



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**PERENCANAAN PENANGANAN PEMULIHAN  
STRUKTUR JETTY PADA JETTY RU VI -  
BALONGAN**

Fauzan Bariza  
NRP. 03111540000125

Dosen Pembimbing  
Supani ST., MT.

Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember





TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**PERENCANAAN PENANGANAN PEMULIHAN  
STRUKTUR JETTY PADA JETTY RU VI -  
BALONGAN**

Fauzan Bariza  
NRP. 03111540000125

Dosen Pembimbing  
Supani ST., MT.

Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT (RC18-4803)

JETTY STRUCTURE RECOVERY PLANNING ON  
JETTY RU VI - BALONGAN

Fauzan Bariza  
NRP. 03111540000125

Academic Supervisor  
Supani ST., MT.

Civil Engineering Department  
Faculty of Civil Engineering, Enviromental, and Geo  
Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PERENCANAAN PENANGANAN PEMULIHAN  
STRUKTUR JETTY PADA JETTY RU VI -  
BALONGAN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Manajemen Konstruksi  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Fauzan Bariza

NRP: 0311154000125

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir.

1. Supani, ST., M.Eng. (Pembimbing I)



**SURABAYA,  
JULI 2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PERENCANAAN PENANGANAN PEMULIHAN  
STRUKTUR JETTY PADA JETTY RU VI-  
BALONGAN**

**Nama Mahasiswa** : Fauzan Bariza  
**NRP** : 03111540000125  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSLK – ITS  
**Dosen Konsultasi** : Supani, ST., MT.

**ABSTRAK**

Struktur jetty merupakan bangunan beton bertulang yang bersentuhan langsung dengan air laut dapat mengalami kerusakan yang diakibatkan dari kondisi alam sehingga perlu ditinjau durabilitas struktur beton bertulang dan mampu dipertahankan sampai dengan usia rencana. Adanya faktor – faktor kerusakan yang menyebabkan struktur *failure*, diantaranya adalah penetrasi klorida, korosi, karbonasi.

Metode awal untuk menjawab permasalahan ini yaitu melakukan identifikasi masalah terlebih dahulu dari lokasi yang ditinjau sehingga bisa merumuskan suatu permasalahan sebagai tujuan dari analisis tugas akhir. Kemudian dilakukan studi literatur dan pengumpulan data yang dapat menunjang analisis penelitian. Metode yang digunakan untuk meninjau tiap kejadian apakah saling mempengaruhi ataupun tidak dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Dari hasil tinjauan *fault tree analysis*, dilakukan analisis data untuk menentukan dari faktor – faktor tiap kejadian yang terjadi apakah menyebabkan *failure* atau tidak dengan melakukan perhitungan reliabilitas struktur. Dari hasil analisis diperoleh dua kemungkinan yang terjadi yaitu bertahan atau *failure*, jika faktor kerusakan dominan dapat

mengakibatkan struktur jetty *failure* maka perlu dilakukan penanganan pemulihan.

Dari observasi yang dilakukan, faktor kerusakan pada dermaga jetty yang telah rusak disebabkan oleh penetrasi klorida, karbonasi, dan korosi sehingga mengakibatkan penurunan mutu beton yang dapat bertambah parah. Ada tiga tindakan alternatif yang berbeda antara lain mengurangi pemuatan layanan (tanpa perkuatan), memperbaiki pada bagian yang rusak dari komponen struktur, dan membangun struktur atas baru. Dan dari hasil analisis menggunakan *Expected Monetary Value* (EMV) dapat diambil alternatif 1 dengan harga 25,86 M yaitu dengan melakukan perbaikan keadaan struktur bagian atas dari dermaga jetty.

***Kata Kunci : struktur failure, fault tree analysis, reliabilitas struktur, expected monetary value.***

## **JETTY STRUCTURE RECOVERY PLANNING ON JETTY RU VI – BALONGAN**

**Name : Fauzan Bariza**  
**NRP : 0311154000125**  
**Department : Teknik Sipil FTSLK – ITS**  
**Supervisor : Supani ST., MT.**

### **ABSTRACT**

The jetty structure is a reinforced concrete building that is in direct contact with seawater which can be damaged due to natural conditions, thus it is necessary to review the durability of reinforced concrete structures and be able to maintain the structure. There are damage factors that because structure failed, including chloride penetration, corrosion, carbonation.

The first step to handle this problem is to identify the problem from the location, to have it reviewed in order to formulate a problem as the objective of the final task analysis. Afterwards, a literature study and data collection can be carried out thus a research analysis can be supported. The method used to review each event whether it affects each other or not is the Fault Tree Analysis (FTA) method. From the results of a fault tree analysis review, data analysis was performed to determine the factors of each event that occurred whether it caused failure or not by calculating the structure reliability. From the results of the analysis, there are possibilities that occur, whether it survives or failures, if the dominant damage factor can result in the structure of jetty failure, recovery is necessary.

From the observations made, the damage factor to the jetty docks that have been damaged is caused by chloride

penetration, carbonation and corrosion which causes a deterioration in the quality of concrete that can get worse. There are three different alternative actions, including reducing service loading (without reinforcement), repairing damaged parts of structural components, and building a new upper structure. And from the results of the analysis using Expected Monetary Value (EMV), alternative 1 can be taken at a price of 25.86 M, by making improvements of the upper structure the jetty pier.

***Keywords: failure of structure, fault tree analysis, structural reliability, expected monetary value.***

## **KATA PENGANTAR**

Puji Syukur dipanjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Perencanaan Penanganan Pemulihan Struktur Jetty Pada Jetty RU VI – Balongan” tepat pada waktunya.

Dalam proses pengerjannya, penulis menemui banyak kendala-kendala yang tidak dapat penyusun selesaikan tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak karena itu penyusun ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Gesit Ngudi Raharjo, Dewi Prawitasari, dan keluarga yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah mendukung dan mendoakan penyusun dalam penyelesaian Proposal Tugas Akhir ini.
2. Bapak Supani, ST., MT., selaku dosen manajemen konstruksi yang memberikan arahan dan dukungan kepada penulis dalam proses penyusunan laporan ini.
3. Trisha Ayuma Putri yang telah menjadi moral support nomor 2 saya.
4. Teman-teman S58 Sipil ITS tercinta yang tidak bisa disebutkan satu persatu, dan telah berjuang bersama-sama menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Sipil ITS.
5. Aldio Mauludy, Arif Bayu, Faiz Murtadha, Bagos Fahri, Anisah Nabilah, Ermitha Faradisa, Dini Sukma Salsabila sebagai staf – staf saya yang senantiasa mendukung dan mendoakan saya

Penulis berusaha menyelesaikan laporan ini dengan sebaik – baiknya, namun penulis juga menyadari bahwa masih ada kekurangan. Maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi kebaikan laporan ini di masa yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca mapun penulis.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Umum.....	5
2.2 Durabilitas Beton.....	5
2.3 Korosi Struktur Beton Bertulang .....	6
2.4 Reliabilitas Struktur.....	11
2.5 <i>Fault Tree Analysis</i> .....	20
2.6 Probabilitas Kondisional.....	25
2.7 <i>Expexted Monetary Value</i> .....	27
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>29</b>
3.1 Pendahuluan .....	29
3.2 Tahap Penelitian .....	29
3.2.1 Identifikasi Masalah .....	29
3.2.2 Studi Literatur .....	30
3.2.3 Pengumpulan Data .....	30
3.2.4 Permodelan FTA dan Analisis Data .....	31
3.2.5 Menentukan Penanganan Pemulihan .....	34
3.2.6 Kesimpulan dan Saran.....	34
3.3 Bagan Alir ( <i>Flowchart</i> ).....	35
<b>BAB IV DATA DAN ANALISIS</b> .....	<b>37</b>
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian .....	37

4.2	Pengumpulan Data.....	44
4.2.1	Data Visual <i>Assessment</i> .....	44
4.2.2	Data dan Analisis <i>Assessment Half Cell Potential Test</i> .....	45
4.2.2.1	<i>Assessment</i> di Jetty .....	48
4.2.2.2	<i>Assessment</i> di Trestle .....	59
4.2.2.3	<i>Assessment</i> di <i>Mooring Dolphin</i> .....	71
4.2.3	Uji Korosi Berdasarkan Faktor Kimia..	76
4.2.3.1	<i>Carbonation Test</i> .....	76
4.2.3.2	Tes Beton Konsentrasi Klorida .....	80
4.2.3.3	Tes Beton Konsentrasi Sulfat .....	82
4.3	Analisis Data.....	87
4.3.1	Perhitungan Probabilitas Terjadinya Korosi di Jetty .....	87
4.3.2	Kerusakan Akibat Tumbukan Kapal dan Tumbukan <i>Cover Hatch</i> Kapal.....	91
4.4	Analisis <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA) .....	92
<b>BAB V</b>	<b>PERENCANAAN PEMULIHAN</b> .....	<b>97</b>
5.1	Alternatif Pemulihan Jetty .....	97
5.1.1	Perbaikan Struktural.....	99
5.1.1.1	Perbaikan Struktural Jetty .....	100
5.1.1.2	Perbaikan Struktural Trestle .....	102
5.1.1.3	Perbaikan Struktural <i>Mooring Dolphin</i> .....	104
5.2	Pendekatan Pemilihan Alternatif dengan <i>Expected Monetary Value</i> .....	107
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>111</b>
6.1	Kesimpulan.....	111
6.2	Saran .....	112
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>113</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>115</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Penyebab Utama Deteriorasi Material Beton Bertulang .....	1
<b>Gambar 2.1</b> Alur Proses Korosi .....	10
<b>Gambar 2.2</b> Kurva Distribusi Normal .....	14
<b>Gambar 2.3</b> Formulasi Hipotesis .....	16
<b>Gambar 2.4</b> Kriteria Pengujian .....	17
<b>Gambar 2.5</b> Nilai Nominal Kapasitas dan Beban X dan Y .....	18
<b>Gambar 2.6</b> <i>Probability Density Function</i> (PDF) dari Kapasitas X dan Beban Y .....	19
<b>Gambar 2.7</b> <i>Fault Tree Analysis</i> .....	24
<b>Gambar 3.1</b> Identifikasi Model FTA Untuk Pelat .....	32
<b>Gambar 3.2</b> Identifikasi Model FTA Untuk Balok .....	32
<b>Gambar 3.3</b> Identifikasi Model FTA Untuk Tiang Pancang .....	33
<b>Gambar 3.4</b> Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	35
<b>Gambar 4.1</b> Lokasi Jetty .....	38
<b>Gambar 4.2</b> Layout Jetty .....	39
<b>Gambar 4.3</b> Potongan A – A Struktur Jetty .....	40
<b>Gambar 4.4</b> Potongan B – B Struktur Jetty .....	40
<b>Gambar 4.5</b> Layout Trestle .....	41
<b>Gambar 4.6</b> Potongan A – A Trestle .....	42
<b>Gambar 4.7</b> Potongan B – B Trestle .....	42
<b>Gambar 4.8</b> Layout Mooring Dolphin .....	43
<b>Gambar 4.9</b> Kondisi Struktur Bawah Jetty .....	44
<b>Gambar 4.10</b> Sisi Atas Struktur Jetty .....	44
<b>Gambar 4.11</b> Sisi Bawah Struktur Jetty .....	45
<b>Gambar 4.12</b> Metode Pengukuran Perbedaan Potensi Menggunakan Metode <i>Half-Cell Potential</i> .....	46
<b>Gambar 4.13</b> PROCEQ CANIN + Instrumen Penganalisis Korosi. ....	47
<b>Gambar 4.14</b> Lokasi Tes <i>Half Cell Potential</i> pada Jetty .....	48
<b>Gambar 4.15</b> Hasil Tes Korosi pada Sampel HC1 .....	49
<b>Gambar 4.16</b> Hasil Tes Korosi pada Sampel HC2 .....	50

<b>Gambar 4.17</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC3.....	51
<b>Gambar 4.18</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC4.....	52
<b>Gambar 4.19</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC5.....	53
<b>Gambar 4.20</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC6.....	54
<b>Gambar 4.21</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC7.....	55
<b>Gambar 4.22</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC8.....	56
<b>Gambar 4.23</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC9.....	57
<b>Gambar 4.24</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC10.....	58
<b>Gambar 4.25</b>	Lokasi Tes <i>Half Cell Potential</i> pada Trestle.....	59
<b>Gambar 4.26</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC11.....	60
<b>Gambar 4.27</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC12.....	61
<b>Gambar 4.28</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC13.....	62
<b>Gambar 4.29</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC14.....	63
<b>Gambar 4.30</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC15.....	64
<b>Gambar 4.31</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC16.....	65
<b>Gambar 4.32</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC17.....	66
<b>Gambar 4.33</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC18.....	67
<b>Gambar 4.34</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC19.....	68
<b>Gambar 4.35</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC20.....	69
<b>Gambar 4.36</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC21.....	70
<b>Gambar 4.37</b>	Lokasi Tes <i>Half Cell Potential</i> pada <i>Mooring</i> <i>Dolphin</i> .....	71
<b>Gambar 4.38</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC22.....	72
<b>Gambar 4.39</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC23.....	73
<b>Gambar 4.40</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC21.....	74
<b>Gambar 4.41</b>	Hasil Tes Korosi pada Sampel HC25.....	75
<b>Gambar 4.42</b>	Indikator Karbonasi Pada Beton.....	77
<b>Gambar 4.43</b>	Hasil Analisis Konsentrasi Klorida pada Kedalaman Inti .....	82
<b>Gambar 4.44</b>	Sampel Yang Dipotong Berdasarkan Kode.....	83
<b>Gambar 4.45</b>	Hasil Analisis Konsentrasi Sulfat.....	85
<b>Gambar 4.46</b>	Hasil Wawancara <i>Expert Judgement</i> .....	91

<b>Gambar 4.47</b>	Identifikasi model FTA untuk struktur atas .....	93
<b>Gambar 4.48</b>	Hasil Perhitungan Berdasarkan <i>Fault Tree Analysis Software</i> .....	95
<b>Gambar 5.1</b>	Memperkirakan Kondisi Seumur Hidup vs Persentase Jika Tidak Ada Tindakan.....	99
<b>Gambar 5.2</b>	Langkah – langkah perbaikan dan perkuatan dermaga.....	102
<b>Gambar 5.3</b>	Detail Area Penguatan Trestle.....	103
<b>Gambar 5.4</b>	Tahap Perkuatan Untuk Balok Baja Trestle .....	104
<b>Gambar 5.5</b>	Langkah – langkah perbaikan dan perkuatan <i>mooring dolphin</i> .....	106
<b>Gambar 5.6</b>	Memperkirakan Masa Seumur Hidup vs Persentase Kondisi dengan Perkuatan.....	107

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

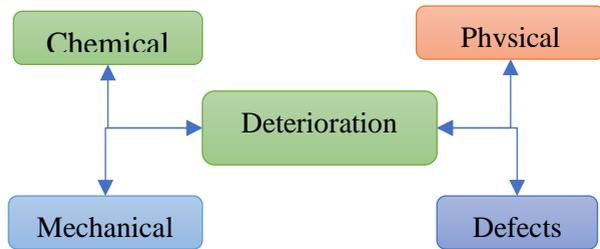
<b>Tabel 2.1</b> Simbol – simbol gerbang .....	22
<b>Tabel 2.2</b> Simbol-simbol kejadian .....	23
<b>Tabel 4.1</b> Ketergantungan antara Potensi dan Kemungkinan Korosi .....	45
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Perhitungan Sampel <i>Half Cell Potential</i> Pada Jetty .....	59
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Perhitungan Sampel <i>Half Cell Potential</i> Pada Trestle .....	71
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Perhitungan Sampel <i>Half Cell Potential</i> Pada <i>Mooring Dolphin</i> .....	74
<b>Tabel 4.5</b> Lokasi Sample: CD-7 pada Trestle .....	77
<b>Tabel 4.6</b> Lokas sampel : CD-19 pada <i>Mooring Dolphin</i> .....	78
<b>Tabel 4.7</b> Lokasi Sampel: CD-16 pada <i>Mooring Dolphin</i> .....	79
<b>Tabel 4.8</b> Lokasi Sampel: CD-5 pada Jetty .....	80
<b>Tabel 4.9</b> Hasil Pengujian Sampel Konsentrasi Klorida .....	81
<b>Tabel 4.10</b> Tes Sampel Konsentrasi Sulfat .....	84
<b>Tabel 4.11</b> Hasil <i>Drilled Cores</i> Slab Beton Jetty, Trestle Dan <i>Dolphin</i> .....	86
<b>Tabel 4.12</b> Hasil Input keseluruhan data <i>half cell potential</i> dari struktur jetty .....	87
<b>Tabel 4.13</b> Hasil sampel yang dikalikan dengan mV' .....	87
<b>Tabel 4.14</b> Tabel Z .....	90
<b>Tabel 5.1</b> Perkiraan Biaya Perbaikan Dermaga yang Ada (Alternatif 1) .....	108
<b>Tabel 5.2</b> Perkiraan Biaya Perbaikan Dermaga yang Ada (Alternatif 2) .....	109

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Bangunan struktur beton bertulang seiring dengan fungsi waktu akan mengalami kerusakan karena proses deteriorasi. Deteriorasi tersebut seiring dengan waktu menyebabkan penurunan kemampuan atau degradasi struktur. Pada **Gambar 1.1** deteriorasi pada struktur beton bertulang dipengaruhi oleh beberapa faktor utama seperti berikut :



**Gambar 1.1** Penyebab Utama Deteriorasi Material Beton Bertulang

Struktur jetty merupakan bangunan beton bertulang yang bersentuhan langsung dengan air laut dapat mengalami kerusakan yang diakibatkan dari kondisi alam sehingga perlu ditinjau durabilitas struktur beton bertulang dan mampu dipertahankan sampai dengan usia rencana. Untuk meninjau kerusakan komponen struktur dermaga tidak secara *independent* dengan kata lain tidak hanya meninjau bagian tiang pancang dermaga saja atau bagian balok dermaga saja, namun bagian – bagian tersebut saling mempengaruhi. Model yang digunakan untuk memprediksi kerusakan struktur sebagian besar masih menggunakan model deterministik yang diperoleh dengan menggunakan perumusan empiris

sehingga masih bersifat *independent*. Adanya faktor – faktor kerusakan yang menyebabkan struktur *failure*, diantaranya adalah penetrasi klorida, korosi, karbonasi. Jika yang rusak dibagian tiang pancang, maka perlu ditinjau apakah kerusakan tersebut berdampak terhadap balok dermaga, dan jika balok dermaga rusak apakah berdampak terhadap pelat dermaga. Jika tidak ditinjau secara berkala, dapat mengakibatkan biaya pemeliharaan yang besar pula.

Model yang dipergunakan untuk meninjau probabilitas suatu kejadian yang bersifat *dependent* adalah metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Metode ini dipilih agar dapat mengidentifikasi suatu peristiwa dari kejadian puncak (*Top Event*) selanjutnya semua kejadian yang dapat menimbulkan akibat dari kejadian puncak tersebut diidentifikasi dalam bentuk pohon logika ke arah bawah (Priminta, 2012). Dari data yang didapatkan, faktor – faktor hasil FTA kemudian dianalisis *state probability failure* tiap faktor tersebut sehingga hasil analisis faktor utama yang menyebabkan *failure* dapat ditentukan alternatif penanganan pemulihan yang akan dilakukan berdasarkan analisis *expected monetary value* (EVM) terhadap struktur jetty.

Upaya perencanaan penanganan pemulihan ini dilakukan terhadap struktur jetty milik PT Pertamina yang berlokasi di Balongan karena usia jetty yang sudah mencapai 28 tahun. Dalam pengembangannya, jetty merupakan fasilitas pendukung PT. Pertamina sebagai perusahaan minyak dan gas nasional berniat untuk meningkatkan produksi minyak di Unit Kilang VI. Proyek dengan skala besar memungkinkan adanya potensi yang cukup besar sehingga tidak menutup kemungkinan adanya potensi kejadian yang berisiko. Adapun maksud dalam pemilihan

proyek ini karena permintaan minyak dan gas untuk keperluan domestik meningkat seiring waktu, dengan menilai daya dukung dari konstruksi jetty yang ada, diharapkan dapat meidentifikasi dan menganalisis probabilitas dari sumber – sumber kejadian yang terjadi menggunakan metode FTA sehingga tidak mengganggu operasional dari lokasi tersebut.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Apa saja yang menyebabkan faktor kerusakan struktur yang berakibat terhadap struktur jetty?
2. Bagaimana cara menentukan penanganan pemulihan yang dapat dilakukan terhadap struktur jetty yang ditinjau berdasarkan hasil FTA?
3. Bagaimana cara menentukan alternatif yang akan dilakukan untuk penanganan pemulihan struktur jetty berdasarkan analisis *expected monetary value*?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan perumusan masalah diatas, maka Tugas Akhir ini disusun dengan tujuan :

1. Menentukan faktor – faktor kerusakan struktur yang berakibat terhadap struktur jetty.
2. Menentukan penanganan pemulihan terhadap struktur jetty yang akan ditinjau berdasarkan hasil FTA
3. Menentukan alternatif yang akan dilakukan untuk penanganan pemulihan struktur jetty berdasarkan analisis *expected monetary value*.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Agar pembahasan dalam penulisan bisa lebih terarah dan sistematis, maka pembahasan dalam penulisan Tugas Akhir ini dibatasi sebagai berikut :

1. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Fault Tree Analysis* (FTA).
2. Risiko kejadian yang ditinjau hanya mengacu terhadap potensi yang berdampak pada struktur bangunan beton bertulang bagian atas yang diakibatkan dari kondisi alam.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diambil dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengidentifikasi kerusakan yang terjadi pada konstruksi jetty milik PT Pertamina di Unit Kilang VI yang berada di Balongan, sehingga dapat mengelola tindakan yang diperlukan untuk pemulihannya.
2. Dapat menjadi referensi pengembangan keilmuan bagi manajemen konstruksi.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Studi pustaka merupakan suatu pembahasan yang berdasar kepada buku-buku referensi yang dapat memperkuat materi pembahasan ataupun sebagai dasar dalam penggunaan rumus-rumus dalam merencanakan penelitian

#### **2.2 Durabilitas Beton**

Desain umur layan struktur bangunan beton secara eksplisit tersebut berperan penting dalam memastikan material maupun struktur mencapai umur layan yang direncanakan. Hal ini dapat dicapai dengan mendesain struktur bangunan beton yang mengharuskan adanya perencanaan dengan perawatan struktur dan pengawasan kinerja struktur selama umur layannya.

