Kerusakan terjadi pada sambungan antara *subsea hose* dengan PLEM (spool) patah dan mengakibatkan kebocoran. Sehingga spool yang patah tersebut harus di ganti agar kegiatan bongkar muat kondensat yang berada di Pagerungan bisa berjalan kembali.

Untuk melakukan proyek *Condensate Export PLEM Leak & repair Plan* terdapat langkah-langkah pengerjaan, diantara lain adalah:

Tabel 4.1 langkah pengerjaan proyek *Condensate Export PLEM Leak & repair Plan*

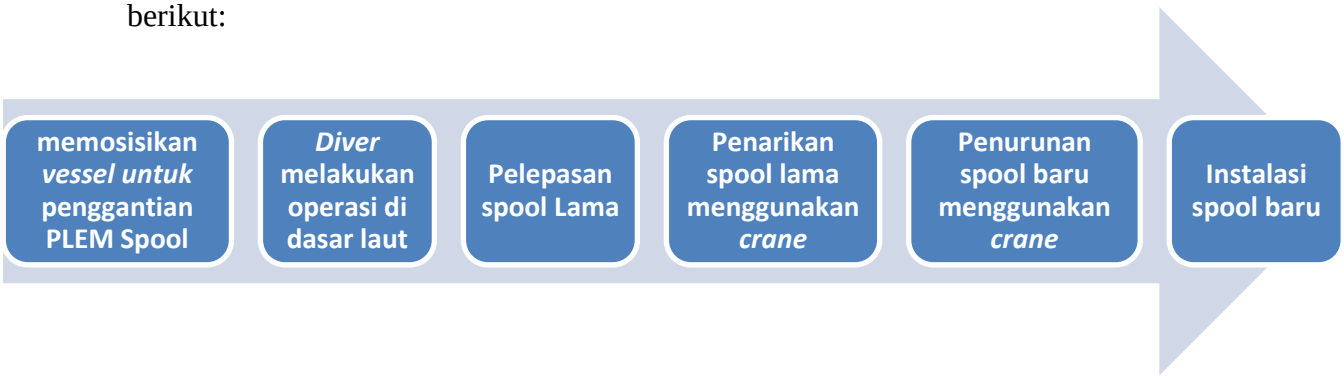
No	Uraian Kegiatan
A.	*Engeenering & procedure*
B.	Pengadaan barang & persiapan kerja
C.	mobilisasi
D.	*Offshore execution*
E.	Melepas *subsea hose*
F.	Membawa *subsea hose* menuju *onshore*
G.	Melakukan *hydrotest* pada *subsea hose*
H.	*Replacement of PLEM spool*
I.	Instalasi *subsea hose to PLEM spool*
J.	Inspeksi visual oleh ROV
K.	*Demobilization*

Pada penelitian ini peneliti memfokuskan pada pekerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose to* PLEM spool. Terdapat uraian untuk pekerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose to* PLEM spool.

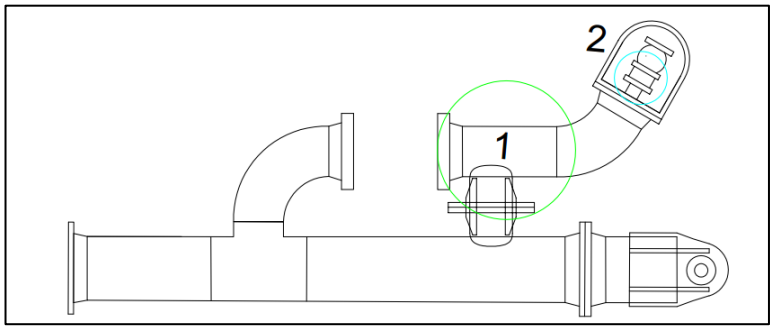
4.2 Uraian Kegiatan

4.2.1 *Replacement of* PLEM spool

Urutan untuk pekerjaan *Replacement of PLEM* spool di uarikan sebagai berikut:



Dari data yang ada bahwa spool (ditunjukkan oleh lingkaran hijau # 1 pada gambar di bawah) adalah yang harus diganti. Bobotnya sekitar 529 lb atau 239 kg.



Gambar 4.1 PLEM spool (sumber: PT Kangen Energy Indonesia)

4.2.2 Instalasi *subsea hose to* PLEM spool

Urutan untuk pekerjaan instalasi *subsea hose* di uraikan sebagai berikut:

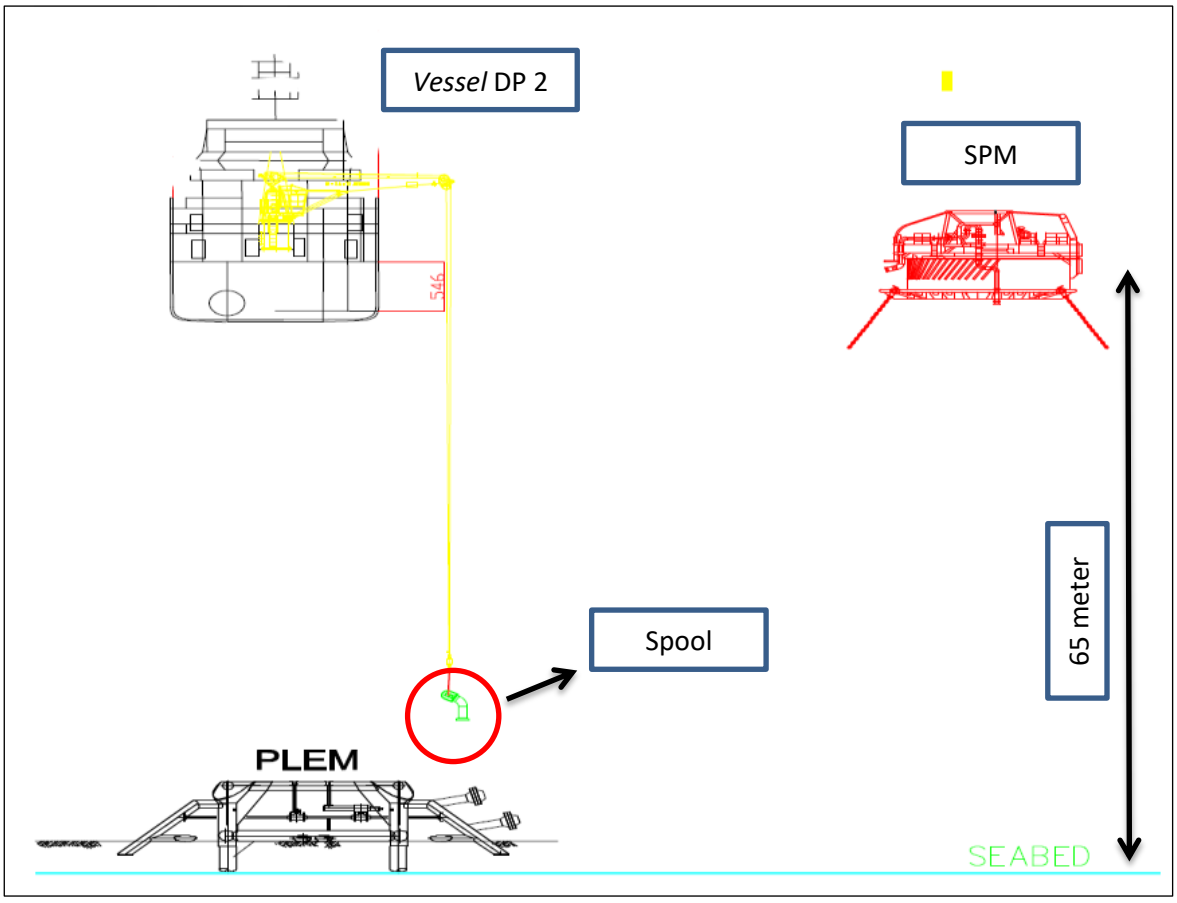
4.3 Penjelasan Tahapan Kegiatan & Identifikasi Mode Kegagalan

Sebelum melakukan indentifikasi mode kegagalan, maka harus di ketahui terlebih dahulu penjelasan setiap kegiatan yang dilakukan. Penjelasan setiap tahapan kegiatan bertujuan untuk mengetahui detail dari setiap tahapan pekerjaan. Setalah mengetaui penjelasan maka dilakukan identifikasi mode kegagalan pada seluruh kegiatan yang akan dilakukan. Berikut adalah penjelasan seluruh tahapan kegiatan dan identifikasi mode kegagalan

4.3.1 Mengatur posisi *vessel* DP 2 pada penggantian *PLEM* Spool

Posisi *vessel* DP 2 harus diatur sedikit di sisi kiri di atas PLEM selama pelepasan spool yang rusak dan pemasangan spool yang baru. Posisi *vessel* diatur sebegitu rupa dimaksudkan untuk memberikan akses *craine* selama mengambil spool yang rusak dan menurunkan spool yang baru selama instalasi. Posisi *vessel* DP 2 diperlihatkan pada gambar IV.2 dan IV.3.

Pada tahapan pekerjaan mengatur posisi *vessel* DP 2 pada penggantian PLEM spool, peneliti membuat identifikasi mode kegagalan mengacu pada literatur "*hazard assessment of well operation from vessels"*. Dari literatur yang ada peneliti mengambil mode kegagalan yang dinilai relevan dengan tahapan pengerjaan ini.



Gambar 4.2 posisi *vessel* saat penggantian spool pada *PLEM* (sumber: PT Kangen Energy Indonesia)

Tabel 4.2 identifikasi mode kegagalan mengatur posisi *vessel* DP 2 pada penggantian *PLEM* spool

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
Mengatur posisi *vessel* DP 2 pada penggantian *PLEM* spool	Tabrakan antara *vessel* dengan *SPM*	Kerusakan pada *vessel* atau SPM, kerugian materi, pekerja cidera (*fatality*).	*Vessel run-off*	Menggunakan pola pemosisian yang terupdate yang menunjukkan semua fasilitas yang ada
	Pergerakan *vessel* DP2 yang tidak terkendali	Benda pada deck bergerak tak beraturan, air masuk pada deck, kerusakan pada peralatan	Gelombang tinggi	Update mengenai perkiraan cuaca
	Peralatan penyelam atau perlatan lain terjatuh ke laut	Peralatan hilang di laut, kerugian materi.	Penempatan peralatan yang tidak strategis	Membuat perencanaan tentang tata letak peralatan
	Peralatan penyelam atau peralatan yang lain tidak terikat pada *vessel*	Kerusakan pada peralatan, pekerja terjepit (fatality).	Tidak ada pengecekan ulang, pekerja berada di area yang tidak aman	Pengecekan ulang peralatan sebelum berangkat menuju tempat kerja

4.3.2 *Diver* melakukan operasi di dasar laut

untuk memperbaiki PLEM spool yang rusak penyelam harus beroperasi di laut yang dalam. Pada kondisi ini, penyelam harus diturunkan hingga 10 m sampai 5 m di atas dasar laut.

Pada tahapan pekerjaan ini peneliti membuat identifikasi mode kegagalan yang mengacu pada literatur ”*Risk Analysis and Management of Diving Operation: Assessing Human Factors”*. Dikatakan bahwa DAN (*Diving Alert Network*)

mengevaluasi 270 kejadian pada tahun 1987. Dari statistik yang ada (Bennet, 1990) menyatakan bahwa faktor-faktor pada kejadian *diving* meliputi: kelainan medis (55.7%), faktor lingkungan (34,8%), kesalahan perlengkapan (9,5%). Lalu peneliti mengambil mode kegagalan yang relevan dengan penelitian ini.

Tabel 4.3 identifikasi mode kegagalan *Diver* melakukan operasi di dasar laut

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
Diver melakukan operasi di dasar laut	Alat menyelam tidak berfungsi dengan baik (*diver helmet*, *scuba tank* , *chamber*, *diver communication radio,* dll)	*Diver* panik, *diver* mengalami cidera, *fatality*.	Tidak ada pengecekan ulang peralatan menyelam, peralatan menyelam tidak bersertifikasi	Pengecekan ulang peralatan sebelum ke tempat kerja, pengecekan sertifikasi
	Umbilical putus	*Diver* mengalami cidera, *fatality*, kerusakan pada peralatan	Umbilical tersangkut oleh *subsea hose*, *mooring chain*, *marine growth*, dll	Memantau penggunaan umbilical saat menyelam dan rute umbilical
	Hilang komunikasi antara penyelam dengan operator	*Diver* mengalami kepanikan dan diorientasi.	Alat komunikasi anatara penyelam dan operator tak berfungsi dengan baik	Pengecekan ulang alat komunikasi sebelum menyelam
	Arus kuat	*Diver* kelelahan, *diver* terseret arus, *diver* cidera.	Cuaca buruk	Update info tentang cuaca
	Diver mengalami *decompresi*	*Diver* mengalami kecacatan fisik, *fatality.*	*Chamber* tidak berfungsi dengan baik	Pengeceakan ulang *chamber* sebelum di terjunkan ke laut

4.3.3 Pelepasan spool Lama

Sebelum memulai pembongkaran spool yang rusak pada PLEM, penyelam harus turun untuk melakukan pemeriksaan dan juga membuat tanda pada *PLEM* untuk mudahkan selama proses penginstalan ulang spool baru ke PLEM. Sehingga tanda tersebut dapat digunakan sebagai pola untuk pemasangan lebih lanjut dari spool baru pada PLEM. Selama penggantian spool, kontraktor akan menggunakan *hydraulic splitter* (pada gambar IV.3) untuk melepaskan spul yang diinginkan untuk diganti.

