



## TUGAS AKHIR - MO184804

### IDENTIFIKASI BAHAYA DAN ANALISIS RISIKO DALAM PEMILIHAN METODE PEMBONGKARAN ANJUNGAN LEPAS PANTAI: STUDI KASUS BUKIT TUA *PLATFORM*

ANDI FARIDA RAFIQA

NRP. 0431154000032

DOSEN PEMBIMBING :

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

Ir. Murdjito, M.Sc.Eng

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

**IDENTIFIKASI BAHAYA DAN ANALISIS RISIKO DALAM PEMILIHAN  
METODE PEMBONGKARAN ANJUNGAN LEPAS PANTAI :  
STUDI KASUS PLATFORM BUKIT TUA**

**TUGAS AKHIR**







Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Andi Farida Rafiqa**

NRP. 0431154000032

Disetujui oleh:

- 
1. Prof. Ir. Daniel M. Rosyidi, Ph.D. (Pembimbing 1)  

  2. Ir. Murdjito, M.Sc., Eng. (Pembimbing 2)  

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

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

  5. Raditya Danu, S.T., M.T. (Penguji 3)  


SURABAYA, JULI 2019

**IDENTIFIKASI BAHAYA DAN ANALISIS RISIKO DALAM PEMILIHAN  
METODE PEMBONGKARAN ANJUNGAN LEPAS PANTAI :  
STUDI KASUS PLATFORM BUKIT TUA**

**Nama** : **Andi Farida Rafiq**  
**NRP** : **043115400032**  
**Departemen** : **Teknik Kelautan**  
**Dosen Pembimbing** : **Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D**  
**Ir. Murdjito, MSc.Eng**

**ABSTRAK**

Bidang infrastruktur minyak dan gas lepas pantai telah menua, dan dalam waktu dekat masyarakat dunia akan menghadapi tuntutan untuk *decommissioning*. *Decommissioning* didefinisikan sebagai pekerjaan pemotongan sebagian atau keseluruhan instalasi dan pemindahan hasil pembongkaran ke lokasi yang telah ditentukan. Terdapat tiga alternatif proses *decommissioning* utama, yaitu *leave in-place*, *partial removal*, dan *complete removal*. Proses pemilihan alternatif tersebut juga dapat berdasarkan banyak hal, salah satunya yaitu risiko *hazard*. Tujuan dari penelitian ini yaitu memilih alternatif pembongkaran instalasi lepas pantai berdasarkan kemungkinan dan besarnya bahaya yang dapat mengancam kesehatan dan keselamatan pada tenaga kerja. Hasil dari analisis HAZOP yaitu terdapat 3 jenis utama penyebab bahaya saat *decommissioning*, yaitu bahaya akibat perkenaan fisik, bahaya akibat zat kimia, dan bahaya akibat makhluk hidup (biologi). Bahaya akibat perkenaan fisik terbagi 3, bahaya akibat zat kimia juga terbagi 3, dan bahaya akibat makhluk hidup terbagi 2. Berdasarkan hasil analisis dengan kuesioner dan metode fuzzy AHP, metode pembongkaran anjungan lepas pantai yang paling tepat adalah *partial removal* dengan skor 0,005. Sedangkan berdasarkan hasil analisis objektif dengan HAZOP dan QRA, metode pembongkaran anjungan lepas pantai yang paling tepat adalah yang memiliki tingkat risiko terkecil, yaitu *complete removal* dengan skor 3,738 dan termasuk dalam zona risiko yang dapat diterima.

**Kata Kunci : Metode Decommissioning, HAZOP, Fuzzy AHP.**

**HAZARD IDENTIFICATION AND RISK ANALYSIS IN METHODS  
SELECTION OF PLATFORM REMOVAL, CASE STUDY : BUKIT TUA  
PLATFORM**

**Name** : **Andi Farida Rafiqa**  
**NRP** : **0431154000032**  
**Departement** : **Teknik Kelautan**  
**Supervisors** : **Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D**  
**Ir. Murdjito, MSc.Eng**

**SUMMARY**

Offshore oil and gas infrastructure is aging, and in the near future the world community will face demands for decommissioning. Decommissioning is defined as the work of partially or completely cutting and removing the results of demolition to a specified location. There are three main alternative decommissioning processes, namely leave in-place, partial removal, and complete removal. The alternative selection process can also be based on many things, one of which is hazard risk. The purpose of this study is to choose an alternative to dismantling offshore installations based on the possibility and magnitude of the hazards that could threaten the health and safety of the workforce, using the MCDM Fuzzy AHP method. The result of the HAZOP analysis is that there are 3 main types of causes of danger when decommissioning, namely the danger due to physical exposure, the dangers caused by chemicals, and the dangers caused by living things (biology). The danger due to physical exposure is divided into 3. The danger due to chemicals is also divided into 3, and the danger of living creatures is divided into two. Based on the results of analysis with questionnaires and fuzzy AHP methods, the most appropriate method of dismantling offshore platforms is a partial removal with a score of 0.005. Meanwhile based on the results of objective analysis with HAZOP and QRA, the most appropriate method of dismantling the offshore platform is the one with the lowest risk level, namely complete removal with a score of 3.738 and included in the acceptable risk zone.

**Keywords : Decommissioning Methods, HAZOP, Fuzzy AHP.**

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul “Identifikasi Bahaya dan Analisis Risiko dalam Pemilihan Metode Pembongkaran Anjungan Lepas Pantai : Studi Kasus Platform Bukit Tua”. Tugas Akhir ini dibuat sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi keserjanaan S-1 di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tugas Akhir ini mencakup proses identifikasi bahaya dengan metode HAZOP berdasarkan setiap langkah pembongkaran anjungan lepas pantai. Setelah dilakukan identifikasi, setiap bahaya kemudian dihitung tingkat risikonya sesuai dengan setiap metode pembongkaran struktur menggunakan metode *Fuzzy AHP*. Hasil dari analisis tersebut kemudian digunakan untuk menentukan metode pembongkaran anjungan lepas pantai yang tepat.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, saya sadar masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran diharapkan agar saya dapat melakukan yang terbaik lagi. Harapannya setelah ini yaitu agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi diri sendiri maupun pihak-pihak lain.

Surabaya, 01 Agustus 2019

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang karena tanpa anugerah dan nikmat-Nya saya tidak akan berada di titik ini. Saya berkenan menyampaikan banyak terima kasih untuk semua pihak yang telah membantu baik selama proses Kerja Praktik maupun pada saat penulisan laporan, meliputi:

1. Kedua orang tua saya, Ibu Andi Atifah dan Bapak Andi Nashruddin Malik (Alm.) yang selalu percaya dan menyemangati saya fisik maupun mental.
2. Saudara-saudara saya yang menyemangati dan menenangkan saya saat dirundung kesedihan dan kepanikan selama pengerjaan Tugas Akhir.
3. Dosen pembimbing saya, bapak Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D dan bapak Ir. Murdjito MSc.Eng yang telah membimbing saya dalam mengerjakan Tugas Akhir ini agar dapat selesai tepat waktu.
4. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan dan Dosen Wali saya selama menempuh studi di ITS.
5. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D, selaku Sekretaris Prodi S-1 Departemen Teknik Kelautan yang memberikan izin untuk mendaftar sidang Tugas Akhir.
6. Semua dosen dan tendik Departemen Teknik Kelautan yang telah mengajari dan membantu saya dan teman-teman selama menjalani perkuliahan.
7. Kedua teman saya, Malak Ihwani dan Dwita Indriarti Putri, yang selalu berkenan mendengarkan curahan hati saya selama masa pengerjaan Tugas Akhir.
8. Seluruh teman angkatan 2015 yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan serangkaian Tugas Akhir ini.

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1. Tinjauan Pustaka .....	5
2.2. Dasar Teori .....	6
2.2.1. <i>Decommissioning</i> .....	6
2.2.2. Bahaya.....	8
2.2.2.1. Definisi Bahaya.....	8
2.2.2.2. Identifikasi Bahaya.....	9
2.2.3. <i>Hazard and Operability (HAZOP)</i> .....	10
2.2.4. Risiko .....	12
2.2.5. <i>Analytical Hierarchy Process (AHP)</i> .....	15
2.2.6. <i>Fuzzy AHP</i> .....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1. Metode Penelitian.....	21
3.2. Penjelasan Diagram Alir Penelitian .....	22
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	25
4.1. Pengumpulan Data .....	25
4.2. Identifikasi <i>Hazard</i> dengan Metode HAZOP.....	27
4.3. Membentuk Susunan Hierarki Untuk Analisis Subjektif.....	38
4.3.1. Kriteria Bahaya Fisik.....	38

4.3.1.1. Subkriteria Bahaya Mekanis .....	38
4.3.1.2. Subkriteria Bahaya Akibat Ledakan .....	42
4.3.1.3. Subkriteria Bahaya Akibat Sengatan Listrik.....	43
4.3.2. Kriteria Bahaya Akibat Zat Kimia.....	43
4.3.2.1. Subkriteria Bahaya Akibat Hidrokarbon.....	43
4.3.2.2. Subkriteria Bahaya Akibat Logam Berat .....	44
4.3.2.3. Subkriteria Bahaya Akibat Zat Kimia Lain .....	45
4.3.3. Kriteria Bahaya Akibat Biologi .....	45
4.3.3.1. Hewan Laut .....	46
4.3.3.2. Ecotoxin .....	46
4.4. Menguji Konsistensi Hierarki .....	48
4.5. Hasil Analisis dengan Fuzzy AHP .....	50
4.5.1. Perbandingan Kriteria Antar Responden .....	52
4.5.2. Tingkat Risiko Subkriteria Bahaya Akibat Fisik.....	53
4.5.3. Tingkat Kepentingan Subkriteria Bahaya Akibat Kimia.....	53
4.5.4. Tingkat Risiko Subkriteria Bahaya Akibat Biologi.....	54
4.5.5. Tingkat Risiko Subkriteria Bahaya Akibat Peralatan Mekanis .....	55
4.5.6. Perbandingan Alternatif antara Subkriteria .....	55
4.6. Analisis Risiko Objektif dengan HAZOP dan QRA .....	57
4.6.1. Membuat <i>Work Breakdown Structures</i> untuk Setiap Metode Pembongkaran .....	57
4.6.2. Menjabarkan <i>Hazard</i> setiap Langkah Kerja .....	59
4.6.3. Menghitung Tingkat Risiko.....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
5.1. Kesimpulan.....	73
5.2. Saran .....	73
DAFTAR PUSTAKA .....	xii
LAMPIRAN .....	xiv
BIODATA PENULIS .....	xv



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Struktur Dasar Hierarki (Dewi, 2017).....	16
<b>Gambar 3.1</b> <i>Flowchart</i> Pengerjaan Penelitian.....	21
<b>Gambar 4.1</b> <i>Framing Topside</i> Struktur Bukit Tua.....	25
<b>Gambar 4.2</b> <i>Elevation Jacket</i> Struktur Bukit Tua.....	26
<b>Gambar 4.3</b> Work Breakdown Structure untuk Proyek Pembongkaran Anjungan Lepas Pantai (Prabowo, 2016).....	28
<b>Gambar 4.4</b> Struktur Hierarki Pemilihan Metode Pembongkaran Anjungan Lepas Pantai.....	47
<b>Gambar 4.5</b> Tingkat Risiko Kriteria Utama.....	52
<b>Gambar 4.6</b> Tingkat Risiko pada Kriteria Bahaya Fisik.....	53
<b>Gambar 4.7</b> Tingkat Risiko pada Kriteria Bahaya Akibat Zat Kimia.....	54
<b>Gambar 4.8</b> Tingkat Risiko pada Kriteria Bahaya Akibat Biologi.....	54
<b>Gambar 4.9</b> Tingkat Risiko pada Subkriteria Bahaya Akibat Mekanis.....	55
<b>Gambar 4.10</b> Tingkat Kepentingan setiap Alternatif Berdasarkan Subkriteria.	56
<b>Gambar 4.11</b> Peringkat Risiko Setiap Alternatif.....	56
<b>Gambar 4.12</b> Perbandingan Tingkat Risiko Setiap Metode Pembongkaran.....	71

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Contoh Buku Kerja untuk Analisis HAZOP.....	11
<b>Tabel 2.5</b> Contoh <i>Guidewords</i> .....	12
<b>Tabel 2.3</b> Contoh Parameter.....	12
<b>Tabel 2.4</b> Skala Kemungkinan Kegagalan.....	14
<b>Tabel 2.5</b> Skala Konsekuensi Kegagalan.....	14
<b>Tabel 2.6</b> Contoh Matriks Risiko.....	15
<b>Tabel 2.7</b> Skala Kepentingan Relatif.....	17
<b>Tabel 2.8</b> Indeks Konsistensi Acak.....	18
<b>Tabel 2.9</b> <i>Triangular Fuzzy Number (TFN)</i> (Kaganski, 2018).....	19
<b>Tabel 4.1</b> Daftar <i>Hazard</i> pada Tahap Persiapan.....	29
<b>Tabel 4.2</b> Daftar <i>Hazard</i> pada Subkriteria Bahaya Akibat Peralatan Rusak.....	39
<b>Tabel 4.3</b> Daftar <i>Hazard</i> pada Subkriteria Bahaya Akibat Kesalahan Pengoperasian Peralatan.....	40
<b>Tabel 4.4</b> Daftar <i>Hazard</i> pada Subkriteria Bahaya Akibat Peralatan yang Tidak Memadai.....	41
<b>Tabel 4.5</b> Daftar <i>Hazard</i> pada Subkriteria Bahaya Akibat Ledakan.....	43
<b>Tabel 4.6</b> Daftar <i>Hazard</i> pada Subkriteria Bahaya Akibat Sengatan Listrik.....	43
<b>Tabel 4.7</b> Daftar <i>Hazard</i> pada Subkriteria Bahaya Akibat Hidrokarbon.....	44
<b>Tabel 4.8</b> Daftar <i>Hazard</i> pada Subkriteria Bahaya Akibat Logam Berat.....	44
<b>Tabel 4.9</b> Daftar <i>Hazard</i> pada Subkriteria Bahaya Akibat Zat Kimia Lain.....	45
<b>Tabel 4.10</b> Daftar <i>Hazard</i> pada Subkriteria Bahaya Akibat Hewan Laut.....	46
<b>Tabel 4.11</b> Daftar <i>Hazard</i> pada Subkriteria Bahaya Akibat Ecotoxin.....	46
<b>Tabel 4.12</b> Hasil Penjumlahan Skor Tiap Kolom Kriteria Utama.....	48
<b>Tabel 4.13</b> Contoh <i>Normalized Matrix</i> .....	48
<b>Tabel 4.14</b> Contoh <i>Eigenvalue</i> .....	49
<b>Tabel 4.15</b> Contoh Perhitungan Total Bobot Tiap Kriteria.....	49
<b>Tabel 4.16</b> Hasil Perhitungan Skor Konsistensi.....	49
<b>Tabel 4.17</b> Mengubah Skor AHP menjadi angka TFN.....	50
<b>Tabel 4.18</b> Hasil Perhitungan Skor Sintesis Fuzzy.....	51
<b>Tabel 4.19</b> Perbandingan Derajat Kemungkinan untuk Kriteria Bahaya akibat Fisik.....	51

<b>Tabel 4.20</b> Perbandingan Derajat Kemungkinan untuk Kriteria Bahaya akibat Kimia.....	51
<b>Tabel 4.21</b> Perbandingan Derajat Kemungkinan untuk Kriteria Bahaya akibat Biologi.....	52
<b>Tabel 4.22</b> Hasil Perhitungan Bobot Vektor tiap Kriteria.....	52
<b>Tabel 4.23</b> Perbandingan Langkah Kerja untuk Setiap Alternatif Pembongkaran Anjungan Lepas Pantai.....	57
<b>Tabel 4.24</b> Daftar <i>Hazard</i> yang Dapat Terjadi saat <i>Decomissioning</i> Metode <i>Complete Removal</i> .....	60
<b>Tabel 4.25</b> Daftar <i>Hazard</i> yang Dapat Terjadi saat <i>Decomissioning</i> Metode <i>Partial Removal</i> .....	65
<b>Tabel 4.26</b> Daftar <i>Hazard</i> yang Dapat Terjadi saat <i>Decomissioning</i> Metode <i>Leave in Place</i> .....	69

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Bidang infrastruktur minyak dan gas lepas pantai telah menua (Doyle *et al.*, 2008), dan dalam waktu dekat masyarakat dunia akan menghadapi tuntutan untuk *decommissioning*. Pada umumnya struktur minyak dan gas memiliki masa kerja 20-25 tahun. Saat ini untuk industri hidrokarbon telah dibangun >7500 struktur yang mencakup *rig*, *platform*, dan jenis kilang minyak lain di lepas pantai. 85% diantaranya tidak lagi digunakan dan harus dibongkar dalam dekade kedepan (Parente *et al.*, 2006). Berdasarkan data dari SKK Migas, terdapat 613 instalasi tersebar di seluruh Indonesia. Dari jumlah tersebut, 335 diantaranya berumur lebih dari 20 tahun, sejumlah 151 struktur berumur 16-20 tahun, 120 struktur berumur 11-15 tahun, dan 7 struktur sisanya berumur kurang dari 10 tahun (Dewi, 2017).

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 01 Tahun 2011, *decommissioning* atau pembongkaran didefinisikan sebagai pekerjaan pemotongan sebagian atau keseluruhan instalasi dan pemindahan/pengangkutan hasil pembongkaran ke lokasi yang telah ditentukan. Pembongkaran dilakukan setelah instalasi lepas pantai dianggap tidak dipergunakan lagi dan atau akan digunakan kembali untuk kegiatan eksplorasi dan/atau eksploitasi minyak dan gas bumi pada tempat lain. Tujuan dilakukan pembongkaran yaitu menjamin keselamatan minyak dan gas bumi, keselamatan lingkungan, menjaga kondisi instalasi sebagai milik negara, menjaga keselamatan pelayaran, dan mengoptimalkan penggunaan barang milik negara (Kementerian ESDM RI, 2011).

Terdapat tiga alternatif proses *decommissioning* utama. Yang pertama yaitu meninggalkan platform di tempatnya (*leave in-place*), dengan hanya menutup sumur dan memotong pipa-pipa. Kedua yaitu *partial removal* dengan pembuangan material di lepas pantai atau di darat, dipotong di lokasi atau dibawa ke tempat lain. Pilihan ketiga yaitu *complete removal*, yang kemudian instalasi dapat digunakan kembali atau didaur ulang (Zawawi, Na and Liew, 2012).

Proses pemilihan alternatif tersebut juga dapat berdasarkan banyak hal. Salah satunya yaitu risiko *hazard* pada kesehatan dan keselamatan kerja (K3). (Covello and Merkhoher, 1993) mengartikan risiko sebagai konsep dua dimensi yang menghubungkan kemungkinan terjadinya hasil tak diinginkan, dan ketidakpastian akan kejadian, waktu, atau besarnya hasil tak diinginkan tersebut. *Hazard* atau bahaya berarti sumber atau situasi yang berpotensi dapat melukai manusia, kerusakan pada properti, lingkungan, atau kombinasi dari ketiganya (Director General Department of Occupational Safety and Health Malaysia, 2008). Sehingga dapat disimpulkan bahwa tujuan dari tugas akhir ini yaitu memilih alternatif pembongkaran instalasi lepas pantai berdasarkan kemungkinan dan besarnya bahaya yang dapat mengancam kesehatan dan keselamatan pada tenaga kerja.

Jenis analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi bahaya operasi kerja pembongkaran struktur untuk setiap metode pada penelitian ini yaitu *hazard and operability* (HAZOP). HAZOP adalah studi yang memeriksa setiap langkah proses untuk menemukan kemungkinan terjadinya penyimpangan dari tujuan desain proyek. Penyimpangan tersebut diukur dengan *guidewords* atau kata bantu berupa terlalu tinggi, terlalu rendah, terlalu sedikit, dan sebagainya. Tujuan dari pemilihan metode ini adalah untuk memastikan bahwa seluruh kemungkinan bahaya yang dapat terjadi akan diperhitungkan sebagai bahan pemilihan metode *decommissioning*.

Struktur yang digunakan sebagai studi kasus adalah Bukit Tua *Wellhead Platform*. Terletak di Lapangan Bukit Tua, 110 km di timur laut Gresik, struktur berada pada kedalaman 58,3 m. Tinggi jacket yaitu 65,9 m, memiliki dua kaki berdiameter 54” dengan kemiringan 9,55 dan 13,55 serta sebuah kaki lurus berdiameter 60”. Fasilitas *platform* itu sendiri yaitu memiliki 4 deck, 20 MT *crane*, sebuah *ventboom*, dan *boatlanding*. *Platform* juga memiliki fasilitas 9 buah konduktor dengan diameter luar 24”.

Terdapat berbagai metode untuk pemilihan keputusan berdasar banyak kriteria (*Multi-criteria Decision Making*), salah satunya adalah *Analytical Hierarchy Process* (AHP). AHP dikenal sebagai alat untuk mengevaluasi sesuatu

berdasarkan kriteria-kriteria yang telah ditentukan, dan untuk mengatasi permasalahan pada evaluasi banyak kriteria. Sayangnya metode AHP menggunakan logika Boolean, yang memiliki syarat pernyataan yang kaku atau skor kebenarannya harus 1 atau 0 (Kahraman, 2009). Oleh karena itu penulis menggunakan metode *Fuzzy* AHP (FAHP) yang lebih fleksibel dan cocok untuk memodelkan data kualitatif yang bersifat fleksibel, ambigu, dan samar.

### **1.2. Rumusan Masalah**

1. Apa jenis *hazard* yang dapat terjadi untuk masing-masing alternatif metode pembongkaran *platform* Bukit Tua?
2. Apa metode yang paling tepat untuk pembongkaran *platform* Bukit Tua berdasarkan analisis subjektif dengan kuesioner?
3. Apa metode yang paling tepat untuk pembongkaran *platform* Bukit Tua berdasarkan analisis objektif?

### **1.3. Tujuan**

1. Mengetahui jenis *hazard* yang dapat terjadi untuk masing-masing alternatif metode pembongkaran *platform* Bukit Tua.
2. Mengetahui metode yang paling tepat untuk pembongkaran *platform* Bukit Tua berdasarkan analisis subjektif dengan kuesioner.
3. Mengetahui metode yang paling tepat untuk pembongkaran *platform* Bukit Tua berdasarkan analisis objektif.

### **1.4. Manfaat**

Manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah dapat memilih metode pembongkaran anjungan lepas pantai yang tepat berdasarkan kriteria risiko *hazard* masing-masing metode dengan dengan *Fuzzy* AHP.

### **1.5. Batasan Masalah**

1. Hanya membahas dampak risiko pada pekerja dan lingkungan.
2. Tidak mempertimbangkan cara mengendalikan risiko untuk setiap metode alternatif.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

### 2.1. Tinjauan Pustaka

Abdul Khamid melakukan ‘Analisa Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Terhadap Kecelakaan Kerja serta Lingkungan dengan Menggunakan Metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP) pada Proses *Scrapping* Kapal di Bangkalan Madura’ pada tahun 2017. Tugas akhir ini bertujuan untuk melakukan analisis risiko keselamatan dan kesehatan kerja serta lingkungan yang dapat terjadi pada proyek *scrapping* kapal agar setiap kru dapat terhindar dari kecelakaan kerja dan tidak merusak lingkungan sekitar. Adapun tujuan khusus dari tugas akhir ini yaitu mengidentifikasi jenis *hazard* dan penyebabnya yang dapat terjadi selama proses *scrapping* kapal pada kru dan lingkungan, menentukan tingkat kemungkinan terjadinya *hazard* selama proses dan konsekuensi yang dapat terjadi akibat *hazard* tersebut, menghitung risiko yang dapat terjadi, dan menentukan suatu tindakan untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja di masa depan.

Hal yang membedakan dengan penelitian Abdul Khamid dengan penelitian ini adalah Khamid menganalisis tentang pemberian skor risiko yang dilakukan pada proses *scrapping* kapal. Penelitian menghasilkan tingkat konsekuensi terbesar dengan risiko ekstrem adalah pembersihan bahan bakar/oli dengan menggunakan sabun dan pembuangan air *ballasting* di laut. Hasil penelitian didapatkan dari analisis HAZOP dengan data berasal dari kuesioner dari narasumber. Selain itu, didapatkan juga beberapa pencegahan risiko untuk berbagai jenis *hazard* yang tidak akan dibahas pada tugas akhir ini.

Terdapat juga tugas akhir oleh Yusnia Puspita Dewi, ‘Pemilihan Metode Pemotongan Kaki *Jacket* pada Proses Pembongkaran (*Decommissioning*) : Studi Kasus Attaka H *Platform* di Selat Makassar’. Tujuan penulisan tugas akhir tersebut yaitu menentukan metode pemotongan kaki *jacket platform* pada proses *decommissioning* yang memiliki tingkat risiko terkecil. Analisis risiko untuk setiap metode dilakukan dengan *Fuzzy AHP* dengan beberapa kriteria. Sebagai bahan analisis, data yang digunakan yaitu hasil kuesioner para ahli.



Perbedaan antara tugas akhir ini dengan penelitian tersebut yaitu hasil yang didapatkan berupa jenis metode pemotongan kaki *jacket diamond wire cutting*. Kesimpulan tersebut didapatkan dari beberapa kriteria dan sub kriteria. Kriteria teknis dengan sub kriteria tahapan pemotongan, teknologi, dan durasi. Kriteria lingkungan dengan sub kriteria kualitas air, ekosistem laut, dan *seabed disturbance*. Kriteria keselamatan dengan sub kriteria pekerja/kru, pelayaran, dan publik.

Pada buku *Decommissioning Offshore Structure* penerbit Springer (1998), M.J Baker menulis bab yang berjudul *Safety and Reliability Issues of Decommissioning Offshore Structure*. Baker membahas mengenai salah satu contoh penelitian pemilihan metode pembongkaran anjungan lepas pantai berdasarkan BPEO (*The Best Practical Environmental Option*) dengan studi kasus Brent Spar di Utara Atlantika pada tahun 1995. Metode pembongkaran yang dibandingkan pada kasus ini adalah *onshore dismantling* dan *deepwater disposal*. Basis dilakukannya pemilihan berasal dari data historis pekerja terluka dan kematian pada saat proyek pembongkaran dikalikan dengan perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk pengerjaan proyek.

Hasil dari analisis yang dilakukan yaitu metode *onshore dismantling* memiliki kemungkinan bahaya yang lebih besar pada kesehatan dan keselamatan kerja daripada metode *deepwater disposal*, utamanya karena besarnya waktu proyek saat pekerja terpapar risiko konstruksi dan lingkungan laut. Jumlah luka-luka diperkirakan antara 5 hingga 15 orang untuk metode *onshore dismantling* dan untuk metode *deepwater dismantling* yaitu 1 hingga 3 orang. Perlu diperhatikan bahwa penelitian ini dilakukan pada tahun 1998 dan teknologi yang ada belum selengkap saat ini.

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1. Decommissioning**

Atau dalam hal ini pembongkaran instalasi lepas pantai didefinisikan sebagai pembongkaran fasilitas (struktur, perpipaan, *pile*, dsb) yang ada di atas atau di bawah permukaan laut atau sungai ketika suatu ladang minyak atau gas sudah

tidak lagi memproduksi. *Decommissioning* perlu dilakukan karena pertimbangan kegiatan nelayan, perlindungan lingkungan laut, dan mengikuti hak dan kewajiban negara lain (United Nations, 1982).