Durabilitas material dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk menahan deteoriorasi akibat lingkungan (Matarul, J. et al, 2015). Pada domain struktur durabilitas didefinisikan sebagai kemampuan untuk mempertahankan fungsi, stabilitas dan estetika akibat pengaruh lingkungan sehingga tidak menimbulkan biaya perawatan dan perbaikan yang besar selama umur layan yang direncanakan.

Aspek durabilitas kian hari dirasakan semakin penting. Hal ini penting terutama bagi infrastruktur yang memiliki umur layan yang cukup panjang. Umur layan struktur didefinisikan sebagai periode waktu dimana struktur mampu memenuhi perilaku yang disyaratkan dalam skenario perbaikan dan perawatan yang telah ditetapkan (Verma, 2014). Sedangkan

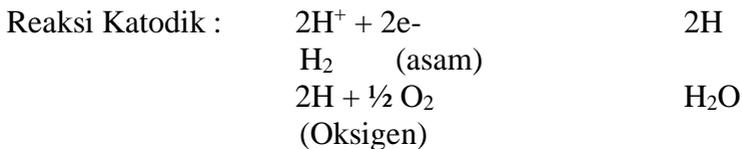
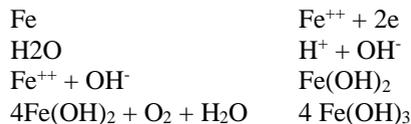
menurut (Zhang dan Ba, 2011) adalah umur struktur sebelum konsentrasi klorida kritis yang menyebabkan korosi tulangan.

### 2.3 Korosi Struktur Beton Bertulang

Beton merupakan suatu bahan yang terbentuk mempunyai kekuatan tekan yang tinggi namun, ketahanan tarik yang rendah. Untuk mengatasi kelemahan pada daerah tarik pada beton maka dibutuhkan baja tulangan yang memiliki kekuatan tarik yang besar. Korosi pada beton bertulang dapat mempersingkat umur bangunan. Salah satu faktor yang menyebabkan korosi adalah faktor lingkungan yang disini bersentuhan langsung dengan air laut yang disebabkan oleh konsentrasi oksigen dalam air atau udara bebas, pH, temperatur. Menurut Fahirah F. Baja tulangan pada beton berada dalam lingkungan bersifat basa kuat dengan nilai  $\text{pH} \pm 12,5$ . Keadaan ini disebabkan karena beton mengandung 20 – 30 persen Kalsium Dihidrosida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), sebagian berupa larutan jenuh  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  di dalam beton, sebagian mengendap berupa kristal  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  di dalam beton.

Korosi baja tulangan adalah reaksi kimia atau elektro kimia antara baja tulangan dengan lingkungannya. Secara umum reaksi tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

Reaksi Anodik :

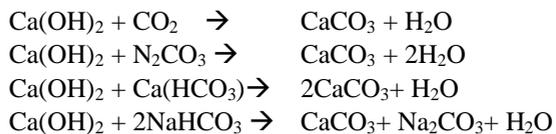




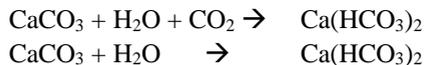
Baja tulangan yang terkorosi, volume karatnya lebih besar  $\pm 3$  kali dari volume bahan asalnya sehingga mengakibatkan keretakan pada beton. Hal ini merupakan awal dari kerusakan beton yang akhirnya menuju ke kerusakan yang lebih parah sehingga secara keseluruhan memperpendek usia pakai konstruksi yang bersangkutan. Baja tulangan di dalam beton terkorosi apabila keadaan pasif hilang yaitu pH lingkungan pada bidang kontak baja-beton turun sampai  $< 9,5$ . Kondisi dimana proses korosi baja tulangan di dalam beton dapat berlangsung sebagai berikut :

a. Karbonasi

Karbonasi yaitu peristiwa terbentuknya  $\text{CaCO}_3$  sebagai akibat reaksi antara  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dengan gas atau senyawa terlarut yang bersifat asam. Proses karbonisasi berlangsung menurut reaksi sebagai berikut :



Reaksi tersebut masih dapat berlanjut sebagai berikut :

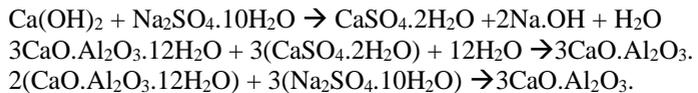


Proses karbonasi ini berlangsung dari permukaan beton ke bagian dalam beton yang akhirnya mencapai bidang kontak baja beton. Apabila proses

karbonasi telah mencapai bidang kontak baja-beton, pH lingkungan pada bidang kontak baja-beton turun sampai  $< 9,5$ . Hal ini mengakibatkan keadaan pasif baja tulangan hilang dan baja tulangan akan terkorosi yang akhirnya merusak betonnya.

b. Degradasi oleh Sulfat

Apabila larutan sulfat masuk ke dalam beton, maka akan terjadi reaksi dengan senyawa hidrasi kalsium aluminate ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) yang terdapat di dalam beton. Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah sebagai berikut :



Reaksi ini menghasilkan Kalsium Sulfo Aluminate ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ ).

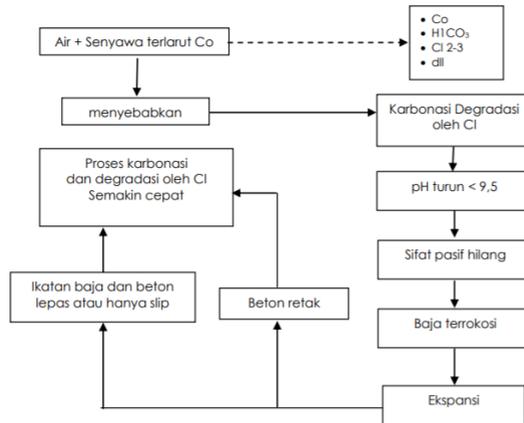
Volume kristal Kalsium Sulfo Aluminate 3 kali volume kalsium aluminate (bahan asalnya) sehingga mengakibatkan beton mengalami retak halus. Hal ini merupakan jalan bagi larutan dari luar dan atau proses karbonasi mencapai bidang kontak baja-beton. Apabila larutan dari luar dan atau proses karbonasi telah mencapai bidang kontak baja-beton, pH lingkungan pada bidang kontak bajabeton turun sampai  $< 9,5$ . Hal ini mengakibatkan keadaan pasif baja tulangan hilang dan baja tulangan akan terkorosi yang akhirnya merusak beton.

c. Degradasi oleh Klorida

Ion klorida telah terkenal sangat agresif terhadap bahan konstruksi baja. Klorida melalui reaksi hidrolisa membentuk asam. Asam yang dihasilkan menetralkan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang terdapat di dalam beton. Apabila proses netralisasi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  telah mencapai bidang kontak baja-beton, pH lingkungan pada bidang kontak baja-beton turun sampai  $< 9,5$ . Hal ini mengakibatkan keadaan pasif baja tulangan hilang dan baja tulangan terkorosi yang akhirnya merusak beton.

d. Leaching

Leaching adalah peristiwa turunnya konsentrasi senyawa terlarut di sekitar daerah kontak baja-beton akibat masuknya larutan ke dalam beton. Penurunan konsentrasi akhirnya mengakibatkan pH lingkungan pada bidang kontak baja-beton turun sampai  $< 9,5$ . Hal ini mengakibatkan keadaan pasif baja tulangan hilang dan baja tulangan akan terkorosi yang akhirnya merusak beton. Prinsip terjadinya lingkaran korosi, dikatakan lingkaran karena korosi akan berproses terus sampai akhirnya menghancurkan konstruksi yang bersangkutan secara skematis digambarkan pada **Gambar 2.1**. Akibat yang ditimbulkan bila terjadi lingkaran korosi pada tulangan beton adalah :



**Gambar 2.1** Alur Proses Korosi

- Tercucinya pasta semen yang telah mengeras.
- Melarutnya dan tercucinya senyawa senyawa yang terbentuk akibat serangan air agresip.
- Terbentuknya senyawa-senyawa baru, hasil reaksi kimia yang memiliki sifat sangat mengembang (*expansive*) hingga beton menjadi retak dan pecah.
- Hilangnya tegangan retakan antara beton dan tulangan akibat slip.

### 3.4 Reliabilitas Struktur

Dari segi bahasa, reliabilitas merupakan penerjemahan dari kata *reliability* yang mempunyai asal kata *rely* dan *ability*. Bila digabungkan, kedua kata tersebut akan mengerucut kepada pemahaman tentang kemampuan alat ukur untuk dapat dipercaya dan menjadi sandaran pengambilan keputusan. Menurut Suprobo (2017) Resiko dan keandalan sistem didefinisikan sebagai probabilitas kegagalan dan non-*failure* atas masa yang ditentukan sistem. **Definisi : Risiko dan Keandalan.** Risiko bahwa sistem tidak mampu memenuhi permintaan didefinisikan sebagai probabilitas kegagalan ( $p_f$ ) selama masa yang ditentukan berdasarkan sistem tertentu kondisi operasi. Keandalan sistem Struktur, dinotasikan dengan  $r$ , adalah

$$r = 1 - p_f$$

Jika struktur (atau bagian dari struktur) melebihi batas tertentu, struktur elemen (atau bagian dari struktur) tidak dapat melakukan seperti yang diperlukan, maka batas tertentu disebut batas-keadaan. Struktur ini akan dianggap tidak dapat diandalkan jika kegagalan probabilitas batas keadaan struktur melebihi nilai yang diminta. Untuk sebagian besar struktur, batas keadaan dapat dibagi menjadi dua kategori:

**Batasan *Ultimate*** : yang terkait dengan runtuhnya struktural dari sebagian atau seluruh struktur. Contoh yang paling umum batasan ultimate adalah korosi, kelelahan, kerusakan, kebakaran, mekanisme plastik, keruntuhan progresif, fraktur, dll. Beberapa batasan harus memiliki probabilitas yang sangat rendah dari

kejadian, sebab dapat menyebabkan risiko hilangnya nyawa dan kerugian keuangan yang banyak.

**Batasan Pelayanan** : terkait dengan gangguan penggunaan normal dari struktur. Contoh batasan pelayanan adalah lendutan yang berlebihan, getaran yang berlebihan, drainase, kebocoran, kerusakan lokal, dll. Karena bahaya yang kurang daripada dalam kasus batasan *ultimate*, probabilitas yang lebih tinggi dari kejadian mungkin ditoleransi dalam batasan ini. Namun, orang tidak dapat menggunakan struktur yang menghasilkan terlalu banyak lendutan, getaran, dll

Umumnya, batasan menunjukkan margin keselamatan antara tahanan dan beban struktur. Fungsi batasan,  $g(\cdot)$ , dan probabilitas kegagalan,  $P_f$ , dapat didefinisikan sebagai

$$g(X) = R(X) - S(X)$$

$$P_f = P[g(\cdot) < 0]$$

di mana  $R$  adalah tahanan dan  $S$  adalah beban sistem. Keduanya,  $R(\cdot)$  dan  $S(\cdot)$  adalah fungsi dari variabel acak  $X$ . notasi  $g(\cdot) < 0$  menunjukkan wilayah kegagalan. Demikian juga,  $g(\cdot) = 0$  dan  $g(\cdot) > 0$  menunjukkan masing-masing, kegagalan permukaan dan wilayah yang aman.

Mean dan deviasi standar dari batasan,  $g(\cdot)$ , dapat ditentukan dari definisi dasar mean dan varians. Rata-rata dari  $g(\cdot)$  adalah

$$\mu_g = \mu_R - \mu_S$$

dimana,  $\mu_R$  dan  $\mu_S$  adalah masing-masing rata-rata dari R dan S. Dan standar deviasi dari  $g(\cdot)$  adalah

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2 - 2\rho_{RS}\sigma_R\sigma_S}$$

dimana,  $\rho_{RS}$  adalah korelasi koefisien antara R dan S, dan  $\sigma_R$  dan  $\sigma_S$  masing-masing adalah standar deviasi dari R dan S.

Indeks keselamatan atau indeks keandalan,  $\beta$ , didefinisikan sebagai

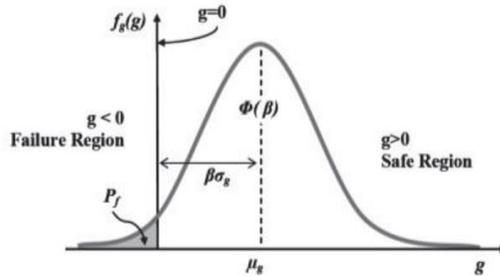
$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2 - 2\rho_{RS}\sigma_R\sigma_S}}$$

jika tahanan dan beban adalah tidak berkorelasi ( $\rho_{RS} = 0$ ), indeks keselamatan menjadi

$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}$$

Indeks keselamatan menunjukkan jarak rata - rata margin keselamatan dari  $g(\cdot) = 0$ . **Gambar 2.2** menunjukkan ilustrasi geometris dari indeks Keandalan dalam satu dimensional kasus. Ide di balik indeks keselamatan adalah bahwa jarak dari ukuran lokasi  $\mu_g$  ke permukaan batasan memberikan suatu ukuran yang baik dari kehandalan. Jarak diukur dalam satuan skala ketidakpastian parameter  $\sigma_g$ .

Daerah yang diarsir pada **Gambar 2.2** mengidentifikasi kemungkinan kegagalan (resiko).



**Gambar 2.2** Kurva Distribusi Normal  
(Sumber : Suprobo (2017))

Dari kurva distribusi normal diatas dapat ditentukan titik kritis yang terjadi terhadap pengujian hipotesis yang terjadi dari banyaknya *sample*, sehingga dapat ditentukan *state probability* hipotesis tersebut. Hipotesis juga dapat diartikan sebagai pernyataan keadaan populasi yang akan diuji kebenarannya menggunakan data/informasi yang dikumpulkan melalui sampel, dan dapat dirumuskan berdasarkan teori, dugaan, pengalaman pribadi/orang lain, kesan umum, kesimpulan yang masih sangat sementara.

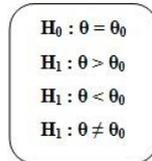
Menurut (Andini dan Hidayanti, 2015) Pengujian Hipotesis adalah suatu prosedur yang dilakukan dengan tujuan memutuskan apakah *menerima* atau *menolak* hipotesis itu. Dalam pengujian hipotesis, keputusan yang di buat mengandung ketidakpastian, artinya keputusan bisa benar atau salah, sehingga menimbulkan risiko. Besar kecilnya risiko dinyatakan dalam bentuk probabilitas. Pengujian hipotesis merupakan bagian terpenting dari statistic inferensi (statistic induktif), karena berdasarkan pengujian tersebut, pembuatan keputusan atau

pemecahan persoalan sebagai dasar penelitian lebih lanjut dapat terselesaikan. Untuk langkah – langkah pengujian hipotesis adalah sebagai berikut :

1. Merumuskan Hipotesis Awal ( $H_0$ ) dan Hipotesis Alternatif ( $H_1$ ).
  - Hipotesis Awal ( $H_0$ )  
Hipotesis nol adalah hipotesis yang dirumuskan sebagai suatu pernyataan yang akan di uji. Hipotesis nol tidak memiliki perbedaan atau perbedaannya nol dengan hipotesis sebenarnya.
  - Hipotesis Alternatif ( $H_1$ )  
Hipotesis alternatif adalah hipotesis yang di rumuskan sebagai lawan atau tandingan dari hipotesis nol. Dalam menyusun hipotesis alternatif, timbul 3 keadaan berikut.  
Hipotesis alternatif adalah hipotesis yang di rumuskan sebagai lawan atau tandingan dari hipotesis nol. Dalam menyusun hipotesis alternatif, timbul 3 keadaan berikut :
    - a.  $H_1$  menyatakan bahwa harga parameter lebih besar dari pada harga yang di hipotesiskan. Pengujian itu disebut pengujian satu sisi atau satu arah, yaitu pengujian sisi atau arah kanan.
    - b.  $H_1$  menyatakan bahwa harga parameter lebih kecil dari pada harga yang di hipotesiskan. Pengujian itu disebut pengujian satu sisi atau satu arah, yaitu pengujian sisi atau arah kiri.
    - c.  $H_1$  menyatakan bahwa harga parameter tidak sama dengan harga yang di hipotesiskan. Pengujian itu disebut

pengujian dua sisi atau dua arah, yaitu pengujian sisi atau arah kanan dan kiri sekaligus

**Gambar 2.3** menunjukkan formulasi hipotesis dapat di tuliskan sebagai berikut:



$$\begin{array}{l} H_0 : \theta = \theta_0 \\ H_1 : \theta > \theta_0 \\ H_1 : \theta < \theta_0 \\ H_1 : \theta \neq \theta_0 \end{array}$$

**Gambar 2.3** Formulasi Hipotesis

## 2. Menentukan Statistik Uji

Uji statistik merupakan rumus-rumus yang berhubungan dengan distribusi tertentu dalam pengujian hipotesis. Uji statistik merupakan perhitungan untuk menduga parameter data sampel yang di ambil secara random dari sebuah populasi. Dalam menentukan uji hipotesis maka digunakan 2 rumus dibawah ini

Jika sampel besar ( $n \geq 30$ ) atau  $\sigma^2$  diketahui, maka rumus yang digunakan adalah

$$\text{Distribusi Normal} \rightarrow Z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Jika sampel kecil ( $n \leq 30$ ) atau  $\sigma^2$  tidak diketahui

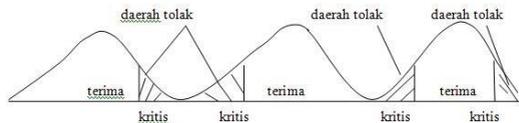
$$\text{Distribusi } t \rightarrow t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}} ; df = n - 1$$

## 3. Menentukan Daerah Penolakan

Kriteria Pengujian adalah bentuk pembuatan keputusan dalam menerima atau menolak hipotesis nol ( $H_0$ ) dengan cara membandingkan nilai  $\alpha$  tabel distribusinya (nilai kritis) dengan nilai uji statistiknya, sesuai dengan bentuk pengujiannya. Yang di maksud dengan bentuk pengujian adalah sisi atau arah pengujian.

- Penerimaan  $H_0$  terjadi jika nilai uji statistiknya lebih kecil atau lebih besar daripada nilai positif atau negatif dari  $\alpha$  tabel. Atau nilai uji statistik berada di luar nilai kritis.
- Penolakan  $H_0$  terjadi jika nilai uji statistiknya lebih besar atau lebih kecil daripada nilai positif atau negatif dari  $\alpha$  tabel. Atau nilai uji statistik berada di luar nilai kritis.

Dalam bentuk gambar, kriteria pengujian seperti **Gambar 2.4** di bawah ini



**Gambar 2.4** Kriteria Pengujian

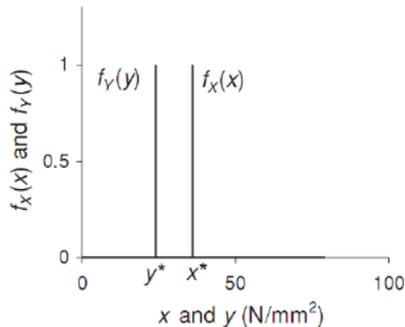
Keputusan dalam pengujian hipotesis ada dua kemungkinan :

1. Menerima (gagal menolak)  $H_0$
2. Menolak  $H_0$

Penilaian akan risiko dan keamanan sistem rekayasa sipil dan lingkungan secara tradisional berdasarkan atas faktor keamanan yang diijinkan. Penilaian ini berdasarkan atas pengalaman penilaian sebelumnya dari sistem struktur yang memiliki perilaku yang sama. Penilaian secara konvensional dalam menentukan keamanan struktur dihitung berdasarkan atas ratio dari kapasitas  $X^*$  dibagi dengan Beban  $Y^*$ , sebagai berikut :

$$Z^* = \frac{x^*}{y^*}$$

Sebagai contoh, jika tegangan yang diijinkan dalam balok kayu ( $X^*$ ) adalah  $36 \text{ N/mm}^2$  dan stres desain ( $Y^*$ ) adalah  $24 \text{ N/mm}^2$ , seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.5**, faktor keamanan secara konvensional adalah 1,5.



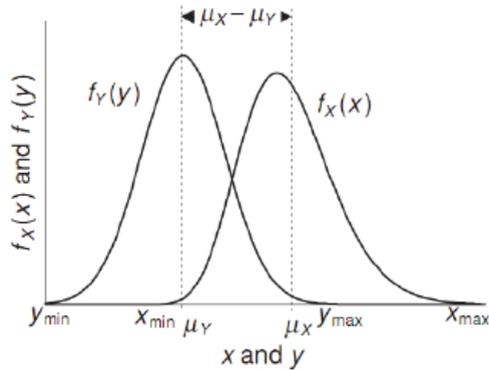
**Gambar 2.5** Nilai Nominal Kapasitas dan Beban X dan Y  
(Sumber : Suprobo (2017))

Insinyur sebagai disainer jika dalam menentukan nilai faktor keamanan sebesar 1.5 dipandang sangat rendah, maka perlu melakukan disain ulang untuk meningkatkan faktor

kemamanan dengan cara meningkatkan kapasitas atau menurunkan Beban.