Gambar 4.3 *hydraulic splitter* (sumber: PT Kangen Energy Indonesia)

Tabel 4.4 identifikasi mode kegagalan Pelepasan spool lama

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
Pelepasan spool lama	Alat (*hydraulic splitter)* tidak berfungsi dengan baik	Waktu terbuang, kerusakan pada material.	Tidak ada pengecekan ulang alat yang digunakan	Melakukan pengecekan ulang alat yang akan digunakan
	Penyelam cidera di karenakan peralatan (*hydraulic splitter)*	Penyelam cidera, *fatality*.	Penyelam tidak tahu cara untuk menggunakan alat	Melakukan *briefing* sebelum menyelam
	Tanda pada PLEM tidak terlihat (tanda digunakan untuk pemasangan spool baru pada PLEM)	Spool tidak dapat terpasang pada PLEM, waktu terbuang.	Penyelam membuat tanda terlalu tipis	Pengecekan ulang tanda yang telah dibuat

(Lanjutan) Tabel 4.4 identifikasi mode kegagalan Pelepasan spool lama

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
Pelepasan spool lama	Air laut masuk kedalam PLEM dan pipa bawah laut	Kerusakan pada PLEM dan pipa.	Tidak ada rencana untuk menutup sementara PLEM saat spool diganti	Membuat rencana sebelum spool dilepas dari PLEM
	Penyelam terseret oleh arus	Penyelam cidera, *fatality*.	Arus kuat, cuaca buruk	Update mengenai cuaca
	Kondensat tumpah ke laut	Kerusakan pada lingkungan laut.	Masih terdapat sisa kondensat pada PLEM atau *subsea hose*	Pengecekan ulang PLEM dan *subsea hose* sebelum spool dilepas

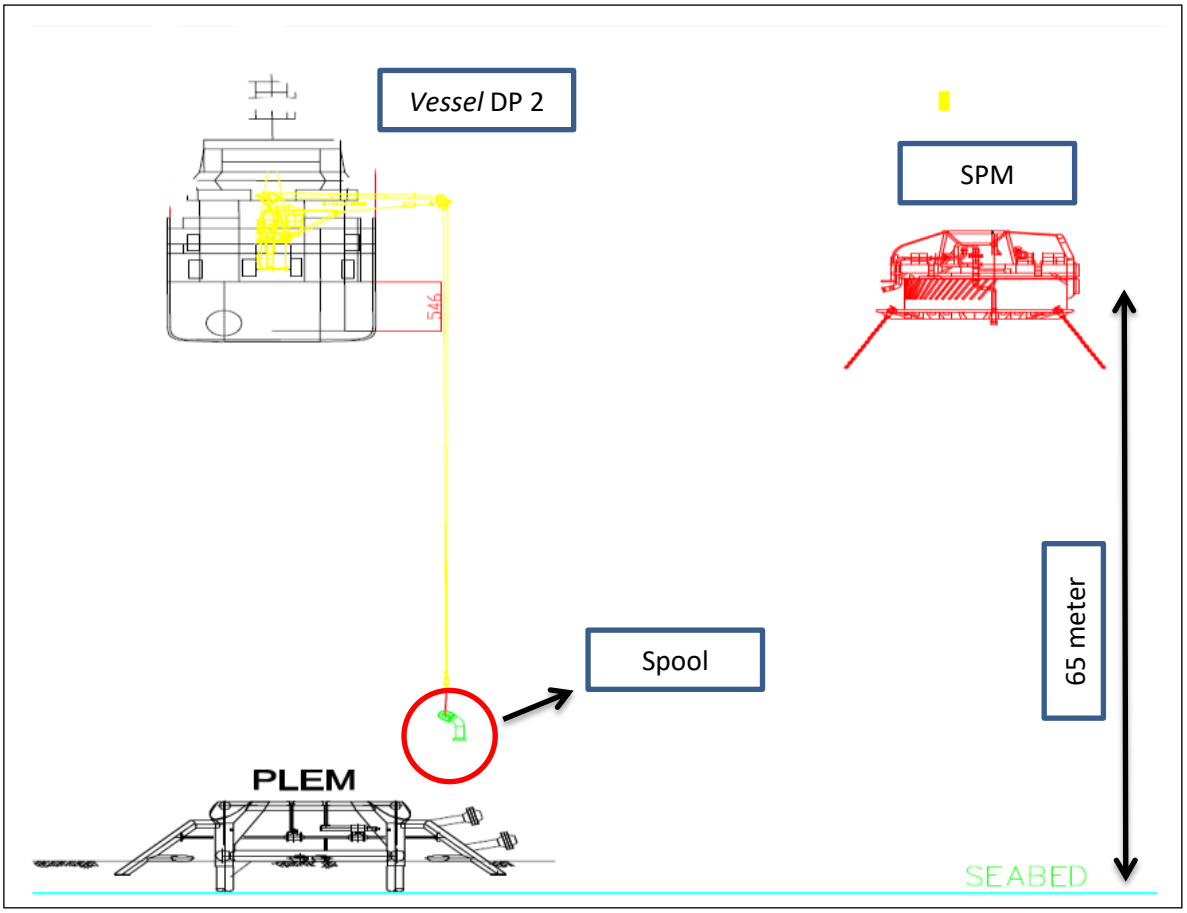
4.3.4 Penarikan spool lama menggunakan crane

Crane diturunkan untuk mengambil spool yang telah dilepas oleh *diver*.

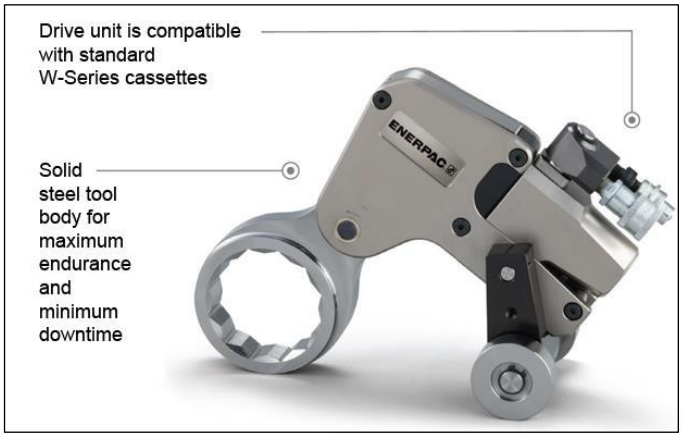
4.3.5 Penurunan spool baru dan Instalasi spool baru

Turunnya spool baru harus menggunakan *craine* pada *vessel*. untuk pemasangan spool baru akan dibantu oleh penyelam. Berikut ini adalah skema posisi kapal terhadap PLEM selama instalasi spool baru yang dijelaskan pada gambar IV.4

Untuk instalasi spool baru, penyelam menggunakan alat *hydraulic torque wrench* (gambar IV.5). Alat ini digunakan untuk mengencangkan seluruh baut pada instalsi spool yang baru.



Gambar 4.4 sistematika penurunan spool (sumber: PT Kangen Energy Indonesia)



Gambar 4.5 *hydraulic torque wrench* (sumber: PT Kangen Energy Indonesia)

Tabel 4.5 identifikasi mode kegagalan Penarikan spool lama, Penurunan spool baru, dan Instalasi spool baru

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
Penarikan spool lama	Benda jatuh ke laut	Kerugian materi	Penempatan peralatan yang tidak strategis	Membuat perencanaan tentang tata letak peralatan
	Pekerja tertimpa benda yang jatuh	Pekerja cidera, *fatality*	Pekerja berada di area yang berbahaya	Membuat tanda pada area yang berbahaya
	Kegagalan pada crane	Kerusakan pada peralatan, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality.*	Benda yang diangkat melebihi batas maksimal crane, cuaca buruk	Pengecekan ulang crane yang akan digunakan dan update tentang cuaca
Penurunan spool baru	Benda jatuh ke laut	Kerugian materi	Penempatan peralatan yang tidak strategis	Membuat perencanaan tentang tata letak peralatan
	Pekerja tertimpa benda yang jatuh	Pekerja cidera, *fatality*	Pekerja berada di area yang berbahaya	Membuat tanda pada area yang berbahaya
	Kegagalan pada crane	Kerusakan pada peralatan, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality.*	Benda yang diangkat melebihi batas maksimal crane, cuaca buruk	Pengecekan ulang crane yang akan digunakan update tentang cuaca

(Lanjutan) Tabel 4.5 identifikasi mode kegagalan Penarikan spool lama, Penurunan spool baru, dan Instalasi spool baru

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
Instalasi spool baru	Alat (*hydraulic torque wrench*) tidak berfungsi dengan baik	Waktu terbuang, kerusakan pada material.	Tidak ada pengecekan ulang alat yang digunakan	Melakukan pengecekan ulang alat yang akan digunakan
	Penyelam cidera di karenakan peralatan	Penyelam cidera, *fatality*.	Penyelam tidak tahu cara untuk menggunakan alat	Melakukan *briefing* sebelum menyelam
	Penyelam terseret oleh arus	Penyelam cidera, *fatality*.	Arus kuat, cuaca buruk	Update mengenai cuaca

4.3.6 Penarikan *subsea hose* ke tempat kerja

Setelah menyelesaikan *hydro test subsea hose* di tarik dari pantai menuju SPM. Terdapat 48 *ea floater drum* yang dipasang pada *subsea hose* untuk memastikan *subsea hose* melayang sepanjang perjalanan dari pantai menuju SPM

Tabel 4.6 identifikasi mode kegagalan penarikan *subsea hose* ke tempat kerja

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
Penarikan *subsea hose* ke tempat kerja	Tali pada *towing* putus	Kerusakan pada *subsea hose,* kerugian materi	Kapal penarik terlalu cepat, tali pada towing yang digunakan tidak tepat	Membuat batas kecepatan pada kapal penarik, pengecekan ulang tali pada towing yang digunakan
	kapal penarik menabrak SPM	Kerusakan pada kapal penarik atau SPM, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*	Kapal penarik *run-off*	Terdapat pekerja yang *standby* untuk memberikan aba-aba pada kapal penarik

(Lanjutan) Tabel 4.6 identifikasi mode kegagalan penarikan *subsea hose* ke tempat kerja

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
Penarikan *subsea hose* ke tempat kerja	Bagian pada *subsea hose* terlepas	Kerugian materi	Bagian-bagian *subsea hose* tidak terpasang dengan baik	Pengecekan ulang *subsea hose* sebelum dibawa ke tempat kerja
	Kapal penarik tenggelam	Pekerja cidera, kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi, *fatality*	Gelombang tinggi, cuaca buruk	Update mengenai cuaca
	Subsea hose tenggelam saat dibawa ke tempat kerja	*Subsea hose* menabarak coral, kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi	*Floating drum* bocor	Pengecekan ulang *floating drum*

4.3.7 Transfer *subsea hose* ke *vessel* DP 2

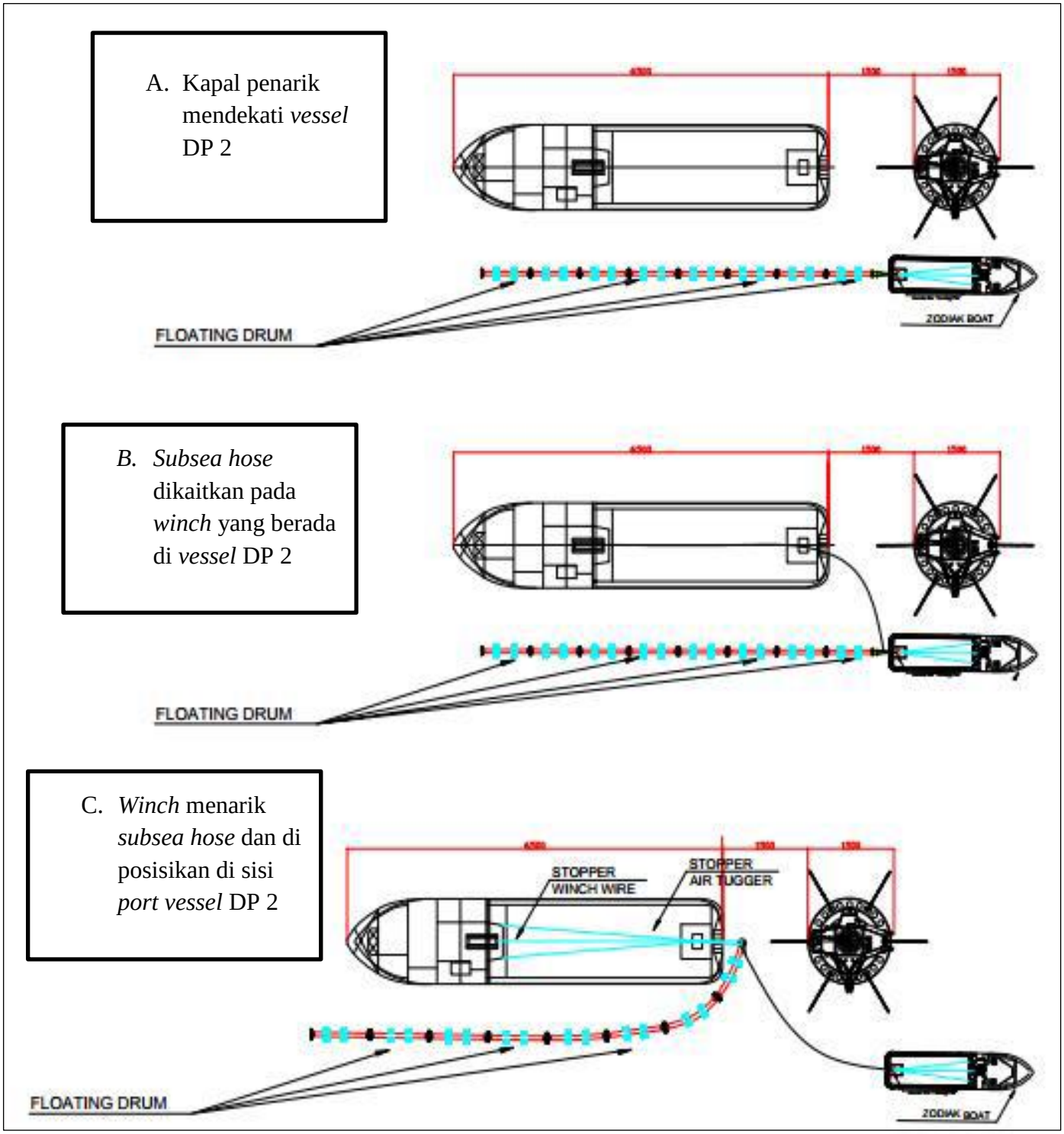
Kapal penarik harus mendekati *vessel* DP 2 untuk proses transfer *subsea hose* ke *vessel* DP 2. Dijelaskan pada gambar IV.6 dan IV.7