Terdapat tiga metode utama dalam pembongkaran struktur (Saputra, 2017), yaitu:

a. *Complete Removal*

Proses metode ini yaitu melepas seluruh *platform*, dan semua komponen dari *platform* tersebut dibongkar dan diangkut menggunakan *Heavy Lift Vessel* (HLV) dan dibawa ke pantai. Pada prosesnya *platform* dipotong menjadi dua, *topside* dan *jacket*. *Topside* dapat digunakan lagi sementara bagian *jacket* dipotong menjadi besi tua. Setelah itu, *jacket* kemudian dipotong minimal 5 kaki di atas permukaan laut.

b. *Partial Removal*

Metode ini yaitu membongkar *platform* dengan hanya melepas sebagian dari *platform* tersebut dan meninggalkan sisanya di lokasi operasi. Biasanya dilakukan dengan memotong *topside* dan *jacket*, dimana bagian *topside* dibawa ke darat dan *jacket* tetap di dasar laut. Terdapat beberapa pilihan proses untuk *jacket* yang ditinggalkan tersebut, contohnya dipotong sesuai regulasi, dipakai sebagai terumbu karang buatan, atau digunakan untuk pembangkit energi terbarukan.

c. *Leave In-place*

Metode ini juga dapat disebut *abandonment* atau pengabaian, yaitu peletakan *platform* di lokasi operasinya dan ditinggalkan setelah prosedur pelepasan *riser* selesai. Metode ini biasanya digunakan untuk *platform* terletak pada kedalaman lebih dari 400 kaki dan tidak pada jalur lalu lintas kapal.

Menurut IMO Resolution A.672 (International Marine Organization, 1989), pertimbangan keputusan memilih metode pembongkaran sebaiknya berdasarkan pada:

- a. Potensi adanya efek tertentu pada keamanan navigasi pada permukaan atau bawah permukaan laut, atau pada fungsi laut yang lain.

- b. Kecepatan pelapukan material dan pengaruhnya sekarang atau di masa depan pada lingkungan laut.
- c. Potensi pengaruhnya pada lingkungan laut, termasuk pada makhluk hidup.
- d. Risiko bahwa material akan bergeser dari posisinya di masa depan.
- e. Biaya, kemampuan teknologi, dan risiko cedera pada kru saat pembongkaran instalasi atau struktur.
- f. Adanya kemungkinan fungsi baru atau alasan lain yang memperbolehkan instalasi atau potongannya tetap berada di dasar laut .

Meskipun begitu, Peraturan Menteri ESDM No.01 tahun 2011 telah mendefinisikan *decommissioning* sebagai ‘pekerjaan pemotongan sebagian atau keseluruhan instalasi dan pemindahan/pengangkutan hasil pembongkaran ke lokasi yang telah ditentukan’ yang berarti pilihan untuk *leave in-place* tidak diperbolehkan (Kementerian ESDM RI, 2011).

## 2.2.2. Bahaya

### 2.2.2.1. Definisi Bahaya

Secara sederhana, bahaya atau diartikan sebagai sumber yang dapat membahayakan. Bahaya adalah segala kondisi yang dapat membahayakan seseorang dan/atau kerusakan pada lingkungan dan peralatan. Bahaya dapat terjadi secara alami, karena sifat dari material tersebut sendiri, atau disebabkan aktivitas atau proses yang tidak didesain atau diatur dengan baik. Kondisi bahaya adalah kondisi atau situasi yang dapat menyebabkan bahaya jika tidak dikontrol dengan baik (Center for Chemical Process Safety, 2010). Sedangkan area bahaya menurut DNV-OS-A101 yaitu seluruh area dimana terdapat gas mudah terbakar atau meledak bercampur dengan udara, atau mungkin dalam keadaan normal, berada dalam jumlah tertentu yang membutuhkan tindakan pencegahan untuk konstruksi dan penggunaan peralatan elektronik dan mesin.

Dalam terminologi keselamatan dan kesehatan kerja, bahaya dapat diklasifikasikan menjadi dua (Khamid, 2017), yaitu:

- a. Bahaya keselamatan kerja (*safety hazard*)  
Merupakan bahaya yang dapat mengakibatkan timbulnya kecelakaan yang dapat menyebabkan luka hingga kematian, kerusakan lingkungan, dan aset perusahaan.  
Jenis-jenis *safety hazard* antara lain:
- Bahaya mekanik, disebabkan oleh mesin atau alat kerja mekanik, seperti tersayat, terpotong, terjatuh, atau tertindih.
  - Bahaya elektrik, disebabkan oleh peralatan yang mengandung arus listrik.
  - Bahaya kebakaran, disebabkan oleh substansi kimia yang bersifat mudah terbakar (*flammable*).
  - Bahaya peledakan, disebabkan oleh substansi kimia yang bersifat mudah meledak (*explosive*).
- b. Bahaya kesehatan kerja (*health hazard*)  
Merupakan jenis bahaya yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan dan penyakit akibat kerja. Jenis-jenis *health hazard* antara lain:
- Bahaya fisik, antara lain getaran, radiasi, kebisingan, pencahayaan, tersengat listrik.
  - Bahaya kimia, antara lain yang berkaitan dengan material atau bahan kimia seperti aerosol, insektisida, gas atau zat kimia lain.
  - Bahaya ergonomi, seperti gerakan berulang-ulang (*repetitive movement*), postur statis (*static postur*), dan cara memindahkan barang (*manual handling*).
  - Bahaya biologi, antara lain yang berkaitan dengan makhluk hidup yang berada di lingkungan kerja seperti bakteri, virus, dan jamur yang bersifat patogen.
  - Bahaya psikologi, seperti beban kerja yang berat, hubungan dan kondisi kerja yang tidak nyaman

#### 2.2.2.2. Identifikasi Bahaya

Tujuan utama dibalik identifikasi *hazard* adalah untuk mengidentifikasi seluruh kejadian yang mungkin terjadi yang dapat membahayakan keselamatan unit

(Orymowska and Sobkowicz, 2017). Terdapat beberapa jenis metode identifikasi bahaya awal, yaitu:

1) *Job Hazard Analysis* (JHA)

JHA yaitu teknik yang dipakai untuk mengidentifikasi dan menganalisis *hazard* dalam sebuah pekerjaan (*job*) sebelum terjadi (Center for Chemical Process Safety, 2010) . JHA fokus pada satu tugas spesifik dan memeriksa:

- Langkah-langkah yang dibutuhkan untuk melakukan kerja
- Hubungan antara pekerjaan dan para pekerja, metode yang dipakai oleh pekerja, dan lingkungan kerja
- Risiko terluka yang berhubungan dengan tugas dan tindakan spesifik untuk mengurangi risiko tersebut.

Secara sederhana, proses JHA dilakukan dalam empat tahap:

- a. Mengidentifikasi pekerjaan berbahaya (*hazardous*)
- b. Menentukan risiko terluka untuk setiap pekerjaan yang dipilih
- c. Memprioritaskan pekerjaan analisis berdasarkan risiko terluka
- d. Menganalisis pekerjaan untuk menentukan *hazard* secara detail, mengidentifikasi langkah terbaik untuk menghilangkan atau mengurangi *hazard*, dan rencana pengaplikasiannya di lapangan.

2) *Process Hazard Analysis* (PHA)

PHA adalah sebuah langkah proaktif yang bertujuan untuk mengidentifikasi bagian keamanan yang lemah dalam suatu proses, desain peralatan, prosedur kegiatan operasi, kegiatan pemeliharaan, dan sebagainya (Nolan, 2008). Berikut beberapa jenis metode yang umum digunakan dalam PHA, yaitu HAZOP, FTA, ETA, FMEA, dan SWIFT (Orymowska and Sobkowicz, 2017).

2.2.3. *Hazard and Operability* (HAZOP)

*Hazard and Operability* (HAZOP) adalah pemeriksaan sebuah rencana atau proses operasi yang telah ada secara terstruktur dan sistematis (Crawley and Tyler, 2000). Tujuannya yaitu untuk mengidentifikasi dan memberikan skor apapun bahaya (*hazard*) yang dapat terjadi pada suatu proses atau operasi yang belum

teridentifikasi pada tahap awal perencanaan. Biasanya metode bersifat kualitatif, dengan penambahan QRA (*Quantitative Risk Assessment*) bila perlu.

HAZOP juga disebut teknik kata bantu (*guidewords technique*), dilakukan dengan memeriksa penyimpangan (*deviation*) dari level yang dapat diterima dengan basis terlalu tinggi, terlalu rendah, terlalu sedikit, terlalu banyak, dan sebagainya (Orymowska dan Sobkowicz, 2017). Format yang digunakan dalam teknik HAZOP berisi elemen-elemen di bawah:

- Kata bantu untuk mengidentifikasi potensi penyimpangan dari tujuan desain
- Penyimpangan, atau deviasi
- Penyebab terjadinya penyimpangan tersebut
- Langkah yang dapat diambil untuk mencegah terjadinya bahaya
- Rekomendasi untuk meningkatkan desain

**Tabel 2.1** Contoh Buku Kerja untuk Analisis HAZOP

HAZOP							Proyek:		
							Tujuan:		
							Tanggal:		
							Hal:		
No.	Guide word	Deviations	No.	Causes	No.	Effects	Safety Measures	Recommendations	

Teknik HAZOP menggunakan pendekatan dengan kata bantuan (*guidewords*) dan dapat juga digabungkan dengan parameter. Parameter disini yaitu istilah untuk sebuah variabel, komponen, atau aktivitas yang berhubungan dengan proses yang akan dianalisis. Contoh kata yang dapat dijadikan *guidewords* atau parameter dapat dilihat dalam DNVGL RP-N101 dan tercantum pada tabel 2.2 dan 2.3. Namun bukan berarti kata yang digunakan terbatas pada itu saja, daftar kata dapat sedetail mungkin. Hasil gabungan kedua kata tersebut yang disebut dengan deviasi atau penyimpangan.

**Tabel 2.2** Contoh *Guidewords*

<i>Guidewords</i>	<i>Description</i>
No/not/don't	The intended material is not present. No substitute material is present. The intended activity does not occur. No direct substitute activity takes place.
More	A higher quantity of material than intended e.g. weight or volume. Higher physical condition e.g. higher pressure. A higher activity than intended e.g. flow rate, pressure rise, heat input, chemical reaction or duration of activity.
Less	A smaller quantity of material than intended e.g. weight or volume. Lower physical condition e.g. lower pressure. A lower activity than intended e.g. flow rate, pressure decrease, heat input, chemical reaction or duration of activity.
As well as	An additional component present, an additional physical condition and/or an additional activity. Unwanted side reactions.
Other than	A totally different material, physical condition or activity.
Part of	One or more intended components or desired activities are missing. Some desired physical condition is absent.

**Tabel 2.3** Contoh Parameter

<i>Parameter</i>	<i>Description</i>
Physical parameters related to input medium properties	Parameters selected for a structured examination of the intended medium itself and its properties and characteristics.
Physical parameters for possible deviations of the medium condition	Parameters selected to study possible deviations from the intended condition (mass, volume, pressure, temperature, etc.) of the medium.
Physical parameters related to system dynamics	Parameters selected to study the dynamics of the system.
Non-physical tangible parameters related to batch type processes	Timing and duration.
Parameters related to system operation	Parameters not necessarily used in conjunction with the guideword list, such as: <ul style="list-style-type: none"> <li>– instrumentation</li> <li>– relief</li> <li>– start-up/shut-down</li> <li>– maintenance</li> <li>– safety/contingency</li> <li>– sampling.</li> </ul>

#### 2.2.4. Risiko

Definisi risiko bersumber pada ISO Guide 73: 2009 melalui Susilo dan Kaho (2018) menyatakan bahwa risiko adalah ketidakpastian yang berdampak pada sasaran. Susilo dan Kaho (2018) menjabarkan definisi tersebut lebih jauh dengan mengatakan bahwa risiko adalah suatu peristiwa yang disebabkan oleh ulah alam atau ulah manusia yang kemungkinan terjadinya belum dapat dipastikan dan besar dampaknya juga belum jelas.

Sedangkan manajemen risiko sendiri adalah aktivitas organisasi yang terarah dan terkoordinasi, yang berkaitan dengan risiko. Secara sederhana, proses manajemen risiko perusahaan terdiri dari beberapa langkah berikut.

- 1) Memahami sasaran dan konteks
- 2) Identifikasi risiko
- 3) Analisis risiko
- 4) Evaluasi risiko
- 5) Perlakuan risiko
- 6) Pelaporan risiko

Pada penelitian kali ini, manajemen risiko yang akan dilakukan hanya sampai pada langkah 3 yaitu analisis risiko. Hal ini dikarenakan tujuan penelitian yaitu membandingkan antara 3 pilihan metode pembongkaran instalasi lepas pantai berdasarkan risiko yang dimiliki tiap pilihan tersebut.

Untuk analisis objektif, penilaian risiko dilakukan dengan *Risk Based Inspection* (RBI). DNV RP G101 mendefinisikan RBI sebagai teknik memilih keputusan untuk perencanaan inspeksi berdasarkan risiko, meliputi angka konsekuensi kegagalan (CoF), dan kemungkinan kegagalan (PoF). Terdapat dua metode dalam melakukan RBI, yaitu kuantitatif dan kualitatif. Dalam praktiknya, kebanyakan inspeksi menggunakan gabungan antara keduanya dan disebut metode semi-kuantitatif. Penelitian kali ini juga menggunakan metode semi-kuantitatif untuk analisis risiko objektif, yaitu menggabungkan hasil identifikasi *hazard* dari metode HAZOP dan QRA (*Quantitative Risk Assessment*).

Kemungkinan kegagalan sendiri yaitu kemungkinan suatu kejadian terjadi per unit waktu (contoh: pertahun). Metode kuantitatif sendiri memiliki radius skor dari 0 hingga  $\infty$ . Skala kemungkinan kegagalan yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan dalam tabel 2.4 di bawah.



**Tabel 2.4** Skala Kemungkinan Kegagalan

Cat.	Annual failure probability		Description
	Quantitative	Qualitative	
5	$> 10^{-2}$	Failure expected	(1) In a small population*, one or more failures can be expected annually. (2) Failure has occurred several times a year in location.
4	$10^{-3}$ to $10^{-2}$	High	(1) In a large population**, one or more failures can be expected annually. (2) Failure has occurred several times a year in operating company.
3	$10^{-4}$ to $10^{-3}$	Medium	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a small number of components. (2) Failure has occurred in operating company.
2	$10^{-5}$ to $10^{-4}$	Low	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components. (2) Failure has occurred in industry.
1	$< 10^{-5}$	Negligible	(1) Failure is not expected. (2) Failure has not occurred in industry.
Notes:			
* Small population = 20 to 50 components.			
** Large population = More than 50 components			

Seperti yang telah dijelaskan, analisis risiko menggunakan dua parameter yaitu kemungkinan gagal dan konsekuensi gagal. Konsekuensi kegagalan dinilai sebagai hasil terjadinya kegagalan. Terdapat tiga tipe konsekuensi: keamanan kru, lingkungan, dan ekonomi. Skala yang digunakan untuk ketiga tipe tersebut ditunjukkan pada tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Skala Konsekuensi Kegagalan

Rank	CoF personnel safety	CoF environment	CoF economic
A	Insignificant	Insignificant	Insignificant
B	Slight/minor injury	Slight/minor effect	Slight/minor damage
C	Major injury	Local effect	Local damage
D	Single fatality	Major effect	Major damage
E	Multiple fatalities	Massive effect	Extensive damage

Setelah memberikan skor untuk setiap potensi kegagalan, risiko dapat ditampilkan dalam matriks dengan sumbu x dan y adalah kemungkinan dan konsekuensi kegagalan. Rekomendasi ukuran matriks untuk menghitung risiko adalah 5 x 5. Matriks yang digunakan dari DNVGL RP-G101, ditunjukkan dalam tabel 2.6.

Tabel 2.6 Contoh Matriks Risiko

PoF Ranking	PoF Description	A	B	C	D	E
5	(1) In a small population, one or more failures can be expected annually. (2) Failure has occurred several times a year in the location.	YELLOW	RED	RED	RED	RED
4	(1) In a large population, one or more failures can be expected annually. (2) Failure has occurred several times a year in operating company.	YELLOW	YELLOW	RED	RED	RED
3	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a small number of components. (2) Failure has occurred in the operating company.	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED	RED
2	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components. (2) Failure has occurred in industry.	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED
1	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components. (2) Failure has occurred in industry.	GREEN	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW
CoF Types	Safety	No Injury	Minor Injury Absence < 2 days	Major Injury Absence > 2 days	Single Fatality	Multiple Fatalities
	Environment	No pollution	Minor local effect. Can be cleaned up easily.	Significant local effect. Will take more than 1 man week to remove.	Pollution has significant effect upon the surrounding ecosystem (e.g. population of birds or fish).	Pollution that can cause massive and irreparable damage to ecosystem.
	Business	No downtime or asset damage	< € 10.000 damage or downtime < one shift	< € 100.000 damage or downtime < 4 shifts	< € 1.000.000 damage or downtime < one month	< € 10.000.000 damage or downtime one year
CoF Ranking		A	B	C	D	E

Matriks risiko ini memiliki tiga tingkat risiko dan diidentifikasi dengan warna:

- Hijau: Risiko rendah dan dapat diterima
- Kuning: Risiko medium tapi masih dapat diterima
- Merah: Risiko tinggi, tidak dapat diterima.

### 2.2.5. Analytical Hierarchy Process (AHP)

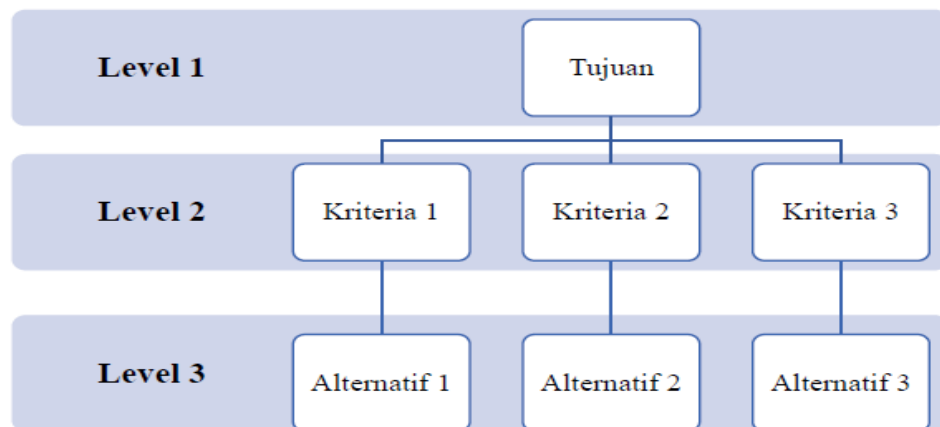
*Analytical Hierarchy Process (AHP)* dirumuskan pertama kali oleh Saaty pada tahun 1980, adalah salah satu jenis pendekatan *multi-criteria decision making (MCDM)* untuk memecahkan masalah keputusan yang rumit (Triantaphyllou dan Mann, 1995). Analisisnya menggunakan struktur hierarki bertingkat banyak berdasarkan tujuan, kriteria, subkriteria, dan alternatif. Data yang berkaitan dihasilkan dari perbandingan berpasangan. Perbandingan tersebut dipakai untuk mendapatkan berat kepentingan tiap kriteria keputusan, dan ukuran kemampuan

relatif tiap alternatif untuk masing-masing kriteria keputusan. Jika hasil perbandingan tidak konsisten, akan digunakan suatu mekanisme untuk meningkatkan konsistensi tersebut.

Langkah-langkah utama dalam analisis AHP dijelaskan oleh Aziz dkk. (2016) sebagai berikut:

1) Membuat model permasalahan (*problem modeling*)

Model permasalahan dalam AHP yaitu membangun susunan hierarki dimana tujuan disorot dan kriteria serta alternatif diidentifikasi. Pembangunan hierarki tersebut dilakukan melalui beberapa tahapan dari tingkat paling atas, tingkat tengah, dan tingkat bawah. Tingkat atas adalah tujuan yang ingin dicapai dalam analisis. Tingkat tengah terdiri atas kriteria dan sub-kriteria dari tujuan. Tingkat paling bawah yaitu alternatif-alternatif untuk memenuhi kriteria tersebut.



**Gambar 2.1.** Struktur Dasar Hierarki (Dewi, 2017)

2) Menggunakan Perbandingan Berpasangan

Perbandingan berpasangan digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan relatif untuk masing-masing alternatif berkaitan dengan masing-masing kriteria. Metode yang bersifat kualitatif diubah menjadi angka menggunakan skala untuk menentukan bobot tiap kriteria dan bobot lokal alternatif. Berikut adalah tabel skala dengan angka 1-9 yang dirumuskan Saaty.

**Tabel 2.7.** Skala Kepentingan Relatif

Tingkat Kepentingan	Penjelasan
1	Tingkat elemen <b>sama</b> penting
3	Satu elemen <b>sedikit lebih penting</b> dibandingkan dengan elemen yang lain
5	Satu elemen <b>lebih penting</b> dibanding elemen lain
7	Satu elemen <b>sangat lebih penting</b> dibanding elemen lain
9	Satu elemen <b>mutlak lebih penting</b> dibanding elemen lain
2,4,6,8	Angka tengah di antara dua angka yang berdampingan

Kemudian hasil dari perbandingan tersebut disusun dalam matriks perbandingan berdasarkan kriteria dan alternatif.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}. \quad (2.1)$$

$$[a_{ij}], \text{ dimana } i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (2.2)$$

$$a_{ij} = 1 \text{ untuk } i = j. \quad (2.3)$$

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \text{ untuk } i \neq j. \quad (2.4)$$

### 3) Menghitung *Eigen Vector*

*Eigenvector method* untuk mendapatkan bobot relatif pada masing-masing elemen pada suatu matriks perbandingan berpasangan.

### 4) Uji Konsistensi Rasio

Uji konsistensi dilakukan untuk memeriksa apakah *judgement* yang diberikan konsisten atau tidak. Pengukuran konsistensi dari suatu matriks didasarkan atas *eigenvalue* maksimum sebagai berikut:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (2.5)$$

Dimana:

CI = Rasio penyimpanan (deviasi) konsistensi (*consistency indeks*)

$\lambda_{max}$  = Angka *eigen* terbesar dari matriks berordo n

n = Orde matriks

Rasio Konsistensi

$$CR = \frac{CI}{RI} 100\% \quad (2.6)$$

Dimana:

$CR \leq 10\%$  = Tingkat inkonsisten dapat diterima

$CR > 10\%$  = Revisi proses pemberian skor

**Tabel 2.8.** Indeks Konsistensi Acak

<b>n</b>	<b><i>Random Index (RI)</i></b>
1	0
2	0
3	0.58
4	0.90
5	1.21
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49
11	1.51
12	1.48
13	1.56
14	1.57
15	1.59

#### 2.2.6. *Fuzzy* AHP

Logika *fuzzy* adalah cabang matematika yang membantu komputer memodelkan masalah seperti bagaimana orang lakukan. *Fuzzy* memiliki peraturan yang lebih fleksibel, dibandingkan dengan Logika Boolean yang menganggap setiap pernyataan sebagai benar atau salah, skor kebenarannya 1 atau 0. Hal ini menyebabkan *fuzzy* dapat menggambarkan sesuatu yang tidak jelas, ambigu, atau memiliki input atau pengetahuan yang salah, dengan cara yang sederhana (Kahraman, 2008).

Menurut Kaganski (2018), pendekatan *Fuzzy AHP* digambarkan dengan angka *fuzzy* segitiga (*Triangular Fuzzy Numbers*, TFN). Angka tersebut diidentifikasi sebagai M rangkap tiga = (l, m, u), dimana fungsi anggotanya didefinisikan sebagai,

$$\mu_M(x) = \begin{cases} \frac{x}{m-l} - \frac{l}{m-l}, & x \in [l, m], \\ \frac{x}{m-u} - \frac{u}{m-u}, & x \in [m, u] \\ 0, & \text{untuk sisanya.} \end{cases} \quad (2.7)$$

Pada persamaan tersebut, l, m, dan u adalah lambang untuk skor lebih kecil (*lower*), tengah (*medium*), dan skor lebih besar (*upper*) dari angka M, atau ( $l \leq m \leq u$ ). Jika ketiganya memiliki angka yang sama ( $l = m = u$ ), maka disebut dengan angka tanpa *fuzzy*. Operasi utama untuk dua angka *triangular* dideskripsikan sebagai berikut.

$$M_1 + M_2 = (l_1 + l_2; m_1 + m_2; u_1 + u_2), \quad (2.8)$$

$$M_1 \times M_2 \approx (l_1 l_2; m_1 m_2; u_1 u_2), \quad (2.9)$$

$$M^{-1} \approx \left( \frac{1}{l_1}; \frac{1}{m_1}; \frac{1}{u_1} \right), \quad (2.10)$$

Penerapan TFN pada skala pemberian skor AHP adalah sebagai berikut.