Pembebanan dari suatu sistim struktur diperoleh dari nilai Random dari beban-beban antara lain beban angin, beban gempa akselerasi, aliran sungai, water table depth, permukaan air laut, badai, suhu udara dan air dan beban polutan. Kapasitas nilainya tergantung pada variabilitas karakteristik material, termasuk kekuatan bahan, konstruksi teknik, kesalahan pengujian, pengawasan inspeksi, dan kondisi lingkungan. Dalam mengevaluasi ketidakpastian yang mempengaruhi baik pembebanan dan kapasitas, salah satu desain yang prototipe system pada hipotesis model matematika berbasis fisik; ini memerlukan suatu penelitian yang cermat dari rumus dan persamaan, dan asumsi mereka, yang digunakan untuk skala parameter model. Untuk mengambil kasus ekstrim, seorang insinyur tidak seharusnya mengharapkan rumus empiris yang sangat, yang dikembangkan pada saat pengetahuan tentang sistem agak langka, untuk model dunia nyata dengan kehandalan mendekati 100%. Asumsi ini hanya dapat dibenarkan setelah melakukan pengamatan berulang dari pertunjukan dari sejumlah besar sistem serupa.

Karena nilai nominal baik kapasitas  $x^*$  dan  $y^*$  permintaan tidak dapat ditentukan dengan pasti, fungsi kapasitas dan permintaan harus dianggap sebagai distribusi probabilitas, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.6**. Oleh karena itu, faktor keamanan seperti yang diberikan oleh rasio  $Z = X / Y$  dari dua variabel acak  $X$  dan  $Y$ , juga merupakan variabel acak.



**Gambar 2.6** *Probability Density Function (PDF)* dari Kapasitas X dan Beban Y  
(Sumber : Suprobo (2017))

**Definisi: Faktor Keamanan.** Faktor keamanan sistem, diperlakukan sebagai variabel acak dan didefinisikan sebagai  $Z = X / Y$ , adalah rasio antara X dan Y kapasitas permintaan sistem.

$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g} = 2,46153$$

## 2.5 *Fault Tree Analysis*

Menurut Thomas Pyzdek, (2002) dalam Setyadi (2013), Fault Tree Analysis (FTA) suatu model diagram yang terdiri dari beberapa kombinasi kesalahan (fault) secara paralel dan secara berurutan yang mungkin menyebabkan awal dari failure event yang sudah ditetapkan. Secara sederhana FTA dapat diuraikan sebagai suatu teknik analitis dimana suatu status yang tidak diinginkan menyangkut kesalahan suatu sistem yang dianalisa dalam konteks operasi dan lingkungannya untuk menemukan semua cara yang dapat

dipercaya dalam peristiwa yang tidak diinginkan dapat terjadi.

Menurut Priyanta (2000: 113), terdapat 5 tahapan untuk melakukan analisa dengan Fault Tree Analysis (FTA), yaitu sebagai berikut:

1. Mendefinisikan masalah dan kondisi batas dari suatu sistem yang ditinjau
2. Penggambaran model grafis Fault Tree
3. Mencari minimal cut set dari analisa Fault Tree
4. Melakukan analisa kualitatif dari Fault Tree
5. Melakukan analisa kuantitatif dari Fault Tree

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

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

- a. Mendeskripsikan fault event (kejadian gagal)
- b. Mengevaluasi fault event (kejadian gagal)
- c. Melengkapi semua gerbang logika (logical gate)

Simbol-simbol dalam FTA dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Simbol-simbol gerbang (gate). Simbol gate digunakan untuk menunjukkan hubungan antar kejadian dalam sistem. Setiap kejadian dalam sistem dapat secara pribadi atau bersama-sama menyebabkan kejadian lain muncul. Adapun simbol-simbol hubungan yang digunakan dalam FTA dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2.1** Simbol – simbol gerbang  
(Sumber : Blanchard, (2004))

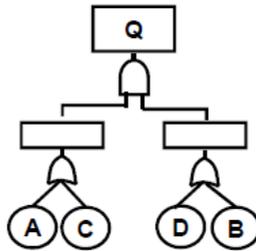
No	Simbol gate	Nama dan keterangan
1		<i>And gate. Output event terjadi jika semua input event terjadi secara bersamaan.</i>
2		<i>Or gate. Output event terjadi jika paling tidak satu input event terjadi.</i>
3		<i>k out of n gate. Output event terjadi jika paling sedikit k output dari n input event terjadi.</i>
4		<i>Exclusive OR gate. Output event terjadi jika satu input event, tetapi tidak terjadi.</i>
5		<i>Inhibit gate. Input menghasilkan output jika conditional event ada.</i>
6		<i>Priority AND gate. Output event terjadi jika semua input event terjadi baik dari kanan maupun kiri.</i>
7		<i>Not gate. Output event terjadi jika input event tidak terjadi.</i>

Simbol-simbol kejadian (event) Simbol kejadian digunakan untuk menunjukkan sifat dari setiap kejadian dalam sistem. Simbol-simbol kejadian ini akan lebih memudahkan dalam mengidentifikasi kejadian yang terjadi. Adapun simbol-simbol kejadian yang digunakan dalam FTA seperti yang dicantumkan pada **Tabel 2.2**

**Tabel 2.2** Simbol-simbol kejadian  
(Sumber : Blanchard, (2004))

No	Simbol gate	Nama dan keterangan
1		<i>Elipse</i> Gambar <i>elipse</i> menunjukkan kejadian pada level paling atas ( <i>top level event</i> ) dalam pohon kesalahan
2		<i>Rectangle</i> Gambar <i>rectangle</i> menunjukkan kejadian pada level menengah ( <i>intermediate fault event</i> ) dalam pohon kesalahan
3		<i>Circle</i> Gambar <i>circle</i> menunjukkan kejadian pada level paling bawah ( <i>lowest level failure event</i> ) atau disebut kejadian paling dasar ( <i>basic event</i> )
4		<i>Diamond</i> Gambar <i>diamond</i> menunjukkan kejadian yang tidak terduga ( <i>undeveloped event</i> ). Kejadian - kejadian tak terduga dapat dilihat pada pohon kesalahan dan dianggap sebagai kejadian paling awal yang menyebabkan kerusakan.
5		<i>House</i> Gambar <i>house</i> menunjukkan kejadian <i>input</i> ( <i>input event</i> ) dan merupakan kegiatan terkendali ( <i>signal</i> ). Kegiatan ini dapat menyebabkan kerusakan

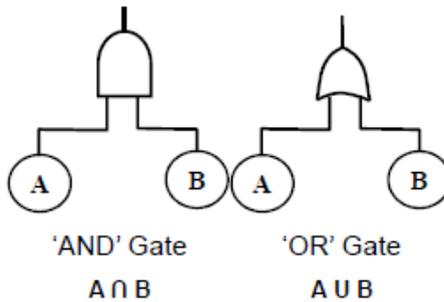
Tahapan ketiga yaitu mencari minimal cut set. Mencari minimal cut set merupakan analisa kualitatif yang mana dipakai Aljabar Boolean. Aljabar Boolean merupakan aljabar yang dapat digunakan untuk melakukan penyederhanaan atau menguraikan rangkaian logika yang rumit dan kompleks menjadi rangkaian logika yang lebih sederhana (Widjanarka, 2006: 73). Rangkaian gambar tersebut dapat dilihat pada contoh **Gambar 2.7**.



**Gambar 2.7** *Fault Tree Analysis*

Dari hasil analisis *Fault Tree* seperti **Gambar 2.7**, maka Aljabar Boolean dapat bisa didefinisikan seperti :

$$Q = (A \cup C) \cap (D \cup B)$$



$$Q = (A \cap D) \cup (A \cap B) \cup (C \cap D) \cup (C \cap B)$$

$$Q = (A \cdot D) + (A \cdot B) + (C \cdot D) + (C \cdot B)$$

$$Q = AD \cup AB \cup CD \cup BC$$

Langkah terakhir yaitu melakukan evaluasi kualitatif dan evaluasi kuantitatif. Evaluasi kualitatif dari sebuah *fault tree* dapat dilakukan berdasarkan minimal *cut set*. Kekritisitas dari sebuah *cut set* jelas tergantung pada jumlah *basic event* di dalam *cut set* (orde dari *cut set*). Sebuah *cut set* dengan orde satu umumnya lebih kritis daripada sebuah *cut set* dengan orde dua atau lebih. Jika sebuah *fault tree* memiliki

*cut set* dengan orde satu, maka *TOP event* akan terjadi sesaat setelah *basic event* yang bersangkutan terjadi. Jika sebuah *cut set* memiliki dua *basic event*, kedua *event* ini harus terjadi secara serentak agar *TOP event* dapat terjadi. Faktor lain yang penting adalah jenis *basic event* dari sebuah minimal *cut set*. Kekritisian dari berbagai *cut set* dapat dirangking berdasarkan dari *basic event* berikut ini:

1. *Human error*.
2. Kegagalan komponen/peralatan yang aktif (*active equipment failure*).
3. Kegagalan komponen/peralatan yang pasif (*passive equipment failure*).

Peringkat ini disusun berdasarkan asumsi bahwa *human error* lebih sering terjadi dari pada komponen/peralatan yang aktif dan komponen/peralatan yang aktif lebih rentan terhadap kegagalan bila dibandingkan komponen/peralatan yang pasif.

## 2.6 Probabilitas Kondisional

Probabilitas bersyarat adalah probabilitas dari suatu peristiwa yang terjadi ketika beberapa peristiwa lain telah terjadi. Jika sudah mengetahui kejadian B telah terjadi dan kita ingin mengetahui probabilitas kejadian A akan terjadi. Probabilitas kondisional bahwa kejadian A akan terjadi dengan syarat kejadian B telah terjadi dapat ditulis sebagai berikut :

$$\Pr(A|B)$$

Garis vertical berarti “dengan syarat”

Probabilitas kejadian A terjadi adalah  $N(A)/s$ , dimana  $s$  adalah total hasil dan  $N(A)$  adalah jumlah kejadian A,

namun kejadian A tidak akan selalu berhasil. Bila sudah diketahui dari kejadian B telah terjadi, maka hanya asil dalam kejadian B yang harus dipertimbangkan, dengan jumlah kemungkinannya adalah  $N(B)$ . Maka dari itu perlu diperhitungkan berapa besarnya kemungkinan kejadian A akan terjadi. Kejadian di dalam A tidak terjadi di dalam kejadian B, namun kejadian A terjadi jika kejadian A sebagai akumulasi kejadian dari A dan B. Untuk itu nama untuk kejadian ini yaitu :

$$A \text{ dan } B = A \cap B$$

Kejadian seperti ini disebut A irisan B. Dengan demikian kemungkinan kejadian A terjadi mana kejadian B diketahui telah terjadi adalah :

$$\Pr(A|B) = \frac{N(A \cap B)}{N(B)}$$

Rumus tersebut dapat ditulis kembali dengan membagi pembilan dan penyebutnya, sehingga menjadi :

$$\begin{aligned} \Pr(A|B) &= \frac{N(A \cap B)/s}{N(B)/s} \\ &= \frac{\Pr(A \cap B)}{\Pr(B)} \end{aligned}$$

Dengan kata lain probabilitas kejadian A terjadi dimana kejadian B diketahui telah terjadi samadengan probabilitas terjadinya kejadian A dan B, dibagi dengan probabilitas terjadinya kejadian B. Dengan catatan definisi ini tidak dapat bekerja bila probabilitas terjadinya kejadian B = 0.

## 2.7 *Expexted Monetary Value (EMV)*

*Expected monetary value (EMV)* adalah salah satu metoda kuantitatif untuk menganalisis resiko berdasarkan peluang, dampak, dan estimasi besarnya kerugian atau manfaat berdasarkan peluang dan dampak tersebut (Vivain, 2013).

Secara umum, teknik EVM dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut (Walke, et.al, 2010):

- a. Mendefinisikan satu tindakan yang akan diselesaikan, biasanya masalah ini terkait dengan resiko yang akan terjadi serta mitigasi atas resiko tersebut.
- b. Membangun pohon keputusan atas tindakan tersebut, yang terdiri atas opsi dilaksanakan tidaknya tindakan.
- c. Memetakan resiko atas setiap opsi tindakan
- d. Memperkirakan probabilitas dan impact atas resiko tersebut.
- e. Menghitung EVM untuk setiap resiko
- f. Menentukan opsi yang paling tepat berdasarkan *decision tree*

Rumus EMV adalah:

$$EMV = P \times V$$

Dimana :

P = Probabilitas kondisi yang akan terjadi

V = biaya dampak yang terjadi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Pendahuluan**

Dalam bab ini akan dibahas mengenai langkah-langkah yang diambil selama penulisan tugas akhir serta bagan aliran penyusunan penulisan tugas akhir ini. Dengan tujuan, pekerjaan yang dilakukan sesuai dengan aturan-aturan yang berlaku selama pelaksanaan penulisan.

Dari kondisi jetty yang sudah berumur 28 tahun, dan struktur beton bertulang yang bersentuhan langsung dengan air laut maka perlu ditinjau kondisi *existing* dari jetty tersebut, jika ditemukan suatu kerusakan maka perlu menentukan apa saja faktor – faktor yang menyebabkan struktur jetty rusak, dan penanganan apa yang harus dilakukan terhadap kerusakan tersebut sebelum jetty tersebut semakin parah.

#### **3.2 Tahap Penelitian**

Uraian kegiatan merupakan tahapan – tahapan yang akan dilakukan dalam pelaksanaan sebuah kegiatan, sehingga kegiatan yang akan dilaksanakan menjadi teratur dan terarah. Dalam penelitian ini uraian kegiatan ini sebagai berikut:

##### **3.2.1 Identifikasi Masalah**

Pada tahap ini penulis mengidentifikasi masalah yaitu menentukan faktor – faktor yang menyebabkan kerusakan Jetty dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* agar dapat ditentukan penanganan pemulihannya.

##### **3.2.2 Studi Literatur**

Dalam tahap ini, penulis mencari acuan yang dapat menunjang pelaksanaan penulisan tugas akhir, melalui jurnal, maupun informasi yang dapat dipertanggung jawabkan.

### 3.2.3 Pengumpulan Data

Dalam tahap pengumpulan data, penulis mengumpulkan data yang diperlukan untuk membantu penelitian. Data yang dikumpulkan sebagai berikut :

- Data Primer : hasil data yang diperoleh langsung berupa wawancara dengan *expert judgement* (orang yang ahli struktur bangunan pelabuhan) untuk menentukan hubungan antara kejadian apakah menggunakan or/and gate
- Data Sekunder : hasil data yang diperoleh tidak langsung didapatkan yang diambil dari data instansi terkait, literatur dan topik sejenis, diantara lain sebagai berikut :
  - Gambar jetty existing
  - Data properties struktur
  - Hasil assesment kondisi existing :
    1. Observasi visual
    2. *Drilled Cores of Concrete Test*
    3. *Chemical Factors Induced Corrosion Test*

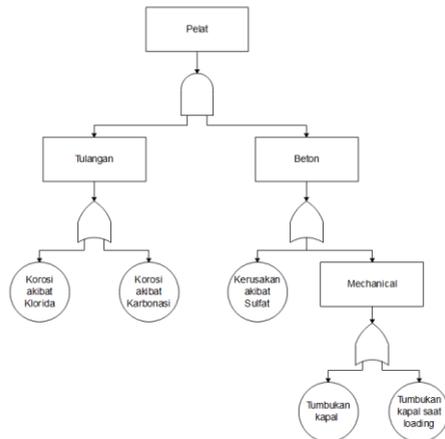
### 3.2.4 Permodelan FTA dan Analisis Data

Dalam tahap ini, penulis menyusun hubungan antara kejadian kegagalan yang terjadi dari masing - masing komponen berdasarkan hasil *expert*

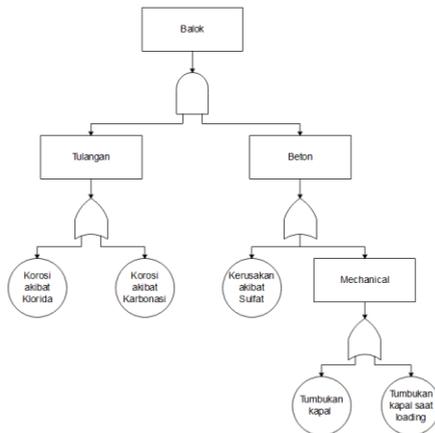
*judgement* dan data yang didapatkan. Urutannya adalah sebagai berikut :

- Identifikasi faktor – faktor yang membuat deteriorasi struktur jetty
  1. *Chemical* : kerusakan yang terjadi karena reaksi kimia. Contohnya korosi akibat sulfat, penetrasi klorida, dan karbonasi.
  2. *Mechanical* : kerusakan yang diakibatkan struktur mengalami benturan. Contohnya benturan dari kapal, maupun saat kapal loading.
  3. *Physical* : kerusakan yang disebabkan dari proses pembuatan yang tidak sesuai. Contohnya beton retak akibat *setting* terlalu cepat.
  4. *Defect* : cacat yang disebabkan dari bahan dasar pembuatan struktur. Contohnya mutu beton tidak bagus, tulangan yang kempung
- Penyusunan model *Fault Tree Analysis* (FTA)

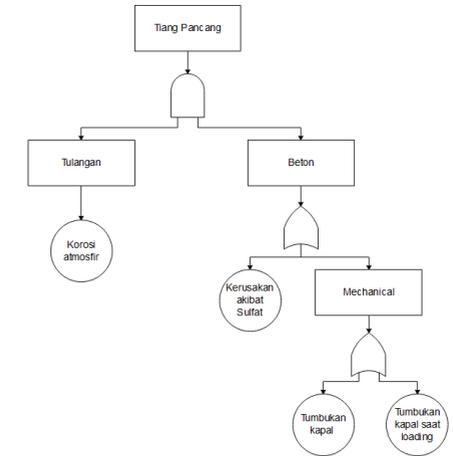
Karena menggunakan metode FTA, maka contoh faktor – faktor yang berdampak pada pelat, balok, dan tiang pancang dapat digambarkan seperti pada **Gambar 3.1**, **Gambar 3.2**, dan **Gambar 3.3**.



**Gambar 3.1** Identifikasi Model FTA Untuk Pelat



**Gambar 3.2** Identifikasi Model FTA Untuk Balok



**Gambar 3.3** Identifikasi Model FTA Untuk Tiang Pancang

- Identifikasi hubungan antar faktor.  
Dalam tahap ini, penulis menentukan hubungan antar faktor yang terjadi berdasarkan data wawancara terhadap *expert judgement*. Dalam menentukan hubungan antar faktor, terdapat dua tipe gate dengan definisinya masing – masing. Jika menggunakan and gate maka dua faktor tersebut saling bekesinambungan, namun apabila or gate maka dua faktor tersebut hanya salah satu yang menyebabkan.
- *State Probability*.  
Kemudian melakukan analisis probabilitas *failure* dengan menggunakan perhitungan reliabilitas struktur, agar dapat menentukan faktor kerusakan yang dominan. Sehingga dapat diketahui nilai kuantitatif dari suatu faktor.

- Menentukan probabilitas keseluruhan. Dari hasil *state probability* tiap faktor, kemudian perlu menentukan probabilitas kerusakan keseluruhan dari pelat, balok, dan tiang pancang dengan menggunakan metode probabilitas kondisional agar dapat menilai apakah suatu struktur tersebut bertahan atau *failure*

### **3.2.5 Menentukan Penanganan Pemulihan**

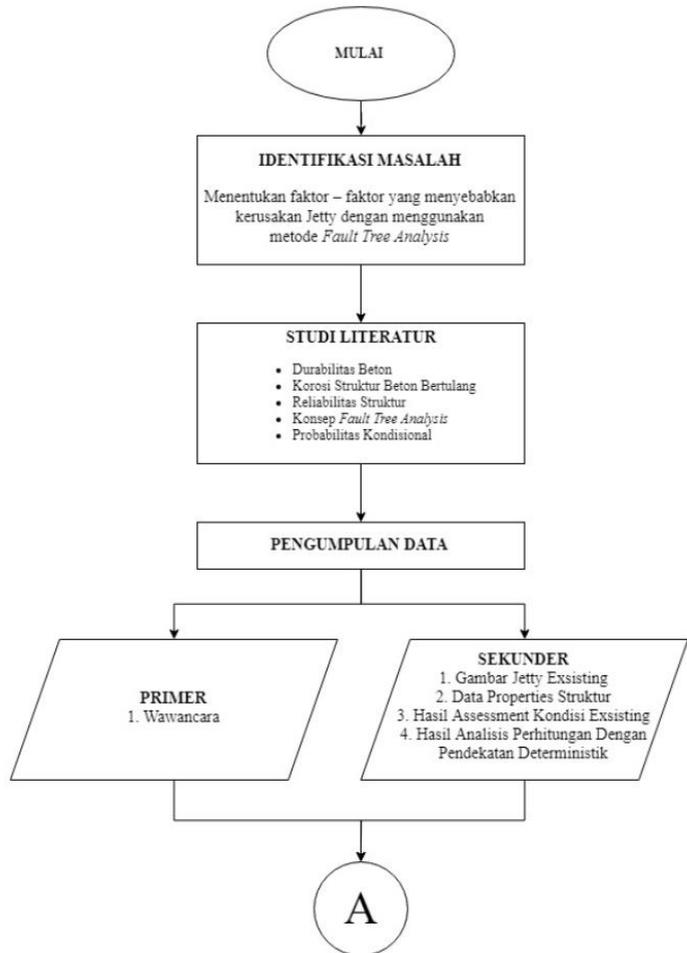
Berdasarkan hasil faktor kerusakan yang paling dominan, maka ditentukan faktor yang paling utama dan penanganan yang tepat sesuai dengan penyebab permasalahan terhadap struktur jetty. Untuk menentukan penanganan yang akan dilakukan, berdasarkan studi literatur maupun diskusi dengan *expert judgement*.