Tabel 4.7 identifikasi mode kegagalan transfer *subsea hose* ke *vessel* DP 2

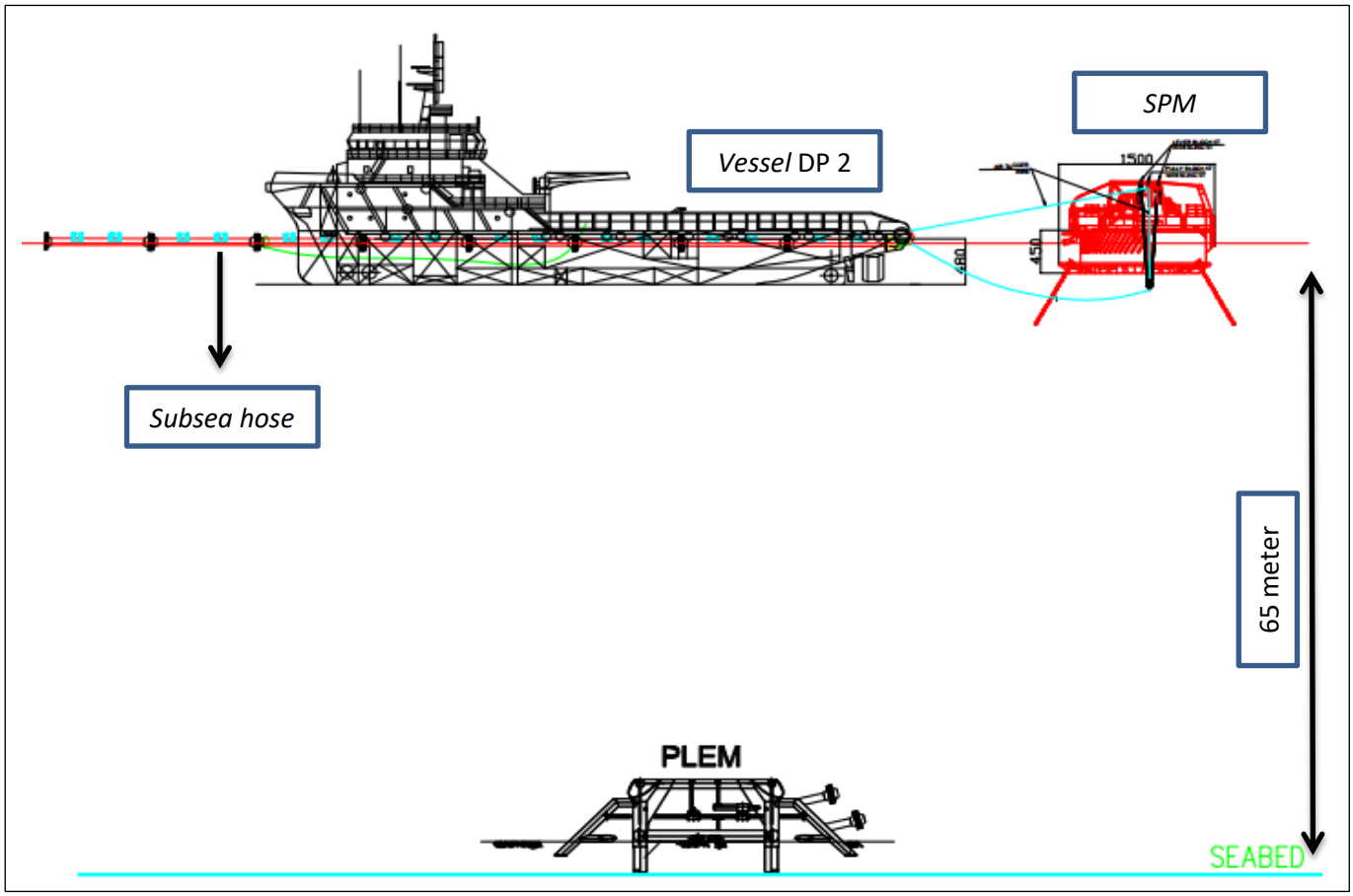
Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
Transfer *subsea hose* ke *vessel* DP 2	Kapal penarik menabrak *vessel DP2*	Kerusakan pada kapal penarik dan *vessel* DP 2, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*	Kapal penarik *run-off*	Terdapat pekerja yang *standby* untuk memberikan aba-aba pada kapal penarik
	Kapal penarik menabrak SPM	Kerusakan pada kapal penarik dan SPM, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*	Kapal penarik *run-off*	Terdapat pekerja yang *standby* untuk memberikan aba-aba pada kapal penarik

(Lanjutan) Tabel 4.7 identifikasi mode kegagalan transfer *subsea hose* ke *vessel* DP 2

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
Transfer *subsea hose* ke *vessel* DP 2	Pergerakan kapal penarik tidak terkendali	Transfer *subsea hose* mengalami kendala, kerusakan pada *subsea hose*	Gelombang tinggi	Update mengenai cuaca
	Subsea hose menghantam SPM	Kerusakan pada *subsea hose* dan SPM, kerugian materi	*Wire winch* putus	Pengecekan ulang *wire winch* yang digunakan



Gambar 4.6 proses transfer *subsea hose* dari kapal penarik menuju *vessel* DP 2 (sumber: PT Kangen Energy Indonesia)



Gambar 4.7 posisi *subsea hose* pada *vessel* DP 2 (sumber: PT Kangen Energy Indonesia)

4.3.8 Memotong *floating drum* dan menenggelamkan *subsea hose*

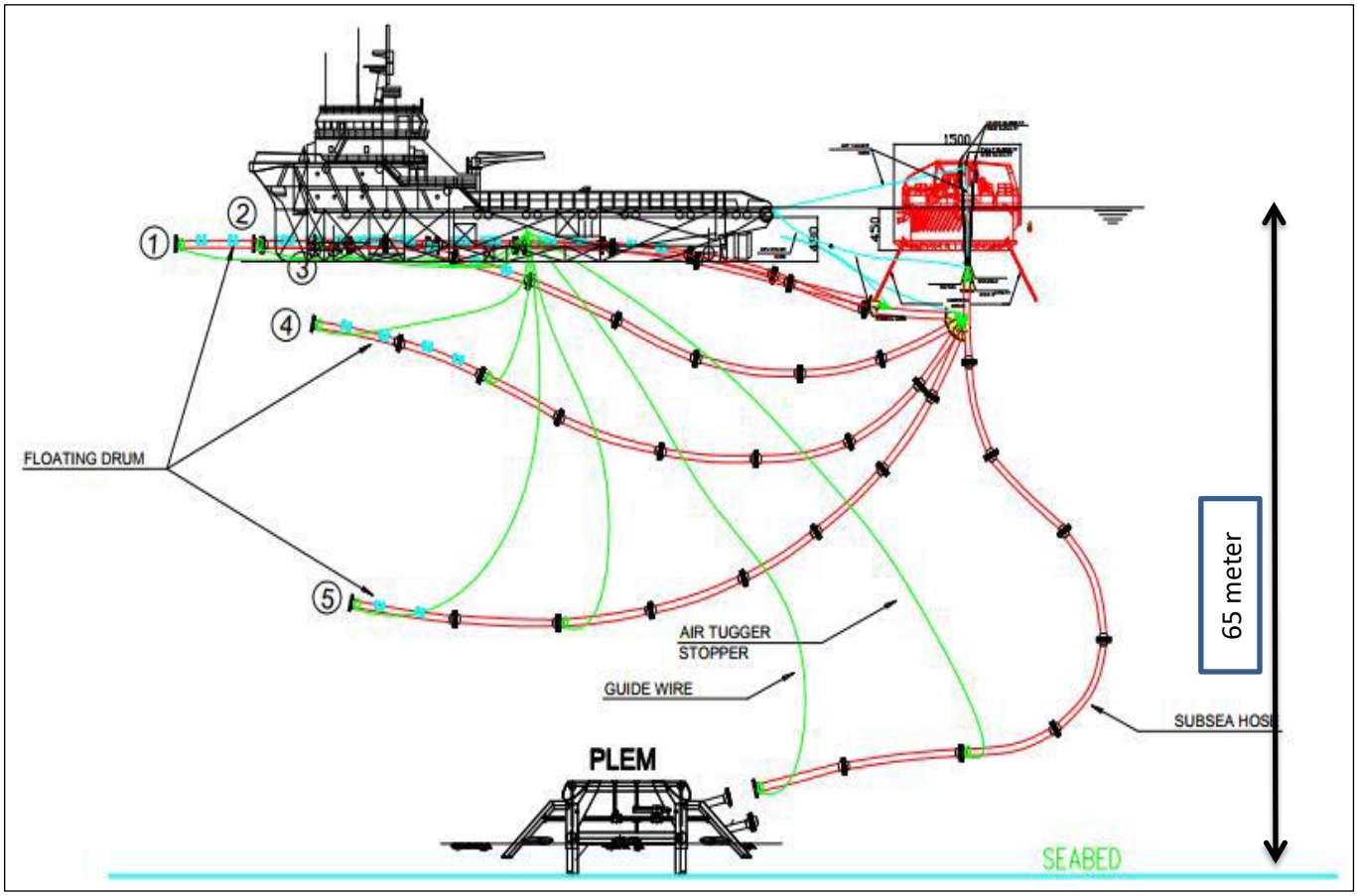
Setelah *subsea hose* sudah berada pada sisi *port vessel* DP 2, maka *subsea hose* telah siap untuk di turunkan ke dasar laut. Untuk proses menenggelamkan *subsea hose* di jelaskan memalui gambar IV.8

Tabel 4.8 identifikasi mode kegagalan Memotong *floatingdrum* dan menenggelamkan *subsea hose*

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
Memotong *floatingdrum* dan menenggelamkan *subsea hose*	Pekerja terluka oleh peralatan tajam	Pekerja cidera, *fatality*	Pekerja tidak menggunakan APD	Melakukan *briefing* penggunaan APD sebelum bekerja
	Pekerja terjatuh ke laut	Pekerja cidera, *fatality*	Pekerja berada di area yang berbahaya	Membuat penghalang pada area yang berbahaya

(Lanjutan) Tabel 4.8 identifikasi mode kegagalan Memotong *floatingdrum* dan menenggelamkan *subsea hose*

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
Memotong *floatingdrum* dan menenggelamkan *subsea hose*	*Subsea hose terpotong*	Kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi	*Subsea hose* terkena benda tajam untuk memotong *floating drum*	Membuat rencana pemotongan *floating drum* dengan benar
	Subsea hose terhanyut oleh arus	Kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi, *subsea hose* menghantam penyelam, penyelam cidera	Cuaca buruk	Update mengenai cuaca
	Wire winch putus	Kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi, *subsea hose* menghantam penyelam, penyelam cidera	*Wire winch* yang digunakan telah mencapai umurnya	Pengecekan ulang *wire winch* yang akan digunakan



Gambar 4.8 proses menenggelamkan *subsea hose* (sumber: PT Kangen Energy Indonesia)

4.3.9 Instalasi *subsea hose*

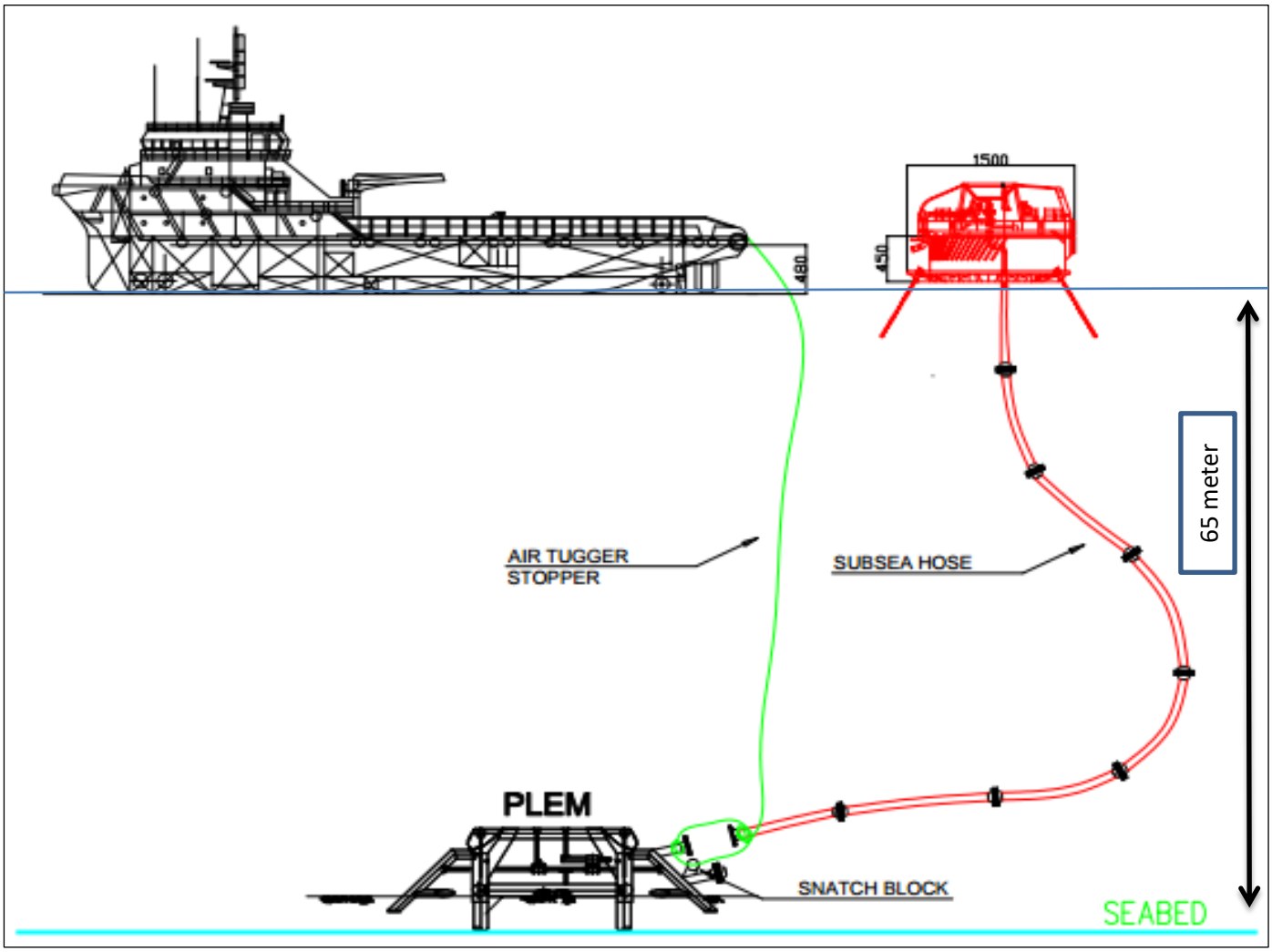
Diver di terjunkan untuk menyesuaikan sambungan antara *subsea hose* dengan *PLEM.* Dijelaskan pada gambar IV.9 dan IV.10