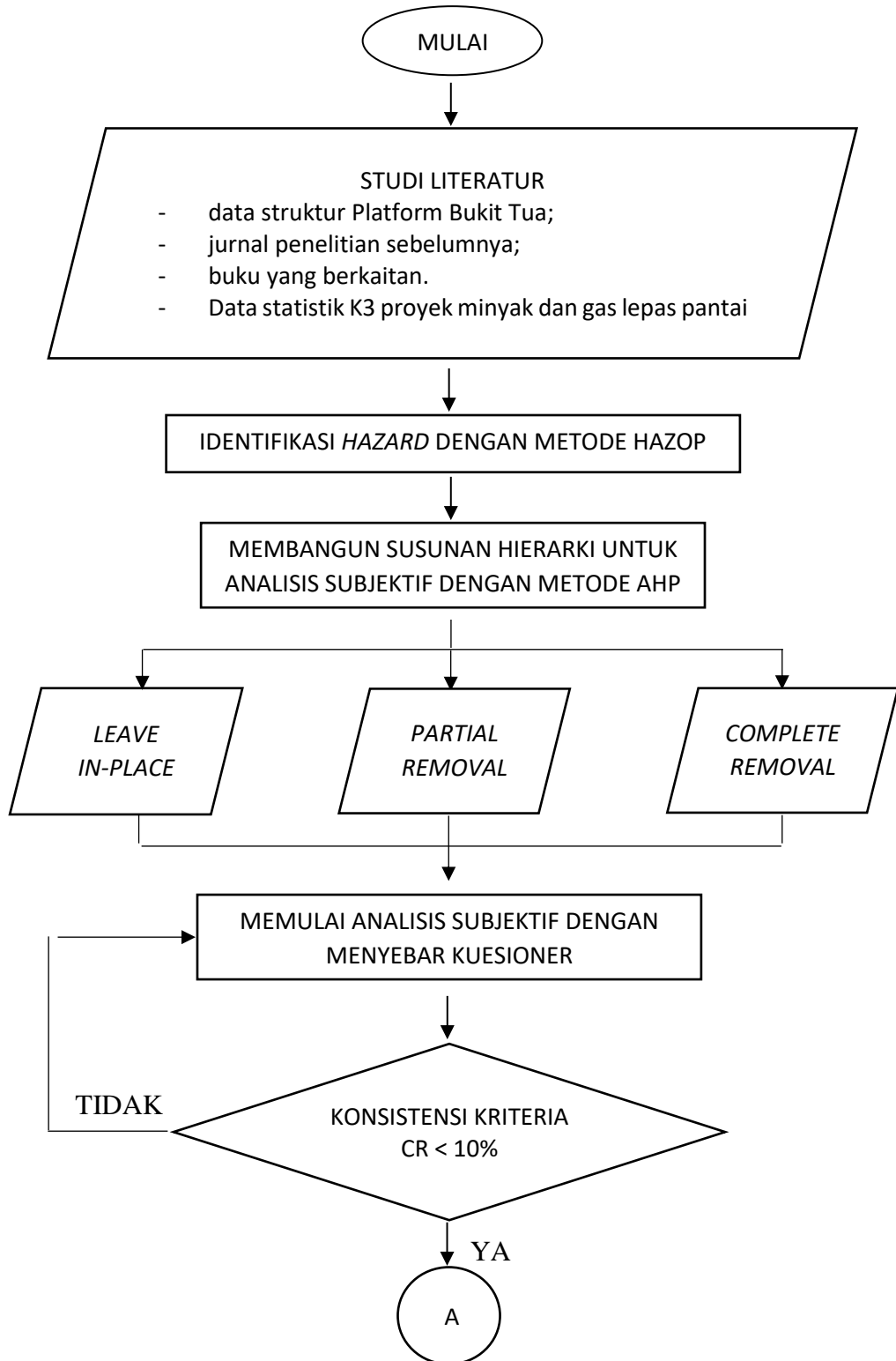
**Tabel 2.9.** *Triangular Fuzzy Number* (TFN) (Kaganski, 2018)

Skala AHP	Himpunan Linguistik	<i>Triangular Fuzzy Number</i>	Kebalikan
		(l, m, u)	(l, m, u)
1	Perbandingan elemen yang sama	(1,1,1)	(1,1,1)
2	Berada di antara 1 dan 3	(1,2,3)	$\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1\right)$
3	Elemen satu cukup penting dibanding elemen lain	(2,3,4)	$\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}\right)$
4	Pertengahan antara 3 dan 5	(3,4,5)	$\left(\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}\right)$
5	Elemen satu lebih penting dibanding elemen lain	(4,5,6)	$\left(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}\right)$

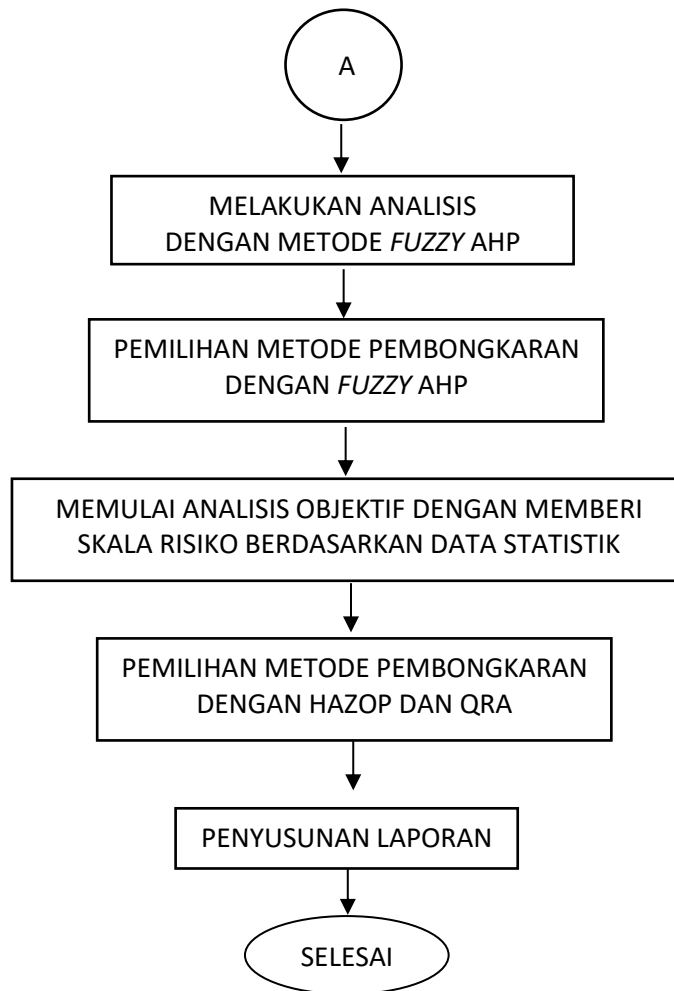
Skala AHP	Himpunan Linguistik	<i>Triangular Fuzzy Number</i>	Kebalikan
		(l, m, u)	(l, m, u)
6	Pertengahan antara 5 dan 7	(5,6,7)	$\left(\frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}\right)$
7	Elemen satu sangat lebih penting dibanding elemen lain	(6,7,8)	$\left(\frac{1}{6}, \frac{1}{7}, \frac{1}{8}\right)$
8	Pertengahan antara 7 dan 9	(7,8,9)	$\left(\frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}\right)$
9	Elemen satu mutlak lebih penting dibanding elemen lain	(9,9,9)	$\left(\frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}\right)$

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Metode Penelitian







**Gambar 3.1.** *Flowchart* Pengerjaan Penelitian

### 3.2. Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Penjelasan dari *flowchart* metodologi penelitian tugas akhir berjudul Identifikasi Bahaya dan Analisis Risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja dan Lingkungan Hidup (K3LH) sebagai Basis dalam Pemilihan Metode Pembongkaran Anjungan Lepas Pantai ini adalah sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Studi Literatur bertujuan untuk mencari dan mempelajari dasar teori yang menunjang tugas akhir ini. Literatur yang dijadikan sumber berasal dari jurnal dan referensi lain yang berkaitan.

b. Identifikasi *Hazard* dengan Metode HAZOP

*Hazard* adalah suatu sumber atau situasi yang berpotensi dapat melukai atau memberikan penyakit pada seseorang, merusak properti,

lingkungan, atau kombinasi dari ketiganya. Identifikasi *hazard* berarti mengidentifikasi kejadian tak diinginkan yang dapat menimbulkan *hazard* dan mekanisme penyebab kejadian tersebut dapat terjadi.

c. Membangun Susunan Hierarki untuk Analisis Subjektif dengan Metode AHP

Setelah mengidentifikasi jenis-jenis bahaya yang dapat terjadi, selanjutnya bahaya tersebut diklasifikasikan dalam beberapa kelompok kriteria. Kriteria tersebut kemudian akan diatur dalam susunan hierarki sebagai langkah awal melakukan analisis dengan metode AHP.

d. Menganalisis Masing-masing Metode (*Leave In-place* dan *Complete Removal*)

Terdapat tiga metode pembongkaran *platform* yang dipertimbangkan dalam studi kasus ini. Masing-masing dianalisis sesuai detail kerja, bahaya, dan risiko yang dapat ditimbulkan jika proyek berjalan.

e. Memulai Analisis Subjektif dengan Menyebarkan Kuesioner

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pendapat para ahli mengenai metode pembongkaran apa yang paling berisiko, untuk dibandingkan dengan fakta yang ada. Analisis dilakukan berdasarkan kriteria yang telah disusun secara hierarki dan dilakukan dengan menyebarkan kuesioner.

f. Menguji Konsistensi Hierarki

Konsistensi Hierarki diuji dengan membandingkan indeks konsistensi dengan indeks acak (*random indeks*) berdasarkan jumlah tingkat hierarki yang telah dibuat. Jika rasio konsistensi kurang dari 10%, maka analisis dapat diterima dan dapat dilanjutkan dengan pemilihan metode pembongkaran. Jika rasio sama atau lebih dari 10%, maka analisis risiko harus dilakukan kembali.

g. Melakukan Analisis dengan Metode *Fuzzy AHP*

Analisis dilakukan menggunakan hasil data dari langkah sebelumnya. Langkah analisis yang dilakukan yaitu menghimpun data, membentuk matriks perbandingan, dan menghitung *eigenvector* sebagai bahan analisis kriteria hierarki.

h. Pemilihan Metode Pembongkaran dengan *Fuzzy* AHP

Hasil dari analisis ketiga metode akan dibandingkan kemudian dilakukan pemilihan metode pembongkaran. Bobot risiko paling sedikit merupakan pilihan pembongkaran instalasi lepas pantai terbaik yang dapat dilakukan.

i. Memulai Analisis Objektif dengan Membobot HAZOP Berdasarkan Data Statistik

Analisis objektif berdasarkan data ini dilakukan sebagai pembandingan dengan hasil analisis subjektif yang berdasarkan kuesioner para ahli. *Hazard* yang telah diidentifikasi pada langkah sebelumnya dibedakan untuk setiap metode pembongkaran dan kemudian diberikan bobot konsekuensi dan kemungkinan gagalannya dengan skala QRA.

j. Pemilihan Metode Pembongkaran dengan HAZOP dan QRA

Setelah jenis-jenis *hazard* diberi skor sesuai data, skor dihitung menggunakan matriks risiko untuk masing-masing metode. Hasilnya yaitu berupa angka risiko yang akan dibandingkan satu sama lain. Metode pembongkaran anjungan lepas pantai yang akan dipilih adalah yang memiliki angka risiko terkecil.

k. Penyusunan Laporan

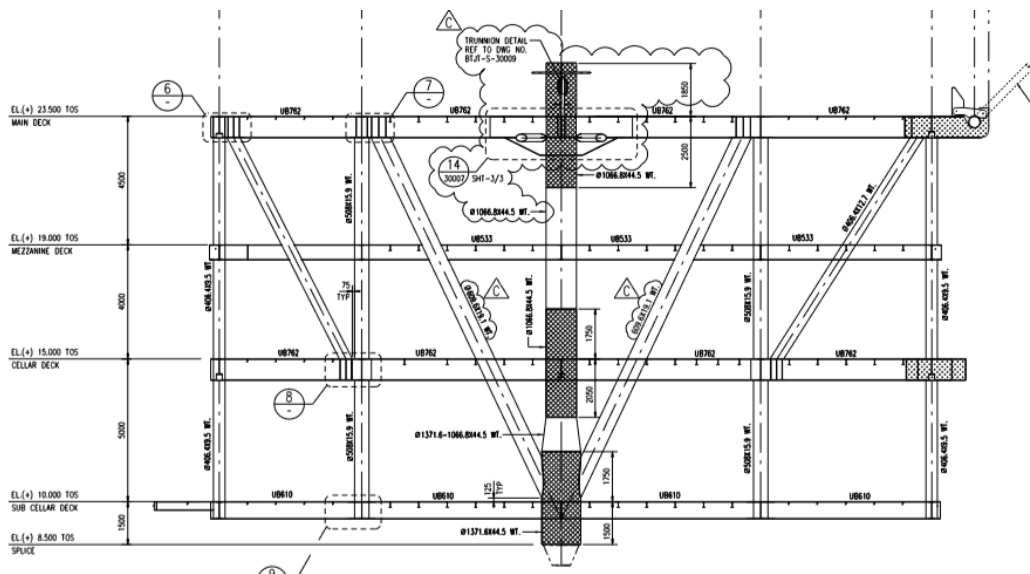
Hasil serta pembahasan dituliskan dalam laporan.

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan sebagai objek studi adalah struktur Platform Bukit Tua. Platform tersebut terletak di area lepas pantai Lapangan Bukit Tua, 110 km di timur laut Gresik, Indonesia. Fasilitas ini dioperasikan oleh Petronas (PC Ketapang II Ltd.) dan berdiri pada kedalaman laut 58,3 m.

Jenis platform adalah wellhead tripod dengan dua kaki berdiameter 1372 mm (54") kaki, kemiringan 9.55 dan 13.55 dan sebuah (1) 1524 mm (60") kaki lurus. Dua pile 1219 mm (48") dan 1372 mm (54") akan dipancang di dalam kaki dan dikoneksikan ke jaket dan pile. Pile dan jaket akan di gruting. WHP akan mempunyai Sembilan (9) konduktor 610 mm (24"). Jack up Rig akan digunakan pada saat pengeboran.

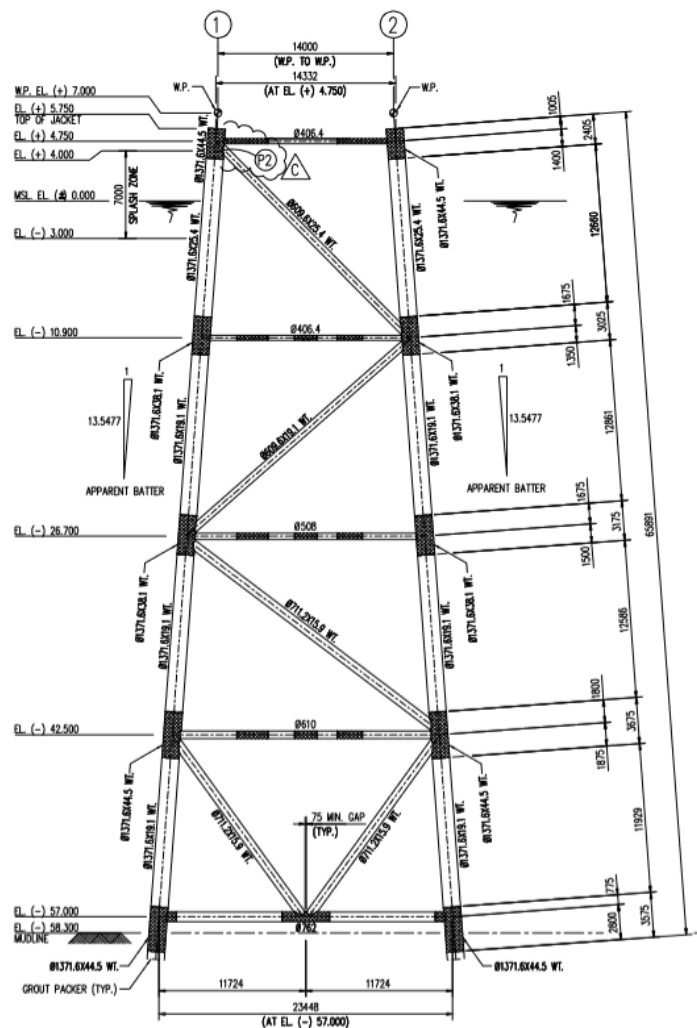


Gambar 4.1 Framing Topside Struktur Bukit Tua

Tinggi jaket 65.5 m (65.9 tinggi sebenarnya). Deck akan memiliki empat (4) lebel :

1. Sub-Cellar Deck di EL. (+) 10 m
2. Cellar deck di TOS EL. (+) 15 m
3. Mezzanine deck di EL. (+) 19 m
4. Main Deck di EL. (+) 23.50 m

WHP juga akan memiliki 20 MT crane dan sebuah vent boom. Luas area main deck 25 m x 24m yang bias digunakan untuk alat-alat pengeboran seperti elektronik tanpa kabel dan coil tubing dengan berat 100 MT dan akan dilokasikan di main deck selama aktivitas pengeboran.



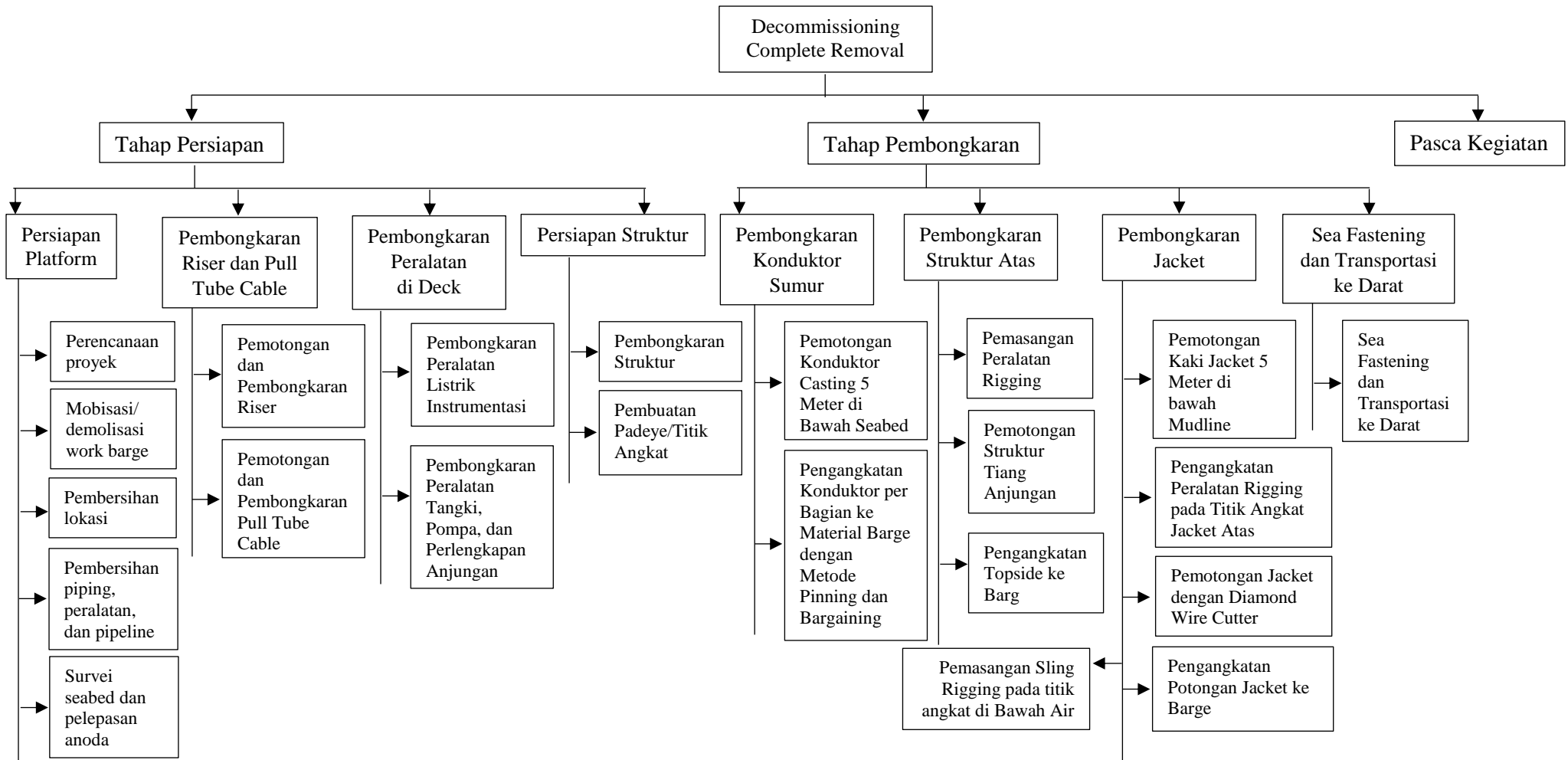
Gambar 4.2 Elevation Jacket Struktur Bukit Tua

## 4.2. Identifikasi *Hazard* dengan Metode HAZOP

HAZOP atau *Hazard and Operability* adalah metode analisis untuk menentukan bahaya apa saja yang dapat terjadi baik sebelum proyek, saat berjalan, hingga proyek tersebut selesai. Tujuan dari analisis ini yaitu menentukan apa saja kemungkinan bahaya dan menghitung seberapa besar potensi bahaya tersebut terjadi dan pengaruhnya baik pada pekerja maupun lingkungan.

Analisis *hazard* kemudian dilakukan dengan meneliti lebih detail setiap langkah kerja pembongkaran anjungan lepas pantai. Langkah kerja yang digunakan yaitu *Work Breakdown Structure* untuk metode *complete removal* yang disusun oleh Agung Prabowo pada tesis tahun 2016 berjudul “Analisa Risiko Pembongkaran Anjungan Minyak dan Gas Bumi Lepas Pantai di ‘ABC’ Company dengan Metode F.M.E.A”, dan ditunjukkan pada bagan 4.1 di bawah.

Penjabaran bahaya kemudian dilakukan dengan menggunakan *guidewords*, parameter, dan juga kriteria risiko berdasarkan langkah kerja tersebut. Kriteria risiko disini ditambahkan untuk mempermudah mengklasifikasikan bahaya berdasarkan penyebabnya, untuk nanti digunakan dalam analisis AHP. Daftar lengkap hasil penjabaran *hazard* dengan metode HAZOP yang telah disusun ditampilkan pada tabel 4.1 di bawah.



**Gambar 4.3** Work Breakdown Structure untuk Proyek Pembongkaran Anjungan Lepas Pantai (Prabowo, 2016)

**Tabel 4.1** Daftar *Hazard* pada Tahap Persiapan

Langkah Kerja		Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
1.1 Persiapan Platform	1.1.2 Mobilisasi/demolisasi Work Barge	Mekanis (Tali mooring)	Operate	Less	Tali untuk mooring tidak memadai	Kurang pengecekan	Pekerja cedera
	1.1.3 Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris	Mekanis (Peralatan pembersihan)	Operate	Less	Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Pekerja terkena debris yang masih berceceran
		Mekanis (Peralatan pembersihan)	Operate	Less	Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Mencemari laut
		Logam Berat	Monitoring	Less	Pembersihan kurang menyeluruh	Kurang pemeriksaan saat pembersihan	Sisa logam berat melukai pekerja
		Logam Berat	Monitoring	Less	Pembersihan kurang menyeluruh	Kurang pemeriksaan saat pembersihan	Sisa logam berat mencemari lingkungan
	1.1.4 Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline	Mekanis (Peralatan Flushing)	Operate	Reverse	Peralatan flushing mengalami malfunction	Sambungan peralatan lepas, kurangnya pemeriksaan sebelum proyek	Cedera



Langkah Kerja		Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
1.1 Persiapan Platform	1.1.4 Pembersihan pipa, peralatan, dan pipeline	Mekanis (Peralatan Flushing)	Operate	Reverse	Peralatan flushing mengalami malfunction	Sambungan peralatan lepas, kurangnya pemeriksaan sebelum proyek	Pencemaran lingkungan
		Hidrokarbon	Monitoring	Less	Minyak tumpah, kebocoran pipa	Kurangnya kewaspadaan saat membersihkan pipa	Kebakaran
		Hidrokarbon	Monitoring	Less	Minyak tumpah, kebocoran pipa	Kurangnya kewaspadaan saat membersihkan pipa	Mengotori lingkungan
		Hidrokarbon	Monitoring	Less	Minyak tumpah, kebocoran pipa	Kurangnya kewaspadaan saat membersihkan pipa	Pekerja terpapar hidrokarbon
		Zat kimia lain	Monitoring	Less	Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Kurangnya kewaspadaan saat membersihkan pipa	Pekerja terpapar zat kimia

Langkah Kerja		Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
1.1 Persiapan Platform	1.1.4 Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline	Zat kimia lain	Monitoring	Less	Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Kurangnya kewaspadaan saat membersihkan pipa	Pencemaran lingkungan
	1.1.5 Survei sea bed dan pelepasan anoda	Mekanis (Peralatan selam)	Operate	No	Peralatan rusak	Kurangnya pemeriksaan sebelum proyek	Diver cedera akibat decompression sickness
		Mekanis (Peralatan selam)	Operate	No	Peralatan rusak	Kegagalan peralatan penyelamatan	Diver terbawa arus laut
		Logam Berat	Monitoring	Less	Pembersihan kurang menyeluruh	Kurang pemeriksaan saat pembersihan	Diver terpapar logam berat dari atas
		Hewan Laut	Monitoring	Less	Diver tidak memerhatikan sekeliling saat menyelam	Kelelahan, ceroboh	Diver diserang biota laut
		Ecotoxin	Monitoring	Less	Kurangnya kewaspadaan saat melakukan survei	Kelelahan, ceroboh	Diver terpapar ecotoxin

Langkah Kerja		Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
1.2 Pembongkaran riser dan pull tube kabel	1.2.1 Pemotongan dan pembongkaran riser	Mekanis (peralatan pemotongan, peralatan angkat riser (crane), pemasangan cap, pemasangan anchor)	Operate	No	Peralatan rusak	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Ledakan, cedera, salah potong, riser jatuh, pencemaran lingkungan
		Ledakan	Operate	Less	Tidak melaksanakan pemotongan dengan benar	Kelelahan, ceroboh	Ledakan, Pekerja cidera
	1.2.2 Pemotongan dan pembongkaran pull tube kabel	Sengatan Listrik	Monitoring	Less	Tidak memerhatikan keberadaan sub sea cable	Kelelahan, ceroboh	Pekerja cedera tersengat arus listrik
1.2. Pembongkaran peralatan di top deck	1.3.1 Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi	Mekanis (Peralatan listrik)	Monitoring	Less	Pembongkaran tidak dilakukan dengan baik	Kelelahan, ceroboh	Pekerja tertimpa peralatan listrik
		Mekanis (Peralatan listrik)	Monitoring	Less	Kesalahan pengoperasian alat potong kabel	Human error	Pekerja cedera akibat alat potong kabel

Langkah Kerja		Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
1.3 Pembongkaran peralatan di top deck	1.3.1 Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi	Sengatan Listrik	Monitoring	Less	Kurangnya pengawasan saat membongkar peralatan listrik	Kelelahan, ceroboh	Tersengat peralatan listrik
	1.3.2 Pembongkaran peralatan tangki, pompa, dan perlengkapan anjungan	Mekanis (shackle, sling, masterlink, spreader bar, dll)	Operate	No	Peralatan pengangkatan rusak	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera
		Mekanis (Crane)	Operate	Less	Crane tidak memadai	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Tidak mampu mengangkat beban, crane terguling, peralatan menabrak anjungan
		Hidrokarbon	Monitoring	Less	Cairan hidrokarbon dari peralatan tumpah	Peralatan bocor, pembersihan tidak menyeluruh	Pencemaran lingkungan

Langkah Kerja		Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
1.4 Persiapan struktur	1.4.1 Pembongkaran struktur untuk mendukung pembongkaran conductor dan anjungan (boat landing, conductor guide dll)	Logam Berat	Monitoring	Less	Pembersihan kurang menyeluruh	Kurang pemeriksaan saat pembersihan	Sisa logam berat mencemari lingkungan
		Mekanis (shackle, sling, masterlink, spreader bar, dll)	Operate	No	Peralatan pengangkatan rusak	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera
		Mekanis (Crane)	Operate	Less	Crane tidak memadai	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Tidak mampu mengangkat beban, crane terguling, peralatan menabrak anjungan
	1.4.2 Pembuatan pad eye/titik pengangkatan anjungan dan jacket	Mekanis (shackle, sling, masterlink, spreader bar, dll)	Operate	No	Peralatan pengangkatan rusak	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera

Langkah Kerja		Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
2.1 Pembongkaran conductor sumur	2.1.1 Pemotongan conductor-casing 5 meter di bawah sea bed	Mekanis (Internal cutter)	Operate	Less	Internal Cutter tidak memadai (stuck dan tidak dapat memotong hingga 5 meter dibawah mudline, atau tidak dapat ditarik ke permukaan)	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Pekerja cedera
	2.1.2 Pengangkatan conductor per bagian (per 12 meter) ke material barge dengan metode pinning dan boring	Mekanis (Crane)	Operate	Less	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pengangkatan	Kurangnya pengecekan alat	pencemaran lingkungan
2.2 Pembongkaran Struktur bagian atas	2.2.2 Pemotongan struktur tiang anjungan	Mekanis (Crane)	Operate	Less	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pemotongan	Kurangnya pengecekan alat	pencemaran lingkungan
		Mekanis (mesin pemotong konduktor)	Monitoring	Less	Kesalahan saat pengoperasian mesin	Ceroboh	Terjadi ledakan dan melukai pekerja

Langkah Kerja		Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
2.2 Pembongkaran Struktur bagian atas	2.2.2 Pemotongan struktur tiang anjungan	Mekanis (mesin pemotong konduktor)	Monitoring	Less	Kesalahan saat pengoperasian mesin	Ceroboh	Terjadi ledakan dan melukai pekerja
	2.2.3 Pengangkatan struktur bagian atas (topside) ke material barge	Mekanis (Crane)	Operate	Less	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pengangkatan	Kurangnya pengecekan alat	pencemaran lingkungan
2.3 Pembongkaran jacket	2.3.1 Pemotongan kaki jacket 5 meter dibawah mud line	Mekanis (internal cutter)	Monitoring	Less	Kesalahan saat memasukkan internal abrasive cutter ke dalam jacket	Human error	Pekerja cedera terjepit
		Mekanis (Internal Cutter, Crane)	Monitoring	Less	Internal abrasive cutter berayun saat diturunkan dengan crane	Angin, crane tidak mampu mengangkat cutter, kurangnya pengawasan	Pekerja cedera terpukul ayunan cutter

Langkah Kerja		Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
2.3 Pembongkaran jacket	2.3.2 Pemasangan peralatan rigging pada titik angkat jacket bagian tas	Mekanis (Sling)	Monitoring	Less	Sling berayun saat akan dipasang pada trunion	Angin, gerakan crane saat menurunkan sling, kurangnya pengawasan	Pekerja cedera terpukul ayunan sling
	2.3.3 Pemotongan jacket dengan diamond wire cutter	Mekanis (Mesin pemotong)	Operate	No	Cutter tidak bekerja optimal (rusak, wire putus, hydraulic hose lepas)	Kurangnya pengecekan alat	Diver dapat cedera akibat kegagalan peralatan
		Mekanis (Mesin Pemotongan Jacket)	Monitoring	Less	Kesalahan saat memasang diamond wire cutter	Human error	Diver cedera terjepit
	2.3.4 Pemasangan sling rigging pada titik angkat di bawah air	Mekanis (Sling, Crane)	Monitoring	Less	Sling diturunkan di bawah air tidak disadari diver	Kurang waspada	Diver terpukul sling



### **4.3. Membentuk Susunan Hierarki Untuk Analisis Subjektif**

Setelah mengidentifikasi sebagian besar *hazard* yang dapat terjadi selama proses pembongkaran anjungan lepas pantai, maka analisis menggunakan metode *Fuzzy AHP (Analytical Hierarchy Process)* dapat dimulai. Dan langkah pertama untuk melakukan hal tersebut yaitu membentuk susunan hierarki.