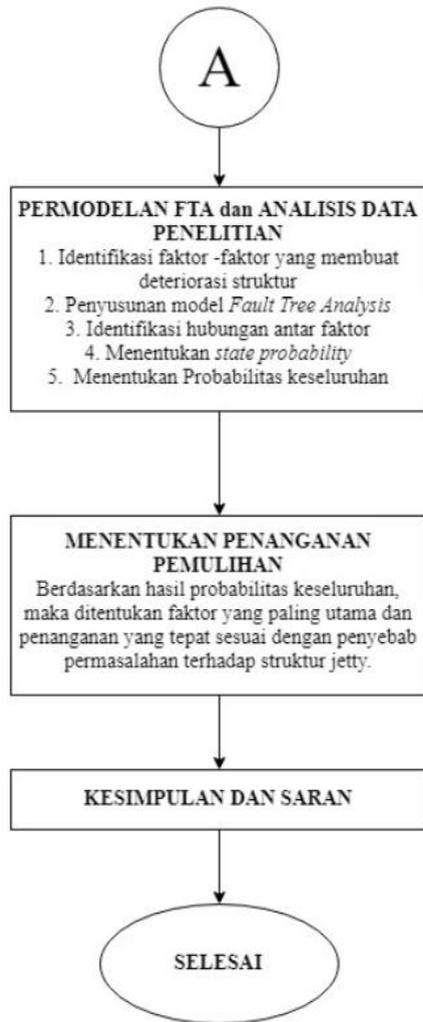
### **3.2.6 Kesimpulan dan Saran**

Berupa kesimpulan dari analisis data dan pembahasan sesuai dengan tujuan yang akan dicapai dalam penulisan penelitian ini.

### 3.3 Bagan Alir (*Flowchart*)

Bagan alir berfungsi untuk menggambarkan urutan dari proses penelitian yang akan dilakukan selama penelitian. Bagan alir dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada **Gambar 3.4** dibawah:





**Gambar 3.4** Diagram Alir Metodologi Penelitian.

## **BAB IV DATA DAN ANALISIS**

### **4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian**

Dalam penulisan tempat penelitian yang akan ditinjau adalah struktur jetty milik PT. Pertamina di RU unit VI – Balongan. RU VI Balongan dilengkapi dengan sarana ingoing dan outgoing untuk penerimaan umpan dan penyaluran produk sebagai berikut :

- **Jetty Cargo**

Dibangun : tahun 1972  
Manufacture : PT. Nisconi  
Ukuran Jetty : 48 m x 32 m

- **Jetty Propylene/ LPG**

Dibangun : tahun 1991  
Manufacture : JGC  
Ukuran Jetty : 80 m x 30 m Kapasitas : 6.500  
DWT

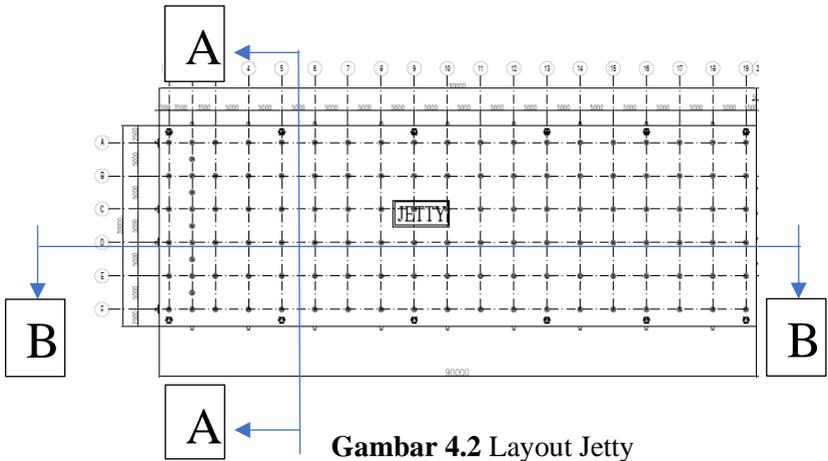
**Gambar 4.1** menunjukkan lokasi dari jetty RU – VI Balongan.



**Gambar 4.1** Lokasi Jetty  
(Sumber : Google Earth)

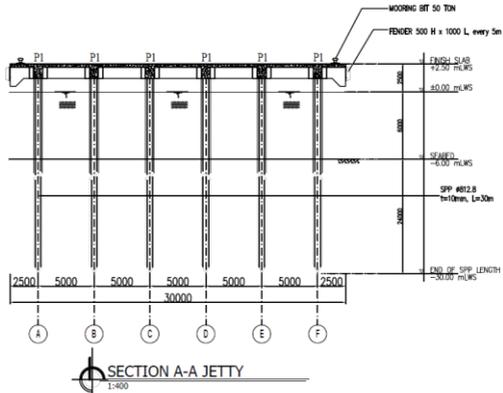
Jetty tersebut dapat digunakan untuk pembongkaran peralatan dan produk (propylene) maupun pemuatan (propylene) dan LPG dilakukan dengan fasilitas yang dinamakan *jetty facilities*. Gambar dibawah ini menunjukkan keseluruhan dari layout struktur Jetty beserta tampak potongan dari struktur.

Gambar – gambar dibawah ini menunjukkan *layout* dari tiap – tiap bagian dermaga jetty RU VI – Balongan. Bagian pertama dari dermaga tersebut adalah **dermaga apung yang berfungsi sebagai tempat untuk menambatkan kapal pada suatu ponton yang mengapung diatas air dan sebagai loading muatan dari kapal maupun kebalikannya.** Dermaga apung ini menggunakan struktur beton bertulang dengan ukuran 90 m x 30 m dan pondasi baja berbentuk lingkaran dengan diameter 0,8 m, yang dilengkapi dengan fasilitas fender dan *mooring bit*. **Gambar 4.2** Merupakan *layout* dari dermaga apung.



**Gambar 4.2** Layout Jetty  
 (Sumber : Report Assessment Jetty RU VI  
 Balongan PT Pertamina, 2017)

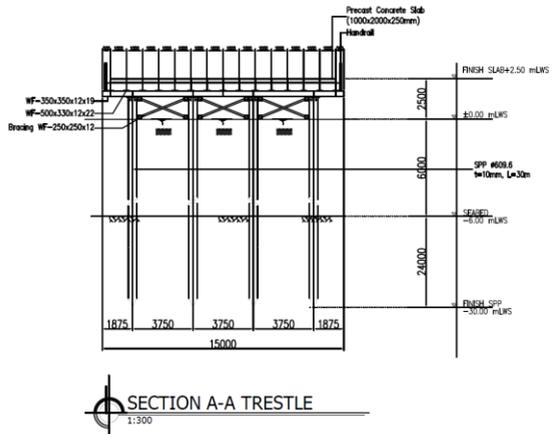
**Gambar 4.3** dan **Gambar 4.4** merupakan gambar potongan dari dermaga apung.



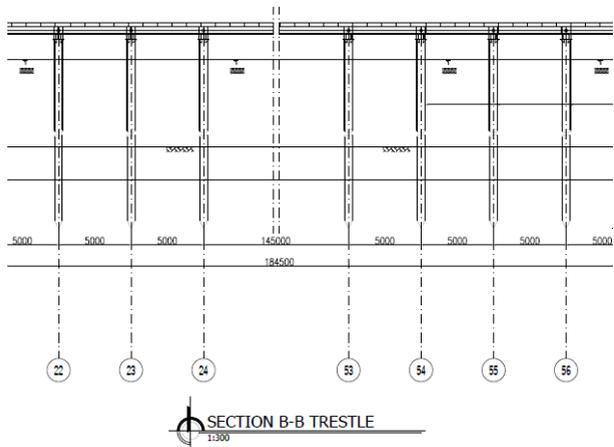
**Gambar 4.3** Potongan A – A Struktur Jetty  
 (Sumber : Report Assessment Jetty RU VI  
 Balongan PT Pertamina, 2017)



Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 menunjukkan potongan dari trestle.

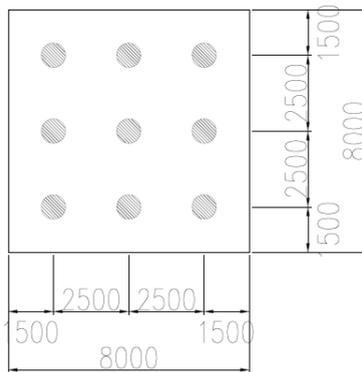


Gambar 4.6 Potongan A – A Trestle  
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI  
Balongan PT Pertamina, 2017)



**Gambar 4.7** Potongan B – B Trestle  
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI  
Balongan PT Pertamina, 2017)

Fasilitas yang ketiga adalah *mooring dolphin*, yang berfungsi sebagai **tempat sandar kapal berupa *dolphin* di atas tiang pancang**. Memiliki ukuran  $8\text{m} \times 8\text{m}$  dengan ditopang dengan pondasi baja dengan diameter  $0,8\text{m}$ . **Gambar 4.8** merupakan *layout* dari *mooring dolphin*



**Gambar 4.8** Layout Mooring Dolphin  
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI  
Balongan PT Pertamina, 2017)

Melihat kondisi jetty *existing*, maka diperlukan perencanaan pemulihan terhadap kondisi struktur jetty yang akan di tinjau. Kondisis *existing* struktur jetty yang akan ditinjau dapat dilihat pada **Gambar 4.9**



**Gambar 4.9** Kondisi Struktur Bawah Jetty  
(Sumber: Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

## 4.2 Pengumpulan Data

### 4.2.1 Data Visual Assessment

Pengamatan visual dilakukan pada struktur dermaga untuk menilai secara visual kondisi terkini pada struktur. Hasil pengamatan visual menunjukkan bahwa bagian atas struktur Jetty masih dalam kondisi baik. Tidak ada retakan visual yang terjadi di permukaan. Pengamatan visual di sisi atas struktur Jetty ditunjukkan pada **Gambar 4.10**.



**Gambar 4.10** Sisi Atas Struktur Jetty  
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

Namun, sisi dan bagian bawah struktur Jetty menunjukkan kondisi yang lebih buruk dibandingkan

dengan sisi atas. Investigasi terperinci menunjukkan bukti korosi, pewarnaan karat, retak pada spalling, dan delaminasi penutup beton terutama karena korosi baja yang diinduksi klorida. Penutup beton adalah mekanisme perlindungan utama terhadap cuaca dan efek agresif lainnya, dan waktu untuk memulai korosi untuk baja karbon konvensional paling sensitif terhadap kedalaman penutupnya, tetapi struktur Jetty menunjukkan banyak retak dan penutup spalling yang tersebar di lebih dari satu lokasi di sekitar area dermaga. Kondisi semakin parah karena beberapa baja tulangan menunjukkan bahwa mereka sangat terkorosi yang menyebabkan hilangnya ikatan antara beton dan baja. Pengamatan visual di sisi bawah struktur Jetty ditunjukkan pada **Gambar 4.11**.



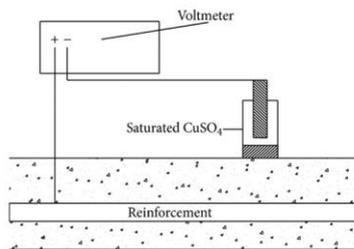
**Gambar 4.11** Sisi Bawah Struktur Jetty

(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

#### **4.2.2 Data dan Analisis *Assessment Half-Cell Potential Test***

Peninjauan *assessment* yang dilakukan dibagian jetty, trestle, dan *mooring dolphin*. Ada beberapa metode elektrokimia yang telah digunakan untuk mengevaluasi aktivitas korosi tulangan baja. Di antara metode yang digunakan untuk memantau korosi, salah satu metode untuk mendeteksi yaitu *half-cell potential* yang dapat digunakan di laboratorium dan in-situ. *Half-cell*

*potential* sel adalah metode kualitatif dan non-destruktif untuk mendeteksi keadaan korosi pada tulangan elemen beton. Tes ini dapat mengidentifikasi kemungkinan korosi tulangan pada struktur beton dengan mengukur perbedaan potensial antara logam dan referensi elektroda. Mekanisme pengukuran perbedaan potensial menggunakan metode *half-cell potential* ditunjukkan pada **Gambar 4.12**.



**Gambar 4.12** Metode Pengukuran Perbedaan Potensi Menggunakan Metode *Half-Cell Potential*

(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

Untuk proyek ini, tes dilakukan dan dianalisis menggunakan PROCEQ CANIN + penganalisa korosi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.12**. Peralatan ini menggunakan tembaga / tembaga sulfat (Cu-CuSO<sub>4</sub>) sebagai elektroda referensi. Pengukuran potensial dilakukan dengan elektroda tunggal. Kondisi permukaan beton ketika melakukan pemetaan potensial kering yang menjadi isolasi listrik. Oleh karena itu, untuk mendapatkan pembacaan potensial perlu pra-air permukaan untuk memungkinkan gerakan ion, sebelum melakukan

pengukuran. Proses pengukuran ditunjukkan pada **Gambar 4.13**.



**Gambar 4.13.** PROCEQ CANIN + Instrumen Penganalisis Korosi.

(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

Dari hasil *assessment*, maka perlu dievaluasi probabilitas korosi berdasarkan standar rekomendasi dari ASTM C876-09. **Tabel 4.1** di bawah ini menunjukkan ketergantungan antara potensi dan probabilitas korosi.

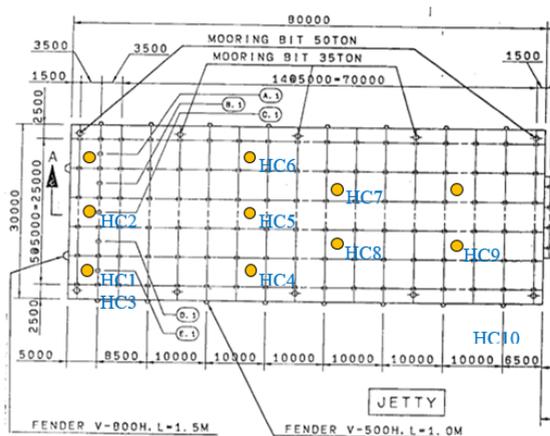
**Tabel 4.1** Ketergantungan antara Potensi dan kemungkinan korosi berdasarkan ASTM C878.

Potential ( $E_{corr}$ )	Probability of Corrosion
$E_{corr} > -200$ mV	90% probability that no reinforcing steel corrosion is occurring in that area at the time of measurement (10% risk of corrosion)
$-350$ mV $\leq E_{corr} \leq -200$ mV	Corrosion activity of the reinforcing steel in that area is uncertain
$E_{corr} < -350$ mV	Greater than 90% probability that reinforcing steel corrosion is occurring in that area at the time of measurement

#### 4.2.2.1 *Assessment* di Jetty

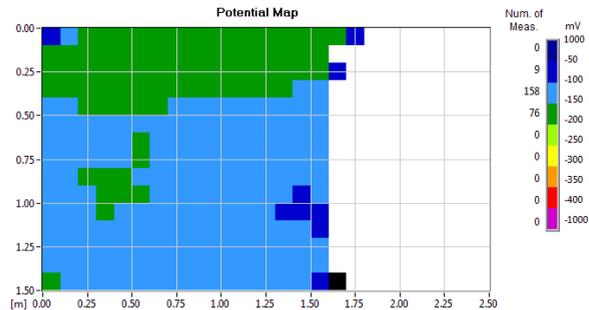
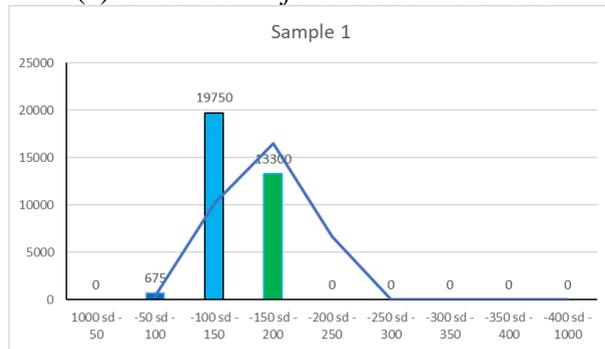
Dalam menentukan *state probability*, diperlukan data *sample* yang digunakan berdasarkan hasil *half cell potential test* yang didapat dari *Report Assessment Jetty RU – VI Balongan*. **Gambar 4.14** menunjukkan lokasi

penentuan tes *half cell potential* yang dilakukan pada struktur Jetty.



**Gambar 4.14** Lokasi Tes *Half Cell Potential* pada Jetty  
(Sumber: Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

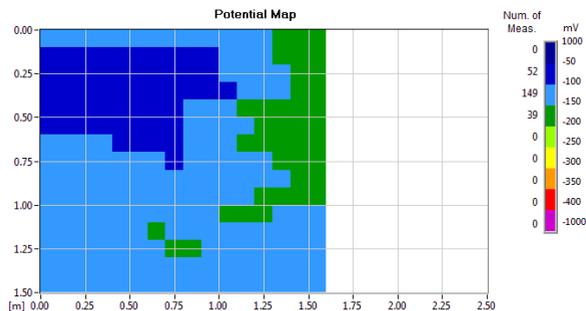
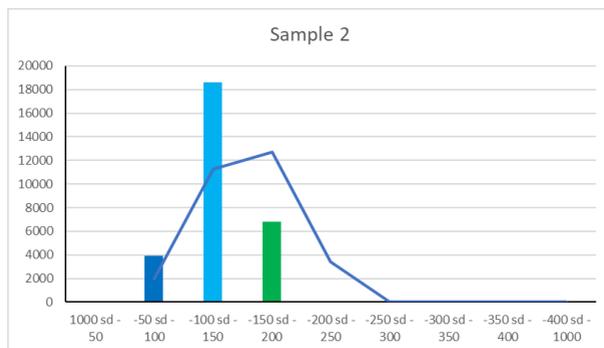
Kemudian didapatkan data hasil dari tes *half cell potential* tersebut. Gambar dibawah menunjukkan hasil tes yang didapatkan pada struktur jetty.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC1

(b) Distribusi nilai Potential HC1

**Gambar 4.15.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC1  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

Pada **Gambar 4.15**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 138,78mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC1 90% probabilitas tulanngan tidak mengalami korosi.

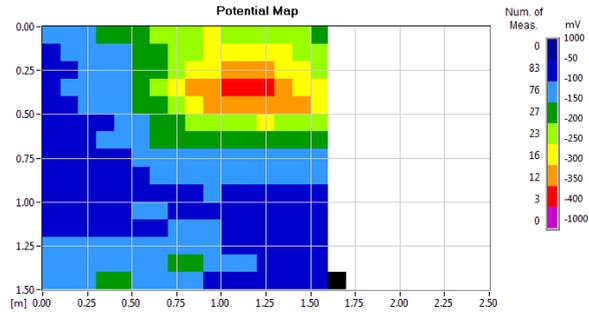
(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC2

(b) Distribusi nilai Potential HC2

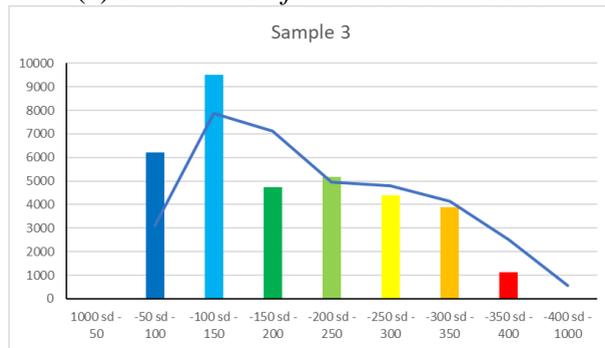
**Gambar 4.16.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC2  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

Pada **Gambar 4.16**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 122,729mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini

menunjukkan bahwa kondisi di HC2 90% probabilitas tulangan tidak mengalami korosi.



(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC3

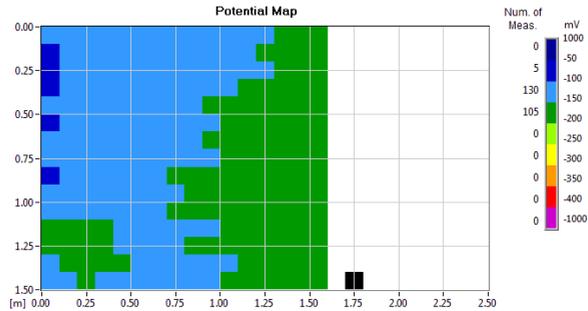


(b) Distribusi nilai Potential HC3

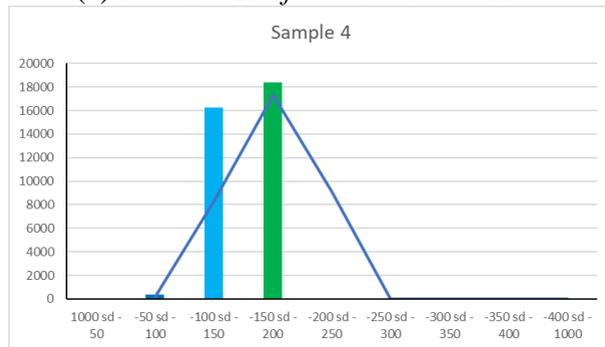
**Gambar 4.17.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC3  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

Pada **Gambar 4.17**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 146,04mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini

menunjukkan bahwa kondisi di HC3 90% probabilitas tulangan tidak mengalami korosi.



(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC4

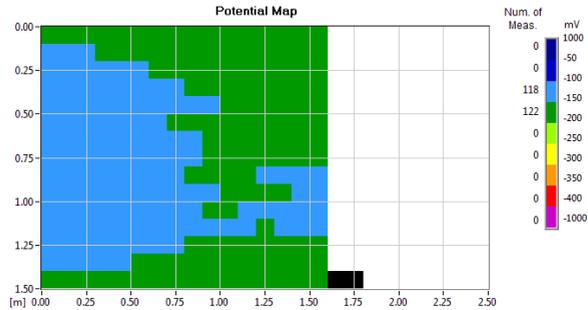


(b) Distribusi nilai Potential HC4

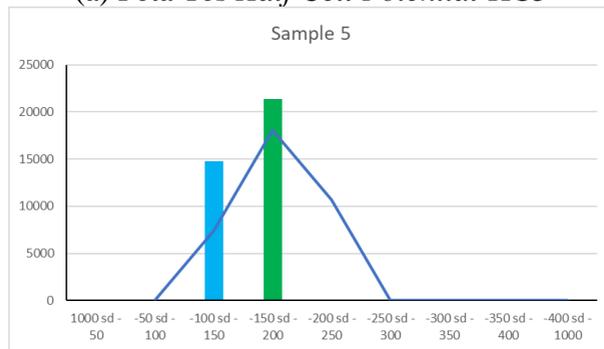
**Gambar 4.18.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC4  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

Pada **Gambar 4.18**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 145,83mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini

menunjukkan bahwa kondisi di HC4 90% probabilitas tulangan tidak mengalami korosi.