Tabel 4.9 identifikasi mode kegagalan instalasi *subsea hose*

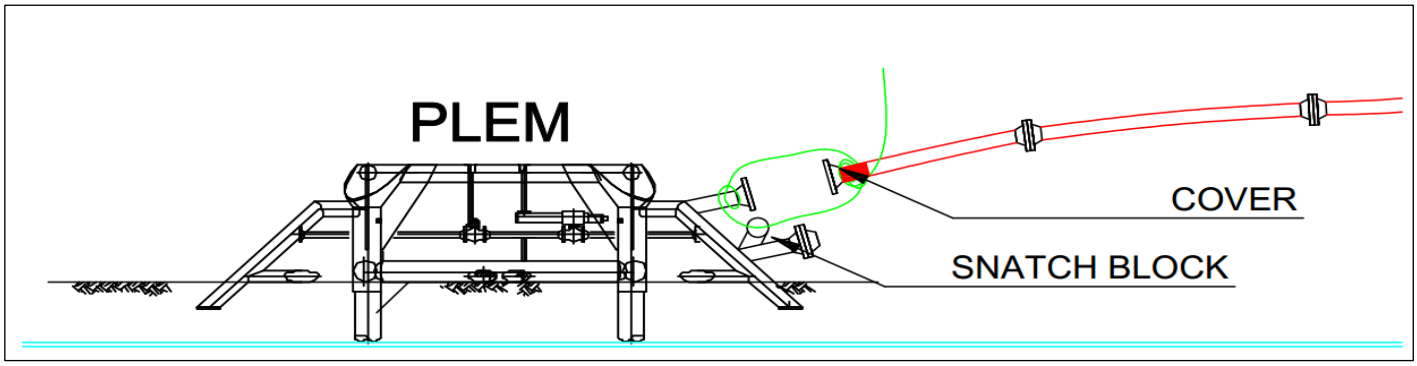
Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
instalasi *subsea hose*	Penyelam terhantam *subsea hose*	Penyelam cidera, *fatality*	*Wire winch* putus, penyelam tidak berada di posisi yang tepat	Pengecekan ulang *wire winch* yang akan digunakan, melakukan *briefing* pada penyelam
	Subsea hose menghantam *mooring chain*	Kerusakan pada *subsea hose* dan *mooring chain*, kerugian materi	*wire winch* putus	Pengecekan ulang *wire winch* yang akan digunakan

(Lanjutan) Tabel 4.9 identifikasi mode kegagalan instalasi *subsea hose*

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	*Potential cause of failure*	*Current control prevention*
instalasi *subsea hose*	Penyelam terjepit	Penyelam cidera, *fatality*	Penyelam berada di posisi yang tidak tepat	melakukan *briefing* pada penyelam sebelum bekerja
	Arus kuat	*Diver* kelelahan, *diver* terseret arus, *diver* cidera.	Cuaca buruk	Update mengenai cuaca



Gambar 4.9 instalasi *subsea hose* pada PLEM (sumber: PT Kangen Energy Indonesia)



Gambar 4.10 detail pembesaran gambar instalasi *subsea hose* pada PLEM (sumber: PT Kangen Energy Indonesia)

4.4 Analisa Risiko Menggunakan Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

Untuk melakukan analisa risiko menggunakan metode FMEA, maka harus di cari terlebih dahulu *severity*, *occurance*, dan *detection*. Untuk mencari *severity, occurance*, dan *detection* tersebut bisa di lakukan dengan mencari data *historis* mengenai kejadian/ kecelakaan kerja pada pekerjaan tersebut. Atau dapat dilakukan dengan menggunakan metode *expert judgement.*

Identifikasi para ahli mensyaratkan bahwa seseorang mengembangkan beberapa kriteria di mana keahlian dapat diukur. Umumnya, seorang ahli adalah orang yang "memiliki atau diduga memiliki pengetahuan yang unggul tentang data, model, dan aturan di area atau bidang tertentu". Daftar berikut berisi indikator untuk metode *expert judgment*:

- Penelitian di bidang yang telah teridentifikasi oleh publikasi dan hibah.
- Kutipan pekerjaan.
- Gelar, penghargaan, atau jenis pengakuan lainnya.
- Rekomendasi dan nominasi dari badan dan orang yang dihormati.
- Jabatan.
- Keanggotaan atau penunjukan untuk meninjau dewan, komisi, dll.

4.4.1 Penilaian tingkat keparahan (*severity)*

Merupakan penilaian risiko berdasarkan pada tingkat keparahan dari efek yang ditimbulkan mode kegagalan tersebut. Terdapat kriteria untuk narasumber sebagai acuan menilai tingkat keparahan suatu mode kegagalan.

Tabel 4.10 Acuan Penilaian Tingkat Keparahan

Rating	Kriteria
1	pengaruh buruk yang dapat diabaikan, tidak ada personil yang terluka, sistem masih berjalan
2	Kegagalan menghasilkan kerusakan sistem yang kecil tetapi tidak menyebabkan cidera pada personel, memungkinkan segala jenis paparan kepada para personil operasional atau mengizinkan pelepasan bahan kimia ke lingkungan.
3	Kegagalan menghasilkan paparan tingkat rendah terhadap personel, atau mengaktifkan sistem alarm fasilitas.
4	Kegagalan menghasilkan cedera ringan pada personel, paparan personil terhadap bahan kimia atau radiasi berbahaya, kebakaran atau pelepasan bahan kimia ke lingkungan.
5	Kegagalan menghasilkan cedera besar atau kematian personil

Hasil *severity* diperoleh berdasarkan penilaian kuisioner dari tiap responden. Hasil *severity* tersebut dihitung dengan rumus *severity index* dan dikategorikan berdasarkan skala *severity index*. Berikut adalah persamaan perhitungan *severity index* :

$$\boldsymbol{S.I = \frac{\sum_{i=1}^{5} x_i n_i}{5N}\, x\, 100\%}$$

dimana $\boldsymbol{x_i}$ merupakan rating pada setiap kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Sementara $\boldsymbol{n_i}$ merupakan jumlah hasil penilaian yang diberikan oleh responden dan $\boldsymbol{N}$ merupakan jumlah responden yang memberikan penilaian risiko. Berikut merupakan contoh perhitungan pada tahapan Mengatur posisi *vessel* DP 2 pada penggantian *PLEM* spool, dengan mode kegagalan Tabrakan antara *vessel* dengan *SPM*. Pada tahapan ini diperoleh 1 orang memilih tingkat keparahan 3, 3 orang memilih tingkat keparahan 4, 1 orang memilih tingkat keparahan 5. Maka *severity index* pada mode kegagalan Tabrakan antara *vessel* dengan *SPM* adalah 80%.

$$\boldsymbol{S.I = \frac{\sum_{i=1}^{5}(1x0) + (2x0) + (3x1) + (4x3) + (5x1)}{5x5}\, x\, 100\%}$$

$$\boldsymbol{= 80\%}$$

4.4.2 Penilaian tingkat kejadian (*occurence)*

Merupakan penilaian risiko berdasarkan pada tingkat kejadian dari mode kegagalan tersebut. Seberapa sering mode kegagalan tersebut kemungkinan akan terjadi.

4.4.2.1 Penilaian tingkat kejadian (*occurence)* menggunakan data kuisioner

Terdapat kriteria untuk narasumber sebagai acuan menilai tingkat kejadian suatu mode kegagalan.

Tabel 4.11 Acuan Penilaian Tingkat Kejadian

Rating	Kriteria
1	Jarang terjadi, hanya dapat terjadi pada keadaan tertentu
2	Kecil kemungkinan terjadi, mungkin terjadi sewaktu-waktu
3	Mungkin dapat terjadi, dapat terjadi sewaktu-waktu
4	Cenderung untuk terjadi, sangat mungkin terjadi pada semua keadaan
5	Hampir pasti akan terjadi, terjadi hampir pada semua keadaan

Hasil *occurence* diperoleh berdasarkan penilaian kuisioner dari tiap responden. Hasil *occurence* tersebut dihitung dengan rumus *occurence index* dan dikategorikan berdasarkan skala *occurence index.* Berikut adalah persamaan perhitungan *occurence index* :

$$\boldsymbol{O.I = \frac{\sum_{i=1}^{5} x_i n_i}{5N}\, x\, 100\%}$$

dimana $\boldsymbol{x_i}$ merupakan rating pada setiap kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Sementara $\boldsymbol{n_i}$ merupakan jumlah hasil penilaian yang diberikan oleh responden dan $\boldsymbol{N}$ merupakan jumlah responden yang memberikan penilaian risiko. Berikut merupakan contoh perhitungan pada tahapan Mengatur posisi *vessel* DP 2 pada penggantian *PLEM* spool, dengan mode kegagalan Tabrakan antara *vessel* dengan *SPM.* Pada tahapan ini diperoleh 2 orang memilih tingkat kejadian 1, 3 orang memilih tingkat kejadian 2,. Maka *occurence index* pada mode kegagalan Tabrakan antara *vessel* dengan *SPM* adalah 32%.

$$\boldsymbol{O.I = \frac{\sum_{i=1}^{5}(1x2) + (2x3) + (3x0) + (4x0) + (5x0)}{5x5}\, x\, 100\%}$$

$$\boldsymbol{= 32\%}$$

4.4.2.2 Penilaian tingkat kejadian (*occurence)* menggunakan *Historical Data Analysis*

Analisis data kecelakaan historis membentuk dasar dari banyak QRA (*Quantitative Risk Analysis*). Frekuensi merupakan perhitungan sederhana dengan menggabungkan pengalaman kecelakaan dan paparan populasi, biasanya diukur dalam hal instalasi-tahun:

$$\textit{Event frequency per installation year} = \frac{Number\ of\ events}{Number\ of\ installations\ x\ Years\ of\ exposure}$$

Setelah didapat hasil dari perhitungan menggunakan rumus di atas, maka untuk menentukan ranking *occurence* (tingkat kejadian) pada metode FMEA menggunakan acuan sebagai berikut:

Tabel 4.12 Acuan Penilaian Tingkat Kejadian pada *Historical Data Analysis*

Rating	Kriteria	
1	Jarang terjadi, hanya dapat terjadi pada keadaan tertentu	<0,001
2	Kecil kemungkinan terjadi, mungkin terjadi sewaktu-waktu	>0,001 but <0,01
3	Mungkin dapat terjadi, dapat terjadi sewaktu-waktu	>0,01 but <0,10
4	Cenderung untuk terjadi, sangat mungkin terjadi pada semua keadaan	>0,10 but <0,20
5	Hampir pasti akan terjadi, terjadi hampir pada semua keadaan	>0,20

CATATAN: Data kuantitatif harus digunakan jika tersedia.

Sebagai contoh:

0,001 = 1 kegagalan dalam 1.000 aktifitas atau 1 kegagalan dalam 1000 *hours*

0,01 = 1 kegagalan dalam 100 aktifitas atau 1 kegagalan dalam 1000 *hours*

0,10 = 1 kegagalan dalam 10 aktifitas atau 1 kegagalan dalam 1000 *hours*

Untuk perhitungan *historical data analysis* peneliti menggunakan pada seluruh kegiatan pada *diver* melakukan operasi di dasar laut dan pada *potential failure mode* kegagalan pada crane.

- **Kegiatan *diver* melakukan operasi di dasar laut**

untuk perhitungan frekuensi pada tahapan *Diver* melakukan operasi di dasar laut, peneliti menggunakan acuan data historis dari DAN (*Divers Alert Network*). Dari data yang didapat dari DAN pada tahun **2015** terdapat **11.558** panggilan masuk ke DAN. contoh perhitungan untuk menentukan *occurence* (skala kejadian/ frekuensi) pada tahapan *Diver* melakukan operasi di dasar laut :

Pada *potential failure mode* alat menyelam tidak berfungsi dengan baik (*diver helmet, scuba tank , chamber, diver communication radio,* dll). *Potential effect* yang ditimbulkan yaitu *Diver* panik, *diver* mengalami cidera, *fatality.* Disebabkan oleh tidak ada pengecekan ulang peralatan menyelam, peralatan menyelam tidak bersertifikasi. Data yang didapat dari DAN menunjukkan bahwa terdapat **67** kasus kecelakaan kerja yang disebabkan oleh peralatan, dan terdapat **67** kasus kecelakaan kerja yang disebabkan oleh peralatan yang tidak bersertifikasi. Perhitungan sebagai berikut:

$$\textit{Event frequency per installation year} = \frac{67+67}{11.558\ x\ 1}$$

= 0,0115 kecelakaan per tahun

Pada *potential failure mode* alat menyelam tidak berfungsi dengan baik memiliki fekuensi sebesar **0,0115**. Untuk menentukan ranking *occurence* (teingkat kejadian) pada metode FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*) menggunakan acuan tabel 4.12. Dengan demikian penggolongan rating kegiatan tersebut termasuk pada rating 3 (>0,01 but <0,10). Berikut adalah hasil perhitungan *Historical Data Analysis* pada tahapan *Diver* melakukan operasi di dasar laut :

Tabel 4.13 hasil perhitungan *Historical Data Analysis*

Kegiatan	**Mode Kegagalan**	***Historical Data Analysis* (Occurrence)**
Diver melakukan operasi di dasar laut	Alat menyelam tidak berfungsi dengan baik (*diver helmet, scuba tank , chamber, diver communication radio,* dll)	3
	Umbilical putus	1
	Hilang komunikasi antara penyelam dengan operator	1
	Arus kuat	1
	Diver mengalami *decompresi*	3

- **Kegagalan pada crane**

Untuk perhitungan frekuensi pada *potential failure mode* kegagalan pada crane peneliti menggunakan acuan data historis dari CPWR "*The Center of Contruction Research Training*". Dari data yang didapat dari CPWR terdapat total 323 kecelakaan kerja dan 307 diantaranya disebabkan oleh crane insiden yang diidentifikasi dari tahun **1992-2006**. Tercatat bahwa terdapat 22 kecelakaan kerja pada 1 tahun.

Maka perhitungan untuk *historical data analysis* pada *potential failure mode* kegagalan pada crane adalah sebagai berikut :

Terdapat 22 kecelakaan kerja dalam 1 tahun

1 tahun = 12 bulan = 360 hari = 8640 jam

$$\frac{22}{8640} = 0{,}0025$$

Pada *potential failure mode* kegagalan pada crane memiliki fekuensi sebesar **0,0025**. Untuk menentukan ranking *occurence* (tingkat kejadian) pada metode FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*) menggunakan acuan tabel 4.12. Dengan demikian penggolongan rating mode kegagalan tersebut termasuk pada rating 2 (>0,001 but <0,01).

- ***Vessel* menabrak SPM**

Untuk perhitungan frekuensi pada *potential failure mode vessel* menabrak SPM peneliti menggunakan acuan dari historis dari "*Marine Accident and Serious Incident Investigation*". Dari data yang didapat pada tahun 2012 tercatat total 1.509 kecelakaan kerja. Dari data tersebut terdapat 114 kasus yang disebabkan oleh *loss of control* pada *vessel.* Tercatat dari 114 kasus tersebut 2.3% adalah pada *work vessel*

Maka perhitungan untuk *historical data analysis* pada *potential failure mode vessel* menabrak SPM adalah sebagai berikut :

Event frequency per installation year = $\frac{2{,}622}{1509\ x\ 1}$

= 0,00173 kecelakaan per tahun

Pada *potential failure mode vessel* menabrak SPM memiliki fekuensi sebesar **0,00173**. Untuk menentukan ranking *occurence* (tingkat kejadian) pada metode FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*) menggunakan acuan tabel 4.12. Dengan demikian penggolongan rating mode kegagalan tersebut termasuk pada rating 2 (>0,001 but <0,01). Rating tersebut juga berlaku pada mode kegagalan kapal penarik

menabrak *vessel* dan kapal penarik menabrak SPM, karena memiliki sebab yang sama yaitu *loos of control* pada *vessel.*

4.4.3 Penilaian tingkat deteksi (*detection)*

Merupakan penilaian risiko berdasarkan pada tingkat deteksi dari mode kegagalan tersebut. Seberapa mudah mode kegagalan tersebut terdeteksi dan dapat dicegah sehingga mode kegagalan tak terjadi lagi. Terdapat kriteria untuk narasumber sebagai acuan menilai tingkat kejadian suatu mode kegagalan.