Bentuk dasar hierarki metode AHP memiliki 4 tingkatan, masing-masing yaitu tujuan, kriteria, subkriteria dan alternatif. Pada penelitian ini, kriteria dan subkriteria ditentukan berdasarkan klasifikasi jenis *hazard* yang telah diidentifikasi sebelumnya. Klasifikasi dilakukan berdasarkan kriteria penyebab *hazard* terjadi, seperti bahaya akibat perkenaan fisik, atau terpapar zat kimia. Total jumlah kriteria yang didapatkan adalah 3 jenis, dengan masing-masing memiliki 3 subkriteria dibawahnya, dan satu subkriteria yang memiliki 3 subsubkriteria. Tujuan penyusunan kriteria yaitu menentukan model pembongkaran anjungan lepas pantai, sehingga alternatif yang akan ditentukan adalah *complete removal*, *partial removal*, dan *leave in place*.

Penjabaran lengkap hasil klasifikasi dan kriteria-kriterianya dijabarkan dibawah, dan susunan hierarki yang telah jadi digambarkan pada bagan 4.2.

#### **4.3.1. Kriteria Bahaya Fisik**

Berikut adalah jenis kriteria *hazard* yang disebabkan oleh perkenaan fisik dan mampu menyebabkan luka serius hingga fatal. Contoh perkenaan fisik yang dimaksud disini seperti terkena peralatan yang rusak, tersengat listrik, hingga terkena ledakan. Jenis *Hazard* ini memiliki 3 subkriteria sebagai berikut.

##### **4.3.1.1. Subkriteria Bahaya Mekanis**

Subkriteria ini memuat *hazard* yang disebabkan oleh peralatan yang bekerja dengan tidak seharusnya (rusak, atau salah pengoperasian). Terdapat 27 bahaya yang tercatat dalam subkriteria ini dari berbagai langkah kerja proses pembongkaran anjungan lepas pantai. Disebabkan jumlahnya yang besar, subkriteria ini kemudian dipecah lagi menjadi 3 subkriteria, dan dijabarkan di bawah ini.

a). Bahaya Akibat Peralatan Rusak

**Tabel 4.2.** Daftar *Hazard* pada Subkriteria Bahaya Akibat Peralatan Rusak

	<b>Kriteria</b>	<b>Parameter</b>	<b>Guide Words</b>	<b>Deviation</b>	<b>Causes</b>	<b>Consequences</b>
<b>1.1.4 Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline</b>	Mekanis (Peralatan Flushing)	Operate	Reverse	Peralatan flushing mengalami Malfunction	Sambungan peralatan lepas, kurangnya pemeriksaan sebelum proyek	Cedera
<b>1.1.4 Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline</b>	Mekanis (Peralatan Flushing)	Operate	Reverse	Peralatan flushing mengalami Malfunction	Sambungan peralatan lepas, kurangnya pemeriksaan sebelum proyek	Pencemaran lingkungan
<b>1.1.5 Survei sea bed dan pelepasan anoda</b>	Mekanis (Peralatan selam)	Operate	No	Peralatan rusak	Kurangnya pemeriksaan sebelum proyek	Diver cedera akibat decompression sickness
<b>1.1.5 Survei sea bed dan pelepasan anoda</b>	Mekanis (Peralatan selam)	Operate	No	Peralatan rusak	Kegagalan peralatan penyelamatan	Diver terbawa arus laut
<b>1.2.1 Pemotongan dan pembongkaran riser</b>	Mekanis (peralatan pemotongan, peralatan angkat riser (crane), pemasangan cap, pemasangan anchor)	Operate	No	Peralatan rusak	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Ledakan, cedera, salah potong, riser jatuh, pencemaran lingkungan
<b>1.3.2 Pembongkaran peralatan tangki, pompa, dan perlengkapan anjungan</b>	Mekanis (shackle, sling, masterlink, spreader bar, dll)	Operate	No	Peralatan pengangkatan rusak	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera
<b>2.1.1 Pemotongan conductor-casing 5 meter di bawah sea bed</b>	Mekanis (Internal cutter)	Operate	Less	Internal Cutter tidak memadai (stuck dan tidak dapat memotong hingga 5 meter dibawah mudline, atau tidak dapat ditarik ke permukaan)	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Pekerja cedera
<b>2.3.3 Pemotongan jacket dengan diamond wire cutter</b>	Mekanis (Mesin pemotong)	Operate	No	Cutter tidak bekerja optimal (rusak, wire putus, hydraulic hose lepas)	Kurangnya pengecekan alat	Diver dapat cedera akibat kegagalan peralatan

b). Bahaya Akibat Kesalahan Pengoperasian Peralatan

**Tabel 4.3.** Daftar *Hazard* pada Subkriteria Bahaya Akibat Kesalahan Pengoperasian Peralatan

	<b>Kriteria</b>	<b>Parameter</b>	<b>Guide Words</b>	<b>Deviation</b>	<b>Causes</b>	<b>Consequences</b>
<b>1.3.1 Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi</b>	Mekanis (Peralatan listrik)	Monitoring	Less	Pembongkaran tidak dilakukan dengan baik	Kelelahan, ceroboh	Pekerja tertimpa peralatan listrik
<b>1.3.1 Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi</b>	Mekanis (Peralatan listrik)	Monitoring	Less	Kesalahan pengoperasian alat potong kabel	Human error	Pekerja cedera akibat alat potong kabel
<b>1.4.1 Pembongkaran struktur untuk mendukung pembongkaran conductor dan anjungan (boat landing, conductor guide dll)</b>	Mekanis (shackle, sling, masterlink, spreader bar, dll)	Operate	No	Peralatan pengangkatan rusak	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera
<b>1.4.2 Pembuatan pad eye/titik pengangkatan anjungan dan jacket</b>	Mekanis (shackle, sling, masterlink, spreader bar, dll)	Operate	No	Peralatan pengangkatan rusak	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera
<b>2.2.2 Pemotongan struktur tiang anjungan</b>	Mekanis (mesin pemotong konduktor)	Monitoring	Less	Kesalahan saat pengoperasian mesin	Ceroboh	Terjadi ledakan dan melukai pekerja
<b>2.2.2 Pemotongan struktur tiang anjungan</b>	Mekanis (mesin pemotong konduktor)	Monitoring	Less	Kesalahan saat pengoperasian mesin	Ceroboh	Terjadi ledakan dan melukai pekerja

	<b>Kriteria</b>	<b>Parameter</b>	<b>Guide Words</b>	<b>Deviation</b>	<b>Causes</b>	<b>Consequences</b>
<b>2.3.1 Pemotongan kaki jacket 5 meter dibawah mud line</b>	Mekanis (internal cutter)	Monitoring	Less	Kesalahan saat memasukkan internal abrasive cutter ke dalam jacket	Human error	Pekerja cedera terjepit
<b>2.3.1 Pemotongan kaki jacket 5 meter dibawah mud line</b>	Mekanis (Internal Cutter, Crane)	Monitoring	Less	Internal abrasive cutter berayun saat diturunkan dengan crane	Angin, crane tidak mampu mengangkat cutter, kurangnya pengawasan	Pekerja cedera terpukul ayunan cutter
<b>2.3.2 Pemasangan peralatan rigging pada titik angkat jacket bagian tas</b>	Mekanis (Sling)	Monitoring	Less	Sling berayun saat akan dipasang pada trunion	Angin, gerakan crane saat menurunkan sling, kurangnya pengawasan	Pekerja cedera terpukul ayunan sling
<b>2.3.3 Pemotongan jacket dengan diamond wire cutter</b>	Mekanis (Mesin Pemotongan Jacket)	Monitoring	Less	Kesalahan saat memasang diamond wire cutter	Human error	Diver cedera terjepit
<b>2.3.4 Pemasangan sling rigging pada titik angkat di bawah air</b>	Mekanis (Sling, Crane)	Monitoring	Less	Sling diturunkan di bawah air tidak disadari diver	Kurang waspada	Diver terpukul sling

c). Peralatan Tidak Memadai

**Tabel 4.4.** Daftar *Hazard* pada Subkriteria Bahaya Akibat Peralatan yang Tidak Memadai

	<b>Kriteria</b>	<b>Parameter</b>	<b>Guide Words</b>	<b>Deviation</b>	<b>Causes</b>	<b>Consequences</b>
<b>1.1.2 Mobilisasi/demolisasi Work Barge</b>	Mekanis (Tali mooring)	Operate	Less	Tali untuk mooring tidak memadai	Kurang pengecekan	Pekerja cedera
<b>1.1.3 Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris</b>	Mekanis (Peralatan pembersihan)	Operate	Less	Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Pekerja terkena debris yang masih berceceran
<b>1.1.3 Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris</b>	Mekanis (Peralatan pembersihan)	Operate	Less	Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Mencemari laut

	Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
<b>1.3.2 Pembongkaran peralatan tangki, pompa, dan perlengkapan anjungan</b>	Mekanis (Crane)	Operate	Less	Crane tidak memadai	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Tidak mampu mengangkat beban, crane terguling, peralatan menabrak anjungan
<b>1.4.1 Pembongkaran struktur untuk mendukung pembongkaran conductor dan anjungan (boat landing, conductor guide dll)</b>	Mekanis (Crane)	Operate	Less	Crane tidak memadai	Dana tidak mencukupi, Kurang pengecekan	Tidak mampu mengangkat beban, crane terguling, peralatan menabrak anjungan
<b>2.1.2 Pengangkatan conductor per bagian (per 12 meter) ke material barge dengan metode pinning dan boring</b>	Mekanis (Crane)	Operate	Less	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pengangkatan	Kurangnya pengecekan alat	pencemaran lingkungan
<b>2.2.2 Pemotongan struktur tiang anjungan</b>	Mekanis (Crane)	Operate	Less	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pemotongan	Kurangnya pengecekan alat	pencemaran lingkungan
<b>2.2.3 Pengangkatan struktur bagian atas (topside) ke material barge</b>	Mekanis (Crane)	Operate	Less	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pengangkatan	Kurangnya pengecekan alat	pencemaran lingkungan

#### 4.3.1.2. Subkriteria Bahaya Akibat Ledakan

Subkriteria ini tersusun oleh *hazard* yang menyebabkan luka fisik akibat terkena ledakan. Meskipun kebanyakan ledakan disebabkan oleh *human error* atau kesalahan pengoperasian mesin, luka-luka yang dapat diterima oleh para korban cukup besar sehingga tidak dapat dimasukkan dalam subkriteria yang sama dengan subkriteria kesalahan pengoperasian peralatan. Tabel 4.5. di bawah ini memaparkan daftar identifikasi *hazard* yang dimasukkan dalam jenis ini.

**Tabel 4.5.** Daftar *Hazard* pada Subkriteria Bahaya Akibat Ledakan

	Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
<b>1.2.1 Pemotongan dan pembongkaran riser</b>	Ledakan	Operate	Less	Tidak melaksanakan pemotongan dengan benar	Kelelahan, ceroboh	Ledakan, Pekerja cedera

#### 4.3.1.3. Subkriteria Bahaya Akibat Sengatan Listrik

Seperti namanya, subkriteria ini memuat *hazard* yang disebabkan karena tersetrum. Penjabaran *hazard* tersebut berada pada tabel 4.6. berikut.

**Tabel 4.6.** Daftar *Hazard* pada Subkriteria Bahaya Akibat Sengatan Listrik

	Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
<b>1.2.2 Pemotongan dan pembongkaran pull tube kabel</b>	Electrical	Monitoring	Less	Tidak memerhatikan keberadaan sub sea cable	Kelelahan, ceroboh	Pekerja cedera tersengat arus listrik
<b>1.3.1 Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi</b>	Electrical	Monitoring	Less	Kurangnya pengawasan saat membongkar peralatan listrik	Kelelahan, ceroboh	Tersengat peralatan listrik

#### 4.3.2. Kriteria Bahaya Akibat Zat Kimia

Berikut ini adalah kriteria kedua dalam susunan hierarki ini. Dalam kriteria ini, risiko *hazard* tidak hanya dapat melukai manusia yang terlibat, tapi juga dapat mencemari lingkungan. Kriteria ini memiliki 10 *hazard* yang tersebar dalam berbagai langkah proyek, dan dibagi atas 3 subkriteria. Subkriteria tersebut yaitu hidrokarbon, logam berat, dan zat kimia selain kedua jenis tersebut.

##### 4.3.2.1. Subkriteria Bahaya Akibat Hidrokarbon

Subkriteria pertama dalam kriteria ini adalah bahaya akibat hidrokarbon, atau tumpahannya. Penjabaran risiko *hazard* yang dapat terjadi berada pada tabel 4.7. di bawah.

**Tabel 4.7.** Daftar *Hazard* pada Subkriteria Bahaya Akibat Hidrokarbon

	<b>Kriteria</b>	<b>Parameter</b>	<b>Guide Words</b>	<b>Deviation</b>	<b>Causes</b>	<b>Consequences</b>
<b>1.1.4 Pembersihan pipa, peralatan, dan pipeline</b>	Hidrocarbon	Monitoring	Less	Minyak tumpah, kebocoran pipa	Kurangnya kewaspadaan saat membersihkan pipa	Kebakaran
<b>1.1.4 Pembersihan pipa, peralatan, dan pipeline</b>	Hidrocarbon	Monitoring	Less	Minyak tumpah, kebocoran pipa	Kurangnya kewaspadaan saat membersihkan pipa	Mengotori lingkungan
<b>1.1.4 Pembersihan pipa, peralatan, dan pipeline</b>	Hidrocarbon	Monitoring	Less	Minyak tumpah, kebocoran pipa	Kurangnya kewaspadaan saat membersihkan pipa	Pekerja terpapar hidrokarbon
<b>1.3.2 Pembongkaran peralatan tangki, pompa, dan perlengkapan anjungan</b>	Hidrocarbon	Monitoring	Less	Cairan hidrokarbon dari peralatan tumpah	Peralatan bocor, pembersihan tidak menyeluruh	Pencemaran lingkungan

#### 4.3.2.2. Subkriteria Bahaya Akibat Logam Berat

Beberapa contoh logam berat yang dimaksud adalah merkuri, yang biasanya ditemukan dalam pipa pembuangan sisa penambangan. Tabel 4.8. menjelaskan beberapa cara zat kimia ini berisiko melukai pekerja dan merusak lingkungan.

**Tabel 4.8.** Daftar *Hazard* pada Subkriteria Bahaya Akibat Logam Berat

	<b>Kriteria</b>	<b>Parameter</b>	<b>Guide Words</b>	<b>Deviation</b>	<b>Causes</b>	<b>Consequences</b>
<b>1.1.3 Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris</b>	Logam Berat	Monitoring	Less	Pembersihan kurang menyeluruh	Kurang pemeriksaan saat pembersihan	Sisa logam berat melukai pekerja
<b>1.1.3 Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris</b>	Logam Berat	Monitoring	Less	Pembersihan kurang menyeluruh	Kurang pemeriksaan saat pembersihan	Sisa logam berat mencemari lingkungan
<b>1.1.5 Survei sea bed dan pelepasan anoda</b>	Logam Berat	Monitoring	Less	Pembersihan kurang menyeluruh	Kurang pemeriksaan saat pembersihan	Diver terpapar logam berat dari atas

	Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
<b>1.4.1 Pembongkaran struktur untuk mendukung pembongkaran conductor dan anjungan (boat landing, conductor guide dll)</b>	Logam Berat	Monitoring	Less	Pembersihan kurang menyeluruh	Kurang pemeriksaan saat pembersihan	Sisa logam berat mencemari lingkungan

#### 4.3.2.3. Subkriteria Bahaya Akibat Zat Kimia Lain

Selain kedua jenis zat kimia diatas, terdapat juga beberapa zat kimia yang meskipun berjumlah lebih sedikit juga berisiko melukai pekerja. Salah satu contohnya yaitu radioaktif. Penjabaran *hazard* untuk subkriteria ini berada pada tabel 4.9.

**Tabel 4.9.** Daftar *Hazard* pada Subkriteria Bahaya Akibat Zat Kimia Lain

	Kriteria	Parameter	Guide Words	Deviation	Causes	Consequences
<b>1.1.4 Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline</b>	Zat kimia lain	Monitoring	Less	Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Kurangnya kewaspadaan saat membersihkan pipa	Pekerja terpapar zat kimia
<b>1.1.4 Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline</b>	Zat kimia lain	Monitoring	Less	Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Kurangnya kewaspadaan saat membersihkan pipa	Pencemaran lingkungan

#### 4.3.3. Kriteria Bahaya Akibat Biologi

Meskipun memiliki jenis *hazard* yang lebih sedikit dibandingkan kriteria lain, terdapat juga kriteria *hazard* akibat biologi atau makhluk hidup. *Hazard* ini terjadi mayoritas disebabkan karena makhluk hidup yang berada di lingkungan struktur berdiri merasa terganggu akibat keberadaan proyek sehingga melakukan hal-hal yang dapat melukai para pekerja proyek. *Hazard* ini memiliki dua subkriteria, *hazard* akibat hewan laut dan *hazard* akibat *ecotoxin*.



#### 4.3.3.1. Hewan Laut

Jenis *hazard* akibat hewan laut biasanya disebabkan oleh hewan disekitar lokasi pembongkaran merasa terganggu, atau merasa lapar melihat para pekerja saat proyek. *Hazard* ini memiliki kemungkinan lebih besar menimpa para *diver*.

**Tabel 4.10.** Daftar *Hazard* pada Subkriteria Bahaya Akibat Hewan Laut

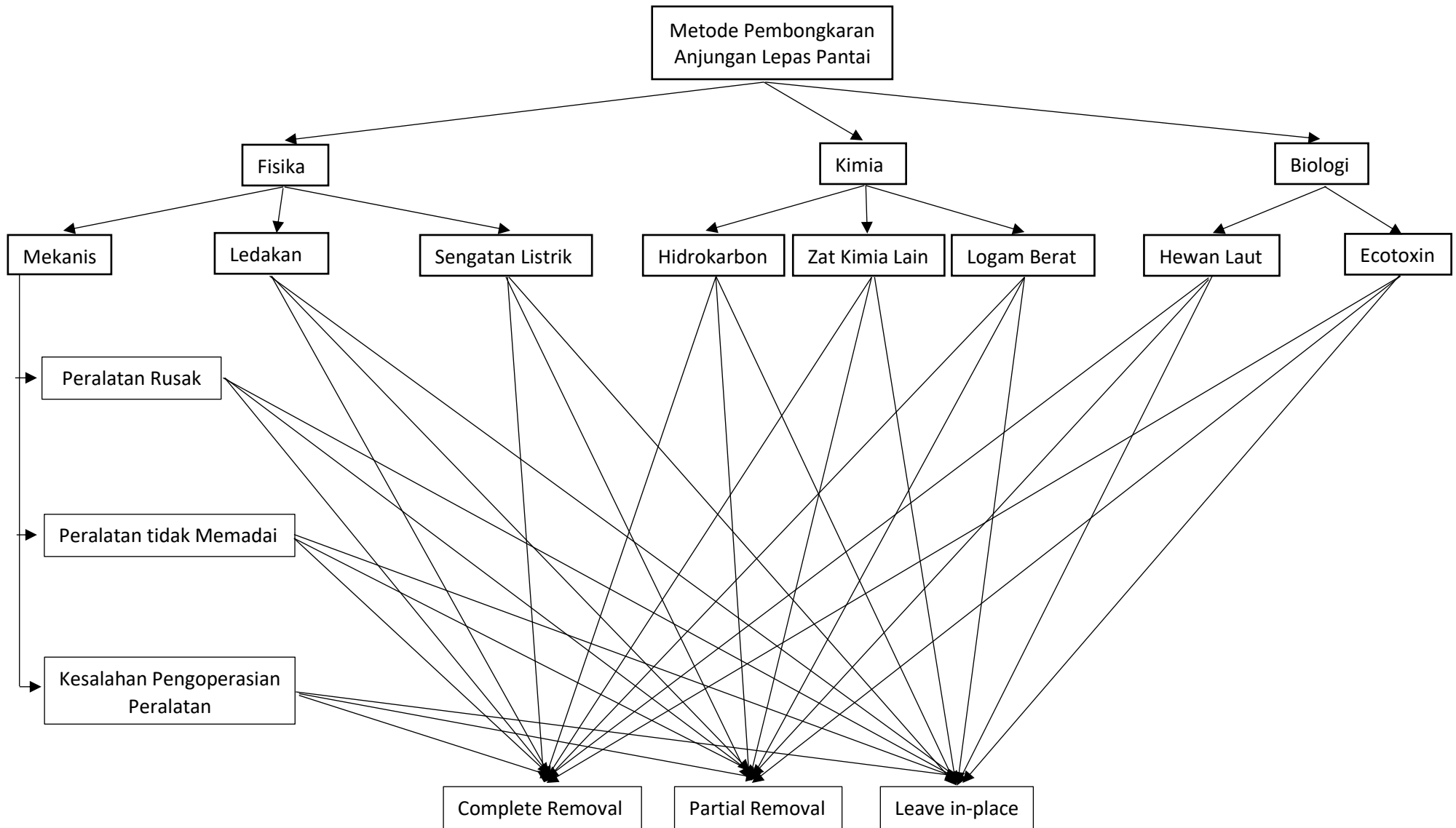
	<b>Kriteria</b>	<b>Parameter</b>	<b>Guide Words</b>	<b>Deviation</b>	<b>Causes</b>	<b>Consequences</b>
<b>1.1.5 Survei seabed dan pelepasan anoda</b>	Hewan Laut	Monitoring	Less	Diver tidak memerhatikan sekeliling saat menyelam	Kelelahan, ceroboh	Diver diserang biota laut

#### 4.3.3.2. Ecotoxin

Selain hewan, laut adalah rumah bagi banyak spesies yang merasa diganggu akibat proses pembongkaran anjungan lepas pantai. Banyak dari spesies tersebut, seperti alga atau bakteri, bersifat beracun dan dapat melukai jika manusia melakukan kontak dengan spesies beracun tersebut. Seperti pada subkriteria sebelumnya, *hazard* akibat *ecotoxin* juga terjadi lebih banyak pada *diver*.

**Tabel 4.11.** Daftar *Hazard* pada Subkriteria Bahaya Akibat Ecotoxin

	<b>Kriteria</b>	<b>Parameter</b>	<b>Guide Words</b>	<b>Deviation</b>	<b>Causes</b>	<b>Consequences</b>
<b>1.1.5 Survei seabed dan pelepasan anoda</b>	Ecotoxin	Monitoring	Less	Kurangnya kewaspadaan saat melakukan survei	Kelelahan, ceroboh	Diver terpapar ecotoxin



**Gambar 4.4.** Struktur Hierarki Pemilihan Metode Pembongkaran Anjungan Lepas Pantai

#### 4.4. Menguji Konsistensi Hierarki

Sebelum melakukan analisis *fuzzy* AHP, hasil pembobotan yang dilakukan oleh responden melalui kuesioner diuji konsistensinya. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa skor hasil kuesioner tidak rancu saat dihitung dan dapat menghasilkan angka yang akurat. Pengujian dilakukan sebagai berikut.

1). Menjumlahkan skor untuk setiap kolom

Setelah hasil kuesioner didapatkan, angka tersebut kemudian dipetakan dalam tabel perbandingan berpasangan. Selanjutnya skor yang didapat tiap kriteria per kolom dijumlahkan.

**Tabel 4.12** Hasil Penjumlahan Skor Tiap Kolom Kriteria Utama

	<b>Fisika</b>	<b>Kimia</b>	<b>Biologi</b>
<b>Fisika</b>	1	0.5	3
<b>Kimia</b>	2	1	4
<b>Biologi</b>	0.2	0.333	1
<b>Total per kolom (C)</b>	<b>3.2</b>	<b>1.833</b>	<b>8</b>

2). Menentukan matriks ternormalisasi (*Normalized Matrix*) dari tabel perbandingan berpasangan

Matriks ini didapatkan dari membagi setiap skor perbandingan dengan jumlah per kolom dibawahnya. Hasil dari pembagian tersebut ditunjukkan pada tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Contoh *Normalized Matrix*

	<b>Fisika</b>	<b>Kimia</b>	<b>Biologi</b>
<b>Fisika</b>	0.3125	0.273	0.375
<b>Kimia</b>	0.625	0.545	0.5
<b>Biologi</b>	0.0625	0.182	0.125
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

3). Mencari *eigenvalue*

*Eigenvalue* didapatkan dengan merata-ratakan skor perbandingan tiap baris.