(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC5

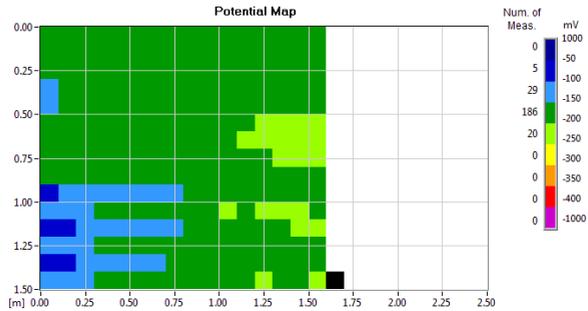


(b) Distribusi nilai Potential HC5

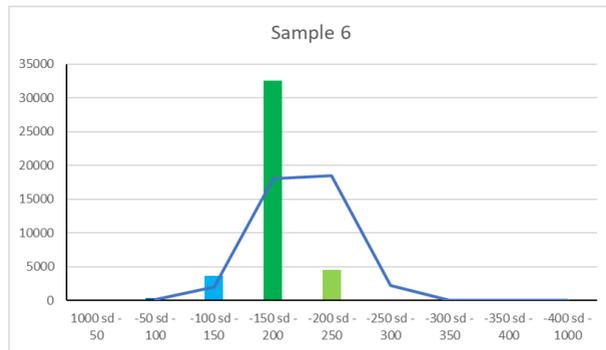
**Gambar 4.19.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC5  
(*Sumber: Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

Pada **Gambar 4.19**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 150,41mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini

menunjukkan bahwa kondisi di HC5 90% probabilitas tulangan tidak mengalami korosi.



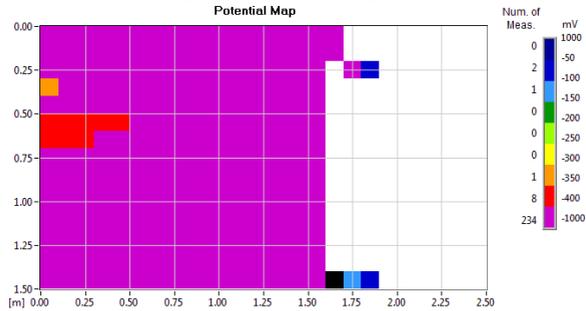
(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC6



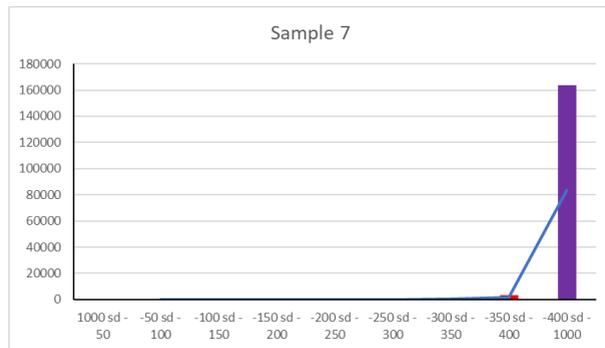
(b) Distribusi nilai Potential HC6

**Gambar 4.20.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC5  
(Sumber: Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT  
Pertamina, 2017)

Pada **Gambar 4.20**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 171,042mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC6 90% probabilitas tulangan tidak mengalami korosi.



(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC7

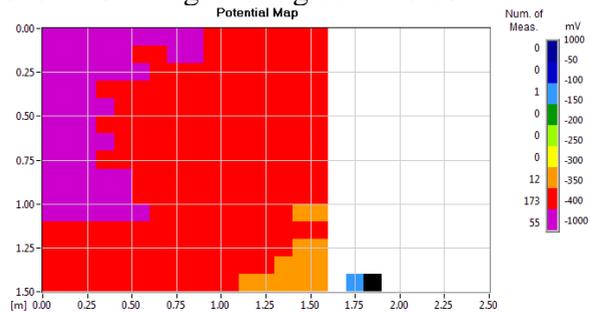


(b) Distribusi nilai Potential HC7

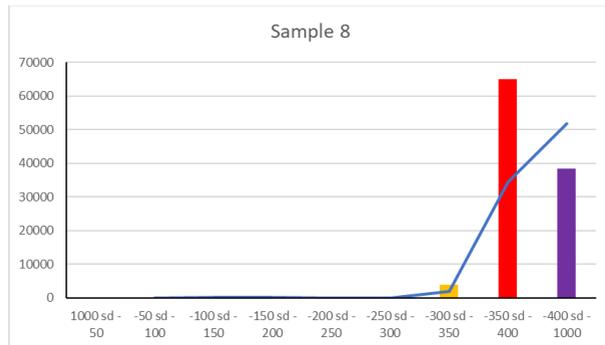
**Gambar 4.21.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC7

(Sumber: Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

Pada **Gambar 4.21**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 680,48mV atau lebih besar dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC7 90% probabilitas tulangan mengalami korosi.



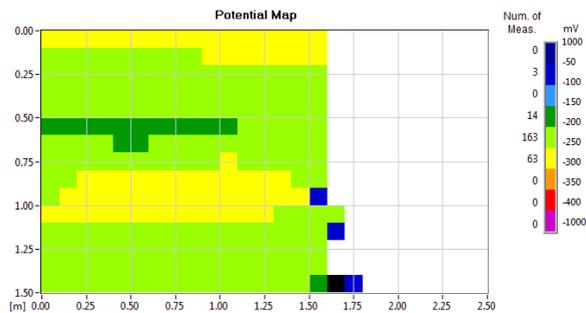
(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC8



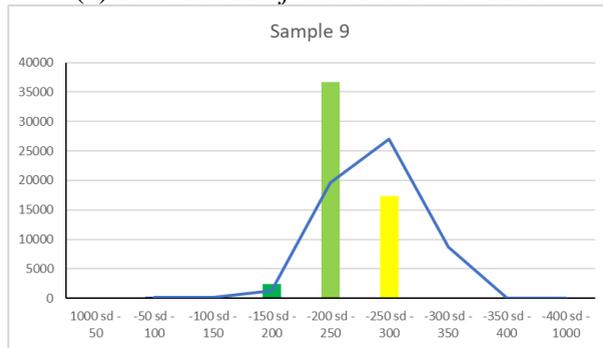
(b) Distribusi nilai Potential HC8

**Gambar 4.22.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC8  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

Pada **Gambar 4.22**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 445,64mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC8 90% probabilitas tulangan mengalami korosi.



(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC9

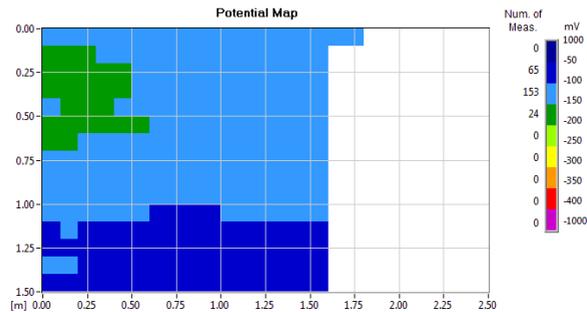


(b) Distribusi nilai Potential HC9

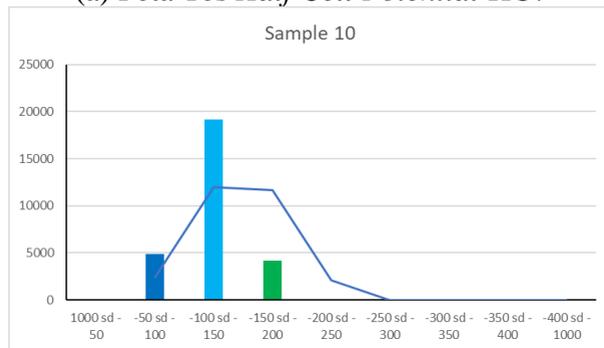
**Gambar 4.23.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC9

(Sumber: Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

Pada **Gambar 4.23**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 233,23mV atau diantara 200mV - 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC9 probabilitas tulangan mengalami korosi tidak pasti.



(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC7



(b) Distribusi nilai Potential HC7

**Gambar 4.24.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC10

(Sumber: Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

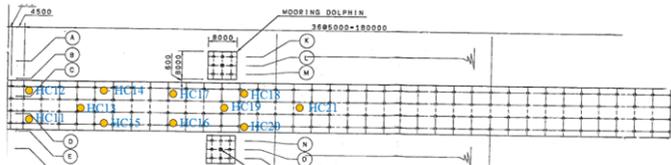
Pada **Gambar 4.24**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 116,52mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC10 90% probabilitas tulangan tidak mengalami korosi. Hasil keseluruhan sampel tes *half cell potential* dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

**Tabel 4.2** Hasil perhitungan sampel *half cell potential* pada jetty

Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Sample 8	Sample 9	Sample 10
138,79	122,29	146,04	145,83	150,42	171,04	680,49	445,64	233,23	116,52
No	No	No	No	No	No	Cor	Cor	No	No

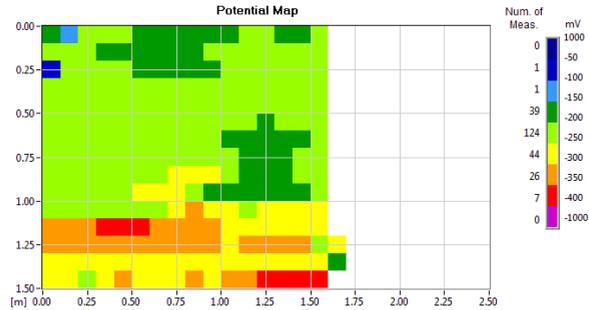
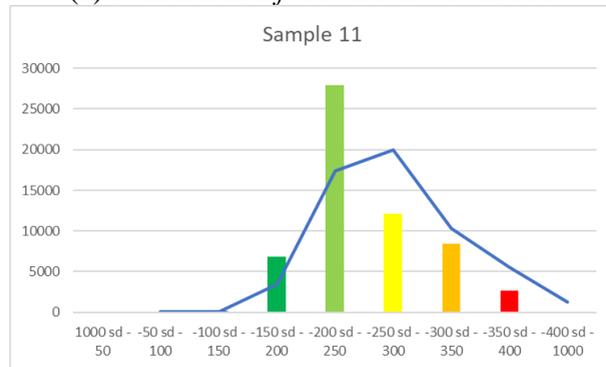
#### 4.2.2.2 Assessment di Trestle

Kemudian **Gambar 4.25** menunjukkan lokasi penentuan tes *half cell potential* yang dilakukan pada struktur trestle.



**Gambar 4.25** Lokasi Tes *Half Cell Potential* pada Trestle

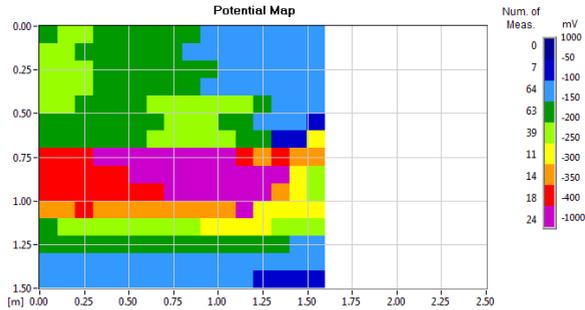
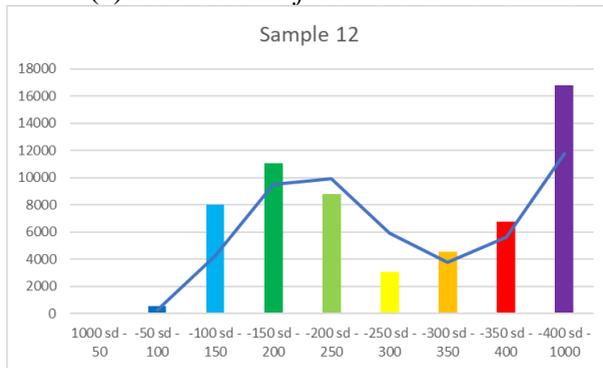
Maka didapatkan hasil data dari tes *half cell potential* tersebut. Gambar dibawah menunjukkan hasil yang didapatkan.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC11

(b) Distribusi nilai Potential HC11

**Gambar 4.26.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC11  
(*Sumber: Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

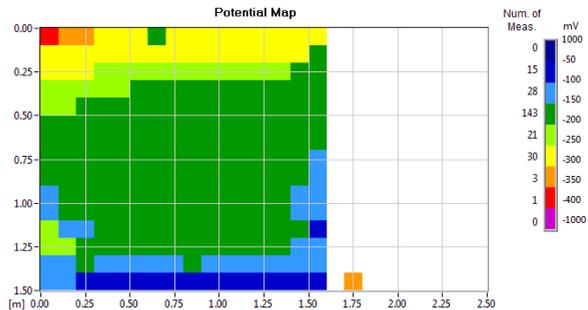
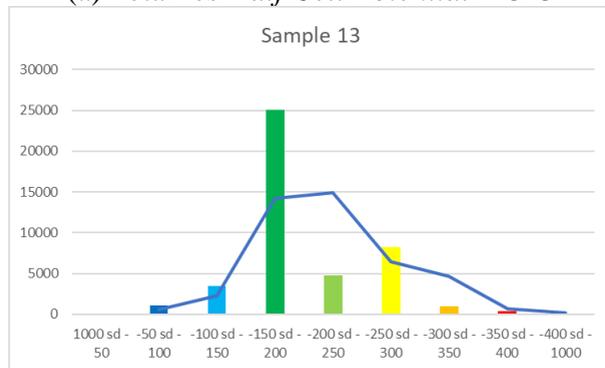
Pada **Gambar 4.26**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 240,08mV atau diantara 200mV - 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC11 probabilitas tulangan mengalami korosi tidak pasti.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC12

(b) Distribusi nilai Potential HC12

**Gambar 4.27.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC12  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

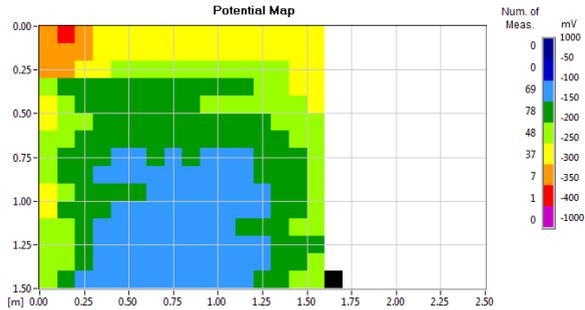
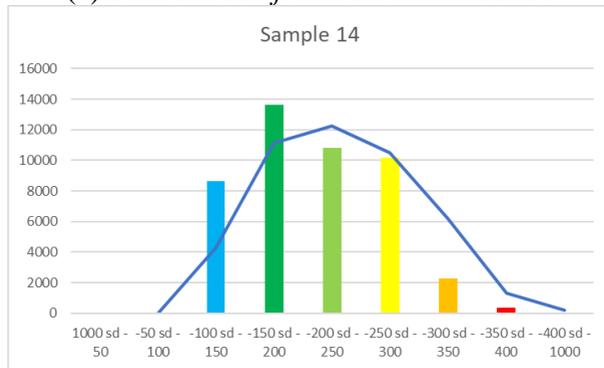
Pada **Gambar 4.27**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 247,7mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC12 probabilitas tulangan mengalami korosi tidak pasti.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC13

(b) Distribusi nilai Potential HC13

**Gambar 4.28.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC13  
(*Sumber: Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

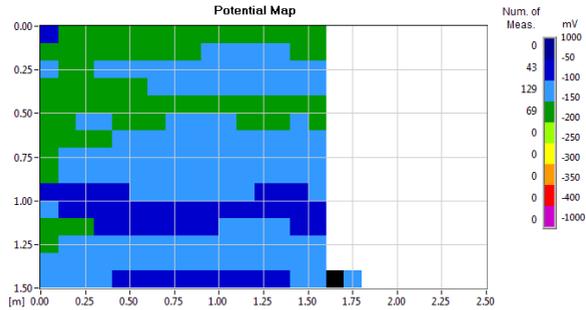
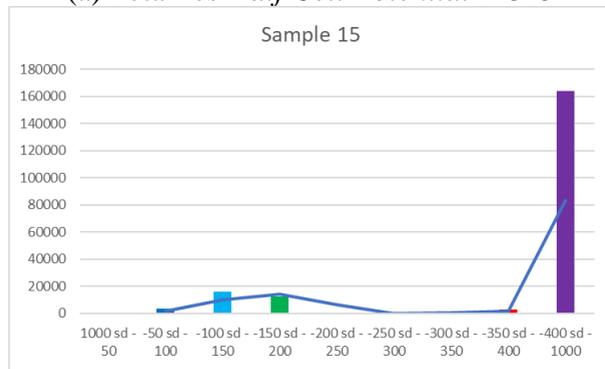
Pada **Gambar 4.28**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 182,46mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC13 90% probabilitas tulangan tidak mengalami korosi.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC14

(b) Distribusi nilai Potential HC14

**Gambar 4.29.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC14  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

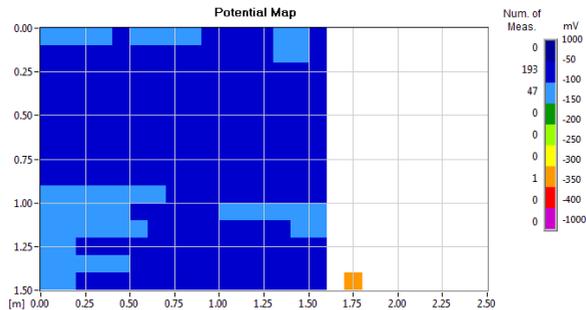
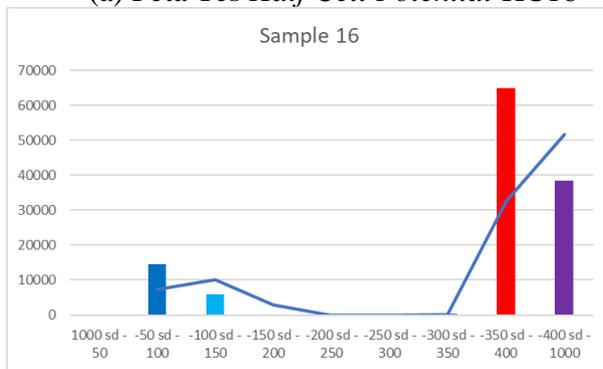
Pada **Gambar 4.29**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 191,25mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC14 90% probabilitas tulangan tidak mengalami korosi.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC15

(b) Distribusi nilai Potential HC15

**Gambar 4.30.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC15  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

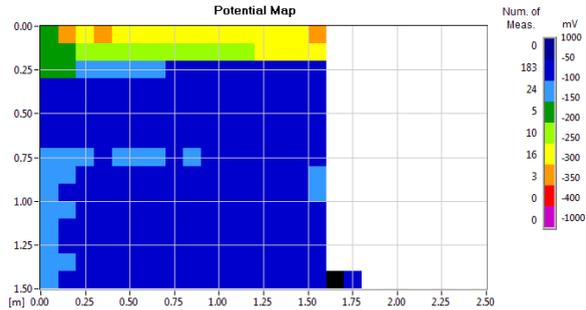
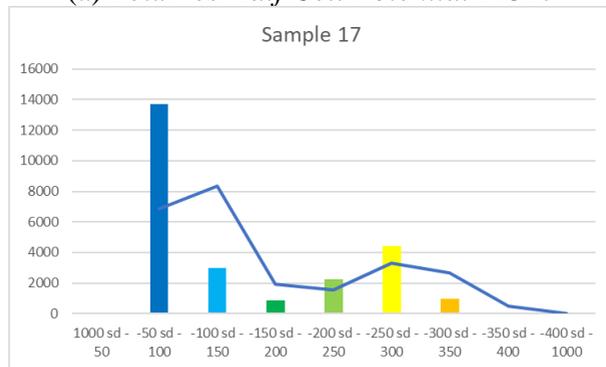
Pada **Gambar 4.30**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 410,22mV atau lebih besar dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC15 90% probabilitas tulangan mengalami korosi.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC16

(b) Distribusi nilai Potential HC16

**Gambar 4.31.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC16  
(*Sumber: Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

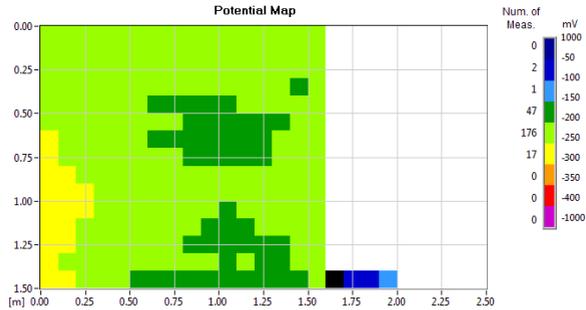
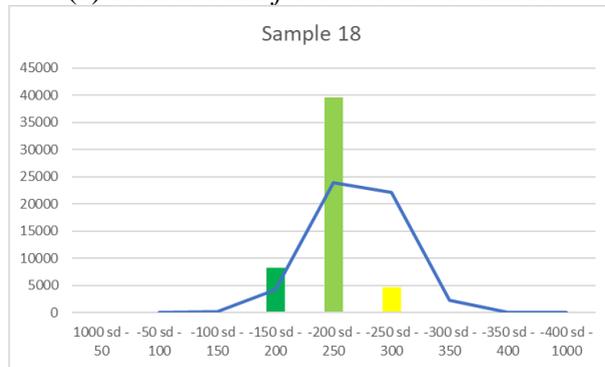
Pada **Gambar 4.31**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 264,69mV atau diantara 200mV - 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC16 probabilitas tulangan mengalami korosi tidak pasti.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC17