Tabel 4.14 Acuan Penilaian Tingkat Deteksi

Rating	Kriteria
1	Metode pencegahan sangat efektif. Tidak ada kesempatan penyebab mungkin muncul
2	Kemungkinan penyebab terjadi sangat rendah
3	Kemungkinan penyebab terjadi bersifat mederat. Metode pencegahan kadang memungkinkan penyebab itu terjadi
4	Kemungkinan penyebab terjadi masih tinggi. Metode pencegahan kurang efektif
5	Kemungkinan penyebab terjadi masih sangat tinggi. Metode pencegahan tidak efektif. Penyebab masih berulang kembali

Hasil *detection* diperoleh berdasarkan penilaian kuisioner dari tiap responden. Hasil *detection* tersebut dihitung dengan rumus *detection index* dan dikategorikan berdasarkan skala *detection index.* Berikut adalah persamaan perhitungan detection *index* :

$$\boldsymbol{D.I = \frac{\sum_{i=1}^{5} x_i n_i}{5N}\, x\, 100\%}$$

dimana $\boldsymbol{x_i}$ merupakan rating pada setiap kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Sementara $\boldsymbol{n_i}$ merupakan jumlah hasil penilaian yang diberikan oleh responden dan $\boldsymbol{N}$ merupakan jumlah responden yang memberikan penilaian risiko. Berikut merupakan contoh perhitungan pada tahapan Mengatur posisi *vessel* DP 2 pada penggantian *PLEM* spool, dengan mode kegagalan Tabrakan antara *vessel* dengan *SPM.* Pada tahapan ini diperoleh 2 orang memilih tingkat deteksi 1, 2 orang memilih tingkat deteksi 2, 1 orang memilih tingkat deteksi 3. Maka *detection index* pada mode kegagalan Tabrakan antara *vessel* dengan *SPM* adalah 36%.

$$\boldsymbol{O.I = \frac{\sum_{i=1}^{5}(1x2) + (2x2) + (3x1) + (4x0) + (5x0)}{5x5}\, x\, 100\%}$$

= 36%

4.4.4 Perhitungan RPN (*Risk Priority Number*)

RPN (*Risk Priority Number*) adalah ukuran yang digunakan ketika menilai mode kegagalan untuk membantu mengidentifikasi mode kegagalan paling dominan. Dari perhitungan RPN tersebut maka dapat di ketahui mode kegagalan mana yang yang harus di prioritaskan (paling dominan) untuk mendapatkan penanganan khusus untuk mengurangi dampak dari mode kegagalan tersebut. Perhitungan *Risk Priority Number* dilakukan berdasarkan rating index *Severity, Occurrence*, dan *Detection*. Hasil rating didapat dari penggolongan *Severity* index, *Occurrence* index, dan *detection* index yang di sesuaikan dengan acuan (Davis dan Cosenza,1988) pada tabel dibawah ini;

Tabel 4.15 Acuan tingkatan index

rating	Kelas	index
1	*Extremely Ineffective*	0% < S.I ≤ 20%
2	*Ineffective*	20% < S.I ≤ 40%
3	*Moderately Effective*	40% < S.I ≤ 60%
4	*Very Effective*	60% < S.I ≤ 80%
5	*Extremely Effective*	80% < S.I ≤ 100%

Sebagai contoh pada mode kegagalan Tabrakan antara *vessel* dengan *SPM* memiliki *severity* index 80%, dengan demikian penggolongan rank kegiatan tersebut termasuk pada rank 4 (60% < S.I ≤ 80%).

Sedangkan perhitungan RPN diperoleh dari hasil perkalian *rating* index *occurrence*, *severity*, dan *detection*. Perhitungan RPN dilakukan Dengan rumus :

RPN = S (*severity*) x O (*occurrence*) x D (*detection*)

Berikut merupakan contoh perhitungan pada tahapan Mengatur posisi *vessel* DP 2 pada penggantian *PLEM* spool, dengan mode kegagalan Tabrakan antara *vessel* dengan *SPM* :

RPN = S (*severity*) x O (*occurrence*) x D (*detection*)

= 4 x 2 x 2

= 16

Berikut merupakan hasil perhitungan risk priority number mode kegagalan pada pekerjaan *replacement of* PLEM spool dan Instalasi *subsea hose.*

Tabel 4.16 Risk Priority Number setiap Mode Kegagalan

Kegiatan	Mode Kegagalan	Risk Priority Number			RPN
		Severity	Occurrence	Detection	
Mengatur posisi *vessel* DP 2 pada penggantian *PLEM* spool	Tabrakan antara *vessel* dengan *SPM*	4	2	2	16
	Pergerakan *vessel* DP2 yang tidak terkendali	4	3	2	24
	Peralatan penyelam atau perlatan lain terjatuh ke laut	3	3	2	18
	Peralatan penyelam atau peralatan yang lain tidak terikat pada *vessel*	3	2	2	12
Diver melakukan operasi di dasar laut	Alat menyelam tidak berfungsi dengan baik (*diver helmet, scuba tank , chamber, diver communication radio,* dll)	4	3	2	24
	Umbilical putus	4	1	3	12
	Hilang komunikasi antara penyelam dengan operator	4	1	2	8
	Arus kuat	4	1	2	8
	Diver mengalami *decompresi*	5	3	3	45
Pelepasan spool lama	Alat (*hydraulic splitter)* tidak berfungsi dengan baik	3	3	2	18
	Penyelam cidera di karenakan peralatan (*hydraulic splitter)*	3	2	2	12
	Tanda pada PLEM tidak terlihat (tanda digunakan untuk pemasangan spool baru pada PLEM)	3	1	2	6
	Air laut masuk kedalam PLEM dan pipa bawah laut	3	2	2	12
	Penyelam terseret oleh arus	5	1	3	15
	Kondensat tumpah ke laut	4	3	3	36

(lanjutan)Tabel 4.16 Risk Priority Number setiap Mode Kegagalan

Kegiatan	Mode Kegagalan	Risk Priority Number			RPN
		Severity	Occurrence	Detection	
Penarikan spool lama	Benda jatuh ke laut	3	2	2	12
	Pekerja tertimpa benda yang jatuh	4	3	3	36
	Kegagalan pada crane	4	2	3	24
Penurunan spool baru	Benda jatuh ke laut	3	2	2	12
	Pekerja tertimpa benda yang jatuh	5	2	2	20
	Kegagalan pada crane	4	2	2	16
Instalasi spool baru	Alat (*hydraulic torque wrench*) tidak berfungsi dengan baik	2	2	2	8
	Penyelam cidera di karenakan peralatan	4	3	2	24
	Penyelam terseret oleh arus	5	1	2	10
Penarikan *subsea hose* ke tempat kerja	Tali pada *towing* putus	3	2	2	12
	kapal penarik menabrak SPM	4	2	2	16
	Bagian pada *subsea hose* terlepas	3	2	2	12
	Kapal penarik tenggelam	5	2	2	20
	Subsea hose tenggelam saat dibawa ke tempat kerja	3	2	2	12
Transfer *subsea hose* ke *vessel* DP 2	Kapal penarik menabrak *vessel DP2*	4	2	3	24
	Kapal penarik menabrak SPM	4	2	2	16
	Pergerakan kapal penarik tidak terkendali	3	2	2	12
	Subsea hose menghantam SPM	3	2	2	12
Memotong *floating drum* dan menenggelamkan *subsea hose*	Pekerja terluka oleh peralatan tajam	4	2	2	16
	Pekerja terjatuh ke laut	4	2	2	16
	Subsea hose terpotong	4	2	2	16
	Subsea hose terhanyut oleh arus	4	3	2	24
	Wire winch putus	4	2	2	16
instalasi *subsea hose*	Penyelam terhantam *subsea hose*	5	3	3	45
	Subsea hose menghantam *mooring chain*	4	3	3	36
	Penyelam terjepit	5	2	2	20
	Arus kuat	4	1	2	8

Dari hasil perhitungan FMEA terdapat beberapa mode kegagalan yang memiliki RPN paling besar. RPN paling besar menunjukkan mode kegagalan tersebut merupakan mode kegagalan yang paling dominan. Mode kegagalan tersebut adalah, kondensat tumpah ke laut (36), pekerja tertimpa benda yang jatuh (36), *subsea hose* menghantam *mooring chain* (36), *diver* mengalami *decompresi* (45), dan penyelam terhantam *subsea hose* (45). Sehingga diperlukan penaganan khusus untuk mengurangi dampak dari mode kegagalan tersebut.

4.5 Saran Pengendalian Risiko

Dari hasil perhitungan FMEA terdapat 5 mode kegagalan yang memiliki tingkat risiko yang paling dominan. Maka dari 5 mode kegagalan tersebut diperlukan pengendalian risiko untuk meminimalisir mode kegagalan terjadi atau mengurangi dampak dari mode kegagalan tersebut.

- **Kondensat tumpah ke laut**

  Pada mode kegagalan kondensat tumpah ke laut diperlukan pengendalian risiko untuk meminimalisir mode kegagalan ini terjadi atau mengurangi dampak dari mode kegagalan tersebut. Berikut merupakan saran untuk pengendalian risiko pada mode kegagalan kondensat tumpah ke laut: Pengecekan ulang PLEM dan *subsea hose* sebelum spool dilepas, membuat perencanaan untuk menanggulangi *oil-spill* seperti *oil booms*, *in-situ burning*, *skimmer*, bioremediasi, dll.

- **Pekerja tertimpa benda yang jatuh**

  Pada mode kegagalan pekerja tertimpa benda yang jatuh diperlukan pengendalian risiko untuk meminimalisir mode kegagalan ini terjadi atau mengurangi dampak dari mode kegagalan tersebut. Berikut merupakan saran untuk pengendalian risiko pada mode kegagalan pekerja tertimpa benda yang jatuh: Membuat tanda pada area yang berbahaya, setiap pekerja mengenakan APD lengkap, memastikan operasi *lifting* berjalan dengan baik, mempersiapkan perlengkapan P3K pada *vessel*.

- ***Subsea hose* menghantam *mooring chain***

  Pada mode kegagalan *subsea hose* menghantam *mooring chain* diperlukan pengendalian risiko untuk meminimalisir mode kegagalan ini terjadi atau mengurangi dampak dari mode kegagalan tersebut. Berikut merupakan saran untuk pengendalian risiko pada mode kegagalan

Subsea hose menghantam *mooring chain*: Pengecekan ulang *wire winch* yang akan digunakan untuk instalasi *subsea hose*, pengecekan arus saat operasi instalasi subsea hose.

- ***Diver* mengalami *decompresi***

  Pada mode kegagalan *diver* mengalami *decompresi* diperlukan pengendalian risiko untuk meminimalisir mode kegagalan ini terjadi atau mengurangi dampak dari mode kegagalan tersebut. Berikut merupakan saran untuk pengendalian risiko pada mode kegagalan *Diver* mengalami *decompresi*: Pengecekan ulang *diver chamber* untuk operasi penyelaman, menyiapkan *diver* cadangan yang harus selalu *stand-by* untuk keadaan darurat, memberikan pengawasan atau pelatihan simulasi untuk menyelematkan penyelam yang tidak sadarkan diri, persiapan untuk pemulihan darurat dan *surface decompression.*

- **Penyelam terhantam *subsea hose***

  Pada mode kegagalan penyelam terhantam *subsea hose* diperlukan pengendalian risiko untuk meminimalisir mode kegagalan ini terjadi atau mengurangi dampak dari mode kegagalan tersebut. Berikut merupakan saran untuk pengendalian risiko pada mode kegagalan penyelam terhantam *subsea hose:* Mempertahankan komunikasi aktif antara supervisor dengan penyelam, update tentang perkiraan cuaca, *briefing* penyelam sebelum melakukan operasi penyelaman, izin pada kapten kapal sebelum melakukan operasi penyelaman.

(Halaman ini sengaja di kosongkan.)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisa risiko, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil penelitian, teridentifikasi 44 variabel mode kegagalan yang mungkin terjadi pada pekerjaan *replacement of* PLEM spool dan instalasi *subsea hose to* PLEM spool dalam proyek *Condensate Export PLEM Leak & repair Plan*.
2. Dari hasil perhitungan FMEA terdapat beberapa mode kegagalan yang memiliki RPN paling besar. Mode kegagalan tersebut adalah: Kondensat tumpah ke laut sebesar 36; pekerja tertimpa benda yang jatuh sebesar 36; *subsea hose* menghantam *mooring chain* sebesar 36; *diver* mengalami *decompresi* sebesar 45; dan penyelam terhantam *subsea hose* sebesar 45.
3. Mode kegagalan yang paling dominan memerlukan pengendalian risiko untuk meminimalisir mode kegagalan terjadi atau mengurangi dampak dari mode kegagalan tersebut. Berikut saran pengendalian risiko:

    a) Kondensat tumpah ke laut

    Pengecekan ulang PLEM dan *subsea hose* sebelum spool dilepas, membuat perencanaan untuk menanggulangi *oil-spill* seperti *oil booms, in-situ burning, skimmer*, bioremediasi, dll.

    b) Pekerja tertimpa benda yang jatuh

    Membuat tanda pada area yang berbahaya, setiap pekerja mengenakan APD lengkap, memastikan operasi *lifting* berjalan dengan baik, mempersiapkan perlengkapan P3K pada *vessel*.

c) *Subsea hose* menghantam *mooring chain*

Pengecekan ulang *wire winch* yang akan digunakan untuk instalasi *subsea hose,* pengecekan arus saat operasi instalasi subsea hose.

d) *Diver* mengalami *decompresi*

Pengecekan ulang *diver chamber* untuk operasi penyelaman, menyiapkan *diver* cadangan yang harus selalu *stand-by* untuk keadaan darurat, memberikan pengawasan atau pelatihan simulasi untuk menyelematkan penyelam yang tidak sadarkan diri, persiapan untuk pemulihan darurat dan *surface decompression.*

e) Penyelam terhantam *subsea hose*

Mempertahankan komunikasi aktif antara supervisor dengan penyelam, update tentang perkiraan cuaca, *briefing* penyelam sebelum melakukan operasi penyelaman, izin pada kapten kapal sebelum melakukan operasi penyelaman.