**Tabel 4.14** Contoh *Eigenvalue*

<b>Eigenvalue (W)</b>
0.320
0.557
0.123

4). Mencari total bobot tiap kriteria (*Weight sum*)

Langkah ini dilakukan dengan mengalikan matriks [A] dan matriks [W].

**Tabel 4.15** Contoh Perhitungan Total Bobot Tiap Kriteria

<b>Weight sum (Ws)</b>
0.968
1.689
0.373

5). Menghitung Skor Konsistensi dan nilai  $\lambda_{max}$ .

Skor konsistensi dihitung dengan membagikan setiap angka dari *eigenvalue* dengan angka dari *weight sum*.  $\lambda_{max}$  didapatkan dari rata-rata setiap skor konsistensi.

**Tabel 4.16** Hasil Perhitungan Skor Konsistensi

<b>Consistency(Ws/W)</b>	
	3.024
	3.034
	3.028
<b><math>\lambda_{max}</math></b>	<b>3.028</b>

6). Mencari nilai Indeks Konsistensi (CI) dan Rasio Konsistensi (CR).

Nilai CI dan CR didapatkan menggunakan rumus 2.5 dan 2.6. Skor perbandingan baru dapat diterima jika  $CR < 10\%$ .

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$CI = \frac{3,028 - 3}{3 - 1} = 0,014$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \times 100\%$$

$$CR = \frac{0,014}{0,58} \times 100\% = 2,4\%$$

Karena nilai CR yang didapatkan kurang dari 10%, maka dapat disimpulkan bahwa skor perbandingan untuk setiap kriteria utama adalah konsisten, dan dapat digunakan untuk analisis AHP.

#### 4.5. Hasil Analisis dengan Fuzzy AHP

Setelah memastikan bahwa setiap matriks pembobotan kriteria konsisten, maka analisis *fuzzy* AHP dapat dilakukan. Hasil perhitungan setiap kriteria dan subkriteria dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengubah Skor AHP menjadi angka TFN

Skor AHP diubah menggunakan tabel TFN pada bab 2. Hasil dari pengubahan skor tersebut untuk kriteria utama tercantum pada tabel di bawah.

**Tabel 4.17** Hasil Pengubahan Skor AHP menjadi Angka TFN

	Fisika			Kimia			Biologi			Total per baris		
	l	M	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
<b>Fisika</b>	1	1	1	0.333	0.5	1	2	3	4	3.333	4.5	6
<b>Kimia</b>	1	2	3	1	1	1	3	4	5	5	7	9
<b>Biologi</b>	0.25	0.333	0.5	0.2	0.25	0.333	1	1	1	1.45	1.583	1.833
Total $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}$										9.783	13.083	16.833
invers matriks total $\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} \right]^{-1}$										16.833	13.083	9.783

2. Menghitung Skor Sintesis *Fuzzy*

$$Si = \left[ \sum_{j=1}^m a_{ij} \right] \times \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} \right]^{-1} \quad (4.1)$$

**Tabel 4.18** Hasil Perhitungan Skor Sintesis *Fuzzy*

	skor sintesis fuzzy		
	<b>l</b>	<b>m</b>	<b>u</b>
<b>Fisika</b>	0.1980198	0.34394904	0.6132879
<b>Kimia</b>	0.2970297	0.53503185	0.91993186
<b>Biologi</b>	0.08613861	0.12101911	0.18739353

3. Menghitung Perbandingan Derajat Kemungkinan

$$V(S_i \geq S_j); i, j = 1, 2, 3, \dots, n; i \neq j, \quad (4.2)$$

$$V(S_i \geq S_j) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_i \geq m_j \\ \frac{l_j - u_i}{(m_j - u_j) - (m_i - l_i)}, & \text{if } m_i \leq m_j \\ 0, & \text{if } l_j > u_i \end{cases} \quad (4.3)$$

catatan: skor l, m, dan u, didapat dari skor sintesis tiap kriteria

$$d(A_i) = \min[V(S_i \geq S_k)]; i, k = 1, 2, 3, \dots, n; i \neq k. \quad (4.4)$$

**Tabel 4.19** Perbandingan Derajat Kemungkinan Untuk Kriteria Bahaya Akibat Fisik

	lj-ui	mi-li	mj-uj	skor V
Fisika $\geq$ Kimia	-0.316	0.146	-0.385	0.596
Fisika $\geq$ Biologi	-0.527	0.146	-0.066	1
<b>skor d'</b>	<b>0.596</b>			

**Tabel 4.20** Perbandingan Derajat Kemungkinan Untuk Kriteria Bahaya Akibat Kimia

	lj-ui	mi-li	mj-uj	skor V
Kimia $\geq$ Fisika	-0.722	0.238	-0.269	1
Kimia $\geq$ Biologi	-0.834	0.238	-0.066	1
<b>skor d'</b>	<b>1</b>			

**Tabel 4.21** Perbandingan Derajat Kemungkinan Untuk Kriteria Bahaya Akibat Biologi

	lj-ui	mi-li	mj-uj	skor V
Biologi ≥ Fisika	0.011	0.035	-0.269	0
Biologi ≥ Kimia	0.11	0.035	-0.385	0
<b>skor d'</b>	<b>0</b>			

4. Mengetahui Bobot Vektor tiap Kriteria

$$W' = [d'(A_1), d(A_2), d(A_3), \dots, d(A_n)], \quad (4.5)$$

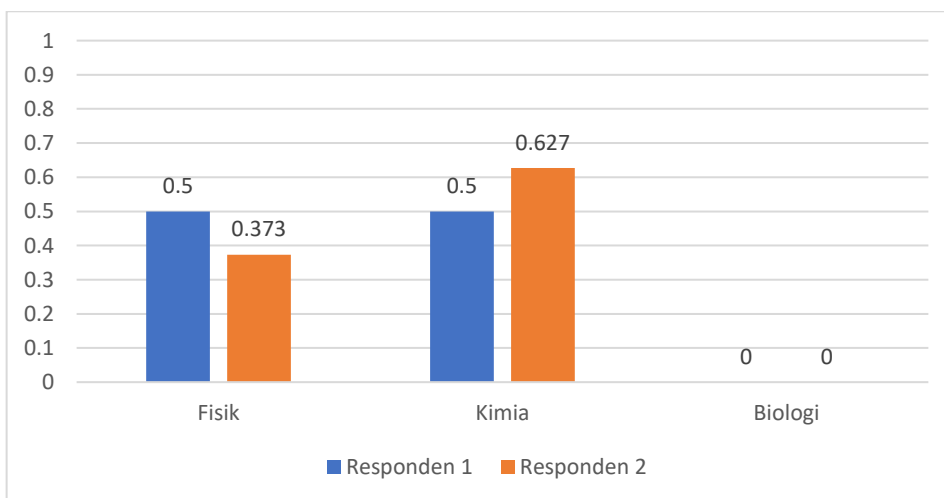
$$W = \frac{[d'(A_1), d(A_2), d(A_3), \dots, d(A_n)]}{\sum_{i=1}^n w'_i}. \quad (4.6)$$

**Tabel 4.22** Hasil Perhitungan Bobot Vektor tiap Kriteria

	W'	W (normalized)
<b>Fisika</b>	0.596	0.373
<b>Kimia</b>	1	0.627
<b>Biologi</b>	0	0
<b>Total</b>	1.596	1

#### 4.5.1. Perbandingan Kriteria Antar Responden

Setelah dilakukan analisis hasil pembobotan dengan metode *fuzzy* AHP, selanjutnya skor perbandingan antar kriteria digambarkan dalam bagan di bawah.

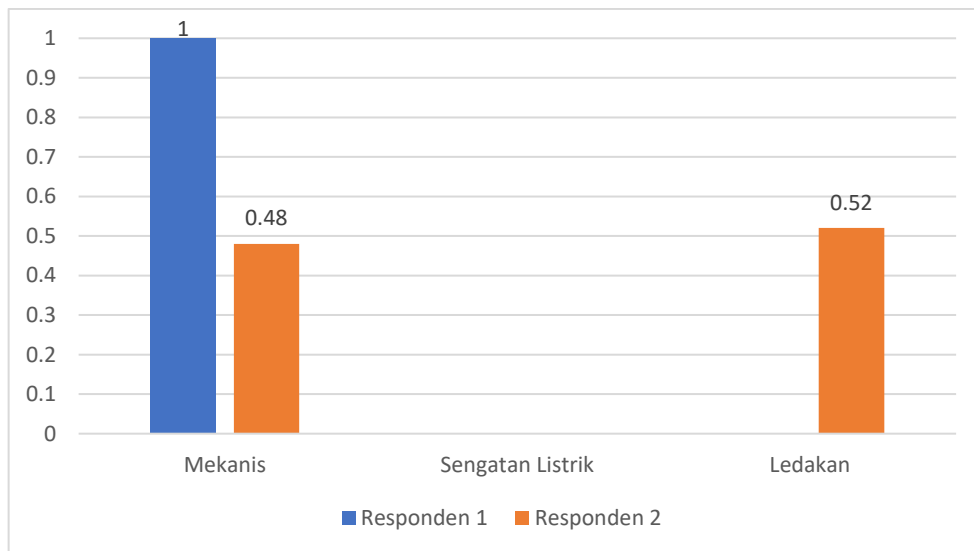


**Gambar 4.5.** Tingkat Risiko Kriteria Utama

Dapat dilihat pada bagan tersebut, bahwa kedua responden menganggap bahwa risiko bahaya akibat perkenaan fisik dan bahaya akibat zat kimia lebih tinggi secara signifikan dibandingkan bahaya akibat biologi. Jika dipecah lagi, Responden 1 menganggap bahwa tingkat risiko akibat perkenaan fisik dan zat kimia sama, tapi responden 2 berpendapat bahwa risiko akibat zat kimia lebih penting untuk dipertimbangkan.

#### 4.5.2. Tingkat Risiko Subkriteria Bahaya Akibat Fisik

Bahaya akibat perkenaan fisik memiliki 3 subkriteria, yaitu mekanis, sengatan listrik, dan ledakan. Hasil analisis dari pendapat ahli digambarkan dalam bagan di bawah.



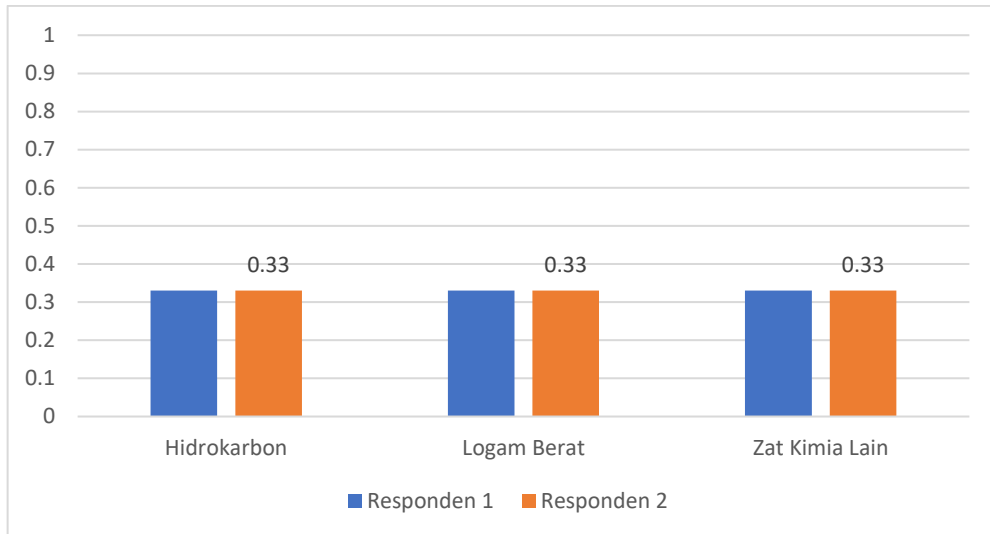
**Gambar 4.6.** Tingkat Risiko pada Kriteria Bahaya Fisik

Menurut dari bagan tersebut, responden 1 menganggap bahwa bahaya akibat perkenaan fisik seluruhnya disebabkan oleh peralatan proyek. Namun responden 2 menganggap berbeda, dan pandangannya lebih terpecah. Dengan angka 0,52 responden 2 berpendapat subkriteria bahaya akibat ledakan sedikit lebih penting daripada bahaya akibat perkenaan alat.

#### 4.5.3. Tingkat Kepentingan Subkriteria Bahaya Akibat Kimia

Kriteria bahaya akibat zat kimia memiliki 3 subkriteria untuk memilih alternatif, yaitu zat kimia hidrokarbon, zat kimia logam berat, dan zat kimia lainnya. Kemudian hasil analisis kepentingan tiap subkriteria digambarkan dalam bagan di bawah.

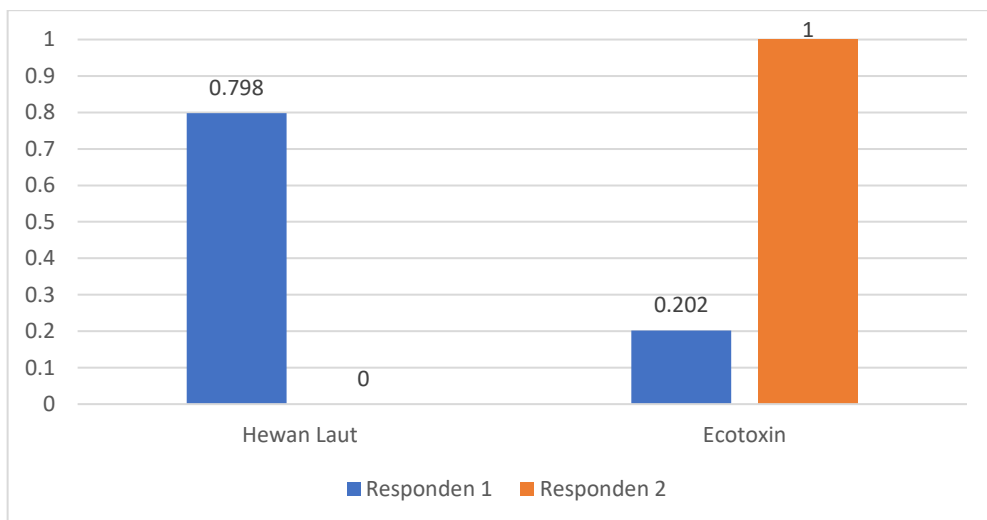




**Gambar 4.7.** Tingkat Risiko pada Kriteria Bahaya Akibat Zat Kimia

Dapat dilihat pada tabel, diatas, kedua responden memiliki pandangan yang sama bahwa setiap zat kimia memiliki tingkat risiko setara satu dan yang lainnya. Hal tersebut mungkin dikarenakan bahwa semua zat kimia memiliki kemungkinan sama untuk mengkontaminasi lingkungan dan melukai para pekerja, karena sumbernya sama yaitu biasanya di saluran pembuangan.

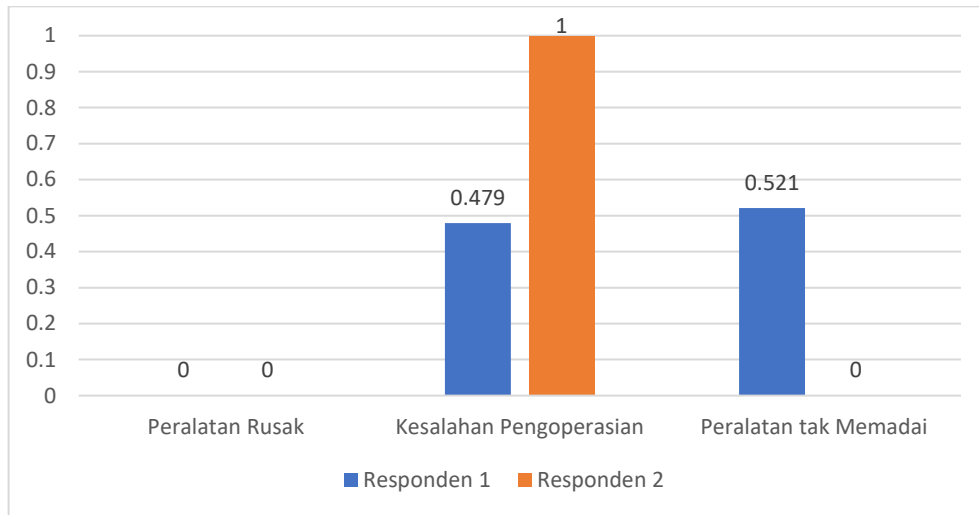
#### 4.5.4. Tingkat Risiko Subkriteria Bahaya Akibat Biologi



**Gambar 4.8.** Tingkat Risiko pada Kriteria Bahaya Akibat Biologi

Dapat dilihat pada bagan di atas bahwa menurut responden 1, risiko bahaya akibat hewan laut dapat lebih tinggi dibandingkan bahaya akibat *ecotoxin*. Sedangkan menurut responden 2, risiko bahaya akibat *ecotoxin* tentu jauh lebih tinggi dibandingkan risiko bahaya akibat hewan laut.

#### 4.5.5. Tingkat Risiko Subkriteria Bahaya Akibat Peralatan Mekanis

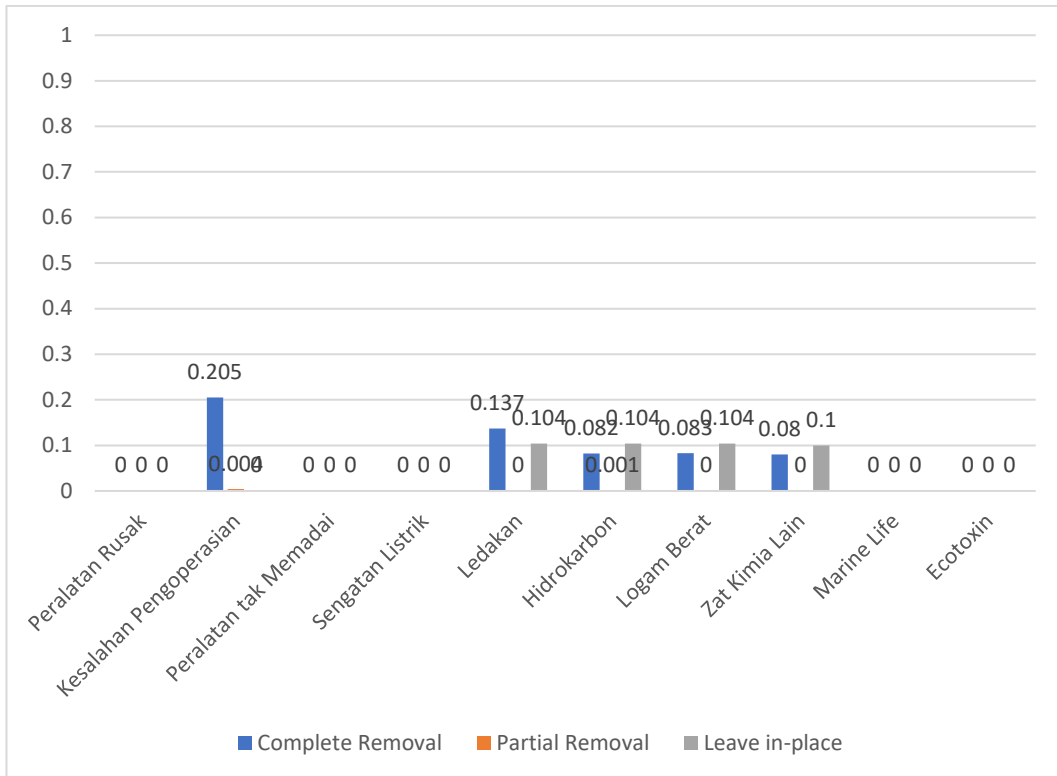


**Gambar 4.9.** Tingkat Risiko pada Subkriteria Bahaya Akibat Mekanis

Menurut grafik diatas, tingkat risiko bahaya akibat kesalahan pengoperasian jauh lebih tinggi menurut responden 2. Responden 1 juga beranggapan bahwa bahaya akibat kesalahan pengoperasian itu tinggi, namun bahaya akibat ketiadaan peralatan yang mumpuni masih sedikit lebih besar.

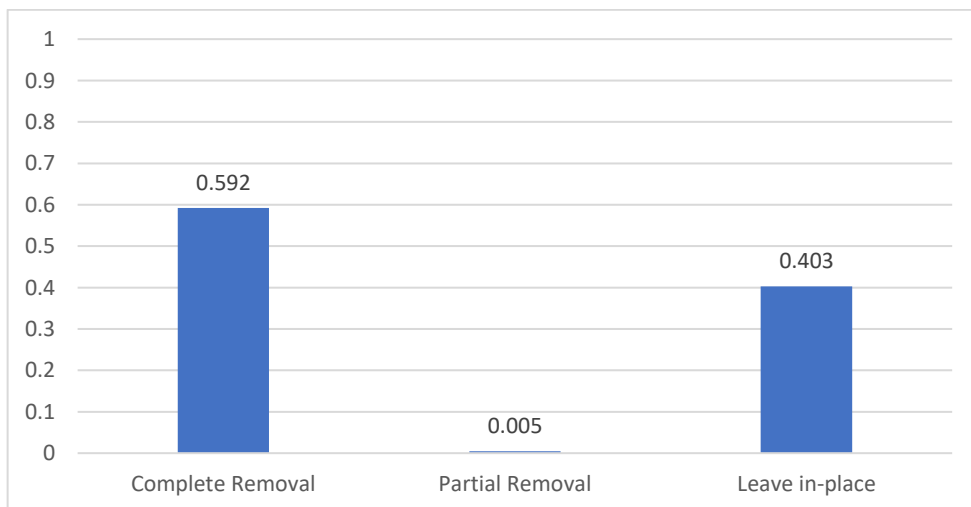
#### 4.5.6. Perbandingan Alternatif antara Subkriteria

Setelah membandingkan masing-masing pendapat responden, kemudian dilakukan analisis untuk memilih metode pembongkaran anjungan lepas pantai yang tepat berdasarkan subkriteria yang ada. Seperti yang dijabarkan sebelumnya, hierarki yang digunakan memiliki 3 kriteria, dan total 10 subkriteria. Pemetaan alternatif metode kemudian dilakukan berdasarkan subkriteria tersebut untuk menentukan pilihan yang tepat.



**Gambar 4.10.** Tingkat Kepentingan setiap Alternatif Berdasarkan Subkriteria

Setelah menentukan bobot tiap alternatif berdasarkan subkriteria, akhirnya dapat dilakukan pemetaan tingkat risiko tiap alternatif dan digambarkan dalam Bagan 4.9. Dapat dilihat bahwa berdasarkan metode *Fuzzy AHP* dengan pendapat para ahli, metode pembongkaran anjungan lepas pantai yang paling tepat adalah yang memiliki tingkat risiko terkecil, yaitu *partial removal* dengan skor 0,005.



**Gambar 4.11.** Peringkat Risiko Setiap Alternatif

#### 4.6. Analisis Risiko Objektif dengan HAZOP dan QRA

Berdasarkan analisis pemilihan metode pembongkaran anjungan lepas pantai menggunakan AHP sebelumnya, didapatkan alternatif pembongkaran terbaik, yaitu metode partial removal. Selanjutnya kemudian dilakukan pertimbangan kelayakan metode dijalankan. Data yang digunakan adalah *Offshore Statistics and Regulatory Activity Report 2017* yang dibuat oleh *Health and Safety Executive*. Laporan tersebut adalah statistik kecelakaan dan kesehatan para pekerja di anjungan lepas pantai pada tahun 2017.

##### 4.6.1. Membuat *Work Breakdown Structures* untuk Setiap Metode Pembongkaran

Langkah pertama sebelum melakukan analisis risiko menggunakan QRA adalah menentukan langkah-langkah kerja setiap metode pembongkaran. Hal tersebut disebabkan karena penilaian QRA dilakukan berdasarkan potensi kejadian *hazard* dalam setiap langkah proyek. Dan tentu saja dalam setiap metode pembongkaran memiliki langkah pengerjaan yang berbeda pula. Maka dari itu berikut tabel 4.23 yang menampilkan perbedaan antara WBS metode *complete removal*, WBS metode *partial removal*, serta WBS untuk metode *leave in-place*.

**Tabel 4.23** Perbandingan Langkah Kerja untuk Setiap Alternatif Pembongkaran Anjungan Lepas Pantai

Langkah Kerja Umum	Complete removal	Partial removal	Leave in-place
Persiapan Platform	Mobilisasi/demolisasi Work Barge	Mobilisasi/demolisasi Work Barge	Mobilisasi/demolisasi Work Barge
	Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris	Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris	Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris
	Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline	Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline	Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline
	Survei sea bed dan pelepasan anoda	Survei sea bed dan pelepasan anoda	Survei sea bed dan pelepasan anoda

<b>Langkah Kerja Umum</b>	<b>Complete removal</b>	<b>Partial removal</b>	<b>Leave in-place</b>
<b>Pembongkaran riser dan pull tube kabel</b>	Pemotongan dan pembongkaran riser	Pemotongan dan pembongkaran riser	Pemotongan dan pembongkaran riser
	Pemotongan dan pembongkaran pull tube kabel	Pemotongan dan pembongkaran pull tube kabel	Pemotongan dan pembongkaran pull tube kabel
<b>Pembongkaran peralatan di top deck</b>	Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi	Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi	Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi
	Pembongkaran peralatan tangki, pompa, dan perlengkapan anjungan	Pembongkaran peralatan tangki, pompa, dan perlengkapan anjungan	Pembongkaran peralatan tangki, pompa, dan perlengkapan anjungan
<b>Persiapan struktur</b>	Pembongkaran struktur untuk mendukung pembongkaran conductor dan anjungan (boat landing, conductor guide dll)	Pembongkaran struktur untuk mendukung pembongkaran conductor dan anjungan (boat landing, conductor guide dll)	
	Pembuatan pad eye/titik pengangkatan anjungan dan jacket		
<b>Pembongkaran conductor sumur</b>	Pemotongan conductor-casing 5 meter di bawah sea bed	Pemotongan conductor-casing 5 meter di bawah sea bed	
	Pengangkatan conductor per bagian (per 12 meter) ke material barge dengan metode pinning dan boring	Pengangkatan conductor per bagian (per 12 meter) ke material barge dengan metode pinning dan boring	
<b>Pembongkaran Struktur bagian atas</b>	Pemotongan struktur tiang anjungan	Pemotongan struktur tiang anjungan	

<b>Langkah Kerja Umum</b>	<b>Complete removal</b>	<b>Partial removal</b>	<b>Leave in-place</b>
	Pengangkatan struktur bagian atas (topside) ke material barge	Pengangkatan struktur bagian atas (topside) ke material barge	
<b>Pembongkaran jacket</b>	Pemotongan kaki jacket 5 meter dibawah mud line		
	Pemasangan peralatan rigging pada titik angkat jacket bagian tas		
	Pemotongan jacket dengan diamond wire cutter		
	Pemasangan sling rigging pada titik angkat di bawah air		
	Pengangkatan potongan jacket ke material barge (Lifting point: potongan pertama pakai Trunion di atas air, dan potongan di bawah air dibor dan dipasang shackle)		
<b>Sea fastening dan transportasi ke laut</b>	Sea fastening dan transportasi ke laut	Sea fastening dan transportasi ke laut	Sea fastening dan transportasi ke laut
<b>Pasca Kegiatan</b>	Sea floor dibersihkan dari bekas-bekas debris	Jacket ditinggalkan	Struktur (Topside dan Jacket) ditinggalkan

#### 4.6.2. Menjabarkan *Hazard* setiap Langkah Kerja

Setelah langkah kerja untuk setiap metode terparar jelas, kemudian dilakukan identifikasi bahaya menggunakan HAZOP seperti yang dilakukan sebelumnya. Karena masing-masing metode pembongkaran anjungan lepas pantai memiliki langkah kerja yang berbeda, maka terdapat *hazard* yang terjadi dapat berbeda pula. Untuk

metode *complete removal*, penjabaran lengkap ditampilkan pada tabel 4.24 di bawah.