(b) Distribusi nilai Potential HC17

**Gambar 4.32.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC17  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

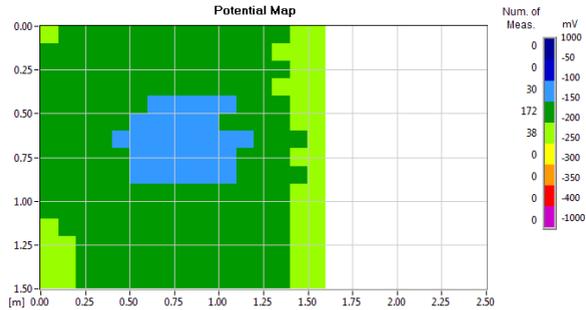
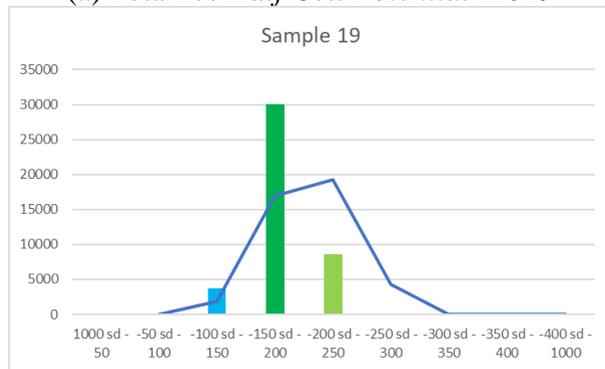
Pada **Gambar 4.32**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 104,66mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC17 90% probabilitas tulangan tidak mengalami korosi.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC18

(b) Distribusi nilai Potential HC18

**Gambar 4.33.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC18  
(*Sumber: Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

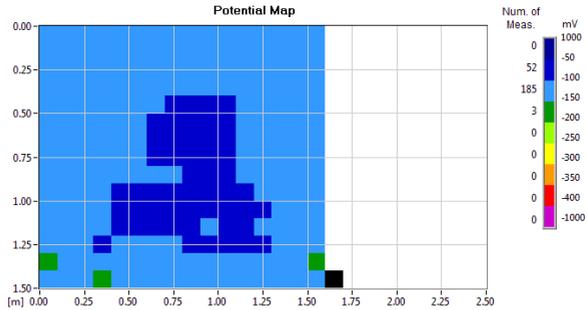
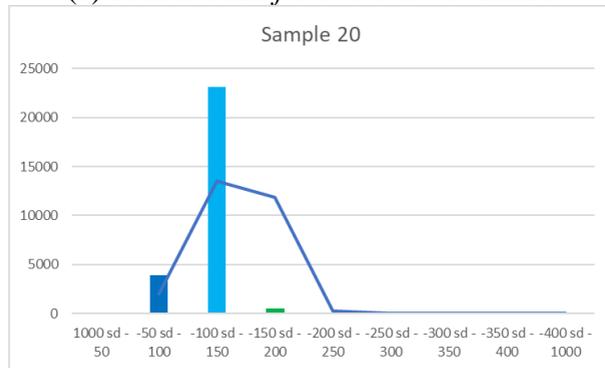
Pada **Gambar 4.33**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 217,18mV atau diantara 200mV - 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC18 probabilitas tulangan mengalami korosi tidak pasti.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC19

(b) Distribusi nilai Potential HC19

**Gambar 4.34.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC19  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

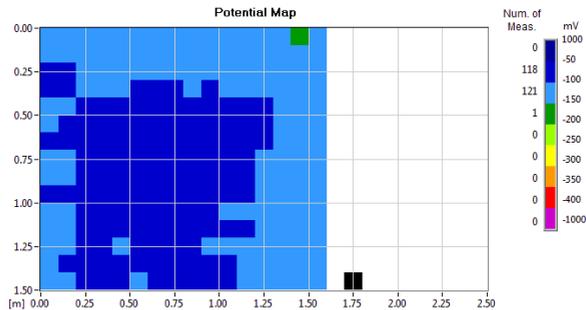
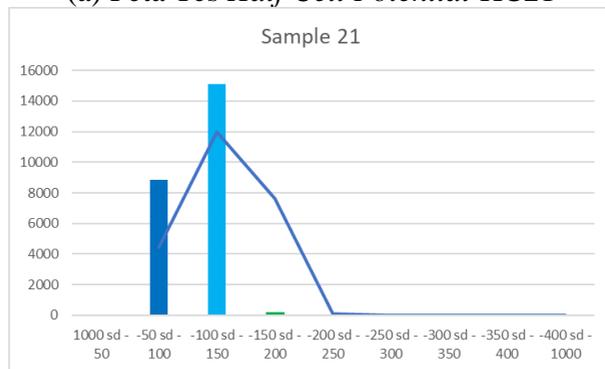
Pada **Gambar 4.34**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 176,66mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC19 90% probabilitas tulangan tidak mengalami korosi.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC20

(b) Distribusi nilai Potential HC20

**Gambar 4.35.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC20  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

Pada **Gambar 4.35**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 114,79mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC20 90% probabilitas tulangan tidak mengalami korosi.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC21

(b) Distribusi nilai Potential HC21

**Gambar 4.36.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC21  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI  
Balongan PT Pertamina, 2017*)

Pada **Gambar 4.36**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 100,62mV atau lebih kecil dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC21 90% probabilitas tulangan tidak mengalami korosi. Hasil

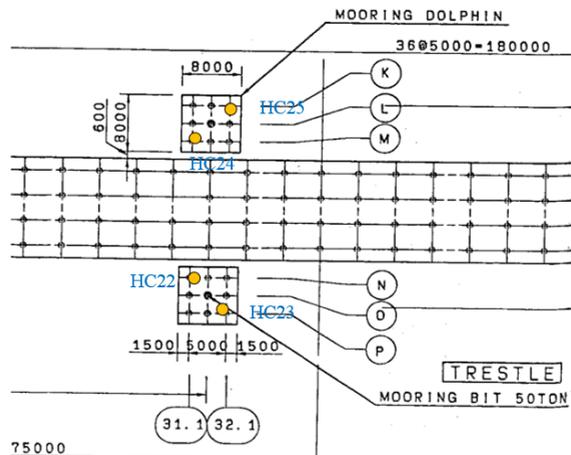
keseluruhan sampel tes *half cell potential* dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

**Tabel 4.3** Hasil perhitungan sampel *half cell potential* pada trestle

Sample 11	Sample 12	Sample 13	Sample 14	Sample 15	Sample 16	Sample 17	Sample 18	Sample 19	Sample 20	Sample 21
240,0826	247,7083	182,4689	191,25	410,2273	264,4989	104,668	217,1811	176,6667	114,7917	100,625
No	No	No	No	Cor	No	No	No	No	No	No

#### 4.2.2.3 Assessment di Mooring Dolphin

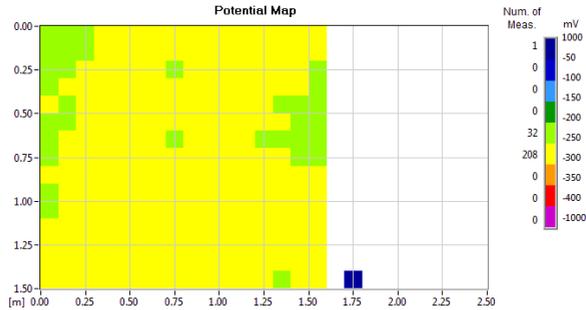
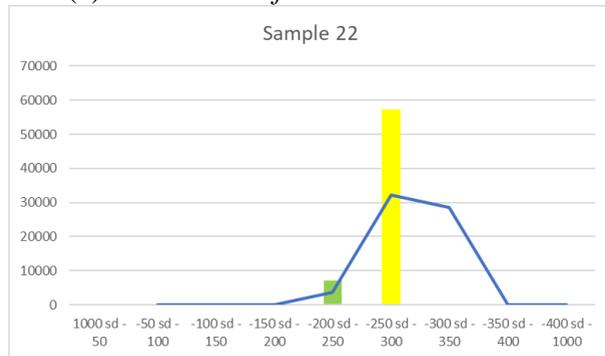
Setelah itu perlu juga dicek kondisi dari *Mooring Dolphin*. **Gambar 4.37** menunjukkan lokasi penentuan tes *half cell potential* yang dilakukan pada struktur *mooring dolphin*.



**Gambar 4.37** Lokasi Tes *Half Cell Potential* pada *mooring dolphin*

(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

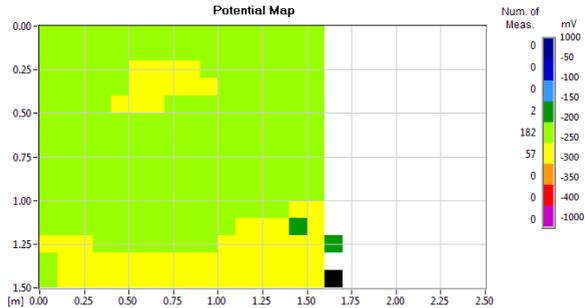
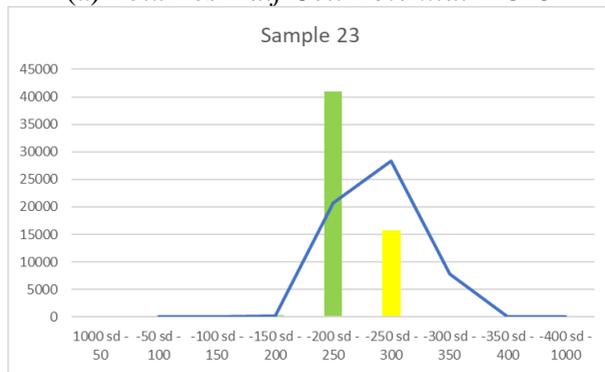
Maka didapatkan hasil data dari tes *half cell potential* tersebut. Gambar dibawah menunjukkan hasil yang didapatkan.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC22

(b) Distribusi nilai Potential HC22

**Gambar 4.38.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC22  
(*Sumber: Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

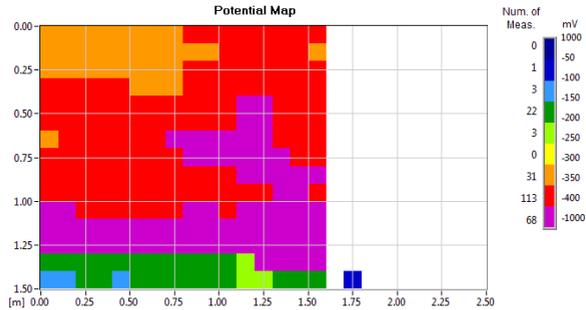
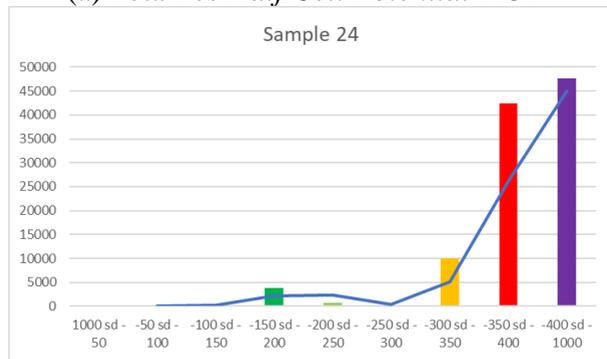
Pada **Gambar 4.38**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 267,22mV atau diantara 200mV - 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC22 probabilitas tulangan mengalami korosi tidak pasti.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC23

(b) Distribusi nilai Potential HC23

**Gambar 4.39.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC23  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

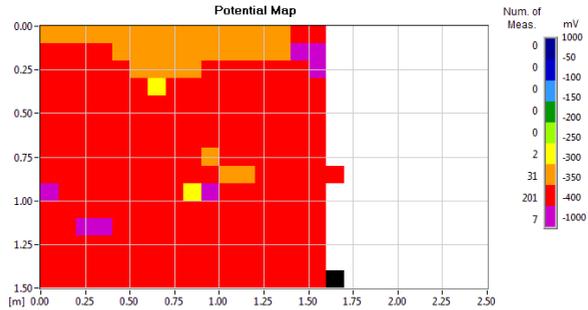
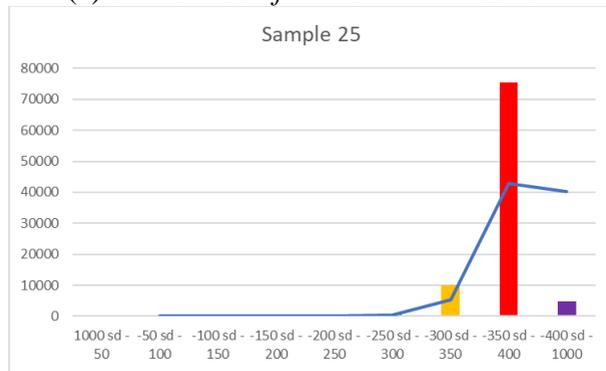
Pada **Gambar 4.39**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 236,41mV atau diantara 200mV - 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC23 probabilitas tulangan mengalami korosi tidak pasti.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC24

(b) Distribusi nilai Potential HC24

**Gambar 4.40.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC24  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

Pada **Gambar 4.40**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 435,78mV atau lebih besar dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC17 90% probabilitas tulangan mengalami korosi.

(a) Peta Tes *Half Cell Potential* HC25

(b) Distribusi nilai Potential HC25

**Gambar 4.41.** Hasil Tes Korosi pada Sampel HC25  
(Sumber: *Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017*)

Pada **Gambar 4.41**, menunjukkan bahwa nilai rata – rata potensial adalah 377,17mV atau lebih besar dari 350mV sesuai standar ASTM C878 hal ini menunjukkan bahwa kondisi di HC25 90% probabilitas tulangan mengalami korosi. Hasil

keseluruhan sampel tes *half cell potential* dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

**Tabel 4.4** Hasil perhitungan sampel *half cell potential* pada *mooring dolphin*

Sample 22	Sample 23	Sample 24	Sample 25
267,2241	236,4108	435,7884	377,1784
NO	NO	Cor	Cor

#### 4.2.3 Uji Korosi Berdasarkan Faktor Kimia

##### 4.2.3.1 Carbonation Test

Metode pengujian terdiri dari menentukan kedalaman lapisan berkarbonasi pada permukaan beton yang dikeraskan dengan menggunakan indikator. Metode ini dapat dilakukan dengan menggunakan spesimen yang dibuat di laboratorium, pada spesimen yang diambil dari struktur yang telah dilengkapi (spesimen situs), dan untuk pengujian di lokasi.

Karbon dioksida yang menembus permukaan beton dapat bereaksi dengan komponen alkali dalam pasta semen, terutama  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Proses ini (karbonasi) menyebabkan pengurangan nilai pH larutan pori menjadi kurang dari sembilan. Pengurangan nilai pH dapat dibuat terlihat oleh perubahan warna dari indikator yang sesuai. Indikasi karbonasi pada beton dapat dilihat pada **Gambar 4.42**.



**Gambar 4.42** Indikator Karbonasi Pada Beton  
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI  
Balongan PT Pertamina, 2017)

- Hasil Tes Karbonasi dapat dilihat pada pada **Tabel 4.5 – 4.8**

**Tabel 4.5.** Lokasi Sample: CD-7 pada Trestle  
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT  
Pertamina, 2017)



(a). Saat tes



(b). 5 detik setelah tes

Kesimpulan: sampel beton telah terkarbonasi.

**Tabel 4.6** Lokas sampel : CD-19 pada *Mooring Dolphin*

(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)



(a). Saat tes



(b). 5 detik setelah dites

Kesimpulan: sampel beton telah terkarbonasi

**Tabel 4.7** Lokasi Sampel: CD-16 pada *Mooring Dolphin*  
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT  
Pertamina, 2017)



(a). During test



(b). 5 second after test

Kesimpulan: sampel beton telah terkarbonasi

**Tabel 4.8** Lokasi Sampel: CD-5 pada Jetty  
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT  
Pertamina, 2017)



(a). During test



(b). 5 second after test

Kesimpulan: sampel beton telah terkarbonasi.

#### 4.2.3.2 Tes Beton Konsentrasi Klorida

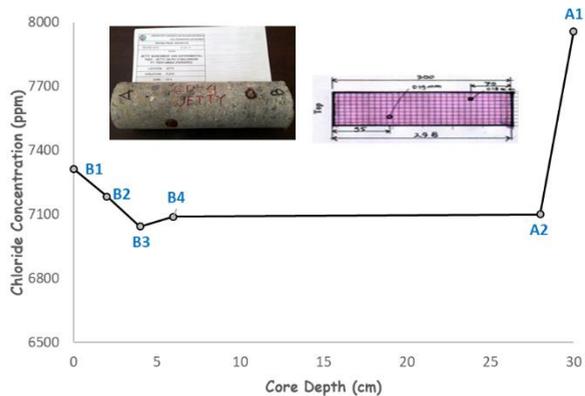
Tes ini digunakan untuk menentukan konsentrasi dan kedalaman penetrasi klorida pada beton. Pengujian kandungan klorida dalam sampel beton dibuat menggunakan metode titrasi argentometri. Titrasi Argentometri adalah titrasi menggunakan perak nitrat sebagai titran yang akan membentuk garam perak terlarut. Metode Argentometry juga dikenal sebagai metode pengendapan karena argentometri membutuhkan pembentukan senyawa atau sedimen yang relatif tidak larut. **Tabel 4.9** merupakan hasil pengujian yang dilakukan, sebagai berikut:

**Tabel 4.9** Hasil Pengujian Sampel  
Konsentrasi Klorida

(Sumber : Report Assessment Jetty RU  
VI Balongan PT Pertamina, 2017)

sample code	locations	Results of analysis of Chloride (ppm Cl)
B1	0	7313.32
B2	2	7183.91
B3	4	7042.25
B4	6	7088.85
A2	28	7099.39
A1	30	7958.80

Untuk melihat perubahan konsentrasi klorida di sepanjang kedalaman inti beton, hasil konsentrasi klorida pada **Gambar 4.43**.



**Gambar 4.43** Hasil Analisis Konsentrasi Klorida pada Kedalaman Inti

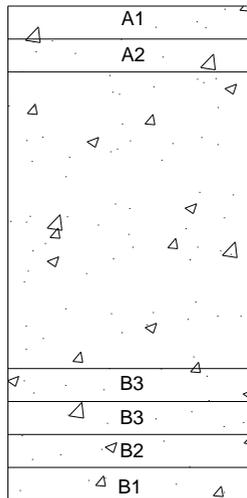
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI  
Balongan PT Pertamina, 2017)

Hasil pada **Gambar 4.43**, menunjukkan bahwa konsentrasi klorida pada beton paling besar pada permukaan luar bagian atas dan bawah. Hasil tes juga menunjukkan bahwa semakin ke dalam, konsentrasi klorida menurun.

#### **4.2.3.3 Tes Beton Konsentrasi Sulfat**

Tes ini digunakan untuk menentukan konsentrasi dan penetrasi kedalaman Sulfat pada sampel Beton. Pengujian Kandungan sulfat dalam sampel beton dilakukan dengan menggunakan spektrofotometri. Prinsip penentuan spektrofotometri sulfat adalah dengan mereaksikan ion sulfat dalam sampel air dengan larutan  $\text{BaCl}_2$ , sehingga membentuk suspensi  $\text{BaSO}_4$ . Kekeruhan yang dihasilkan diukur dengan spektrofotometri pada panjang gelombang 420 nm.

Hasil sampel dipotong dengan ketebalan masing-masing 2 cm. Pemotongan dilakukan dari atas dan bawah dengan rincian dua sampel di bagian atas dan 4 sampel di bagian bawah. Gambar dan kode sampel ditunjukkan pada **Gambar 4.44**. di bawah:



**Gambar 4.44** Sampel yang dipotong berdasarkan kode

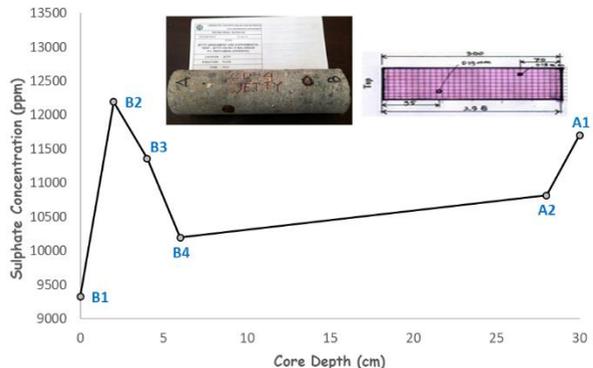
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

Sampel kemudian dilarutkan menggunakan asam nitrat. Tahap ini bertujuan untuk melarutkan beton padat sehingga titrasi sampel uji dapat dilakukan. Senyawa dalam titrasi menggunakan metode spektrofotometri menggunakan senyawa barium klorida ( $\text{BaCl}_2$ ). Diperoleh hasil yang dapat dilihat pada **Tabel 4.10**

**Tabel 4.10** Tes Sampel Konsentrasi Sulfat  
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

sample code	locations	Results of analysis of Chloride (ppm SO42-)
B1	0	9328.24
B2	2	12193.13
B3	4	11358.24
B4	6	10194.26
A2	28	10815.16
A1	30	11705.47

Untuk melihat perubahan konsentrasi sulfat di seluruh kedalaman inti beton, dapat dilihat pada **Gambar 4.45**.