5.1 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, pembahasan, dan kesimpulan maka penulis ingin mengemukakan saran dan bahan pertimbangan untuk penelitian-penelitian yang akan datan, sebagai berikut :

1. Untuk mencari *severity*, *occurence,* dan *detection* tidak hanya menggunakan kuisioner dan wawancara, tetapi sebaiknya memperbanyak mencari studi literatur atau data historis dari mode kegagalan yang terkait agar lebih baik dan lebih valid.
2. Untuk metode FMEA setelah menemukan mode kegagalan yang paling dominan dan telah diberikan pengendalian risiko, lebih baik di kembalikan lagi kepada responden untuk melihat hasil pengendalian risiko sudah efektif dan mode kegagalan tersebut sudah dapat diterima.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Bahar, J.F. and Crandall, K.C. 1990. *Systematic Risk Management Approach for Construction Projects*. Journal of Construction Engineering and Management, 116 (3), 533-546.

Al-Hammad, I. 2003. *Criteria For Selecting Contruction Labour Market in Saudi Arabia*. Faculty of Civil Engineering, King Saud University. Saudi Arabia.

Andiyanto, S. Sutrisno, A. dan Punuhsingon, C. 2016. *Penerapan Metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) Untuk Kuatifikasi dan Pencegahan Risiko Akibat Terjadinya Lean Waste*. Jurnal Online Poros Teknik Mesin, Vol. 6, No.1. Universitas Sam Ratulangi.

Bai, Q. Dan Bai, Y. 2014. *Subsea Pipeline Design, Analysis, and Installation.* Butterworth-Heineman, New York.

Bai, Y. dan Jin, W. 2016. *Marine Structural Design Second Edition.* Butterworth-Heineman, New York.

Barends, D. M. Oldenhof, M. T. & Nauta, M. J. 2012. *Risk Analysis of Analytical Validations by Probabilistic Modification of FMEA*. Pharmaceutical and Biomedical Analysis, Vol.64-65, hal.82-86.

Carlson, C. S. 2012. *Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis, First Edition.* John Wiley & Sons, Inc, New York.

Darmawi, H. 2008. *Manajemen Risiko*. Bumi Aksara, Jakarta.

DNV. 2002. *Marine Risk Assessment.* HSE books, London.

DNV-RP-F107. 2010. *Risk Assessment of Pipeline Protection.* Det Norske Veritas, London.

Goodyear. 1998. *Offshore Hose Line*. Goodyear Catalogue, Brazil.

Guidlines for Offshore Marine Operation. 2013. Revision: 0611-1401, London.

Hanafi, M. 2006. *Manajemen Risiko Operasional.* Pendidikan dan Pembinaan Manajemen, Jakarta.

Helmidadang. 2012. *Single Point Mooring.* Available at: https://helmidadang.wordpress.com/2012/12/29/single-point-mooring/

Hora, S. C. 2009. *Expert Judgement in Risk Analysis.* Non-published Research Reports, Paper 120.

HSE. 2002. *Hazard Assessment of Well Operation From Vessesl.* HSE Books, Norwich.

Hyatt, N. 2003. *Guidlines for Process Hazards Analysis, Hazards Identification & Risk Analysis.* CRC Press, Canada.

Kang, J. Sun, L. Sun, H. dan Wu, C. *Risk assessment of floating offshore wind turbine based on correlation-FMEA. International Journal of Ocean Engineering*, Vol. 129, 382-388.

Liberatore, T. C. 1998. *Risk Analysis and Management of Diving Operations: Assessing Human Factors.* Ocean Engineering Program University of California.

Loosemore, M. Raftery, J. Reilly, C. dan Higgon, D. 2006. *Risk Management in Projects.* Taylor & Francis Group, New York.

McDermott, R. E. Mikulak, R. J. dan Beauregard, M. R. 2009. *The Basics of FMEA Second Edition.* Taylor and Francis Group, New York.

Muzakkir, S. M. Lijesh, K. P. dan Hirani, H. 2015. *Failure Mode and Effect Analysis of Journal Bearing.* International Journal of Applied Engineering Research ISSN, Vol. 10, No. 16.

Neal, A. Griffin, M. A. (2002). *Safety Climate and Safety Behavior*. Journal of Management, Vol. 27, Australian

Pasabiru, H. P. Setiawan, H. dan Ervianto W. I. 2018. Metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) Untuk Mengidentifikasi Potensi dan Penyebab Kecelakaan Kerja Pada Proyek Gedung.* Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.

Ramli, S. 2010. *Pedoman Praktis MANAJEMEN RISIKO dalam Perspektif K3 OHS Risk Management*. PT. Dian Rakyat, Jakarta.

Sinaga, Y. Y. Bintang, C. dan Adi T. W. 2014. *Identifikasi dan Analisa Risiko Kecelakaan Kerja Dengan Metode FMEA (Failure Mode And Effect Analysis) dan FTA (Fault Tree Analysis) Di Proyek Jalan Tol Surabaya – Mojokerto*. Jurnal Teknik POMITS, Vol.1, No.1. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Speer, I. 2004. *Assessment and Management of Hazards Involving Hoses on Drill Rigs and Compressors*. The Australian Drilling Industry Association, Australian.

Thompson Rivers University. 2014. *Crane Safety Procedures*. OH&S 18.27.1.

Vaughan, E. J. 1978. *Fundamentals of Risk and Insurance Second Edition*. Aptara Corp, New York.

Villacourt, M. 1992. *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide For Continuous Improvement For The Semiconductor Equipment Industry*. International SEMATECH, London.

KUESIONER PENELITIAN TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir :

ANALISA RISIKO *REPLACEMENT OF PLEM SPOOL* & INSTALASI *SUBSEA HOSE* PADA SPM YANG BERADA DI PAGERUNGAN

Ditujukan Kepada:

PT Kangean Energy Indonesia

Disusun Oleh :

Taufiq Iqbal Tito I
4314100145

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

PENDAHULUAN

Analisa risiko merupakan hal yang sangat penting dalam setiap pelaksanaan kegiatan kerja, terutama dalam sektor pengerjaan proyek bangunan lepas pantai karena dalam pelaksanaannya sangat rentan terhadap risiko yang dapat menyebabkan kegagalan pada proyek. Sehingga sangat diperlukan adanya suatu penanganan, agar dapat meminimalisir terjadinya kegagalan pada proyek yang sedang dilakukan. Maka pada penelitian tugas akhir ini saya akan meneliti mengenai kemungkinan risiko-risiko kegagalan pada proyek yang dominan dapat terjadi pada proyek *Condensate Export PLEM Leak & Repair Plan*.

TUJUAN KUESIONER

Kuesioner ini bertujuan untuk memperoleh data tingkat kejadian (*occurence*), tingkat keparahan (*severity*), dan tingkat deteksi (*detection*). Sehingga hasil variabel tersebut dapat menjadi acuan dalam penentuan tingkat risiko kemungkinan kegagalan pada Proyek ini.

RESPONDEN

Kuesioner ini ditujukan kepada pihak yang berhubungan langsung dengan proyek *Condensate Export PLEM Leak & Repair Plan.*

KERAHASIAAN INFORMASI

Data responden dan informasi yang diberikan dalam kuesioner ini dijamin kerahasiaannya dan hanya dipakai untuk keperluan penelitian Tugas Akhir. Sehingga diharapkan kepada para responden untuk dapat mengisi kuesioner ini dengan objektif dan sejujur- jujurnya.

Saya menyampaikan terima kasih atas ketersediaan Bapak/Ibu sebagai responden untuk mengisi kuesioner ini. Saya sebagai peneliti berharap Bapak/

Ibu tidak keberatan untuk dihubungi kembali apabila terdapat kekeliruan dalam pengisian kuesioner ataupun apabila peneliti membutuhkan data dan keterangan tambahan sehubungan dengan penelitian ini.

PROFIL RESPONDEN

1	Nama	:
2	Alamat	:
3	No. Telp.	:
4	Jabatan	:
5	Pendidikan Terakhir	:
6	Lama Bekerja	:
7	Pengalaman Proyek	:

PETUNJUK PENGISIAN KUESIONER

- Dalam pengisian kuisioner ini para responden diharapkan untuk memilih pilihan yang ada. Pilihlah pernyataan dengan memberi tanda check (√) pada kolom yang telah tersedia.
- Apabila terdapat variabel yang tidak tercantum dalam daftar, maka diharapkan responden dapat mengisi di kolom kosong yang telah disediakan di bawah poin terakhir.
- Berikut adalah beberapa pengertian/penjelasan untuk memudahkan para responden dalam mengisi kuesioner berikut:
    a) Mode kegagalan (*failure mode*) : Jenis kegagalan/kecelakaan yang terjadi dalam tiap kejadian
    b) Efek dari kegagalan (*failure effect*) : Dampak/efek yang ditimbulkan akibat terjadinya kegagalan/kecelakaan
    c) Penyebab kegagalan (*failure case*) : Penyebab terjadinya kegagalan/kecelakaan dalam suatu kejadian

Keterangan skala untuk Tingkat Keparahan (*saverity*)

Rating	uraian	Kriteria
1	Sangat kecil	pengaruh buruk yang dapat diabaikan, tidak ada personil yang terluka, sistem masih berjalan
2	kecil	Kegagalan menghasilkan kerusakan sistem yang kecil tetapi tidak menyebabkan cidera pada personel, pelepasan bahan kimia ke lingkungan masih diizinkan.
3	Sedang	Kegagalan menghasilkan paparan tingkat rendah terhadap personel, atau mengaktifkan sistem alarm fasilitas.
4	Parah	Kegagalan menghasilkan cedera ringan pada personel, paparan personil terhadap bahan kimia atau radiasi berbahaya, kebakaran atau pelepasan bahan kimia ke lingkungan.
5	Sangat parah	Kegagalan menghasilkan cedera besar atau kematian personil

Keterangan skala untuk Tingkat kejadian (*occurance*)

Rating	Uraian	Kriteria
1	Jarang terjadi	Jarang terjadi, hanya dapat terjadi pada keadaan tertentu
2	Terkadang	Kecil kemungkinan terjadi, mungkin terjadi sewaktu-waktu
3	Dapat terjadi	Mungkin dapat terjadi, dapat terjadi sewaktu-waktu
4	Sering terjadi	Cenderung untuk terjadi, sangat mungkin terjadi pada semua keadaan
5	Hampir pasti terjadi	Hampir pasti akan terjadi, terjadi hampir pada semua keadaan

Keterangan skala Tingkat deteksi (*detection*)

Rating	Uraian	Kriteria
1	Sangat mudah	Metode pencegahan sangat efektif. Tidak ada kesempatan penyebab mungkin muncul
2	Mudah	Kemungkinan penyebab terjadi sangat rendah
3	Sedang	Kemungkinan penyebab terjadi bersifat mederat. Metode pencegahan kadang memungkinkan penyebab itu terjadi
4	Sulit	Kemungkinan penyebab terjadi masih tinggi. Metode pencegahan kurang efektif
5	Sangat sulit	Kemungkinan penyebab terjadi masih sangat tinggi. Metode pencegahan tidak efektif. Penyebab masih berulang kembali

Tabel FMEA (*Failure Mode & Effect Analysis*) Penilaian *Risk Priority Number*

Proyek Condensate Export PLEM Leak & Repair Plan.

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	Skala keparahan (*saverity*)					*Potential cause of failure*	Skala kejadian (*occurence*)					*Current control prevention*	Sekala deteksi (*detection*)				
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Mengatur posisi *vessel* DP 2 pada penggantian *PLEM* spool	Tabrakan antara *vessel* dengan *SPM*	Kerusakan pada *vessel* atau SPM, kerugian materi, pekerja cidera (*fatality*).						*Vessel run-off*						Menggunakan pola pemosisian yang terupdate yang menunjukkan semua fasilitas yang ada					
	Pergerakan *vessel* DP2 yang tidak terkendali	Benda pada deck bergerak tak beraturan, air masuk pada deck, kerusakan pada peralatan						Gelombang tinggi						Update mengenai perkiraan cuaca					
	Peralatan penyelam atau perlatan lain terjatuh ke laut	Peralatan hilang di laut, kerugian materi.						Penempatan peralatan yang tidak strategis						Membuat perencanaan tentang tata letak peralatan					
	Peralatan penyelam atau peralatan yang lain tidak terikat pada *vessel*	Kerusakan pada peralatan, pekerja terjepit (fatality).						Tidak ada pengecekan ulang, pekerja berada di area yang tidak aman				`		Pengecekan ulang peralatan sebelum berangkat menuju tempat kerja					

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	Skala keparahan (*saverity*)					*Potential cause of failure*	Skala kejadian (*occurence*)					*Current control prevention*	Sekala deteksi (*detection*)				
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Diver melakukan operasi di dasar laut	Alat menyelam tidak berfungsi dengan baik (*diver helmet*, *scuba tank* , *chamber, diver communication radio*, dll)	*Diver* panik, *diver* mengalami cidera, *fatality*.						Tidak ada pengecekan ulang peralatan menyelam, peralatan menyelam tidak bersertifikasi						Pengecekan ulang peralatan sebelum ke tempat kerja, pengecekan sertifikasi					
	Umbilical putus	*Diver* mengalami cidera, *fatality*, kerusakan pada peralatan						Umbilical tersangkut oleh *subsea hose, mooring chain, marine growth*, dll						Memantau penggunaan umbilical saat menyelam dan rute umbilical					
	Hilang komunikasi antara penyelam dengan operator	*Diver* mengalami kepanikan dan diorientasi.						Alat komunikasi anatara penyelam dan operator tak berfungsi dengan baik						Pengecekan ulang alat komunikasi sebelum menyelam					
	Arus kuat	*Diver* kelelahan, *diver* terseret arus, *diver* cidera.						Cuaca buruk						Update info tentang cuaca					
	Diver mengalami *decompresi*	*Diver* mengalami kecacatan fisik, *fatality*.						*Chamber* tidak berfungsi dengan baik						Pengeceakan ulang *chamber* sebelum di terjunkan ke laut					