**Tabel 4.24** Daftar *Hazard* yang Dapat Terjadi saat *Decommissioning* Metode *Complete Removal*

<b>Langkah Kerja</b>		<b>Hazard</b>	<b>Consequence</b>
<b>Persiapan Platform</b>	Mobilisasi/demolisasi Work Barge	Tali untuk mooring tidak memadai	Pekerja cedera
	Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris	Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Pekerja terkena debris yang masih berceceran
		Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Mencemari laut
		Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat melukai pekerja
		Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat mencemari lingkungan
		Peralatan flushing mengalami malfunction	Cedera
	Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline	Peralatan flushing mengalami malfunction	Pencemaran lingkungan
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Kebakaran
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Mengotori lingkungan
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Pekerja terpapar hidrokarbon

Langkah Kerja		Hazard	Consequence
		Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Pekerja terpapar zat kimia
		Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Pencemaran lingkungan
	Survei sea bed dan pelepasan anoda	Peralatan rusak	Diver cedera akibat decompression sickness
		Peralatan rusak	Diver terbawa arus laut
		Pembersihan kurang menyeluruh	Diver terpapar logam berat dari atas
		Diver tidak memerhatikan sekeliling saat menyelam	Diver diserang biota laut
Kurangnya kewaspadaan saat melakukan survei	Diver terpapar ecotoxin		
<b>Pembongkaran riser dan pull tube kabel</b>	Pemotongan dan pembongkaran riser	Peralatan rusak	Ledakan, cedera, salah potong, riser jatuh, pencemaran lingkungan
		Tidak melaksanakan pemotongan dengan benar	Ledakan, Pekerja cedera
	Pemotongan dan pembongkaran pull tube kabel	Tidak memerhatikan keberadaan sub sea cable	Pekerja cedera tersengat arus listrik



Langkah Kerja		Hazard	Consequence
<b>Pembongkaran peralatan di top deck</b>	Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi	Pembongkaran tidak dilakukan dengan baik	Pekerja tertimpa peralatan listrik
		Kesalahan pengoperasian alat potong kabel	Pekerja cedera akibat alat potong kabel
		Kurangnya pengawasan saat membongkar peralatan listrik	Tersengat peralatan listrik
	Pembongkaran peralatan tangki, pompa, dan perlengkapan anjungan	Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat mencemari lingkungan
		Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera
		Crane tidak memadai	Tidak mampu mengangkat beban, crane terguling, peralatan menabrak anjungan
<b>Persiapan struktur</b>	Pembongkaran struktur untuk mendukung pembongkaran conductor dan anjungan (boat landing, conductor guide dll)	Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera
	Pembuatan pad eye/titik pengangkatan anjungan dan jacket	Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera

Langkah Kerja		Hazard	Consequence
<b>Pembongkaran conductor sumur</b>	Pemotongan conductor-casing 5 meter di bawah sea bed	Internal Cutter tidak memadai (stuck dan tidak dapat memotong hingga 5 meter dibawah mudline, atau tidak dapat ditarik ke permukaan)	Pekerja cedera
	Pengangkatan conductor per bagian (per 12 meter) ke material barge dengan metode pinning dan boring	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pengangkatan	pencemaran lingkungan
<b>Pembongkaran Struktur bagian atas</b>	Pemotongan struktur tiang anjungan	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pemotongan	pencemaran lingkungan
		Kesalahan saat pengoperasian mesin	Terjadi ledakan dan melukai pekerja
	Pengangkatan struktur bagian atas (topside) ke material barge	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pengangkatan	pencemaran lingkungan
<b>Pembongkaran jacket</b>	Pemotongan kaki jacket 5 meter dibawah mud line	Kesalahan saat memasukkan internal abrasive cutter ke dalam jacket	Pekerja cedera terjepit
		Internal abrasive cutter berayun saat diturunkan dengan crane	Pekerja cedera terpukul ayunan cutter
	Pemasangan peralatan rigging pada titik angkat jacket bagian tas	Sling berayun saat akan dipasang pada trunion	Pekerja cedera terpukul ayunan sling

Langkah Kerja		Hazard	Consequence
	Pemotongan jacket dengan diamond wire cutter	Cutter tidak bekerja optimal (rusak, wire putus, hydraulic hose lepas)	Diver dapat cedera akibat kegagalan peralatan
		Kesalahan saat memasang diamond wire cutter	Diver cedera terjepit
	Pemasangan sling rigging pada titik angkat di bawah air	Sling diturunkan di bawah air tidak disadari diver	Diver terpukul sling
	Pengangkatan potongan jacket ke material barge (Lifting point: potongan pertama pakai Trunion di atas air, dan potongan di bawah air dibor dan dipasang shackle)	Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera
<b>Sea fastening dan transportasi ke laut</b>	Sea fastening dan transportasi ke laut	Tali untuk mengikat struktur tidak memadai dan struktur tergelincir atau barge tenggelam	Pekerja cedera
<b>Pasca Kegiatan</b>	Sea floor dibersihkan dari bekas-bekas debris	Hasil pembersihan mengangkat habitat makhluk hidup yang telah terbentuk di sekeliling struktur	Banyak hewan laut kehilangan tempat hidup, mengganggu ekosistem

Dapat dilihat bahwa meskipun *complete removal* memiliki potensi bahaya cukup banyak saat pengerjaan pembongkaran, bahaya saat pasca kegiatan hingga waktu tak ditentukannya sendiri hanya terdapat satu yang terdeteksi.

Selanjutnya untuk penjabaran bahaya pada metode pembongkaran anjungan lepas pantai *partial removal* terdapat pada tabel 4.25 di bawah.

**Tabel 4.25** Daftar *Hazard* yang Dapat Terjadi saat *Decommissioning* Metode *Partial Removal*

<b>Langkah Kerja</b>		<b>Hazard</b>	<b>Consequence</b>
<b>Persiapan Platform</b>	Mobilisasi/demolisasi Work Barge	Tali untuk mooring tidak memadai	Pekerja cidera
	Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris	Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Pekerja terkena debris yang masih berceceran
		Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Mencemari laut
		Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat melukai pekerja
		Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat mencemari lingkungan
	Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline	Peralatan flushing mengalami malfunction	Cedera
		Peralatan flushing mengalami malfunction	Pencemaran lingkungan
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Kebakaran
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Mengotori lingkungan
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Pekerja terpapar hidrokarbon
		Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Pekerja terpapar zat kimia
		Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Pencemaran lingkungan

<b>Langkah Kerja</b>		<b>Hazard</b>	<b>Consequence</b>
	Survei sea bed dan pelepasan anoda	Peralatan rusak	Diver cedera akibat decompression sickness
		Peralatan rusak	Diver terbawa arus laut
		Pembersihan kurang menyeluruh	Diver terpapar logam berat dari atas
		Diver tidak memerhatikan sekeliling saat menyelam	Diver diserang biota laut
		Kurangnya kewaspadaan saat melakukan survei	Diver terpapar ecotoxin
<b>Pembongkaran riser dan pull tube kabel</b>	Pemotongan dan pembongkaran riser	Peralatan rusak	Ledakan, cedera, salah potong, riser jatuh, pencemaran lingkungan
		Tidak melaksanakan pemotongan dengan benar	Ledakan, Pekerja cedera
	Pemotongan dan pembongkaran pull tube kabel	Tidak memerhatikan keberadaan sub sea cable	Pekerja cedera tersengat arus listrik
<b>Pembongkaran peralatan di top deck</b>	Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi	Pembongkaran tidak dilakukan dengan baik	Pekerja tertimpa peralatan listrik
		Kesalahan pengoperasian alat potong kabel	Pekerja cedera akibat alat potong kabel
		Kurangnya pengawasan saat membongkar peralatan listrik	Tersengat peralatan listrik

<b>Langkah Kerja</b>		<b>Hazard</b>	<b>Consequence</b>
	Pembongkaran peralatan tangki, pompa, dan perlengkapan anjungan	Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat mencemari lingkungan
		Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera
		Crane tidak memadai	Tidak mampu mengangkat beban, crane terguling, peralatan menabrak anjungan
<b>Persiapan struktur</b>	Pembongkaran struktur untuk mendukung pembongkaran conductor dan anjungan (boat landing, conductor guide dll)	Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera
<b>Pembongkaran conductor sumur</b>	Pemotongan conductor-casing 5 meter di bawah sea bed	Internal Cutter tidak memadai (stuck dan tidak dapat memotong hingga 5 meter dibawah mudline, atau tidak dapat ditarik ke permukaan)	Pekerja cedera
	Pengangkatan conductor per bagian (per 12 meter) ke material barge dengan metode pinning dan boring	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pengangkatan	pencemaran lingkungan

Langkah Kerja		Hazard	Consequence
<b>Pembongkaran Struktur bagian atas</b>	Pemotongan struktur tiang anjungan	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pemotongan	pencemaran lingkungan
		Kesalahan saat pengoperasian mesin	Terjadi ledakan dan melukai pekerja
	Pengangkatan struktur bagian atas (topside) ke material barge	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pengangkatan	pencemaran lingkungan
<b>Sea fastening dan transportasi ke laut</b>	Sea fastening dan transportasi ke laut	Tali untuk mengikat struktur tidak memadai dan struktur tergelincir atau barge tenggelam	Pekerja cidera
<b>Pasca Kegiatan</b>	Struktur ditinggalkan	Struktur mengalami korosi	Mencemari lautan
		Sisa-sisa penambangan minyak dan gas bocor	Mencemari lautan
		Struktur mengalami korosi	Mengganggu ekosistem lautan
		Sisa-sisa penambangan minyak dan gas bocor	Dapat meracuni hewan dan tumbuhan yang hidup

Dapat dilihat bahwa karena langkah kerja metode *partial removal* memiliki langkah kerja lebih sedikit dibandingkan metode *complete removal*, maka bahaya yang terjadi saat proyek juga tidak terlalu banyak. Namun saat pasca kegiatan hingga waktu tak ditentukan, jumlah bahaya yang dapat terjadi akibat metode *partial removal* lebih banyak secara signifikan.

Untuk metode *leave in-place*, berikut penjabaran *hazard* pada tabel 4.26.

**Tabel 4.26** Daftar *Hazard* yang Dapat Terjadi saat *Decommissioning* Metode *Leave in Place*

<b>Langkah Kerja</b>		<b>Hazard</b>	<b>Consequence</b>
<b>Persiapan Platform</b>	Mobilisasi/demolisasi Work Barge	Tali untuk mooring tidak memadai	Pekerja cedera
	Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris	Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Pekerja terkena debris yang masih berceceran
		Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Mencemari laut
		Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat melukai pekerja
		Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat mencemari lingkungan
	Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline	Peralatan flushing mengalami malfunction	Cedera
		Peralatan flushing mengalami malfunction	Pencemaran lingkungan
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Kebakaran
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Mengotori lingkungan
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Pekerja terpapar hidrokarbon
		Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Pekerja terpapar zat kimia
		Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Pencemaran lingkungan
	Survei sea bed dan pelepasan anoda	Peralatan rusak	Diver cedera akibat decompression sickness
		Peralatan rusak	Diver terbawa arus laut
		Pembersihan kurang menyeluruh	Diver terpapar logam berat dari atas



Langkah Kerja		Hazard	Consequence
		Diver tidak memerhatikan sekeliling saat menyelam	Diver diserang biota laut
		Kurangnya kewaspadaan saat melakukan survei	Diver terpapar ecotoxin
<b>Pembongkaran riser dan pull tube kabel</b>	Pemotongan dan pembongkaran riser	Peralatan rusak	Ledakan, cedera, salah potong, riser jatuh, pencemaran lingkungan
		Tidak melaksanakan pemotongan dengan benar	Ledakan, Pekerja cedera
	Pemotongan dan pembongkaran pull tube kabel	Tidak memerhatikan keberadaan sub sea cable	Pekerja cedera tersengat arus listrik
<b>Pembongkaran peralatan di top deck</b>	Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi	Pembongkaran tidak dilakukan dengan baik	Pekerja tertimpa peralatan listrik
		Kesalahan pengoperasian alat potong kabel	Pekerja cedera akibat alat potong kabel
		Kurangnya pengawasan saat membongkar peralatan listrik	Tersengat peralatan listrik
	Pembongkaran peralatan tangki, pompa, dan perlengkapan anjungan	Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat mencemari lingkungan
		Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera
		Crane tidak memadai	Tidak mampu mengangkat beban, crane terguling, peralatan menabrak anjungan
<b>Sea fastening dan transportasi ke laut</b>	Sea fastening dan transportasi ke laut	Tali untuk mengikat struktur tidak memadai dan struktur tergelincir atau barge tenggelam	Pekerja cedera
<b>Pasca Kegiatan</b>	Struktur ditinggalkan	Menghalangi pelayaran	Jika letak struktur tidak dimasukkan dalam peta pelayaran, kapal dapat menabrak struktur
		Sisa-sisa penambangan	Mencemari lautan

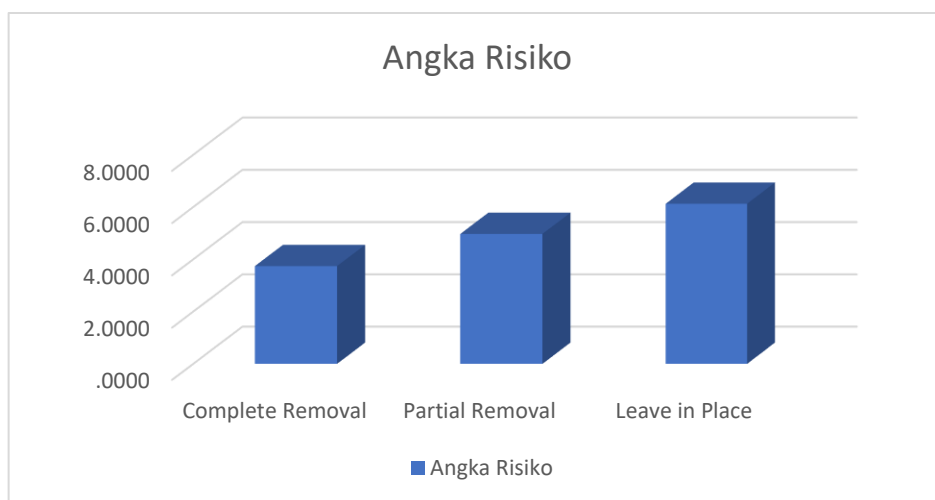
Langkah Kerja	Hazard	Consequence
	minyak dan gas bocor	
	Struktur mengalami korosi	Mencemari laut
	Struktur mengalami korosi	Mengganggu ekosistem laut
	Sisa-sisa penambangan minyak dan gas bocor	Dapat meracuni hewan dan tumbuhan yang hidup

Sementara untuk metode pembongkaran anjungan lepas pantai *leave in place*, jumlah potensi bahaya yang dapat terjadi jauh lebih sedikit dibandingkan kedua metode lainnya diakibatkan sedikitnya pengerjaan yang dilakukan saat proyek. Namun, dapat dilihat bahwa bahaya yang dapat terjadi saat pasca kegiatan hingga waktu tak terhingga juga jauh lebih banyak.

#### 4.6.3. Menghitung Tingkat Risiko

Setelah menjabarkan potensi bahaya yang dapat terjadi untuk setiap metode pembongkaran, kemudian dapat dilakukan analisis QRA dengan mempertimbangkan konsekuensi bahaya yang dapat terjadi dan besar kemungkinan terjadinya.

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, berikut adalah hasil analisis dijabarkan dalam gambar 4.12.



**Gambar 4.12** Perbandingan Tingkat Risiko Setiap Metode Pembongkaran

Dapat dilihat pada grafik di atas, metode pembongkaran anjungan lepas pantai yang memiliki tingkat risiko terendah dan direkomendasikan untuk digunakan adalah metode *complete removal*, dengan skor 3,738. Sementara jika skor tersebut dipetakan dalam matriks risiko pada tabel 2.6, risiko yang didapatkan masih berada pada zona hijau dan dapat diterima.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari penelitian dalam tugas akhir ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Berikut adalah jenis penyebab hazard yang dapat terjadi selama proses pembongkaran anjungan lepas pantai Platform Bukit Tua. Terdapat 3 jenis utama penyebab bahaya saat decommissioning, yaitu bahaya akibat perkenaan fisik, bahaya akibat zat kimia, dan bahaya akibat makhluk hidup (biologi). Bahaya akibat perkenaan fisik terbagi 3, yaitu bahaya akibat peralatan kerja, bahaya tersengat listrik, dan bahaya ledakan. Bahaya akibat zat kimia juga terbagi 3, yaitu bahaya akibat terkena logam berat, bahaya akibat terpapar hidrokarbon, dan bahaya akibat zat kimia selain keduanya diatas. Bahaya akibat makhluk hidup juga terbagi 2, yaitu bahaya akibat hewan laut, dan bahaya akibat ecotoxin. Bahaya akibat peralatan kerja juga terbagi 3, diantaranya akibat peralatan yang rusak, kesalahan mengoperasikan peralatan, dan peralatan tak memadai.
2. Berdasarkan hasil analisis subjektif dengan metode *fuzzy* AHP, metode pembongkaran anjungan lepas pantai yang paling tepat adalah yang memiliki tingkat risiko terkecil, yaitu *partial removal* dengan skor 0,005.
3. Berdasarkan hasil analisis objektif, metode pembongkaran anjungan lepas pantai yang paling tepat adalah yang memiliki tingkat risiko terkecil, yaitu *complete removal* dengan skor 3,738 dan termasuk dalam zona risiko yang dapat diterima.

#### **5.2. Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Saat membuat kuesioner dan menyebarkan kuesioner kepada, penting untuk memastikan apakah responden mengerti tujuan dari kuesioner dan cara mengisinya agar maksud responden dan pembuat kuesioner tersampaikan.

- 
2. Saat melakukan penelitian khususnya saat mencari bahan studi literatur penting untuk memperluas jaringan data dan bahan bacaan agar data lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Chemical Engineers, Inc. 2010. *A Practical Approach to Hazard Identification: For Operations and Maintenance Workers*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Aziz, Nor Filianie, dkk. 2016. MCDM-AHP Method in Decision Makings. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 11, No. 11.
- Crawley, Frank., dan Tyler Brian. 2008. *HAZOP: Guide to Best Practice*. Amsterdam: Elsevier.
- Dewi, Yusnia Puspita. 2017. Pemilihan Metode Pemotongan Kaki Jacket Pada Proses Pembongkaran (*Decommissioning*): Studi Kasus Attaka H Platform di Selat Makassar. *International Journal of Offshore and Coastal Engineering*. Vol 1 No. 1 pp 1 – 8. Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- DNV GL. 2011. DNV OS A101: *Safety Principles and Arrangements*. Det Norske Veritas, Norway.
- DNV GL. 2017. DNV RP G101: *Risk Based Inspection of Offshore Topside Static Mechanical Equipment*. Det Norske Veritas, Norway.
- DNV GL. 2017. DNVGL RP N101: *Risk Management in Marine and Subsea Operation*. Det Norske Veritas, Norway.
- Gourman, D.G., dan Neilson, J. 1998. *Decommissioning Offshore Structures*. London: Springer.
- Health and Safety Executive. 2017. *Offshore Statistics and Regulatory Activity Report 2017*. United Kingdom
- Internasional Maritime Organization (IMO). 1989. *Guidelines and Standards for the Removal of Offshore Installations and Structures on the Continental Shelf and in the Exclusive Economic Zone*. IMO Publishing, United Kingdom.
- Kaganski, Sergei., dkk. 2018. Fuzzy AHP as a Tool for Prioritizing of Key Performance. *Procedia CIRP*. Vol. 72 pp. 1227-1232.
- Kahraman, Cengiz, dkk. 2008. *Fuzzy Multi-criteria Decision Making: Theory and Applications with Recent Developments*. New York: Springer.
- Khamid, Abdul 2017. Analisa Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Terhadap Kecelakaan Kerja serta Lingkungan dengan Menggunakan Metode Hazard and Operability Study (HAZOP) pada Proses Scrapping Kapal di Bangkalan Madura. *International Journal of Offshore and Coastal Engineering*. Vol 1 No. 1 pp 1 – 6. Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Orymowska, Joanna., Sobkowicz, Paulina. 2017. Hazard Identification Methods. *Scientific Journal of Silesian University of Technology, Series Transport*. Vol. 95. Pp 145-158. Polandia.
- Othman, Mohammad Rizza., dkk. 2016. Prioritizing HAZOP analysis using analytic hierarchy process (AHP). *Clear Techn Environ Policy*. Vol. 18 pp. 1345-1360.
- Parente, Virginia., dkk. 2006. Offshore Decommissioning Issues: Deductibility and Transferability. *Energi Policy*. Vol. 34, Issue 15, pp 1992-2001.
- Prabowo, Agung. 2016. *Analisa Risiko Pembongkaran Anjungan Minyak dan Gas Bumi Lepas Pantai di "ABC" Company dengan Metode F.M.E.A*. Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Republik Indonesia. 2011. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 01 Tahun 2011 tentang Pedoman Teknis Pembongkaran Instalasi Lepas Pantai Minyak dan Gas Bumi. Sekretariat Kabinet RI. Indonesia.
- Rout, B. K., dan Sikdar, B. K. 2018. Hazard Identification, Risk Assessment, and Control Measures as an Effective Tool of Occupational Health Assessment of Hazardous Process in an Iron Ore Pelletizing Industry. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*. India.
- Saaty, Thomas L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill: New York.
- Salami, Indah Rachmatiah Siti dkk. 2015. Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan Kerja. Indonesia: Gadjah Mada University Press.
- Saputra, Tommy. 2017. *Analisa Pengambilan Keputusan dalam Pemilihan Alternatif DRE (Dismantling, Repair, and Engineering) pada Pembongkaran Anjungan Lepas Pantai*. Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Susilo, Leo J., dan Kaho, Victor Riwu. 2018. *Manajemen Risiko: Panduan Untuk Risk Leader dan Risk Practitioners*. Indonesia: Grasindo.
- Triantaphyllou, Evangelos dan Mann, Stuart M. 1995. Using the Analytical Hierarchy Process for Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges. *Inter'l Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice*. Vol. 2, No. 1, pp 35-44. United States of America.
- United Nations. 1982. *United Nations Convention on the Law on the Sea (UNCLOS)*. Montego Bay.
- Wikarsa, Liza. 2015. *Work Breakdown Structure (WBS) for Software Development Projects*. Indonesia: Universitas Katolik De La Salle Manado.
- Zawawi, Noor Amila Wan Abdullah., Liew, M.s., Na, Kai Lun. 2012. Decommissioning of Offshore Platform: A Sustainable Framework. *IEEE Colloquium on Humanities, Science, Engineering Research*. Malaysia.

## **LAMPIRAN**



**KUESIONER SURVEI PEMILIHAN METODE PEMBONGKARAN  
ANJUNGAN LEPAS PANTAI :  
STUDI KASUS BUKIT TUA PLATFORM**

Kepada Bapak/Ibu/Sdr/i  
di Tempat

Dengan Hormat

Saya Andi Farida Rafiqa NRP 0431154000032 adalah mahasiswa Program Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Departemen Teknik Kelautan, bermaksud untuk melakukan penelitian dalam rangka penyusunan tugas akhir yang berjudul “Identifikasi Bahaya dan Analisis Risiko dalam Pemilihan Metode Pembongkaran Anjungan Lepas Pantai: Studi Kasus Bukit Tua Platform”. Tujuan dari kuesioner ini yaitu untuk memilih metode pembongkaran struktur lepas pantai berdasarkan tingkat risiko terkecil dengan metode MCDM berbasis Fuzzy AHP. Sehubungan dengan hal tersebut, maka saya mengharapkan bantuan responden kiranya bersedia mengisi kuesioner ini dengan se-obyektif mungkin sesuai dengan kenyataan yang dilihat dan dirasakan oleh responden berdasarkan pengalaman responden bekerja di Platform Bukit Tua.

Dalam melakukan pengisian kuesioner ini, dimohon responden untuk membaca petunjuk terlebih dahulu yang telah tertera untuk mempermudah dalam memberikan jawaban serta keakuratan jawaban yang diberikan. Apapun jawaban responden akan sangat berharga dan bermanfaat bagi penelitian ini.

Atas segala perhatian dan kerjasama responden, saya mengucapkan terima kasih.

Hormat saya,

Andi Farida Rafiqa

## I. PENDAHULUAN

Bidang infrastruktur minyak dan gas lepas pantai telah menua (Doyle *et al.*, 2008), dan dalam waktu dekat masyarakat dunia akan menghadapi tuntutan untuk *decommissioning*. Terdapat tiga alternatif proses *decommissioning* utama. Yang pertama yaitu meninggalkan platform di tempatnya (*leave in-place*), kedua yaitu *partial removal*, dan ketiga yaitu *complete removal*. Proses pemilihan alternatif tersebut juga dapat berdasarkan banyak hal. Salah satunya yaitu risiko *hazard* pada kesehatan dan keselamatan kerja (K3). Jenis analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi bahaya operasi kerja pembongkaran struktur untuk setiap metode pada penelitian ini yaitu *hazard and operability* (HAZOP). Pemilihan alternatif pembongkaran anjungan lepas pantai dilakukan berdasarkan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

## II. TUJUAN KUESIONER

Memilih metode pembongkaran struktur lepas pantai berdasarkan tingkat risiko terkecil dengan metode MCDM berbasis Fuzzy AHP.

## III. PETUNJUK PENGISIAN KUESIONER

Pada kuesioner ini, Bapak/Ibu diminta untuk menentukan nilai dari kriteria-kriteria yang ada. Angka yang dipakai adalah range dari 1 – 9 yang menunjukkan tingkatan risiko antar kriteria-kriteria yang ada.

Angka 1 sampai dengan 9 tersebut tersebut membunyai arti sebagai berikut:

Tingkat Kepentingan	Definisi
1	Tingkat risiko kriteria sama
3	Satu kriteria berisiko <b>sedikit lebih besar</b> dibandingkan kriteria yang lain
5	Satu kriteria berisiko <b>lebih besar</b> dibandingkan kriteria yang lain
7	Satu kriteria berisiko <b>sangat lebih besar</b> dibandingkan kriteria yang lain
9	Satu kriteria berisiko <b>mutlak lebih besar</b> dibandingkan kriteria yang lain

2, 4, 6, 8	Nilai tengah di antara dua nilai yang berdampingan
------------	--

### Contoh Pengisian

1. Diantara kriteria-kriteria berikut ini, pilihlah yang berisiko lebih besar pada pekerja dan lingkungan saat proses pembongkaran anjungan lepas pantai.