**Gambar 4.45** Hasil Analisis Konsentrasi Sulfat  
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI  
Balongan PT Pertamina, 2017)

Selanjutnya, spesimen diuji menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) di bawah beban tekan. Hasil pengujian digambarkan dalam **Tabel 4.11**. Kekuatan sampel beton dari

slab jetty adalah 19,4 MPa, 25,3 MPa, dan 35,4 MPa (Ave. 26,7 MPa). Kekuatan sampel beton pelat trestle adalah 33,7 MPa, 26,2 MPa, dan 27,8 MPa (Ave. 29,2 MPa). Sedangkan kekuatan sampel beton *mooring dolphin* adalah 24,7 MPa, 30,4 MPa, 30,5 MPa, dan 29,6 MPa (Ave. 28,8 MPa).

Pengaruh hasil tes dapat dilihat dari hasil pengujian tes *drilled cores* seperti pada **Tabel 4.11**

**Tabel 4.11** Hasil *Drilled Cores* Slab Beton Jetty, Trestle dan *Mooring Dolphin*  
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

Item	Symbol	Unit	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Sample 8	Sample 9	Sample 10
Date of testing			24/1/2018									
Code of specimen			CD1	CD4	CD5	CD7	CD8	CD12	CD14	CD16	CD17	CD19
Location			Slab of Jetty			Trestle			Dolphin 1		Dolphin 2	
Diameter	D	mm	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
Height	h	mm	188	118	188	141	165	165	188	188	188	118
Weight	W	gram	3015	1935	3155	2355	2905	2705	3105	2970	18323	1850
Density	$\gamma$	ton/m <sup>3</sup>	2.31	2.37	2.42	2.41	2.55	2.37	2.38	2.28	14.05	2.27
Compressive force	P	kg	12250	19250	22200	20750	15600	17250	17500	21500	21600	22500
Area, A	A	cm <sup>2</sup>	69.40	69.40	69.40	69.40	69.40	69.40	69.40	69.40	69.40	69.40
Compressive stress, P/A	$\sigma$	kg/cm <sup>2</sup>	176.52	277.39	319.89	299.00	224.79	248.57	252.17	309.81	311.25	324.22
<b>Correction factor of due to L/D ratio</b>												
L/D ratio			2.00	1.25	2.00	1.50	1.75	1.75	2.00	2.00	2.00	1.25
Correction factor			1.00	0.93	1.00	0.96	0.98	0.98	1.00	1.00	1.00	0.93
<b>Correction factor due to reinforcement</b>												
Diameter of bar	$\phi_r$	mm	19	-	19	19/13	19/13	19/13	8	16	-	-
Length of bar	l <sub>r</sub>	mm	76	-	80	48/65	75/60	72/24	10	50	-	-
Number of bar	n											
Correction factor	f <sub>2</sub>		1.12	1.00	1.13	1.20	1.21	1.16	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Compressive Strength after correction</b>												
Cylinder $\phi$ 9.4 cm	$\sigma$	kg/cm <sup>2</sup>	198.16	257.97	361.16	344.10	267.42	283.30	252.17	309.81	311.25	301.52
Cylinder $\phi$ 15-30 cm, s/1.04	f <sub>c</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	190.54	248.05	347.27	330.87	257.13	272.41	242.47	297.89	299.28	289.93
		Mpa	19.4	25.3	35.4	33.7	26.2	27.8	24.7	30.4	30.5	29.6
Cubic 15x15x15 cm, f <sub>c</sub> /0.83	K	kg/cm <sup>2</sup>	229.56	298.85	418.40	398.64	309.80	328.20	292.13	358.91	360.58	349.31

Hasil rata – rata sampel diatas menunjukkan beton mengalami penurunan mutu beton menjadi lebih kecil dari mutu

beton rencana yaitu  $f_c' = 30$  Mpa. Hal ini menunjukkan penurunan mutu beton sebesar:

- Jetty = 11%
- Trestle = 4%
- Mooring dolphin = 4%

Jika dijumlah hasil penurunannya menjadi 19%

### 4.3 Analisis Data

#### 4.3.1 Perhitungan Probabilitas Terjadinya Korosi di Jetty

Probabilitas terjadinya korosi di jetty diperhitungkan menggunakan data hasil survey *half cell potential* sebanyak 10 buah sample, yang hasilnya dapat dilihat seperti pada **Tabel 4.12. dan 4.13.**

**Tabel 4.12** Hasil Input keseluruhan data *half cell potential* dari struktur jetty.

	mV	mV'	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Sample 8	Sample 9	Sample 10
1	1000 sd -50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-50 sd -100	75	9	52	83	5	0	5	2	0	3	65
3	-100 sd -150	125	158	149	76	130	118	29	1	1	0	153
4	-150 sd -200	175	76	39	27	105	122	186	0	0	14	24
5	-200 sd -250	225	0	0	23	0	0	20	0	0	163	0
6	-250 sd -300	275	0	0	16	0	0	0	0	0	63	0
7	-300 sd -350	325	0	0	12	0	0	0	1	12	0	0
8	-350 sd -400	375	0	0	3	0	0	0	8	173	0	0
9	400 sd -1000	700	0	0	0	0	0	0	234	55	0	0
	Jumlah		243	240	240	240	240	240	246	241	243	242

**Tabel 4.13** Hasil sampel yang dikalikan dengan mV'

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Sample 8	Sample 9	Sample 10
1000 sd -50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-50 sd -100	675	3900	6225	375	0	375	150	0	225	4875
-100 sd -150	19750	18625	9500	16250	14750	3625	125	125	0	19125
-150 sd -200	13300	6825	4725	18375	21350	32550	0	0	2450	4200
-200 sd -250	0	0	5175	0	0	4500	0	0	36675	0
-250 sd -300	0	0	4400	0	0	0	0	0	17325	0
-300 sd -350	0	0	3900	0	0	0	325	3900	0	0
-350 sd -400	0	0	1125	0	0	0	3000	64875	0	0
-400 sd -1000	0	0	0	0	0	0	163800	38500	0	0
Jumlah	33725	29350	35050	35000	36100	41050	167400	107400	56675	28200

State probability terjadinya korosi dijetty diasumsikan sebagai distribusi normal, dengan menggunakan 10 buah sample *half cell potential* seperti

**Tabel 4.13.**, maka probabilitas terjadinya korosi tulangan dapat dihitung seperti berikut:

- Menghitung rata-rata potential

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

dimana :  $\bar{x}$  = mean  
 $\sum x$  = Jumlah keseluruhan data  
 $n$  = banyak sampel = 10 sampel

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

dimana :  $\sigma^2$  = standar deviasi  
 $x_i$  = data sampel  
 $\bar{x}$  = mean  
 $n$  = banyak sampel

Maka didapatkan hasil

$$\begin{aligned} \text{mean } (\bar{x}) &= 235,03 \\ \text{standar deviasi } (\sigma^2) &= 184,37 \end{aligned}$$

Dari hasil mean dan standar deviasi maka perlu menentukan nilai titik kritis terlebih dahulu menggunakan rumus dibawah :

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}}$$

dimana :

$$\begin{aligned} \text{Mean} &(\bar{x}) = 235,03 \\ \text{Hipotesis Awal} &(\mu_0) = 350 \\ \text{Standar deviasi} &(\sigma) = 184,37 \\ \text{Banyak Sampel} &(n) = 10 \end{aligned}$$

Maka didapatkan hasil  $Z = - 0,19719$ .

Dari **Tabel 4.14.**, dengan nilai  $Z= 0,19719$  diperoleh probabilitas terjadinya korosi pada tulangan struktur atas jetty adalah sebesar 57%.



### 4.3.2 Kerusakan Akibat Tumbukan Kapal dan Tumbukan *Cover Hatch* Kapal

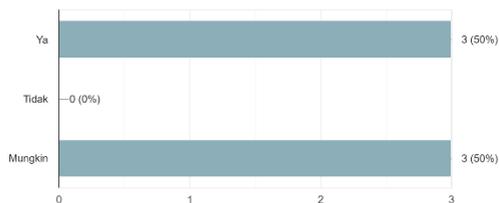
Untuk menentukan kerusakan yang diakibatkan tumbukan kapal, penulis memerlukan data pernyataan berdasarkan *expert judgement* dari lapangan. Dari pernyataan juga ditentukan skala kerusakan yang diakibatkan oleh tumbukan kapal dengan penjelasan skala sebagai berikut:

Untuk menilai tingkat skala kerusakan, beri nilai 1 - 5. Dimana:

- 1 = Kerusakan tingkat 10% (prioritas nomor 1 harus diperbaiki)
- 2 = Kerusakan tingkat 8% (prioritas nomor 2 perlu diperbaiki)
- 3 = Kerusakan tingkat 6% (prioritas nomor 3 kerusakan jangka panjang)
- 4 = Kerusakan tingkat 2%
- 5 = Tidak pernah terjadi

Dari pertanyaan yang diajukan terhadap *expert judgement*, didapatkan hasil pada **Gambar 4.46** sebagai berikut:

Apakah Tumbukan Kapal dapat menyebabkan kerusakan terhadap struktur?  
6 responses



**Gambar 4.46** Hasil Wawancara *Expert Judgement*.

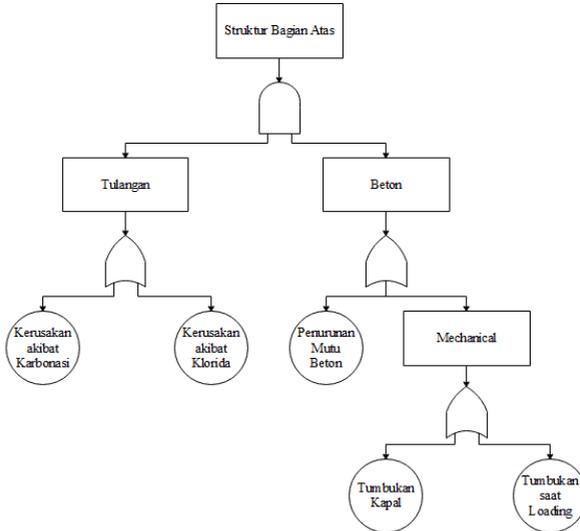
Maka dapat diambil kesimpulan dengan tingkat kerusakan yang diasumsikan 5%

#### 4.4 Analisis *Fault Tree Analysis* (FTA)

Metode analisis faktor penyebab kerusakan jetty menggunakan *Software Fault Tree Analyser* dengan pendekatan *Top Down* yang dimulai dari *top level event* yang telah didefinisikan, kemudian mencari faktor – faktor yang menyebabkan kerusakan, sehingga dapat di identifikasian kejadian yang paling mempengaruhi kerusakan yang terjadi terhadap struktur jetty. Berikut langkah – langkah prosedur yang dilakukan dengan menggunakan metode FTA :

1. Identifikasi kejadian – kejadian utama yang mungkin terjadi.
2. Identifikasi kontributor tingkat pertama dengan menambahkan kondisi atau kejadian atau kejadian yang dapat menyebabkan terjadinya *Top Event*.
3. Menetapkan *logic gate* (gerbang logika) sesuai dengan gabungan peristiwa terjadi pada waktu dan tempat yang sama (*AND*) atau salah satu kejadian yang mungkin terjadi (*OR*). Pergerakan membentuk cabang pada *fault tree* menunjukkan efek dari *top event*.
4. Identifikasi kontributor tingkat kedua dan menentukan simbol – simbol logika untuk menghubungkan kejadian – kejadian yang mungkin terjadi penyebab kegagalan kontributor tingkat pertama.
5. Tetapkan *logic gate* (gerbang logika) kontributor tingkat kedua.
6. Ulangi atau lanjutkan. Sehingga dapat mencegah kejadian dibagian atasnya terulang kembali.

Berdasarkan data hasil wawancara, maka diperoleh gambar pohon kegagalan (*fault tree*) dengan beberapa faktor yang dapat menyebabkan kerusakan terhadap struktur jetty yang berlokasi di Balongan. Gambar pohon tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.47**.



**Gambar 4.47** Identifikasi model FTA untuk struktur atas

- P(A) = kerusakan akibat korosi tulangan karena proses karbonasi (0,57%)  
 P(B) = kerusakan akibat korosi tulangan karena proses klorida (0,57%)  
 P(C) = kerusakan akibat penurunan mutu beton (0,19%)  
 P(D) = kerusakan akibat tumbukan kapal (5%)  
 P(E) = kerusakan akibat tumbukan saat loading (1%)

Berdasarkan model grafik pada **Gambar 4.47**, probabilitas degradasi pada struktur jetty dapat dihitung manual seperti berikut:

Perhitungan 1

$$P(P_{tulangan}) = (P(A) \cup P(B))$$

$$P(P_{tulangan}) = (P(A) + P(B))$$

$$P(P_{tulangan}) = 0,57 + 0,57 = 1,14$$

Perhitungan 2

$$P(P_{Mechanical}) = (P(D) \cup P(E))$$

$$P(P_{Mechanical}) = (P(D) + P(E))$$

$$P(P_{Mechanical}) = 0,05 + 0,01 = 0,06$$

Perhitungan 3

$$P(P_{Beton}) = (P(C) \cup P(P_{Mechanical}))$$

$$P(P_{Beton}) = (P(C) + P(P_{Mechanical}))$$

$$P(P_{Beton}) = 0,19 + 0,06 = 0,25$$

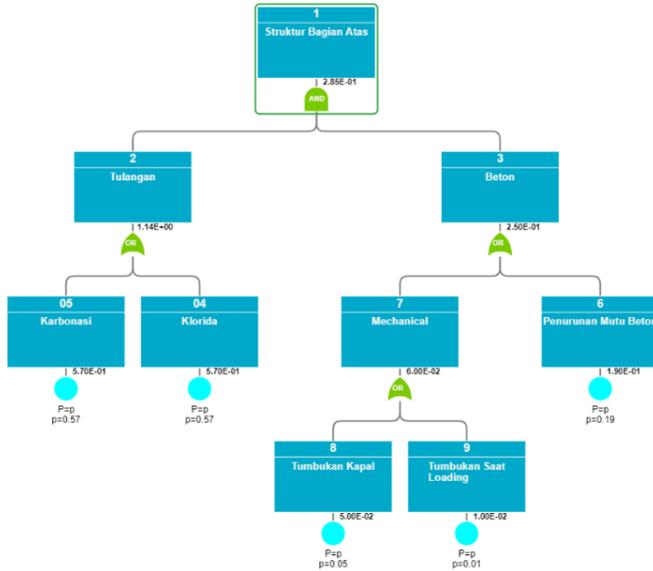
Perhitungan 4

$$P(P_{Struktur\ bagian\ atas}) = (P(P_{tulangan}) \cap P(P_{Beton}))$$

$$P(P_{Struktur\ bagian\ atas}) = (P(P_{tulangan}) \times P(P_{Beton}))$$

$$P(P_{Struktur\ bagian\ atas}) = 1,14 \times 0,25 = 0,285$$

Dengan menggunakan software *fault tree analysis software*, didapatkan hasil sesuai dengan **Gambar 4.48**



**Gambar 4.48** Hasil Perhitungan Berdasarkan *Fault Tree Analysis Software*

Dapat disimpulkan perhitungan manual dengan perhitungan dari *software* sama yaitu  $0,285 = 28,5\%$

## **BAB V**

### **PERENCANAAN PEMULIHAN**

#### **5.1 Alternatif Pemulihan Jetty**

Alternatif pemulihan jetty ditentukan ada dua, yaitu:

- a) Dengan membangun perbaikan
- b) Dengan membongkar dan membangun baru

Karena tulangan di bawah pelat beton dan balok telah rusak karena korosi, sehingga kapasitas tulangan diabaikan. Oleh karena itu, kapasitas kekuatan pelat dan balok beton ditentukan oleh kapasitas kekuatan beton polos. Kasus serupa juga terjadi pada balok baja trestle. Bagian bawah balok baja WF juga memiliki kerusakan parah akibat korosi. Jadi, kapasitas kekuatan balok baja ditentukan oleh balok berbentuk T bukan balok berbentuk WF. Perhitungan detail beban sebagai berikut:

Beban yang diterima untuk kekuatan pelat beton:

Berat sendiri beton:  $qD = 0,30 \times 2400 = 720$   
 $\text{kg/m}^2$

Distribusi Beban:  $qU = 1,2 qD + 1,6 qL$

$Mu = 0,001 \times qu \times Lnx^2 \times X$

$$\text{kgm} = 0,001 \times \text{qu} \times 4,2^2 \times 36 = (0,635 \times \text{qu})$$

$$f_r = 0,67\sqrt{f_c} = 3,46 \text{ MPa}$$

$$S_x = (1/6) \times b \times h^2 = (1/6) \times 100 \times 20^2 = 6666 \text{ cm}^3$$

$$M_u = f_r \times S_x = 2306 \text{ kgm}$$

$$q_u = 3631 \text{ kg/m}^2$$

$$q_L = 1729 \text{ kg/m}^2 = 1,73 \text{ ton/m}^2$$

Beban yang diterima untuk kekuatan balok baja longitudinal:

$$\text{Berat sendiri beton: } q_D = 0,25 \times 2400 = 600 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Distribusi beban: } q_U = 1,2 q_D + 1,6 q_L$$

$$M_u = 0,125 \times q_u \times L_n^2$$

$$= 0,125 \times q_u \times 5,0^2 = (3,125 \times q_u) \text{ kgm}$$

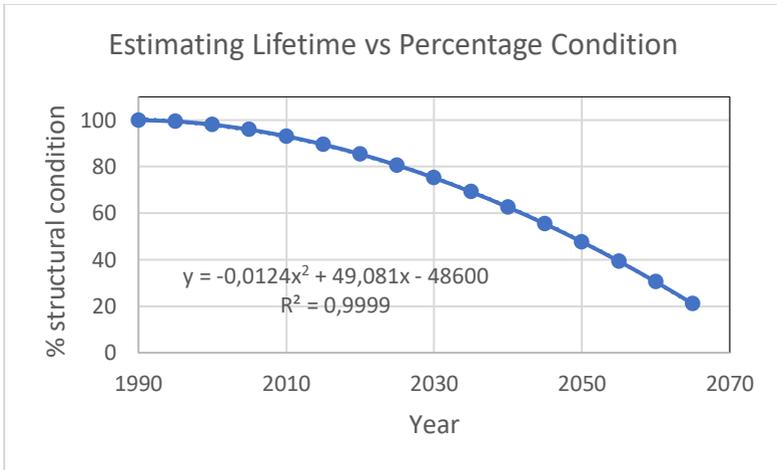
$$Z_x = 1449 \text{ cm}^3$$

$$M_u = 0,9 \times f_y \times Z_x = 31298 \text{ kgm}$$

$$q_u = 10015 \text{ kg/m}^2$$

$$q_L = 5809 \text{ kg/m}^2 = 5,81 \text{ ton/m}^2$$

Berdasarkan hasil penilaian pada **Gambar 5.1**, yang merupakan laju korosi sekitar 0,9 mm/tahun dan degradasi material sekitar 0,5% per tahun, oleh karena itu perkiraan masa pakai untuk dermaga dan trestle sebagai berikut. Karena persentase kondisi struktural tidak boleh kurang dari 60%, maka sisa masa pakai adalah sekitar 20 tahun, yaitu tahun 2040.



**Gambar 5.1** Memperkirakan Kondisi Seumur Hidup vs Persentase Jika Tidak Ada Tindakan.

(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

### 5.1.1 Perbaikan Struktural

Berdasarkan hasil penilaian, kerusakan komponen struktural sebagai berikut:

1. Lempengan beton dan balok terutama di bagian bawah memiliki kerusakan parah, karenanya harus diperbaiki.
2. Balok baja trestle terutama di bagian bawah memiliki kerusakan korosi parah. Pelat baja tambahan harus ditambahkan di bagian bawah.
3. Pipa baja relatif dalam kondisi baik. Tidak perlu proses perbaikan.

Metode perbaikan jetty dan trestle yang dilakukan sebagai berikut:

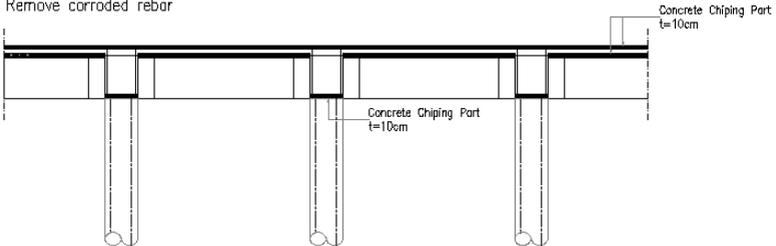
#### **5.1.1.1 Perbaikan Struktural Jetty**

Dalam laporan ini diusulkan metode perbaikan menggunakan *Fiber Reinforce Polymer* (FRP) untuk menggantikan tulangan balok jetty yang terdegradasi akibat proses korosi. Dan untuk slab dermaga, slab tambahan ditempatkan di atas slab yang ada. Metode – metode perbaikan dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1). Melakukan pengamatan pada setiap bagian yang terpapar korosi
- 2). Menghilangkan beton yang rusak dengan melakukan *chipping* beton
- 3). Ganti tulangan yang terkorosi dan ganti dengan tulangan baru baru.
- 4). Menambah lapisan beton baru dengan ditambal atau *grouting* menggunakan material yang tidak mudah susut, kekuatan tinggi, dan mudah dikerjakan.
- 5). Menambahkan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) untuk menggantikan kekuatan batang penguat. Kapasitas FRP harus sama atau lebih tinggi dari kapasitas tulangan.
- 6). Langkah demi langkah perbaikan dan perkuatan disajikan pada **Gambar 5.2** sebagai berikut:

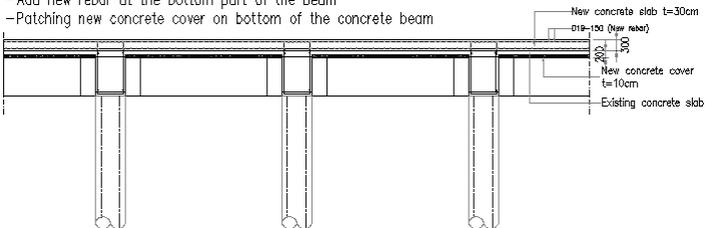
## STEP 1

Concrete chipping to eliminate the damage concrete  
Remove corroded rebar



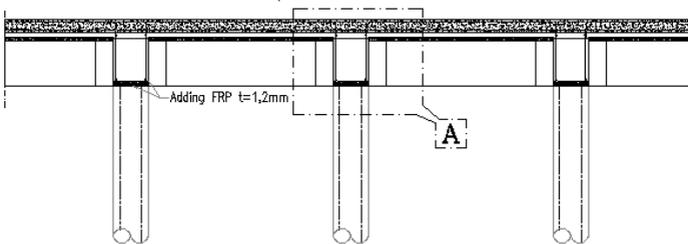
## STEP 2

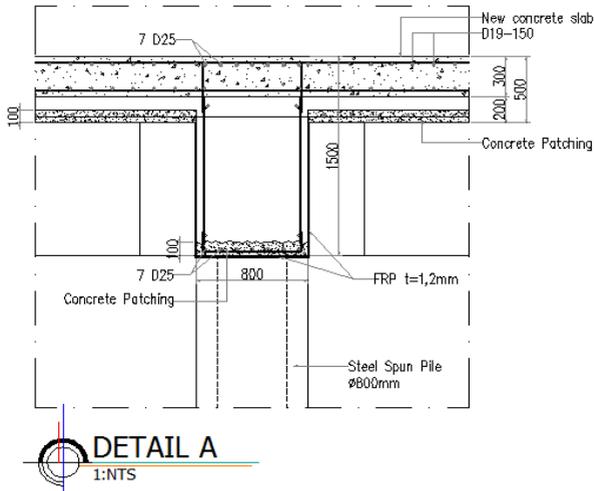
-Add new reinforced concrete slab on the top of the existing slab  
-Patching new concrete cover on bottom of the concrete slab  
-Add new rebar at the bottom part of the beam  
-Patching new concrete cover on bottom of the concrete beam



## STEP 3

-Add FRP at the side at bottom part of the concrete beam.