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	Skala keparahan (*saverity*)					*Potential cause of failure*	Skala kejadian (*occurence*)					*Current control prevention*	Sekala deteksi (*detection*)				
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Pelepasan spool lama	Alat (*hydraulic splitter)* tidak berfungsi dengan baik	Waktu terbuang, kerusakan pada material.						Tidak ada pengecekan ulang alat yang digunakan						Melakukan pengecekan ulang alat yang akan digunakan					
	Penyelam cidera di karenakan peralatan (*hydraulic splitter)*	Penyelam cidera, *fatality*.						Penyelam tidak tahu cara untuk menggunakan alat						Melakukan *briefing* sebelum menyelam					
	Tanda pada PLEM tidak terlihat (tanda digunakan untuk pemasangan spool baru pada PLEM)	Spool tidak dapat terpasang pada PLEM, waktu terbuang.						Penyelam membuat tanda terlalu tipis						Pengecekan ulang tanda yang telah dibuat					
	Air laut masuk kedalam PLEM dan pipa bawah laut	Kerusakan pada PLEM dan pipa.						Tidak ada rencana untuk menutup sementara PLEM saat spool diganti						Membuat rencana sebelum spool dilepas dari PLEM					
	Penyelam terseret oleh arus	Penyelam cidera, *fatality*.						Arus kuat, cuaca buruk						Update mengenai cuaca					
	Kondensat tumpah ke laut	Kerusakan pada lingkungan laut.						Masih terdapat sisa kondensat pada PLEM atau *subsea hose*						Pengecekan ulang PLEM dan *subsea hose* sebelum spool dilepas					

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	Skala keparahan (*saverity*)					*Potential cause of failure*	Skala kejadian (*occurence*)					*Current control prevention*	Sekala deteksi (*detection*)				
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Penarikan spool lama	Benda jatuh ke laut	Kerugian materi						Penempatan peralatan yang tidak strategis						Membuat perencanaan tentang tata letak peralatan					
	Pekerja tertimpa benda yang jatuh	Pekerja cidera, *fatality*						Pekerja berada di area yang berbahaya						Membuat tanda pada area yang berbahaya					
	Benda (spool) tidak terkait dengan baik pada tali crane	Kerusakan pada peralatan, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*.						Peralatan untuk mengkaitkan benda tidak memadai						Pengecekan ulang peralatan yang akan digunakan					
	Tali crane putus	Kerusakan pada peralatan, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*.						Tali crane yang digunakan telah mencapai umurnya						Pengecekan ulang crane yang akan digunakan					
Penurunan spool baru	Benda jatuh ke laut	Kerugian materi						Penempatan peralatan yang tidak strategis						Membuat perencanaan tentang tata letak peralatan					
	Pekerja tertimpa benda yang jatuh	Pekerja cidera, *fatality*						Pekerja berada di area yang berbahaya						Membuat tanda pada area yang berbahaya					
	Benda (spool) tidak terkait dengan baik pada tali crane	Kerusakan pada peralatan, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*.						Peralatan untuk mengkaitkan benda tidak memadai						Pengecekan ulang peralatan yang akan digunakan					

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	Skala keparahan (*saverity*)					*Potential cause of failure*	Skala kejadian (*occurence*)					*Current control prevention*	Sekala deteksi (*detection*)				
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Penurunan spool baru	Tali crane putus	Kerusakan pada peralatan, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*.						Tali crane yang digunakan telah mencapai umurnya						Pengecekan ulang crane yang akan digunakan					
Instalasi spool baru	Alat (*hydraulic torque wrench*) tidak berfungsi dengan baik	Waktu terbuang, kerusakan pada material.						Tidak ada pengecekan ulang alat yang digunakan						Melakukan pengecekan ulang alat yang akan digunakan					
	Penyelam cidera di karenakan peralatan	Penyelam cidera, *fatality.*						Penyelam tidak tahu cara untuk menggunakan alat						Melakukan *briefing* sebelum menyelam					
	Penyelam terseret oleh arus	Penyelam cidera, *fatality*.						Arus kuat, cuaca buruk						Update mengenai cuaca					
Penarikan *subsea hose* ke tempat kerja	Tali pada *towing* putus	Kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi						Kapal penarik terlalu cepat, tali pada towing yang digunakan tidak tepat						Membuat batas kecepatan pada kapal penarik, pengecekan ulang tali pada towing yang digunakan					
	kapal penarik menabrak SPM	Kerusakan pada kapal penarik atau SPM, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*						Kapal penarik *run-off*						Terdapat pekerja yang *standby* untuk memberikan aba-aba pada kapal penarik					

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	Skala keparahan (*saverity*)					*Potential cause of failure*	Skala kejadian (*occurence*)					*Current control prevention*	Sekala deteksi (*detection*)				
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Penarikan *subsea hose* ke tempat kerja	Bagian pada *subsea hose* terlepas	Kerugian materi						Bagian-bagian *subsea hose* tidak terpasang dengan baik						Pengecekan ulang *subsea hose* sebelum dibawa ke tempat kerja					
	Kapal penarik tenggelam	Pekerja cidera, kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi, *fatality*						Gelombang tinggi, cuaca buruk						Update mengenai cuaca					
	Subsea hose tenggelam saat dibawa ke tempat kerja	*Subsea hose* menabarak coral, kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi						*Floating drum* pada *subsea hose* bocor						Pengecekan ulang *floating drum*					
Transfer *subsea hose* ke *vessel* DP 2	Kapal penarik menabrak *vessel DP2*	Kerusakan pada kapal penarik dan *vessel* DP 2, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*						Kapal penarik *run-off*						Terdapat pekerja yang *standby* untuk memberikan aba-aba pada kapal penarik					
	Kapal penarik menabrak SPM	Kerusakan pada kapal penarik dan SPM, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*						Kapal penarik *run-off*						Terdapat pekerja yang *standby* untuk memberikan aba-aba pada kapal penarik					

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	Skala keparahan (*saverity*)					*Potential cause of failure*	Skala kejadian (*occurence*)					*Current control prevention*	Sekala deteksi (*detection*)				
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Transfer *subsea hose* ke *vessel* DP 2	Pergerakan kapal penarik tidak terkendali	Transfer *subsea hose* mengalami kendala, kerusakan pada *subsea hose*						Gelombang tinggi						Update mengenai cuaca					
	Subsea hose menghantam SPM	Kerusakan pada *subsea hose* dan SPM, kerugian materi						*Wire winch* putus						Pengecekan ulang *wire winch* yang digunakan					
Memotong *floatingdrum* dan menenggelamkan *subsea hose*	Pekerja terluka oleh peralatan tajam	Pekerja cidera, *fatality*						Pekerja tidak menggunakan APD						Melakukan *briefing* penggunaan APD sebelum bekerja					
	Pekerja terjatuh ke laut	Pekerja cidera, *fatality*						Pekerja berada di area yang berbahaya						Membuat penghalang pada area yang berbahaya					
	Subsea hose terpotong	Kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi						*Subsea hose* terkena benda tajam untuk memotong *floating drum*						Membuat rencana pemotongan *floating drum* dengan benar					

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	Skala keparahan (*saverity*)					*Potential cause of failure*	Skala kejadian (*occurence*)					*Current control prevention*	Sekala deteksi (*detection*)				
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Memotong *floatingdrum* dan menenggelamkan *subsea hose*	*Subsea hose* terhanyut oleh arus	Kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi, *subsea hose* menghantam penyelam, penyelam cidera						Cuaca buruk						Update mengenai cuaca					
	Wire winch putus	Kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi, *subsea hose* menghantam penyelam, penyelam cidera						*Wire winch* yang digunakan telah mencapai umurnya						Pengecekan ulang *wire winch* yang akan digunakan					
instalasi *subsea hose*	Penyelam terhantam *subsea hose*	Penyelam cidera, *fatality*						*Wire winch* putus, penyelam tidak berada di posisi yang tepat						Pengecekan ulang *wire winch* yang akan digunakan, melakukan *briefing* pada penyelam					
	Subsea hose menghantam *mooring chain*	Kerusakan pada *subsea hose* dan *mooring chain*, kerugian materi						*wire winch* putus						Pengecekan ulang *wire winch* yang akan digunakan					

Tahapan pekerjaan	*Potential failure mode*	*Potential effect of failure*	Skala keparahan (*saverity*)					*Potential cause of failure*	Skala kejadian (*occurence*)					*Current control prevention*	Sekala deteksi (*detection*)				
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
instalasi *subsea hose*	Penyelam terjepit	Penyelam cidera, *fatality*						Penyelam berada di posisi yang tidak tepat						melakukan *briefing* pada penyelam sebelum bekerja					
	Arus kuat	*Diver* kelelahan, *diver* terseret arus, *diver* cidera.						Cuaca buruk						Update mengenai cuaca					

Tahapan Pekerjaan	Potential Failure Mode	Failure Effect (Kecelakaan Kerja)	Severity (Tingkat Keparahan)					S.I	Rating	Failure Causes (Penyebab)	Occurence (Tingkat Kejadian)					O.I	Rating	Current Control (Kontrol saat Ini)	Detection (Tingkat Detection)					D.I	Rating	RPN
			1	2	3	4	5				1	2	3	4	5				1	2	3	4	5			
Mengatur posisi vessel DP 2 pada penggantian PLEM spool	Tabrakan antara vessel dengan SPM	Kerusakan pada vessel atau SPM, kerugian materi, pekerja cidera (fatality).			1	3	1	0,8	4	Vessel run-off	2	3				0,32	2	Menggunakan pola pemosisian yang terupdate yang menunjukkan semua fasilitas yang ada	2	2	1			0,36	2	16
	Pergerakan vessel DP2 yang tidak terkendali	Benda pada deck bergerak tak beraturan, air masuk pada deck, kerusakan pada peralatan			1	4		0,76	4	Gelombang tinggi		3	2			0,48	3	Update mengenai perkiraan cuaca	2	3				0,32	2	24
	Peralatan penyelam atau perlatan lain terjatuh ke laut	Peralatan hilang di laut, kerugian materi.		1	3	1		0,6	3	Penempatan peralatan yang tidak strategis		4	1			0,44	3	Membuat perencanaan tentang tata letak peralatan	1	3	1			0,4	2	18
	Peralatan penyelam atau peralatan yang lain tidak terikat pada vessel	Kerusakan pada peralatan, pekerja terjepit (fatality).		2	2	1		0,56	3	Tidak ada pengecekan ulang, pekerja berada di area yang tidak aman	2	3				0,32	2	Pengecekan ulang peralatan sebelum berangkat menuju tempat kerja	4	1				0,24	2	12
Diver melakukan operasi di dasar laut	Alat menyelam tidak berfungsi dengan baik (diver helmet, scuba tank , chamber, diver communication radio, dll)	Diver panik, diver mengalami cidera, fatality.			1	3	1	0,8	4	Tidak ada pengecekan ulang peralatan menyelam, peralatan menyelam tidak bersertifikasi		1				0,08	2	Pengecekan ulang peralatan sebelum ke tempat kerja, pengecekan sertifikasi	1	3	1			0,4	2	16
	Umbilical putus	Diver mengalami cidera, fatality, kerusakan pada peralatan		1	1	3		0,68	4	Umbilical tersangkut oleh subsea hose, mooring chain, marine growth, dll			1			0,12	1	Memantau penggunaan umbilical saat menyelam dan rute umbilical	1	1	3			0,48	3	12
	Hilang komunikasi antara penyelam dengan operator	Diver mengalami kepanikan dan diorientasi.		1	2	2		0,64	4	Alat komunikasi anatara penyelam dan operator tak berfungsi dengan baik		1				0,08	1	Pengecekan ulang alat komunikasi sebelum menyelam	2	2	1			0,36	2	8
	Arus kuat	Diver kelelahan, diver terseret arus, diver cidera.			1	4		0,76	4	Cuaca buruk			1			0,12	1	Update info tentang cuaca	1	3	1			0,4	2	8
	Diver mengalami decompresi	Diver mengalami kecacatan fisik, fatality.			1	1	3	0,88	5	Chamber tidak berfungsi dengan baik		1				0,08	3	Pengeceakan ulang chamber sebelum di terjunkan ke laut	1	2	2			0,44	3	45
Pelepasan spool lama	*Alat (hydraulic splitter) tidak berfungsi dengan baik*	Waktu terbuang, kerusakan pada material.		2	3			0,52	3	Tidak ada pengecekan ulang alat yang digunakan		2	2	1		0,56	3	Melakukan pengecekan ulang alat yang akan digunakan		5				0,4	2	18
	Penyelam cidera di karenakan peralatan (hydraulic splitter)	Penyelam cidera, fatality.		1	4			0,56	3	Penyelam tidak tahu cara untuk menggunakan alat	1	4				0,36	2	Melakukan briefing sebelum menyelam	1	3	1			0,4	2	12
	Tanda pada PLEM tidak terlihat (tanda digunakan untuk pemasangan spool baru pada PLEM)	Spool tidak dapat terpasang pada PLEM, waktu terbuang.	1	1	3			0,48	3	Penyelam membuat tanda terlalu tipis	5					0,2	1	Pengecekan ulang tanda yang telah dibuat	2	3				0,32	2	6
	Air laut masuk kedalam PLEM dan pipa bawah laut	Kerusakan pada PLEM dan pipa.		1	3	1		0,6	3	Tidak ada rencana untuk menutup sementara PLEM saat spool diganti	2	3				0,32	2	Membuat rencana sebelum spool dilepas dari PLEM	1	4				0,36	2	12
	Penyelam terseret oleh arus	Penyelam cidera, fatality.			1	2	2	0,84	5	Arus kuat, cuaca buruk				1		0,16	1	Update mengenai cuaca	1	2	2			0,44	3	15
	Kondensat tumpah ke laut	Kerusakan pada lingkungan laut.			2	3		0,72	4	Masih terdapat sisa kondensat pada PLEM atau subsea hose		1	4			0,56	3	Pengecekan ulang PLEM dan subsea hose sebelum spool dilepas		4	1			0,44	3	36
Penarikan spool lama	Benda jatuh ke laut	Kerugian materi		2	2	1		0,56	3	Penempatan peralatan yang tidak strategis		5				0,4	2	Membuat perencanaan tentang tata letak peralatan	1	3	1			0,4	2	12
	Pekerja tertimpa benda yang jatuh	Pekerja cidera, *fatality*			2	3		0,72	4	Pekerja berada di area yang berbahaya	1	1	3			0,48	3	Membuat tanda pada area yang berbahaya	1	2	2			0,44	3	36
	Benda (spool) tidak terkait dengan baik pada tali crane	Kerusakan pada peralatan, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*.		1	1	3		0,68	4	Peralatan untuk mengkaitkan benda tidak memadai	1	4				0,36	2	Pengecekan ulang peralatan yang akan digunakan	2	3				0,32	2	16
	Tali crane putus	Kerusakan pada peralatan, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*.			1	3	1	0,8	4	Tali crane yang digunakan telah mencapai umurnya	1	3	1			0,4	2	Pengecekan ulang crane yang akan digunakan	1	1	3			0,48	3	24
Penurunan spool baru	Benda jatuh ke laut	Kerugian materi		2	2	1		0,56	3	Penempatan peralatan yang tidak strategis	1	4				0,36	2	Membuat perencanaan tentang tata letak peralatan	2	2	1			0,36	2	12
	Pekerja tertimpa benda yang jatuh	Pekerja cidera, *fatality*			1	1	3	0,88	5	Pekerja berada di area yang berbahaya	2	3				0,32	2	Membuat tanda pada area yang berbahaya	2	3				0,32	2	20
	Benda (spool) tidak terkait dengan baik pada tali crane	Kerusakan pada peralatan, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*.		1	4			0,56	3	Peralatan untuk mengkaitkan benda tidak memadai	3	2				0,28	2	Pengecekan ulang peralatan yang akan digunakan	5					0,2	1	6
	Tali crane putus	Kerusakan pada peralatan, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*.		1	1	3		0,68	4	Tali crane yang digunakan telah mencapai umurnya	2	2	1			0,36	2	Pengecekan ulang crane yang akan digunakan	1	4				0,36	2	16
Instalasi Spool Baru	Alat (*hydraulic torque wrench*) tidak berfungsi dengan baik	Waktu terbuang, kerusakan pada material.	1	3	1			0,4	2	Tidak ada pengecekan ulang alat yang digunakan	2	3				0,32	2	Melakukan pengecekan ulang alat yang akan digunakan	1	4				0,36	2	8
	Penyelam cidera di karenakan peralatan	Penyelam cidera, *fatality*.		1	2	2		0,64	4	Penyelam tidak tahu cara untuk menggunakan alat	1	2	2			0,44	3	Melakukan *briefing* sebelum menyelam		5				0,4	2	24
	Penyelam terseret oleh arus	Penyelam cidera, *fatality*.			1	2	2	0,84	5	Arus kuat, cuaca buruk		1				0,08	1	Update mengenai cuaca	2	3				0,32	2	10
Penarikan subsea hose ke tempat kerja	Tali pada *towing* putus	Kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi		1	3	1		0,6	3	Kapal penarik terlalu cepat, tali pada towing yang digunakan tidak tepat	1	4				0,36	2	Membuat batas kecepatan pada kapal penarik, pengecekan ulang tali pada towing yang digunakan	2	3				0,32	2	12
	kapal penarik menabrak SPM	Kerusakan pada kapal penarik atau SPM, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*		1	2	2		0,64	4	Kapal penarik *run-off*	2	3				0,32	2	Terdapat pekerja yang s*tandby* untuk memberikan aba-aba pada kapal penarik	1	4				0,36	2	16
	Bagian pada *subsea hose* terlepas	Kerugian materi		3	1	1		0,52	3	Bagian-bagian *subsea hose* tidak terpasang dengan baik	1	3	1			0,4	2	Pengecekan ulang *subsea hose* sebelum dibawa ke tempat kerja	1	3	1			0,4	2	12