	Kriteria Kiri Lebih Berisiko								Tingkat Risiko Sama	Kriteria Kanan Lebih Berisiko								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>Kriteria</b>																		
Bahaya Fisik					√													Bahaya Kimia
Bahaya Fisik																√		Bahaya Biologi

Berdasarkan tabel di atas, bahaya fisik **lebih berisiko** terjadi dibandingkan bahaya kimia, tapi bahaya biologi **sangat lebih berisiko** dibandingkan bahaya fisik.

2. Berdasarkan kriteria-kriteria risiko diatas, pilihlah alternatif pembongkaran struktur yang berisiko lebih besar pada pekerja dan lingkungan.

	Alternatif Kiri Lebih Berisiko								Tingkat risiko sama	Alternatif Kanan Lebih Berisiko								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>Bahaya akibat peralatan rusak</b>																		
Complete Removal			√															Partial Removal
Complete Removal			√															Leave in-place
Partial Removal							√											Leave in-place

Berdasarkan tabel di atas, complete removal **sangat lebih berisiko** terjadi bahaya akibat peralatan rusak, dibandingkan kedua alternatif pembongkaran struktur yang lain. Tapi antara partial removal dan metode leave in-place, partial removal **sedikit lebih berisiko** terjadi bahaya akibat peralatan rusak.



3. Berdasarkan kriteria-kriteria risiko diatas, pilihlah alternatif pembongkaran struktur yang berisiko lebih besar pada pekerja dan lingkungan.

	Alternatif Kiri Lebih Berisiko								Tingkat risiko sama	Alternatif Kanan Lebih Berisiko								
	9	8	7	6	5	4	3	2		1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>Bahaya akibat peralatan rusak</b>																		
Complete Removal																		Partial Removal
Complete Removal																		Leave in-place
Partial Removal																		Leave in-place
<b>Bahaya akibat salah mengoperasikan peralatan</b>																		
Complete Removal																		Partial Removal
Complete Removal																		Leave in-place
Partial Removal																		Leave in-place
<b>Bahaya akibat peralatan tak memadai</b>																		
Complete Removal																		Partial Removal
Complete Removal																		Leave in-place
Partial Removal																		Leave in-place
<b>Bahaya akibat ledakan</b>																		
Complete Removal																		Partial Removal
Complete Removal																		Leave in-place
Partial Removal																		Leave in-place
<b>Bahaya akibat sengatan listrik</b>																		
Complete Removal																		Partial Removal
Complete Removal																		Leave in-place
Partial Removal																		Leave in-place
<b>Bahaya akibat hidrokarbon</b>																		
Complete Removal																		Partial Removal
Complete Removal																		Leave in-place
Partial Removal																		Leave in-place
<b>Bahaya akibat zat kimia lain</b>																		
Complete Removal																		Partial Removal
Complete Removal																		Leave in-place
Partial Removal																		Leave in-place
<b>Bahaya akibat logam berat</b>																		

Matriks Kriteria Bahaya Fisik			Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency	
	Mekanis	Sengatan Listrik	Ledakan	Mekanis	Sengatan Listrik				Ledakan
Mekanis	1.000	5.000	0.500	0.313	0.500	0.286	0.366	1.141	3.117
Sengatan Listrik	0.200	1.000	0.250	0.063	0.100	0.143	0.102	0.308	3.026
Ledakan	2.000	4.000	1.000	0.625	0.400	0.571	0.532	1.671	3.141
<b>Total</b>	<b>3.200</b>	<b>10.000</b>	<b>1.750</b>					$\lambda_{max}$	3.095
								CI	0.047
								CR	0.082
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Mekanis			Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency	
	Alat Rusak	Salah Operasi	Alat Tak Memadai	Alat Rusak	Salah Operasi				Alat Tak Memadai
Alat Rusak	1.000	0.250	2.000	0.182	0.172	0.250	0.201	0.607	3.016
Salah Operasi	4.000	1.000	5.000	0.727	0.690	0.625	0.681	2.076	3.050
Alat Tak Memadai	0.500	0.200	1.000	0.091	0.138	0.125	0.118	0.355	3.008
<b>Total</b>	<b>5.500</b>	<b>1.450</b>	<b>8.000</b>					$\lambda_{max}$	3.025
								CI	0.012
								CR	0.021
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Kimia			Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency	
	Metal	Hidrokarbon	Zat Kimia Lain	Metal	Hidrokarbon				Zat Kimia Lain
Metal	1	1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	1	3
Hidrokarbon	1	1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	1	3
Zat Kimia Lain	1	1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	1	3
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>					$\lambda_{max}$	3
								CI	0
								CR	0
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Biologi		Normalized Matrix		Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency
	Marine Life	Ecotoxin	Marine Life			
Marine Life	1.000	0.167	0.143	0.143	0.286	2.000

	Alternatif Kiri Lebih Berisiko								Tingkat risiko sama	Alternatif Kanan Lebih Berisiko								
	9	8	7	6	5	4	3	2		1	2	3	4	5	6	7	8	
Complete Removal																		Partial Removal
Complete Removal																		Leave in-place
Partial Removal																		Leave in-place
<b>Bahaya akibat hewan Laut</b>																		
Complete Removal																		Partial Removal
Complete Removal																		Leave in-place
Partial Removal																		Leave in-place
<b>Bahaya akibat ecotoxin</b>																		
Complete Removal																		Partial Removal
Complete Removal																		Leave in-place
Partial Removal																		Leave in-place

**LAMPIRAN B**  
**PENGUJIAN KONSISTENSI HIERARKI**

**1. Responden 1**

Matriks Kriteria			Normalized Matrix			Priority Vector(W)	Weight sum(Ws)	Consistency	
	Fisik	Kimia	Biologi	Fisik	Kimia				Biologi
<b>Fisik</b>	1	3	5	0.706	0.545	0.556	0.602	1.874	3.112
<b>Kimia</b>	0.333	1	3	0.235	0.182	0.333	0.250	0.764	3.053
<b>Biologi</b>	0.2	0.333	1	0.141	0.061	0.111	0.104	0.308	2.954
<b>Total</b>	<b>1.533</b>	<b>4.333</b>	<b>9</b>					<b><math>\lambda_{max}</math></b>	<b>3.04</b>
								<b>CI</b>	<b>0.02</b>
								<b>CR</b>	<b>0.03</b>
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Bahaya Fisik			Normalized Matrix			Priority Vector(W)	Weight sum(Ws)	Consistency	
	Mekanis	Sengatan Listrik	Ledakan	Mekanis	Sengatan Listrik				Ledakan
<b>Mekanis</b>	1	4	6	0.706	0.727	0.667	0.7	2.113	3.019
<b>Sengatan Listrik</b>	0.25	1	2	0.176	0.182	0.222	0.193	0.582	3.006
<b>Ledakan</b>	0.167	0.5	1	0.118	0.091	0.111	0.106	0.32	3.003
<b>Total</b>	<b>1.417</b>	<b>5.5</b>	<b>9</b>					<b><math>\lambda_{max}</math></b>	<b>3.009</b>
								<b>CI</b>	<b>0.005</b>
								<b>CR</b>	<b>0.008</b>
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Mekanis			Normalized Matrix			Priority Vector(W)	Weight sum(Ws)	Consistency	
	Alat Rusak	Salah Operasi	Alat Tak Memadai	Alat Rusak	Salah Operasi				Alat Tak Memadai
<b>Alat Rusak</b>	1	0.25	0.333	0.125	0.077	0.182	0.128	0.389	3.038
<b>Salah Operasi</b>	4	1	0.5	0.5	0.308	0.273	0.360	1.128	3.131
<b>Alat Tak Memadai</b>	3	2	1	0.375	0.615	0.545	0.512	1.616	3.156
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>3.25</b>	<b>1.833</b>					<b><math>\lambda_{max}</math></b>	<b>3.109</b>
								<b>CI</b>	<b>0.054</b>
								<b>CR</b>	<b>0.093</b>
									<b>konsisten</b>



Matriks Kriteria Kimia				Normalized Matrix			Priority Vector(W)	Weight sum(Ws)	Consistency
	Metal	Hidrokarbon	Zat Kimia Lain	Metal	Hidrokarbon	Zat Kimia Lain			
<b>Metal</b>	1	1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	1	3
<b>Hidrokarbon</b>	1	1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	1	3
<b>Zat Kimia Lain</b>	1	1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	1	3
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>					$\lambda_{max}$	3
								<b>CI</b>	0
								<b>CR</b>	0
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Biologi			Normalized Matrix		Priority Vector(W)	Weight sum(Ws)	Consistency
	Marine Life	Ecotoxin	Marine Life	Ecotoxin			
<b>Marine Life</b>	1	2	0.667	0.6667	0.667	1.333	2
<b>Ecotoxin</b>	0.5	1	0.333	0.333	0.333	0.667	2
<b>Total</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>				$\lambda_{max}$	2
						CI	0.000
						CR	0.000
							<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Alat Rusak				Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency
	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place			
<b>Complete Removal</b>	1	5	7	0.745	0.769	0.7	0.738	2.237	3.031
<b>Partial Removal</b>	0.2	1	2	0.149	0.154	0.2	0.168	0.504	3.008
<b>Leave in-place</b>	0.143	0.5	1	0.106	0.077	0.1	0.094	0.284	3.004
<b>Total</b>	<b>1.343</b>	<b>6.5</b>	<b>10</b>					$\lambda_{max}$	3.014
								<b>CI</b>	0.007
								<b>CR</b>	0.012
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Salah Operasi				Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency
	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place			
<b>Complete Removal</b>	1	3	7	0.677	0.692	0.636	0.669	2.015	3.014

<b>Partial Removal</b>	0.333	1	3	0.226	0.231	0.273	0.243	0.731	3.005
<b>Leave in-place</b>	0.143	0.333	1	0.097	0.077	0.091	0.088	0.265	3.02
<b>Total</b>	<b>1.476</b>	<b>4.333</b>	<b>11</b>					<b><math>\lambda_{max}</math></b>	<b>3.007</b>
								<b>CI</b>	<b>0.003</b>
								<b>CR</b>	<b>0.006</b>
									<b>konsisten</b>

<b>Matriks Kriteria Alat Tak Memadai</b>				<b>Normalized Matrix</b>			<b>Priority Vector (W)</b>	<b>Weight sum (Ws)</b>	<b>Consistency</b>
	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>			
<b>Complete Removal</b>	1	5	9	0.763	0.79	0.692	0.748	2.293	3.065
<b>Partial Removal</b>	0.2	1	3	0.152	0.158	0.231	0.180	0.544	3.017
<b>Leave in-place</b>	0.111	0.333	1	0.085	0.053	0.077	0.071	0.215	3.005
<b>Total</b>	<b>1.311</b>	<b>6.333</b>	<b>13</b>					<b><math>\lambda_{max}</math></b>	<b>3.03</b>
								<b>CI</b>	<b>0.015</b>
								<b>CR</b>	<b>0.025</b>
									<b>konsisten</b>

<b>Matriks Kriteria Ledakan</b>				<b>Normalized Matrix</b>			<b>Priority Vector (W)</b>	<b>Weight sum (Ws)</b>	<b>Consistency</b>
	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>			
<b>Complete Removal</b>	1	3	7	0.677	0.692	0.636	0.669	2.015	3.014
<b>Partial Removal</b>	0.333	1	3	0.226	0.231	0.273	0.243	0.731	3.005
<b>Leave in-place</b>	0.143	0.333	1	0.097	0.077	0.091	0.088	0.268	3.002
<b>Total</b>	<b>1.476</b>	<b>4.333</b>	<b>11</b>					<b><math>\lambda_{max}</math></b>	<b>3.007</b>
								<b>CI</b>	<b>0.003</b>
								<b>CR</b>	<b>0.006</b>
									<b>konsisten</b>

<b>Matriks Kriteria Sengatan Listrik</b>				<b>Normalized Matrix</b>			<b>Priority Vector (W)</b>	<b>Weight sum (Ws)</b>	<b>Consistency</b>
	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>			
<b>Complete Removal</b>	1	3	9	0.692	0.724	0.529	0.649	2.043	3.150
<b>Partial Removal</b>	0.333	1	7	0.231	0.241	0.412	0.294	0.908	3.082

<b>Leave in-place</b>	0.111	0.143	1	0.077	0.034	0.059	0.057	0.171	3.012
<b>Total</b>	<b>1.444</b>	<b>4.143</b>	<b>17</b>					<b><math>\lambda_{max}</math></b>	3.081
								<b>CI</b>	0.041
								<b>CR</b>	0.07
									<b>konsisten</b>

<b>Matriks Kriteria Hidrokarbon</b>				<b>Normalized Matrix</b>			<b>Priority Vector (W)</b>	<b>Weight sum (Ws)</b>	<b>Consistency</b>
	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>			
<b>Complete Removal</b>	1	3	5	0.652	0.692	0.556	0.633	1.946	3.072
<b>Partial Removal</b>	0.333	1	3	0.217	0.231	0.333	0.260	0.790	3.033
<b>Leave in-place</b>	0.2	0.333	1	0.130	0.077	0.111	0.106	0.320	3.011
<b>Total</b>	<b>1.533</b>	<b>4.333</b>	<b>9</b>					<b><math>\lambda_{max}</math></b>	3.039
								<b>CI</b>	0.019
								<b>CR</b>	0.033
									<b>konsisten</b>

<b>Matriks Kriteria Logam Berat</b>				<b>Normalized Matrix</b>			<b>Priority Vector (W)</b>	<b>Weight sum (Ws)</b>	<b>Consistency</b>
	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>			
<b>Complete Removal</b>	1	5	9	0.763	0.789	0.692	0.748	2.293	3.065
<b>Partial Removal</b>	0.2	1	3	0.153	0.158	0.231	0.180	0.544	3.017
<b>Leave in-place</b>	0.111	0.333	1	0.085	0.053	0.077	0.071	0.215	3.006
<b>Total</b>	<b>1.311</b>	<b>6.333</b>	<b>13</b>					<b><math>\lambda_{max}</math></b>	3.029
								<b>CI</b>	0.015
								<b>CR</b>	0.025
									<b>konsisten</b>

<b>Matriks Kriteria Logam Zat Kimia Lain</b>				<b>Normalized Matrix</b>			<b>Priority Vector (W)</b>	<b>Weight sum (Ws)</b>	<b>Consistency</b>
	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>			
<b>Complete Removal</b>	1	5	9	0.763	0.789	0.692	0.748	2.293	3.065
<b>Partial Removal</b>	0.2	1	3	0.153	0.158	0.231	0.180	0.544	3.017

Leave in-place	0.111	0.333	1	0.085	0.053	0.077	0.071	0.215	3.006
<b>Total</b>	<b>1.311</b>	<b>6.333</b>	<b>13</b>					$\lambda_{max}$	3.029
								<b>CI</b>	0.015
								<b>CR</b>	0.025
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Logam Hewan Laut				Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency
	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place			
Complete Removal	1.000	3.000	9.000	0.692	0.714	0.600	0.669	2.045	3.057
Partial Removal	0.333	1.000	5.000	0.231	0.238	0.333	0.267	0.809	3.026
Leave in-place	0.111	0.200	1.000	0.077	0.048	0.067	0.064	0.192	3.005
<b>Total</b>	<b>1.444</b>	<b>4.200</b>	<b>15.000</b>					$\Delta_{max}$	3.029
								<b>CI</b>	0.015
								<b>CR</b>	0.025
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Logam Ecotoxin				Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency
	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place			
Complete Removal	1.000	1.000	5.000	0.455	0.455	0.455	0.455	1.364	3.000
Partial Removal	1.000	1.000	5.000	0.455	0.455	0.455	0.455	1.364	3.000
Leave in-place	0.200	0.200	1.000	0.091	0.091	0.091	0.091	0.273	3.000
<b>Total</b>	<b>2.200</b>	<b>2.200</b>	<b>11.000</b>					$\lambda_{max}$	3.000
								<b>CI</b>	0
								<b>CR</b>	0
									<b>konsisten</b>

## 2. Responden 2

Matriks Kriteria				Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency
	Fisik	Kimia	Biologi	Fisik	Kimia	Biologi			
<b>Fisik</b>	1.000	0.500	3.000	0.313	0.273	0.375	0.320	0.968	3.024
<b>Kimia</b>	2.000	1.000	4.000	0.625	0.545	0.500	0.557	1.689	3.034
<b>Biologi</b>	0.200	0.333	1.000	0.063	0.182	0.125	0.123	0.373	3.028
<b>Total</b>	<b>3.200</b>	<b>1.833</b>	<b>8.000</b>					$\lambda_{max}$	3.028
								<b>CI</b>	0.014
								<b>CR</b>	0.025
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Biologi			Normalized Matrix		Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency
	Marine Life	Ecotoxin	Marine Life	Ecotoxin			
Ecotoxin	6.000	1.000	0.857	0.857	0.857	1.714	2.000
<b>Total</b>	<b>7.000</b>	<b>1.167</b>				$\lambda_{max}$	2.000
						CI	0.000
						CR	0.000
							<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Alat Rusak				Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency
	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place			
Complete Removal	1.000	3.000	7.000	0.677	0.692	0.636	0.669	2.015	3.014
Partial Removal	0.333	1.000	3.000	0.226	0.231	0.273	0.243	0.731	3.005
Leave in-place	0.143	0.333	1.000	0.097	0.077	0.091	0.088	0.265	3.002
<b>Total</b>	<b>1.476</b>	<b>4.333</b>	<b>11.000</b>					$\lambda_{max}$	3.007
								CI	0.004
								CR	0.006
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Salah Operasi				Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency
	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place			
Complete Removal	1.000	3.000	7.000	0.677	0.692	0.636	0.669	2.015	3.014
Partial Removal	0.333	1.000	3.000	0.226	0.231	0.273	0.243	0.731	3.005
Leave in-place	0.143	0.333	1.000	0.097	0.077	0.091	0.088	0.265	3.002
<b>Total</b>	<b>1.476</b>	<b>4.333</b>	<b>11.000</b>					$\lambda_{max}$	3.007
								CI	0.004
								CR	0.006
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Alat Tak Memadai				Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency
	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place			
Complete Removal	1.000	3.000	7.000	0.677	0.692	0.636	0.669	2.015	3.014
Partial Removal	0.333	1.000	3.000	0.226	0.231	0.273	0.243	0.731	3.005

<b>Leave in-place</b>	0.143	0.333	1.000	0.097	0.077	0.091	0.088	0.265	3.002
<b>Total</b>	<b>1.476</b>	<b>4.333</b>	<b>11.000</b>					$\lambda_{max}$	3.007
								<b>CI</b>	0.004
								<b>CR</b>	0.006
									<b>konsisten</b>

<b>Matriks Kriteria Ledakan</b>				<b>Normalized Matrix</b>			<b>Priority Vector (W)</b>	<b>Weight sum (Ws)</b>	<b>Consistency</b>
	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>			
<b>Complete Removal</b>	1.000	2.000	0.333	0.222	0.250	0.217	0.230	0.690	3.003
<b>Partial Removal</b>	0.500	1.000	0.200	0.111	0.125	0.130	0.122	0.367	3.001
<b>Leave in-place</b>	3.000	5.000	1.000	0.667	0.625	0.652	0.648	1.948	3.007
<b>Total</b>	<b>4.500</b>	<b>8.000</b>	<b>1.533</b>					$\lambda_{max}$	3.004
								<b>CI</b>	0.002
								<b>CR</b>	0.003
									<b>konsisten</b>

<b>Matriks Kriteria Sengatan Listrik</b>				<b>Normalized Matrix</b>			<b>Priority Vector (W)</b>	<b>Weight sum (Ws)</b>	<b>Consistency</b>
	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>			
<b>Complete Removal</b>	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	3.000
<b>Partial Removal</b>	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	3.000
<b>Leave in-place</b>	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	3.000
<b>Total</b>	<b>3.000</b>	<b>3.000</b>	<b>3.000</b>					$\lambda_{max}$	3.000
								<b>CI</b>	0
								<b>CR</b>	0
									<b>konsisten</b>

<b>Matriks Kriteria Hidrokarbon</b>				<b>Normalized Matrix</b>			<b>Priority Vector (W)</b>	<b>Weight sum (Ws)</b>	<b>Consistency</b>
	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>	<b>Complete Removal</b>	<b>Partial Removal</b>	<b>Leave in-place</b>			
<b>Complete Removal</b>	1.000	0.500	0.167	0.111	0.091	0.118	0.107	0.320	3.003
<b>Partial Removal</b>	2.000	1.000	0.250	0.222	0.182	0.176	0.194	0.582	3.006
<b>Leave in-place</b>	6.000	4.000	1.000	0.667	0.727	0.706	0.700	2.113	3.019
<b>Total</b>	<b>9.000</b>	<b>5.500</b>	<b>1.417</b>					$\lambda_{max}$	3.009
								<b>CI</b>	0.005
								<b>CR</b>	0.008
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Logam Berat				Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency
	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place			
Complete Removal	1.000	0.500	0.167	0.111	0.091	0.118	0.107	0.320	3.003
Partial Removal	2.000	1.000	0.250	0.222	0.182	0.176	0.194	0.582	3.006
Leave in-place	6.000	4.000	1.000	0.667	0.727	0.706	0.700	2.113	3.019
<b>Total</b>	<b>9.000</b>	<b>5.500</b>	<b>1.417</b>					$\lambda_{max}$	3.009
								<b>CI</b>	0.005
								<b>CR</b>	0.008
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Logam Zat Kimia Lain				Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency
	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place			
Complete Removal	1.000	0.500	0.167	0.111	0.091	0.118	0.107	0.320	3.003
Partial Removal	2.000	1.000	0.250	0.222	0.182	0.176	0.194	0.582	3.006
Leave in-place	6.000	4.000	1.000	0.667	0.727	0.706	0.700	2.113	3.019
<b>Total</b>	<b>9.000</b>	<b>5.500</b>	<b>1.417</b>					$\lambda_{max}$	3.009
								<b>CI</b>	0.005
								<b>CR</b>	0.008
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Logam Hewan Laut				Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency
	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place			
Complete Removal	1.000	3.000	5.000	0.652	0.667	0.625	0.648	1.948	3.007
Partial Removal	0.333	1.000	2.000	0.217	0.222	0.250	0.230	0.690	3.003
Leave in-place	0.200	0.500	1.000	0.130	0.111	0.125	0.122	0.367	3.001
<b>Total</b>	<b>1.533</b>	<b>4.500</b>	<b>8.000</b>					$\lambda_{max}$	3.004
								<b>CI</b>	0.002
								<b>CR</b>	0.003
									<b>konsisten</b>

Matriks Kriteria Logam Ecotoxin			Normalized Matrix			Priority Vector (W)	Weight sum (Ws)	Consistency	
	Complete Removal	Partial Removal	Leave in-place	Complete Removal	Partial Removal				Leave in-place
<b>Complete Removal</b>	1.000	0.143	0.111	0.059	0.045	0.069	0.058	0.173	3.004
<b>Partial Removal</b>	7.000	1.000	0.500	0.412	0.318	0.310	0.347	1.049	3.024
<b>Leave in-place</b>	9.000	2.000	1.000	0.529	0.636	0.621	0.595	1.809	3.037
<b>Total</b>	17.000	3.143	1.611					$\lambda_{max}$	3.022
								<b>CI</b>	0.011
								<b>CR</b>	0.019
									<b>konsisten</b>



**LAMPIRAN C**  
**PERHITUNGAN FUZZY AHP**

**1. Responden 1**

	Fisika			Kimia			Biologi			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Fisika</b>	1	1	1	2	3	4	4	5	3	7	9	8	<b>0.5</b>
<b>Kimia</b>	0.25	0.33	0.5	1	1	1	2	3	4	3.25	4.33	5.5	<b>0.5</b>
<b>Biologi</b>	0.33	0.2	0.25	0.25	0.33	0.5	1	1	1	1.58	1.53	1.75	<b>0</b>
<b>total</b>										<b>11.83</b>	<b>14.87</b>	<b>15.25</b>	
<b>invers matriks total</b>										<b>15.25</b>	<b>14.87</b>	<b>11.83</b>	

<b>Matriks Kriteria Fisika</b>													
	Mekanis			Sengatan Listrik			Ledakan			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Mekanis</b>	1.0	1.00	1.00	3.00	4.00	5.00	5.00	6.00	7.00	9.00	11.00	13.00	<b>1</b>
<b>Sengatan Listrik</b>	0.2	0.25	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	2.20	3.25	4.33	<b>0</b>
<b>Ledakan</b>	0.14	0.17	0.20	0.14	0.17	0.20	1.00	1.00	1.00	1.29	1.33	1.40	<b>0</b>
<b>total</b>										<b>12.49</b>	<b>15.58</b>	<b>18.73</b>	
<b>invers matriks total</b>										<b>18.73</b>	<b>15.58</b>	<b>12.49</b>	

<b>Matriks Kriteria Mekanis</b>													
	Peralatan Rusak			Salah Pengoperasian Peralatan			Peralatan tak Memadai			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	M	u	l	m	u	
<b>Peralatan Rusak</b>	1.00	1.00	1.00	0.20	0.25	0.33	0.25	0.33	0.50	1.45	1.58	1.83	<b>0</b>
<b>Salah Pengoperasian Peralatan</b>	3.00	4.00	5.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.50	1.00	4.33	5.50	7.00	<b>0.48</b>
<b>Peralatan tak Memadai</b>	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	1.00	1.00	1.00	4.00	6.00	8.00	<b>0.52</b>
<b>Total</b>										<b>9.78</b>	<b>13.08</b>	<b>16.83</b>	
<b>invers matriks total</b>										<b>16.83</b>	<b>13.08</b>	<b>9.78</b>	

<b>Matriks Kriteria Kimia</b>													
	Logam Berat			Hidrokarbon			Zat Kimia Lain (Radioaktif)			sum per baris			W
	l	m	U	l	m	u	l	M	u	l	m	u	
<b>Logam Berat</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	<b>0.33</b>
<b>Hidrokarbon</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	<b>0.33</b>
<b>Zat Kimia Lain</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	<b>0.33</b>
<b>Total</b>										<b>9.00</b>	<b>9.00</b>	<b>9.00</b>	
<b>invers matriks total</b>										<b>9.00</b>	<b>9.00</b>	<b>9.00</b>	

Matriks Kriteria Biologi										
	Hewan Laut			Ecotoxin			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Hewan Laut</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	2.00	3.00	4.00	<b>0.8</b>
<b>Ecotoxin</b>	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.33	1.50	2.00	<b>0.2</b>
total							3.33	4.50	6.00	
invers matriks total							6.00	4.50	3.33	

Matriks Subkriteria Peralatan Rusak													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	4.00	5.00	6.00	6.00	7.00	8.00	11.00	13.00	15.00	<b>1</b>
<b>Partial Removal</b>	0.17	0.20	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	2.17	3.20	4.25	<b>0</b>
<b>Leave in-place</b>	0.13	0.14	0.17	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.46	1.64	2.17	<b>0</b>
<b>Total</b>										14.63	17.84	21.42	
<b>invers matriks total</b>										21.42	17.84	14.63	

Matriks Subkriteria Kesalahan Pengoperasian Peralatan													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00	7.00	8.00	9.00	11.00	13.00	<b>1</b>
<b>Partial Removal</b>	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	3.25	4.33	5.50	<b>0</b>
<b>Leave in-place</b>	0.13	0.14	0.17	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.38	1.48	1.67	<b>0</b>
<b>Total</b>										13.63	16.81	20.17	
<b>invers matriks total</b>										20.17	16.81	13.63	

Matriks Subkriteria Peralatan tak Memadai													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	4.00	5.00	6.00	9.00	9.00	9.00	14.00	15.00	16.00	<b>1</b>
<b>Partial Removal</b>	0.17	0.20	0.25	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	3.17	4.20	5.25	<b>0</b>
<b>Leave in-place</b>	0.11	0.11	0.11	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.36	1.44	1.61	<b>0</b>
<b>Total</b>										18.53	20.64	22.86	
<b>invers matriks total</b>										22.86	20.64	18.53	

Matriks Subkriteria Ledakan													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00	7.00	8.00	9.00	11.00	13.00	<b>1</b>
<b>Partial Removal</b>	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	3.25	4.33	5.50	<b>0</b>
<b>Leave in-place</b>	2.00	3.00	4.00	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	3.25	4.33	5.50	<b>0</b>
<b>Total</b>										15.50	19.67	24.00	
<b>invers matriks total</b>										24.00	19.67	15.50	

Matriks Subkriteria Sengatan Listrik													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	9.00	9.00	9.00	12.00	13.00	14.00	<b>0.96</b>
<b>Partial Removal</b>	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	6.00	7.00	8.00	7.25	8.33	9.50	<b>0.04</b>
<b>Leave in-place</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.17	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	2.17	<b>0</b>
<b>Total</b>										22.25	24.33	25.67	
<b>invers matriks total</b>										25.67	24.33	22.25	

Matriks Subkriteria Hidrokarbon													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	4.00	5.00	6.00	7.00	9.00	11.00	<b>0.99</b>
<b>Partial Removal</b>	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	3.25	4.33	5.50	<b>0.01</b>
<b>Leave in-place</b>	0.17	0.20	0.25	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.42	1.53	1.75	<b>0</b>
<b>Total</b>										11.67	14.87	18.25	
<b>invers matriks total</b>										18.25	14.87	11.67	

Matriks Subkriteria Zat Kimia Lain													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	4.00	5.00	6.00	9.00	9.00	9.00	14.00	15.00	16.00	<b>1</b>
<b>Partial Removal</b>	0.17	0.20	0.25	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	3.17	4.20	5.25	<b>0</b>
<b>Leave in-place</b>	0.11	0.11	0.11	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.36	1.44	1.61	<b>0</b>
<b>Total</b>										18.53	20.64	22.86	
<b>invers matriks total</b>										22.86	20.64	18.53	

Matriks Subkriteria Logam Berat													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	4.00	5.00	6.00	9.00	9.00	9.00	14.00	15.00	16.00	<b>1</b>
<b>Partial Removal</b>	0.17	0.20	0.25	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	3.17	4.20	5.25	<b>0</b>
<b>Leave in-place</b>	0.11	0.11	0.11	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.36	1.44	1.61	<b>0</b>
<b>Total</b>										18.53	20.64	22.86	
<b>invers matriks total</b>										22.86	20.64	18.53	

Matriks Subkriteria Hewan Laut													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	4.00	5.00	6.00	9.00	9.00	9.00	14.00	15.00	16.00	<b>1</b>
<b>Partial Removal</b>	0.17	0.20	0.25	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	3.17	4.20	5.25	<b>0</b>
<b>Leave in-place</b>	0.11	0.11	0.11	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.36	1.44	1.61	<b>0</b>
<b>Total</b>										18.53	20.64	22.86	
<b>invers matriks total</b>										22.86	20.64	18.53	

Matriks Subkriteria Ecotoxin													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	5.00	6.00	6.00	7.00	8.00	<b>0.5</b>
<b>Partial Removal</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	5.00	6.00	6.00	7.00	8.00	<b>0.5</b>
<b>Leave in-place</b>	0.17	0.20	0.25	0.17	0.20	0.25	1.00	1.00	1.00	1.33	1.40	1.50	<b>0</b>
<b>Total</b>										13.33	15.40	17.50	
<b>invers matriks total</b>										17.50	15.40	13.33	

## 2. Responden 2

	Fisika			Kimia			Biologi			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Fisika</b>	1	1	1	0.33	0.5	1	2	3	4	3.33	4.5	6	<b>0.37</b>
<b>Kimia</b>	1	2	3	1	1	1	3	4	5	5	7	9	<b>0.63</b>
<b>Biologi</b>	0.25	0.33	0.5	0.2	0.25	0.33	1	1	1	1.45	1.58	1.83	<b>0</b>
<b>total</b>										9.78	13.08	16.83	
<b>invers matriks total</b>										16.83	13.08	9.78	

Matriks Kriteria Fisika													
	Mekanis			Sengatan Listrik			Ledakan			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
Mekanis	1.00	1.00	1.00	4.00	5.00	6.00	0.33	0.50	1.00	5.33	6.50	8.00	<b>0.48</b>
Sengatan Listrik	0.17	0.20	0.25	1.00	1.00	1.00	0.20	0.25	0.33	1.37	1.45	1.58	<b>0</b>
Ledakan	1.00	2.00	3.00	3.00	4.00	5.00	1.00	1.00	1.00	5.00	7.00	9.00	<b>0.52</b>
total										11.70	14.95	18.58	
invers matriks total										0.05	0.07	0.09	

Matriks Kriteria Mekanis													
	Peralatan Rusak			Salah Pengoperasian Peralatan			Peralatan tak Memadai			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	M	u	l	m	u	
Peralatan Rusak	1.00	1.00	1.00	0.20	0.25	0.33	1.00	2.00	3.00	2.20	3.25	4.33	<b>0</b>
Salah Pengoperasian Peralatan	3.00	4.00	5.00	1.00	1.00	1.00	4.00	5.00	6.00	8.00	10.00	12.00	<b>1</b>
Peralatan tak Memadai	0.33	0.50	1.00	0.17	0.20	0.25	1.00	1.00	1.00	1.50	1.70	2.25	<b>0</b>
Total										11.70	14.95	18.58	
invers matriks total										0.05	0.07	0.09	

Matriks Kriteria Kimia													
	Logam Berat			Hidrokarbon			Zat Kimia Lain (Radioaktif)			sum per baris			W
	l	m	U	l	m	u	l	M	u	l	m	u	
Logam Berat	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	<b>0.33</b>
Hidrokarbon	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	<b>0.33</b>
Zat Kimia Lain	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	<b>0.33</b>
Total										9.00	9.00	9.00	
invers matriks total										9.00	9.00	9.00	

Matriks Kriteria Biologi										
	Hewan Laut			Ecotoxin			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
Hewan Laut	1.00	1.00	1.00	0.14	0.17	0.20	1.14	1.17	1.20	<b>0</b>
Ecotoxin	5.00	6.00	7.00	1.00	1.00	1.00	6.00	7.00	8.00	<b>1</b>
total							7.14	8.17	9.20	
invers matriks total							9.20	8.17	7.14	

Matriks Subkriteria Peralatan Rusak													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00	7.00	8.00	9.00	11.00	13.00	<b>1</b>
<b>Partial Removal</b>	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	3.25	4.33	5.50	<b>0</b>
<b>Leave in-place</b>	0.13	0.14	0.17	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.38	1.48	1.67	<b>0</b>
<b>Total</b>										13.63	16.81	20.17	
<b>invers matriks total</b>										20.17	16.81	13.63	

Matriks Subkriteria Kesalahan Pengoperasian Peralatan													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	U	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00	7.00	8.00	9.00	11.00	13.00	<b>1</b>
<b>Partial Removal</b>	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	3.25	4.33	5.50	<b>0</b>
<b>Leave in-place</b>	0.13	0.14	0.17	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.38	1.48	1.67	<b>0</b>
<b>Total</b>										13.63	16.81	20.17	
<b>invers matriks total</b>										20.17	16.81	13.63	

Matriks Subkriteria Peralatan tak Memadai													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	U	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00	7.00	8.00	9.00	11.00	13.00	<b>1</b>
<b>Partial Removal</b>	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	3.25	4.33	5.50	<b>0</b>
<b>Leave in-place</b>	0.13	0.14	0.17	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.38	1.48	1.67	<b>0</b>
<b>Total</b>										13.63	16.81	20.17	
<b>invers matriks total</b>										20.17	16.81	13.63	

Matriks Subkriteria Ledakan													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	0.25	0.33	0.50	2.25	3.33	4.50	<b>0.07</b>
<b>Partial Removal</b>	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.17	0.20	0.25	1.50	1.70	2.25	<b>0</b>
<b>Leave in-place</b>	2.00	3.00	4.00	4.00	5.00	6.00	1.00	1.00	1.00	7.00	9.00	11.00	<b>0.93</b>
<b>Total</b>										10.75	14.03	17.75	
<b>invers matriks total</b>										17.75	14.03	10.75	

Matriks Subkriteria Sengatan Listrik													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
Complete Removal	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	0.33
Partial Removal	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	0.33
Leave in-place	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	0.33
<b>Total</b>										9.00	9.00	9.00	
<b>invers matriks total</b>										9.00	9.00	9.00	

Matriks Subkriteria Hidrokarbon													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
Complete Removal	1.00	1.00	1.00	0.33	0.50	1.00	0.14	0.17	0.20	1.48	1.67	2.20	0
Partial Removal	1.00	2.00	3.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.25	0.33	2.20	3.25	4.33	0
Leave in-place	5.00	6.00	7.00	3.00	4.00	5.00	1.00	1.00	1.00	9.00	11.00	13.00	1
<b>Total</b>										12.68	15.92	19.53	
<b>invers matriks total</b>										19.53	15.92	12.68	

Matriks Subkriteria Zat Kimia Lain													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	M	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
Complete Removal	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	0.14	0.17	0.20	2.14	3.17	4.20	0
Partial Removal	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.25	0.33	1.53	1.75	2.33	0
Leave in-place	5.00	6.00	7.00	3.00	4.00	5.00	1.00	1.00	1.00	9.00	11.00	13.00	1
<b>Total</b>										12.68	15.92	19.53	
<b>invers matriks total</b>										19.53	15.92	12.68	

Matriks Subkriteria Logam Berat													
	Complete Removal			Partial Removal			Leave in-Place			sum per baris			W
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	
Complete Removal	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	0.14	0.17	0.20	2.14	3.17	4.20	0
Partial Removal	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.25	0.33	1.53	1.75	2.33	0
Leave in-place	5.00	6.00	7.00	3.00	4.00	5.00	1.00	1.00	1.00	9.00	11.00	13.00	1
<b>Total</b>										12.68	15.92	19.53	
<b>invers matriks total</b>										19.53	15.92	12.68	

<b>Matriks Subkriteria Hewan Laut</b>													
	<b>Complete Removal</b>			<b>Partial Removal</b>			<b>Leave in-Place</b>			<b>sum per baris</b>			<b>W</b>
	<b>l</b>	<b>m</b>	<b>u</b>	<b>l</b>	<b>m</b>	<b>u</b>	<b>l</b>	<b>m</b>	<b>u</b>	<b>l</b>	<b>m</b>	<b>u</b>	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	4.00	5.00	6.00	7.00	9.00	11.00	<b>0.93</b>
<b>Partial Removal</b>	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	2.25	3.33	4.50	<b>0.07</b>
<b>Leave in-place</b>	0.17	0.20	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.70	2.25	<b>0</b>
<b>Total</b>										10.75	14.03	17.75	
<b>invers matriks total</b>										17.75	14.03	10.75	

<b>Matriks Subkriteria Ecotoxin</b>													
	<b>Complete Removal</b>			<b>Partial Removal</b>			<b>Leave in-Place</b>			<b>sum per baris</b>			<b>W</b>
	<b>l</b>	<b>m</b>	<b>u</b>	<b>l</b>	<b>m</b>	<b>u</b>	<b>l</b>	<b>m</b>	<b>u</b>	<b>l</b>	<b>m</b>	<b>u</b>	
<b>Complete Removal</b>	1.00	1.00	1.00	0.13	0.14	0.17	0.11	0.11	0.11	1.24	1.25	1.28	<b>0</b>
<b>Partial Removal</b>	6.00	7.00	8.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.50	1.00	7.33	8.50	10.00	<b>0.37</b>
<b>Leave in-place</b>	9.00	9.00	9.00	1.00	2.00	3.00	1.00	1.00	1.00	11.00	12.00	13.00	<b>0.63</b>
<b>Total</b>										19.57	21.75	24.28	
<b>invers matriks total</b>										24.28	21.75	19.57	



**LAMPIRAN D**  
**PENJABARAN ANGKA RISIKO**

**1. Metode *Complete Removal***

Langkah Kerja		Hazard	Consequence	PoF	CoF	Angka Risiko
<b>Persiapan Platform</b>	Mobilisasi/demolisasi Work Barge	Tali untuk mooring tidak memadai	Pekerja cedera	1	2	2
	Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris	Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Pekerja terkena debris yang masih berceceran	3	2	6
		Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Mencemari laut	3	3	9
		Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat melukai pekerja	2	2	4
		Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat mencemari lingkungan	2	2	4
	Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline	Peralatan flushing mengalami malfunction	Cedera	2	1	2
		Peralatan flushing mengalami malfunction	Pencemaran lingkungan	2	2	4
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Kebakaran	1	3	3
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Mengotori lingkungan	1	3	3
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Pekerja terpapar hidrokarbon	1	2	2
		Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Pekerja terpapar zat kimia	2	2	4
		Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Pencemaran lingkungan	2	2	4
	Survei sea bed dan pelepasan anoda	Peralatan rusak	Diver cedera akibat decompression sickness	1	4	4
		Peralatan rusak	Diver terbawa arus laut	1	4	4

Langkah Kerja		Hazard	Consequence	PoF	CoF	Angka Risiko
		Pembersihan kurang menyeluruh	Diver terpapar logam berat dari atas	2	3	6
		Diver tidak memerhatikan sekeliling saat menyelam	Diver diserang biota laut	1	4	4
		Kurangnya kewaspadaan saat melakukan survei	Diver terpapar ecotoxin	1	2	2
<b>Pembongkaran riser dan pull tube kabel</b>	Pemotongan dan pembongkaran riser	Peralatan rusak	Ledakan, cedera, salah potong, riser jatuh, pencemaran lingkungan	1	3	3
		Tidak melaksanakan pemotongan dengan benar	Ledakan, Pekerja cedera	1	3	3
	Pemotongan dan pembongkaran pull tube kabel	Tidak memerhatikan keberadaan sub sea cable	Pekerja cedera tersengat arus listrik	1	3	3
<b>Pembongkaran peralatan di top deck</b>	Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi	Pembongkaran tidak dilakukan dengan baik	Pekerja tertimpa peralatan listrik	1	2	2
		Kesalahan pengoperasian alat potong kabel	Pekerja cedera akibat alat potong kabel	1	2	2
		Kurangnya pengawasan saat membongkar peralatan listrik	Tersengat peralatan listrik	1	3	3
	Pembongkaran peralatan tangki, pompa, dan perlengkapan anjungan	Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat mencemari lingkungan	2	3	6
		Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera	1	2	2
		Crane tidak memadai	Tidak mampu mengangkat beban, crane terguling, peralatan menabrak anjungan	1	2	2
<b>Persiapan struktur</b>	Pembongkaran struktur untuk mendukung pembongkaran	Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera	1	2	2

Langkah Kerja		Hazard	Consequence	PoF	CoF	Angka Risiko
	conductor dan anjungan (boat landing, conductor guide dll)					
	Pembuatan pad eye/titik pengangkatan anjungan dan jacket	Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera	1	2	2
<b>Pembongkaran conductor sumur</b>	Pemotongan conductor-casing 5 meter di bawah sea bed	Internal Cutter tidak memadai (stuck dan tidak dapat memotong hingga 5 meter dibawah mudline, atau tidak dapat ditarik ke permukaan)	Pekerja cedera	1	3	3
	Pengangkatan conductor per bagian (per 12 meter) ke material barge dengan metode pinning dan boring	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pengangkatan	pencemaran lingkungan	2	3	6
<b>Pembongkaran Struktur bagian atas</b>	Pemotongan struktur tiang anjungan	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pemotongan	pencemaran lingkungan	2	3	6
		Kesalahan saat pengoperasian mesin	Terjadi ledakan dan melukai pekerja	1	4	4
	Pengangkatan struktur bagian atas (topside) ke material barge	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pengangkatan	pencemaran lingkungan	2	3	6
<b>Pembongkaran jacket</b>	Pemotongan kaki jacket 5 meter dibawah mud line	Kesalahan saat memasukkan internal abrasive cutter ke dalam jacket	Pekerja cedera terjepit	2	3	6
		Internal abrasive cutter berayun saat diturunkan dengan crane	Pekerja cedera terpukul ayunan cutter	3	2	6
	Pemasangan peralatan rigging pada titik angkat jacket bagian tas	Sling berayun saat akan dipasang pada trunion	Pekerja cedera terpukul ayunan sling	3	2	6
	Pemotongan jacket dengan diamond wire cutter	Cutter tidak bekerja optimal (rusak, wire putus, hidraulic hose lepas)	Diver dapat cedera akibat kegagalan peralatan	2	2	4
		Kesalahan saat memasang diamond wire cutter	Diver cedera terjepit	1	2	2

Langkah Kerja		Hazard	Consequence	PoF	CoF	Angka Risiko
	Pemasangan sling rigging pada titik angkat di bawah air	Sling diturunkan di bawah air tidak disadari diver	Diver terpukul sling	1	2	2
	Pengangkatan potongan jacket ke material barge (Lifting point: potongan pertama pakai Trunion di atas air, dan potongan di bawah air dibor dan dipasang shackles)	Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera	1	2	2
<b>Sea fastening dan transportasi ke laut</b>	Sea fastening dan transportasi ke laut	Tali untuk mengikat struktur tidak memadai dan struktur tergelincir atau barge tenggelam	Pekerja cedera	1	3	3
<b>Pasca Kegiatan</b>	Sea floor dibersihkan dari bekas-bekas debris	Hasil pembersihan mengangkat habitat makhluk hidup yang telah terbentuk di sekeliling struktur	Banyak hewan laut kehilangan tempat hidup, mengganggu ekosistem	2	2	4
<b>Rata-rata</b>				<b>1.52</b>	<b>2.52</b>	<b>3.74</b>

## 2. Metode *Partial Removal*

Langkah Kerja		Hazard	Consequence	PoF	CoF	Angka Risiko
	Mobilisasi/demolisasi Work Barge	Tali untuk mooring tidak memadai	Pekerja cedera	1	2	2
<b>Persiapan Platform</b>	Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris	Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Pekerja terkena debris yang masih berceceran	3	2	6
		Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Mencemari laut	3	3	9
		Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat melukai pekerja	2	2	4
		Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat mencemari lingkungan	2	2	4

Langkah Kerja		Hazard	Consequence	PoF	CoF	Angka Risiko
	Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline	Peralatan flushing mengalami malfunction	Cedera	2	1	2
		Peralatan flushing mengalami malfunction	Pencemaran lingkungan	2	2	4
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Kebakaran	1	3	3
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Mengotori lingkungan	1	3	3
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Pekerja terpapar hidrokarbon	1	2	2
		Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Pekerja terpapar zat kimia	2	2	4
		Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Pencemaran lingkungan	2	2	4
	Survei sea bed dan pelepasan anoda	Peralatan rusak	Diver cedera akibat decompression sickness	1	4	4
		Peralatan rusak	Diver terbawa arus laut	1	4	4
		Pembersihan kurang menyeluruh	Diver terpapar logam berat dari atas	2	3	6
		Diver tidak memerhatikan sekeliling saat menyelam	Diver diserang biota laut	1	4	4
		Kurangnya kewaspadaan saat melakukan survei	Diver terpapar ecotoxin	1	2	2

Langkah Kerja		Hazard	Consequence	PoF	CoF	Angka Risiko
Pembongkaran riser dan pull tube kabel	Pemotongan dan pembongkaran riser	Peralatan rusak	Ledakan, cedera, salah potong, riser jatuh, pencemaran lingkungan	1	3	3
		Tidak melaksanakan pemotongan dengan benar	Ledakan, Pekerja cedera	1	3	3
	Pemotongan dan pembongkaran pull tube kabel	Tidak memerhatikan keberadaan sub sea cable	Pekerja cedera tersengat arus listrik	1	3	3
Pembongkaran peralatan di top deck	Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi	Pembongkaran tidak dilakukan dengan baik	Pekerja tertimpa peralatan listrik	1	2	2
		Kesalahan pengoperasian alat potong kabel	Pekerja cedera akibat alat potong kabel	1	2	2
		Kurangnya pengawasan saat membongkar peralatan listrik	Tersengat peralatan listrik	1	3	3
	Pembongkaran peralatan tangki, pompa, dan perlengkapan anjungan	Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat mencemari lingkungan	2	3	6
		Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera	1	2	2
		Crane tidak memadai	Tidak mampu mengangkat beban, crane terguling, peralatan menabrak anjungan	1	2	2

Langkah Kerja		Hazard	Consequence	PoF	CoF	Angka Risiko
<b>Persiapan struktur</b>	Pembongkaran struktur untuk mendukung pembongkaran conductor dan anjungan (boat landing, conductor guide dll)	Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera	1	2	2
<b>Pembongkaran conductor sumur</b>	Pemotongan conductor-casing 5 meter di bawah sea bed	Internal Cutter tidak memadai (stuck dan tidak dapat memotong hingga 5 meter dibawah mudline, atau tidak dapat ditarik ke permukaan)	Pekerja cedera	1	3	3
	Pengangkatan conductor per bagian (per 12 meter) ke material barge dengan metode pinning dan boring	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pengangkatan	pencemaran lingkungan	2	3	6
<b>Pembongkaran Struktur bagian atas</b>	Pemotongan struktur tiang anjungan	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pemotongan	pencemaran lingkungan	2	3	6
		Kesalahan saat pengoperasian mesin	Terjadi ledakan dan melukai pekerja	1	4	4
	Pengangkatan struktur bagian atas (topside) ke material barge	Crane barge tidak bisa menahan beban saat pengangkatan	pencemaran lingkungan	2	3	6
<b>Sea fastening dan transportasi ke laut</b>	Sea fastening dan transportasi ke laut	Tali untuk mengikat struktur tidak memadai dan struktur tergelincir atau barge tenggelam	Pekerja cidera	1	3	3

Langkah Kerja		Hazard	Consequence	PoF	CoF	Angka Risiko
Pasca Kegiatan	Struktur ditinggalkan	Struktur mengalami korosi	Mencemari lautan	4	4	16
		Sisa-sisa penambangan minyak dan gas bocor	Mencemari lautan	3	3	9
		Struktur mengalami korosi	Mengganggu ekosistem lautan	4	4	16
		Sisa-sisa penambangan minyak dan gas bocor	Dapat meracuni hewan dan tumbuhan yang hidup	5	4	20
<b>Rata-rata</b>						<b>4.97</b>

### 3. Metode *Leave in Place*

Langkah Kerja		Hazard	Consequence	PoF	CoF	Angka Risiko
Persiapan Platform	Mobilisasi/demolisasi Work Barge	Tali untuk mooring tidak memadai	Pekerja cidera	1	2	2
	Pembersihan Lokasi kerja dan pembuangan debris	Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Pekerja terkena debris yang masih berceceran	3	2	6
		Kekurangan peralatan untuk membersihkan debris	Mencemari laut	3	3	9
		Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat melukai pekerja	2	2	4
		Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat mencemari lingkungan	2	2	4
		Pembersihan piping, peralatan, dan pipeline	Peralatan flushing mengalami malfunction	Cedera	2	1
	Peralatan flushing		Pencemaran lingkungan	2	2	4



		mengalami malfunction				
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Kebakaran	1	3	3
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Mengotori lingkungan	1	3	3
		Minyak tumpah, kebocoran pipa	Pekerja terpapar hidrokarbon	1	2	2
		Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Pekerja terpapar zat kimia	2	2	4
		Tumpahnya zat kimia sisa pembuangan yang terdapat pada pipa	Pencemaran lingkungan	2	2	4
	Survei sea bed dan pelepasan anoda	Peralatan rusak	Diver cedera akibat decompression sickness	1	4	4
		Peralatan rusak	Diver terbawa arus laut	1	4	4
		Pembersihan kurang menyeluruh	Diver terpapar logam berat dari atas	2	3	6
		Diver tidak memerhatikan sekeliling saat menyelam	Diver diserang biota laut	1	4	4
		Kurangnya kewaspadaan saat melakukan survei	Diver terpapar ecotoxin	1	2	2
<b>Pembongkaran riser dan pull tube kabel</b>	Pemotongan dan pembongkaran riser	Peralatan rusak	Ledakan, cedera, salah potong, riser jatuh, pencemaran lingkungan	1	3	3
		Tidak melaksanakan pemotongan dengan benar	Ledakan, Pekerja cedera	1	3	3

	Pemotongan dan pembongkaran pull tube kabel	Tidak memerhatikan keberadaan sub sea cable	Pekerja cedera tersengat arus listrik	1	3	3
<b>Pembongkaran peralatan di top deck</b>	Pembongkaran peralatan listrik instrumentasi	Pembongkaran tidak dilakukan dengan baik	Pekerja tertimpa peralatan listrik	1	2	2
		Kesalahan pengoperasian alat potong kabel	Pekerja cedera akibat alat potong kabel	1	2	2
		Kurangnya pengawasan saat membongkar peralatan listrik	Tersengat peralatan listrik	1	3	3
	Pembongkaran peralatan tangki, pompa, dan perlengkapan anjungan	Pembersihan kurang menyeluruh	Sisa logam berat mencemari lingkungan	2	3	6
		Peralatan pengangkatan rusak	Kegagalan pengangkatan, pekerja cedera	1	2	2
		Crane tidak memadai	Tidak mampu mengangkat beban, crane terguling, peralatan menabrak anjungan	1	2	2
<b>Sea fastening dan transportasi ke laut</b>	Sea fastening dan transportasi ke laut	Tali untuk mengikat struktur tidak memadai dan struktur tergelincir atau barge tenggelam	Pekerja cidera	1	3	3
<b>Pasca Kegiatan</b>	Struktur ditinggalkan	Menghalangi pelayaran	Jika letak struktur tidak dimasukkan dalam peta pelayaran, kapal dapat menabrak struktur	5	4	20
		Sisa-sisa penambangan minyak dan gas bocor	Mencemari lautan	5	4	20

		Struktur mengalami korosi	Mencemari lautan	5	4	20
		Struktur mengalami korosi	Mengganggu ekosistem lautan	5	4	20
		Sisa-sisa penambangan minyak dan gas bocor	Dapat meracuni hewan dan tumbuhan yang hidup	5	4	20
<b>Rata-rata</b>						<b>6.125</b>

## BIODATA PENULIS



**Andi Farida Rafiqa** dilahirkan di Makassar pada tanggal 09 November 1997. Anak ketiga dari 4 bersaudara ini telah menempuh pendidikan di SD Inpres Kassi-Kassi, MTs Negeri Model Makassar, dan SMA Negeri 17 Makassar. Kemudian penulis berhasil diterima di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama kuliah, penulis sempat aktif menjadi staf is HIMATEKLA 16/17 dan 17/18, juga di LDJ Bahrul Ilmi Teknik Kelautan pada tahun yang sama. Penulis tercatat mengikuti beberapa pelatihan pengembangan diri dan pengetahuan *software*. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Singgar Mulia Engineering Consultant, Jakarta. Bidang keahlian yang di ambil penulis di Departemen Teknik Kelautan adalah perancangan dan produksi bangunan lepas pantai, lebih tepatnya pada bidang manajemen.