tempat kerja																											
	Kapal penarik tenggelam	Pekerja cidera, kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi, *fatality*				2	3	0,92	5	Gelombang tinggi, cuaca buruk	3	2				0,28	2	Update mengenai cuaca	2	2	1			0,36	2	20
	Subsea hose tenggelam saat dibawa ke tempat kerja	*Subsea hose* menabarak coral, kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi		2	3			0,52	3	*Floating drum* pada *subsea hose* bocor	2	2	1			0,36	2	Pengecekan ulang *floating drum*		5				0,4	2	12
Transfer subsea hose ke vessel DP 2	Kapal penarik menabrak *vessel DP2*	Kerusakan pada kapal penarik dan *vessel* DP 2, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*			3	2		0,68	4	Kapal penarik *run-off*	1	4				0,36	2	Terdapat pekerja yang *standby* untuk memberikan aba-aba pada kapal penarik		3	2			0,48	3	24
	Kapal penarik menabrak SPM	Kerusakan pada kapal penarik dan SPM, pekerja cidera, kerugian materi, *fatality*			2	2	1	0,76	4	Kapal penarik *run-off*	1	4				0,36	2	Terdapat pekerja yang *standby* untuk memberikan aba-aba pada kapal penarik	2	2	1			0,36	2	16
	Pergerakan kapal penarik tidak terkendali	Transfer *subsea hose* mengalami kendala, kerusakan pada *subsea hose*		1	3	1		0,6	3	Gelombang tinggi	2	3				0,32	2	Update mengenai cuaca	1	4				0,36	2	12
	Subsea hose menghantam SPM	Kerusakan pada *subsea hose* dan SPM, kerugian materi		4	1			0,44	3	*Wire winch* putus	1	3	1			0,4	2	Pengecekan ulang *wire winch* yang digunakan	2	3				0,32	2	12
Memotong floatingdrum dan menenggelamkan subsea hose	Pekerja terluka oleh peralatan tajam	Pekerja cidera, *fatality*			2	3		0,72	4	Pekerja tidak menggunakan APD	2	2	1			0,36	2	Melakukan *briefing* penggunaan APD sebelum bekerja		5				0,4	2	16
	Pekerja terjatuh ke laut	Pekerja cidera, *fatality*			1	3	1	0,8	4	Pekerja berada di area yang berbahaya	2	3				0,32	2	Membuat penghalang pada area yang berbahaya	1	4				0,36	2	16
	Subsea hose terpotong	Kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi			3	2		0,68	4	*Subsea hose* terkena benda tajam untuk memotong *floating drum*	1	4				0,36	2	Membuat rencana pemotongan *floating drum* dengan benar		5				0,4	2	16
	Subsea hose terhanyut oleh arus	Kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi, *subsea hose* menghantam penyelam, penyelam cidera		1	2	2		0,64	4	Cuaca buruk		4	1			0,44	3	Update mengenai cuaca	1	4				0,36	2	24
	Wire winch putus	Kerusakan pada *subsea hose*, kerugian materi, *subsea hose* menghantam penyelam, penyelam cidera		1	2	2		0,64	4	*Wire winch* yang digunakan telah mencapai umurnya	1	4				0,36	2	Pengecekan ulang *wire winch* yang akan digunakan	2	3				0,32	2	16
instalasi subsea hose	Penyelam terhantam *subsea hose*	Penyelam cidera, *fatality*				3	2	0,88	5	*Wire winch* putus, penyelam tidak berada di posisi yang tepat		2	3			0,52	3	Pengecekan ulang *wire winch* yang akan digunakan, melakukan *briefing* pada penyelam		3	2			0,48	3	45
	Subsea hose menghantam *mooring chain*	Kerusakan pada *subsea hose* dan *mooring chain* , kerugian materi			4	1		0,64	4	*wire winch* putus	1	2	2			0,44	3	Pengecekan ulang *wire winch* yang akan digunakan		3	2			0,48	3	36
	Penyelam terjepit	Penyelam cidera, *fatality*			1	2	2	0,84	5	Penyelam berada di posisi yang tidak tepat	2	3				0,32	2	melakukan *briefing* pada penyelam sebelum bekerja	2	1	2			0,4	2	20
	Arus kuat	*Diver* kelelahan, *diver* terseret arus, *diver* cidera.			1	3	1	0,8	4	Cuaca buruk		1				0,08	1	Update mengenai cuaca	1	4				0,36	2	8

Historical Data Analysis

Analisis data kecelakaan historis membentuk dasar dari banyak QRA (*Quantitative Risk Analysis*). Frekuensi merupakan perhitungan sederhana dengan menggabungkan pengalaman kecelakaan dan paparan populasi, biasanya diukur dalam hal instalasi-tahun:

$$\textit{Event frequency per installation year} = \frac{Number\ of\ events}{Number\ of\ installations\ x\ Years\ of\ exposure}$$

Untuk perhitungan frekuensi pada tahapan *Diver* melakukan operasi di dasar laut, peneliti menggunakan acuan data historis dari DAN (*Divers Alert Network*). Dari data yang didapat dari DAN pada tahun **2015** terdapat **11.558** panggilan masuk ke DAN. contoh perhitungan untuk menentukan nilai *occurence* (skala kejadian/ frekuensi) pada tahapan *Diver* melakukan operasi di dasar laut :

Pada *potential failure mode* alat menyelam tidak berfungsi dengan baik (*diver helmet, scuba tank , chamber, diver communication radio,* dll). *Potential effect* yang ditimbulkan yaitu *Diver* panik, *diver* mengalami cidera, *fatality.* Disebabkan oleh tidak ada pengecekan ulang peralatan menyelam, peralatan menyelam tidak bersertifikasi. Data yang didapat dari DAN menunjukkan bahwa terdapat **67** kasus kecelakaan kerja yang disebabkan oleh peralatan, dan terdapat **67** kasus kecelakaan kerja yang disebabkan oleh divers yang tidak bersertifikasi. Perhitungan sebagai berikut:

$$\textit{Event frequency per installation year} = \frac{67+67}{11.558\ x\ 1}$$

= 0,0115 kecelakaan per tahun

Pada *potential failure mode* alat menyelam tidak berfungsi dengan baik memiliki fekuensi sebesar **0,0115**. Untuk menentukan ranking *occurence* (teingkat kejadian) pada metode FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*) menggunakan acuan sebagai berikut :

Rating	Kriteria	
1	Jarang terjadi, hanya dapat terjadi pada keadaan tertentu	<0,001
2	Kecil kemungkinan terjadi, mungkin terjadi sewaktu-waktu	>0,001 but <0,01
3	Mungkin dapat terjadi, dapat terjadi sewaktu-waktu	>0,01 but <0,10
4	Cenderung untuk terjadi, sangat mungkin terjadi pada semua keadaan	>0,10 but <0,20
5	Hampir pasti akan terjadi, terjadi hampir pada semua keadaan	>0,20

CATATAN: Data kuantitatif harus digunakan jika tersedia.

Sebagai contoh:

0,001 = 1 kegagalan dalam 1.000 aktifitas/panggilan masuk ke DAN

0,01 = 1 kegagalan dalam 100 aktifitas/panggilan masuk ke DAN

0,10 = 1 kegagalan dalam 10 aktifitas/panggilan masuk ke DAN

Sebagai contoh Pada *potential failure mode* alat menyelam tidak berfungsi dengan baik (*diver helmet*, *scuba tank* , *chamber*, *diver communication radio*, dll), memiliki frekuensi sebesar 0,0015. Dengan demikian penggolongan rating kegiatan tersebut termasuk pada rating 2 (>0,001 but <0,01).

Berikut adalah hasil perhitungan *Historical Data Analysis* pada tahapan *Diver* melakukan operasi di dasar laut :

Kegiatan	Mode Kegagalan	***Historical Data Analysis*** **(Nilai Occurrence)**
Diver melakukan operasi di dasar laut	Alat menyelam tidak berfungsi dengan baik (*diver helmet*, *scuba tank* , *chamber*, *diver communication radio*, dll)	2
	Umbilical putus	1
	Hilang komunikasi antara penyelam dengan operator	1
	Arus kuat	1
	Diver mengalami *decompresi*	3

Perhitungan *Historical Data Analysis* dengan mengunakan rumus sebagai berikut:

$$\textit{Event frequency per installation year} = \frac{Number\ of\ events}{Number\ of\ installations\ x\ Years\ of\ exposure}$$

1. Alat menyelam tidak berfungsi dengan baik (*diver helmet*, *scuba tank* , *chamber*, *diver communication radio*, dll)

   Pada tahapan ini Data yang didapat dari DAN menunjukkan bahwa terdapat **67** kasus kecelakaan kerja yang disebabkan oleh peralatan, dan terdapat **67** kasus kecelakaan kerja yang disebabkan oleh divers yang tidak bersertifikasi.

   $$\textit{Event frequency per installation year} = \frac{67+67}{11.558\ x\ 1}$$

   = 0,0115 kecelakaan per tahun

   Dengan demikian penggolongan rating kegiatan tersebut termasuk pada rating 2 (>0,001 but <0,01).

2. Umbilical putus

   Pada tahapan ini Data yang didapat dari DAN menunjukkan bahwa terdapat **67** kasus kecelakaan kerja yang disebabkan oleh peralatan.

   $$\textit{Event frequency per installation year} = \frac{67}{11.558\ x\ 1}$$

   = 0,0057 kecelakaan per tahun

   Dengan demikian penggolongan rating kegiatan tersebut termasuk pada rating 1 (<0,001).

3. Hilang komunikasi antara penyelam dengan operator

   Pada tahapan ini Data yang didapat dari DAN menunjukkan bahwa terdapat **34** kasus kecelakaan kerja yang disebabkan oleh kepanikan dan diorientasi pada *diver*.

   $$\textit{Event frequency per installation year} = \frac{34}{11.558\ x\ 1}$$

   = 0,0029 kecelakaan per tahun

Dengan demikian penggolongan rating kegiatan tersebut termasuk pada rating 1 (<0,001).

4. Arus kuat

Pada tahapan ini Data yang didapat dari DAN menunjukkan bahwa terdapat **67** kasus kecelakaan kerja yang disebabkan oleh arus.

Event frequency per installation year = $\frac{67}{11.558\ x\ 1}$

= 0,0057 kecelakaan per tahun

Dengan demikian penggolongan rating kegiatan tersebut termasuk pada rating 1 (<0,001).

5. *Diver* mengalami *decompresi*

Pada tahapan ini Data yang didapat dari DAN menunjukkan bahwa terdapat **250** kasus kecelakaan kerja yang disebabkan oleh decompresi pada *diver*.

Event frequency per installation year = $\frac{250}{11.558\ x\ 1}$

= 0,021 kecelakaan per tahun

Dengan demikian penggolongan rating kegiatan tersebut termasuk pada rating 3 (>0,01 but <0,10).

BIODATA PENULIS

Taufiq Iqbal Tito I lahir di kota Gresik pada tanggal 11 September 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Semen Gresik, SMPN 1 Gresik, hingga SMAN 1 Gresik. Setelah lulus dari sekolah menengah, penulis melanjutkan pendidikannya di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama di bangku perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi sebagai Staf Ahli Departemen Dalam Negeri Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan FTK ITS periode 2016/2017 dan menjadi Koordinator Steering Committe Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan FTK ITS periode 2016/2017. Selain itu, penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan terkhusus pada bidang kelautan dan perminyakan. Pada tahun 2017, penulis mendapatkan kesempatan kerja praktek di PT. Kangean Energy Indonesia dan di PT. Duta Marine di bidang. Selama masa studi Strata 1 yang ditempuh dalam waktu 4 tahun, penulis tertarik pada bidang manajemen dan produksi bangunan lepas pantai. Sehingga dalam mata kuliah Tugas Akhir ini, penulis mengambil topik tentang analisa resiko pada perbaikan SPM. Tugas Akhir ini dilakukan dengan metode analitis dan numerik.

Email: iqbal.tito9@gmail.com