**Gambar 5.2** Langkah – langkah perbaikan dan penguatan dermaga

(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

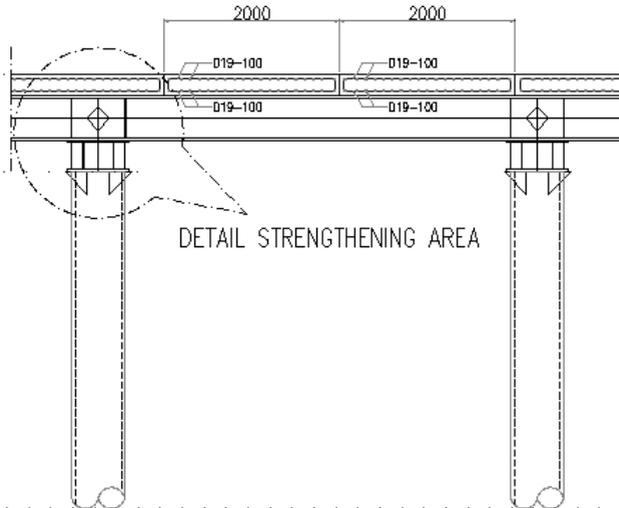
### 5.1.1.2 Perbaikan Struktural Trestle

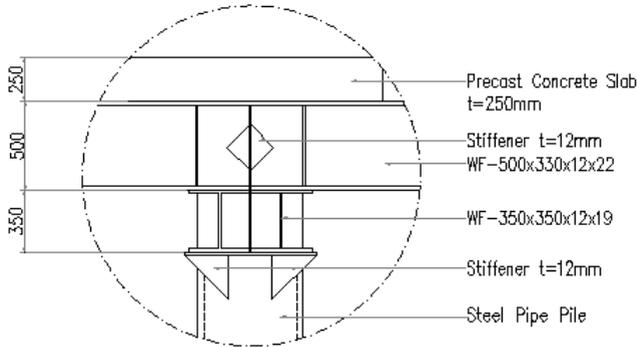
Perbaikan pelat beton trestle dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1). Pengamatan detail pada setiap bagian yang memiliki kerusakan korosi.
- 2). Karena pelat beton menggunakan beton pracetak penuh, maka pelat beton yang rusak dapat langsung dilepas dan diganti menggunakan beton pracetak baru.

Untuk perbaikan balok baja metode yang dilakukan sebagai berikut:

1. Pengamatan detail pada setiap bagian yang memiliki kerusakan korosi.
2. Lakukan pembersihan pada permukaan baja yang terkorosi.
3. Menambahkan pelat baja flensa baru (di flensa bawah).
4. Menambahkan koneksi baut.
5. Langkah demi langkah perbaikan dan perkuatan disajikan pada **Gambar 5.3** dan **Gambar 5.4** sebagai berikut:

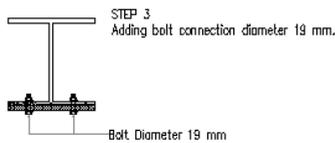
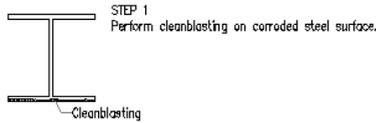




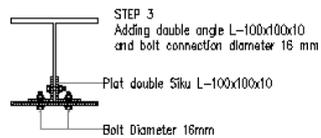
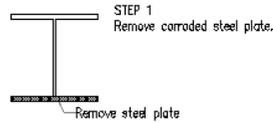
**Gambar 5.3** Detail Area Penguatan Trestle

**RETROFITTING STEEL PROFILE WF  
WF-500x330x12x22 and WF-350x350x12x19**

**ALTERNATIVE 1**



**ALTERNATIVE 2**



**Gambar 5.4** Tahap Perkuatan Untuk Balok Baja Trestle

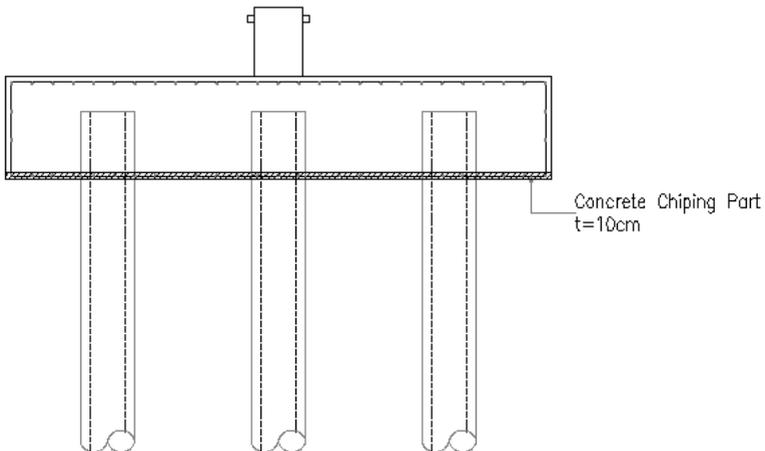
**5.1.1.3 Perbaikan Struktural Mooring  
Dolphin**

1. Melakukan pengamatan bagian yang terparap kerusakan korosi.

2. Menghilangkan beton yang rusak dengan melakukan *chipping* beton
3. Lepaskan tulangan yang terpapar korosi.
4. Menambah lapisan beton baru dengan ditambal atau *grouting* menggunakan material yang tidak mudah susut, kekuatan tinggi, dan mudah dikerjakan.
5. Menambahkan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) untuk menggantikan kekuatan batang penguat. Kapasitas FRP harus sama atau lebih tinggi dari kapasitas tulangan.
6. Langkah demi langkah perbaikan dan perkuatan disajikan sebagai berikut.

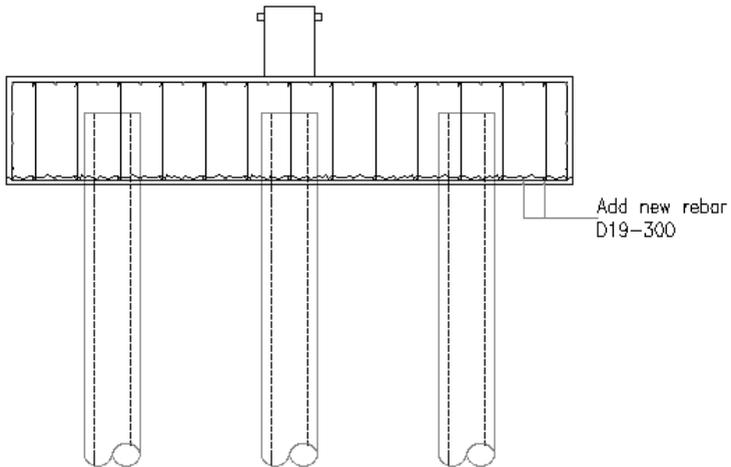
#### STEP 1

Concrete chipping to eliminate the damage concrete  
Remove corroded rebar



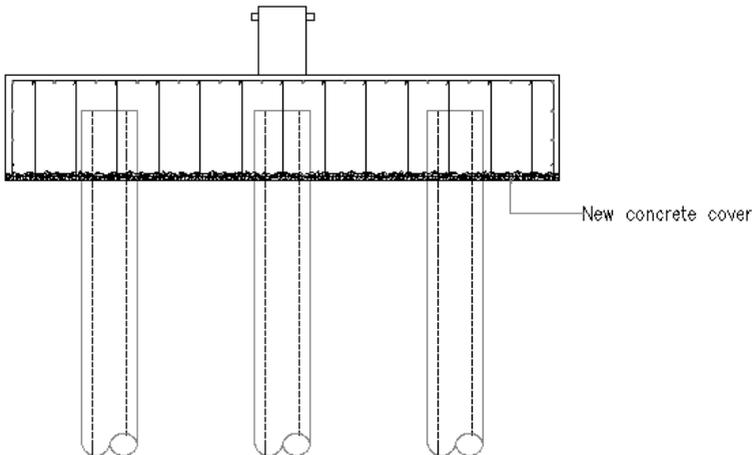
## STEP 2

Add new rebar D19-300 at bottom part of mooring dolphin



## TAHAP 3

Patching new concrete cover on bottom of the concrete slab

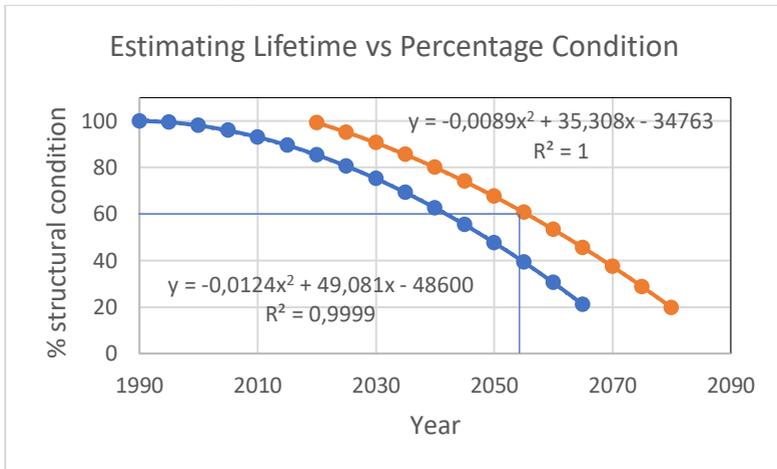


**Gambar 5.5** Langkah – langkah perbaikan dan perkuatan *mooring dolphin*

(Sumber : Report Assessment Jetty RU

VI Balongan PT Pertamina, 2017)

Proses perbaikan di jetty, trestle dan *mooring dolphin* akan meningkatkan kapasitas kekuatan komponen struktural saat ini. Oleh karena itu, sisa umur sistem struktural juga akan meningkat. Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada **Gambar 5.6**, karena persentase kondisi struktural tidak boleh kurang dari 60%, sehingga sisa masa pakai adalah sekitar 35 tahun, yaitu pada tahun 2055.



**Gambar 5.6** Memperkirakan Masa Seumur Hidup vs Persentase Kondisi dengan Perkuatan

(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

## 5.2 Pendekatan Pemilihan Alternatif dengan *Expected Monetary Value* (EMV)

Dalam laporan ini, terdapat dua metode alternatif perbaikan dan perkuatan untuk dermaga yang diusulkan. Alternatif 1 menggunakan slab baru di bagian atas slab yang ada dan menambahkan FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) pada bagian bawah balok sedangkan alternatif 2 menggunakan balok dan slab baru dengan memotong balok dan slab yang terkorosi. 2 metode alternatif untuk memperbaiki dermaga yang ada dapat dijelaskan sebagai berikut:

### Alternatif 1

1. *Chipping* beton di bagian atas dan bawah pelat
2. *Chipping* beton pada bagian bawah balok.
3. Angkat tulangan yang terkorosi dan tambahkan dengan tulangan baru.
4. Menambahkan penutup beton baru dengan menambal atau memasang pada bagian bawah lempengan dan balok.
5. Tuangkan slab beton baru di atas slab yang ada  $t = 30$  cm
6. Menambahkan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) untuk menggantikan kekuatan tulangan di bagian samping dan bawah balok beton

### Alternatif 2

1. Mengganti balok dan lempengan yang ada
2. Membangun balok baru (800x1200) dan pelat baru  $t = 30$  cm

Dua alternatif perbaikan ini hanya diterapkan pada jetty. Untuk trestle dan *mooring dolphin* hanya satu metode perbaikan yang diterapkan dengan mengganti baja berkarat dengan yang baru.

Perkiraan biaya perbaikan dermaga yang ada di disajikan pada **Tabel 5.1** dan **Tabel 5.2** sebagai berikut:

**Tabel 5.1** Perkiraan Biaya Perbaikan Dermaga yang Ada (Alternatif 1)

(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI Balongan PT Pertamina, 2017)

NO	DESCRIPTION	TOTAL
I	PRELIMINARY COST	Rp 1,093,062,260
II	REPAIRING EXISTING JETTY	Rp 13,206,097,890
III	REPAIRING EXISTING TRESTLE	Rp 8,221,612,212
IV	REPAIRING EXISTING MOORING DOLPHIN	Rp 433,535,103
	<b>TOTAL</b>	Rp 22,954,307,466
	<b>CONTINGENCY 10%</b>	Rp 2,295,430,747
	<b>GRAND TOTAL</b>	Rp 25,249,738,213

Total biaya perbaikan dermaga yang ada menggunakan alternatif 1 adalah 25,24 Miliar Rupiah.

**Tabel 5.2** Perkiraan Biaya Perbaikan Dermaga yang Ada (Alternatif 2)

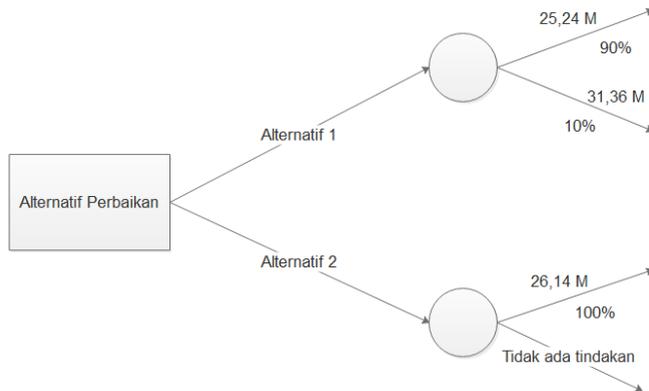
(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI  
Balongan PT Pertamina, 2017)

NO	DESCRIPTION	TOTAL
I	PRELIMINARY COST	Rp 1,131,484,666
II	REPAIRING EXISTING JETTY	Rp 13,974,545,996
III	REPAIRING EXISTING TRESTLE	Rp 8,221,612,212
IV	REPAIRING EXISTING MOORING DOLPHIN	Rp 433,535,103
	TOTAL	Rp 23,761,177,977
	CONTINGENCY 10%	Rp 2,376,117,798
	GRAND TOTAL	Rp 26,137,295,775

Total biaya perbaikan dermaga yang ada menggunakan alternatif 2 adalah 26,14 Miliar Rupiah.

Dari dua alternatif diatas maka perlu dilakukan pemilihan alternatif dengan metode probabilistik yaitu *Expected Monetary Value*. Menurut *expert judgement*, dari kondisi yang sudah di-*assessment* didapatkan nilai probabilitas sebesar 90%.

Setelah itu perlu membuat *decision tree* yang akan menentukan nilai EMV. Sehingga, *decision tree* yang terjadi dapat dilihat pada **Gambar 5.7** sebagai berikut :



**Gambar 5.7** *Decision Tree* untuk menentukan EVM

(Sumber : Report Assessment Jetty RU VI  
Balongan PT Pertamina, 2017)

Dari hasil *decision tree* diatas maka dapat dihitung menjadi

$$\begin{aligned}
 EVM_1 &= P_1 \times V_1 + P_2 \times V_2 \\
 &= 90\% \times 25,24 + 10\% \times 31,36 \text{ M} \\
 &= 25,86 \text{ M} \\
 EVM_2 &= P_3 \times V_3 \\
 &= 100\% \times 26,14 \text{ M} \\
 &= 26,14 \text{ M}
 \end{aligned}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Kesimpulan hasil analisis dermaga jetty saat ini dijelaskan sebagai berikut:

- 1). Slab dan balok beton jetty terutama di bagian bawah memiliki kerusakan parah disebabkan penetrasi klorida, karbonasi, dan korosi yang dapat mengakibatkan penurunan mutu beton oleh karena itu harus diperbaiki. Sedangkan pondasi pipa baja relatif dalam kondisi baik. Tidak perlu proses perbaikan.
- 2). Ada tiga tindakan alternatif yang berbeda:
  - a. Mengurangi pemuatan layanan (tanpa perkuatan), masa penggunaan adalah sekitar 20 tahun (pada 2038) mulai dari 2018.
  - b. Memperbaiki pada bagian yang rusak dari komponen struktur, masa penggunaan adalah sekitar 35 tahun mulai dari 2018.
  - c. Membangun struktur atas baru, masa penggunaan adalah sekitar 50 tahun mulai dari 2018.
- 3). Penggunaan EVM dengan analisis kualitatif, yaitu analisis probabilitas dan dampak, dengan alat bantu *decision tree*, dapat memberikan gambaran deskriptif mengenai estimasi biaya untuk mengantisipasi resiko pada proyek secara keseluruhan, dengan cara menjumlahkan semua EVM untuk masing-masing alternatif solusi/mitigasi dari setiap resiko. Dengan adanya estimasi total EVM, akan memudahkan manajemen dan stakeholder terkait dalam menyiapkan biaya ekstra dengan alasan yang dapat lebih

dipertanggungjawabkan. Dari hasil  $EVM_1$  dan  $EVM_2$  seperti diatas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa  $EVM_1$  atau Alternatif 1 lebih murah dari  $EVM_2$  atau Alternatif 2.

## **6.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan pada perencanaan pemulihan struktur jetty, maka berikut ini saran untuk penelitian lanjutan:

1. Perlunya analisis langsung agar lebih sesuai dengan data yang dipakai sehingga tidak banyak menggunakan subyektifitas individu.
2. Penentuan penilaian tingkat skala kerusakan dalam penelitian ini masih sangat kasar, sehingga pada penelitian selanjutnya perlu dicari *reference* atau dilakukan studi literatur.
3. Perlunya mata kuliah yang meninjau perencanaan penanganan pemulihan suatu struktur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Priminta, G. E. (2012). Metode Tree Fault Analisis. Retrieved Oktober 10, 2018, from <http://galihekapriminta.blogspot.com/2012/05/metode-fault-tree-analysis.html>
- [Andini, Mawasumi A., Hidayanti, Nurul. 2015. Manajemen Analisis Data I Makalah Uji Hipotesis. Retrieved May 10, 2019, from \[https://www.academia.edu/29223057/MANAJEMEN\\\_ANALISIS\\\_DATA\\\_I\\\_MAKALAH\\\_UJI\\\_HIPOTESIS\]\(https://www.academia.edu/29223057/MANAJEMEN\_ANALISIS\_DATA\_I\_MAKALAH\_UJI\_HIPOTESIS\)](#)
- Suprobo, Priyo. 2017. Analisa Resiko dan Keandalan Edisi Ke 2. Surabaya : ITS Press
- Priyanta, Dwi. 2000. Keandalan Dan Perawatan. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Widjanarka, Wijaya. 2006. Teknik Digital. Jakarta: Erlangga.
- Pyzdek, T. 2002, The six sigma handbook. Selemba Empat, Jakarta
- Blanchard, B. S. 2004, System Engineering Management. John wiley and sons, New Jersey.
- Matarul J., Mannan A.M., Safawi M.I, Ibrahim A., Jainudin N.A., Yusuh N.A. 2015. Performance-based Durability Indicators of Different Concrete Grades Made by the Local Ready Mixed Company: Preliminary

Results, Procedia - Social and Behavioral Sciences 224  
(2016) 620 – 625

Verma S.K., Bhadauria S.S., Akhtar S. 2014. Probabilistic Evaluation of Service Life for Reinforced Concrete Structures, Chinese Journal of Engineering, Volume 2014

Zhang W.M., Ba H.J. 2011, Accelerated Life Test Of Concrete In Chloride Environment,” Journal Ofmaterials In Civil Engineering, vol. 23, no. 3, pp. 330–334, 2011.

Rumsey, Deborah. 2011. Statistics Essentials For Dummies, Indiana : Wiley Publishing

Vivain, Rober W., 2013, Ending the Myth of the St.Petersburg Paradox, SAJEMS NS. 16 (2013), no.3, pp.348-364

Walke, Roopdarshan, Topkar, Vinay, and Kabiraj, Sajal, 2010, Risk Quantification using EVM Analysis- A Strategic Case of Ready Mix Concrete Plants, International Journal of Computer Sciences Issues (IJCSI), Issue 5, September 2010.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Perkiraan Biaya Perincian untuk Memperbaiki Dermaga yang Ada (Alternatif 1)

NO.	DESCRIPTION	UNIT	VOL	UNIT PRICE	TOTAL
<b>I</b>	<b>PRELIMINARY WORKS</b>	ls	1.0	1,093,062,260	<b>1,093,062,260.28</b>
<b>II</b>	<b>REPAIRING EXISTING JETTY</b>				
1	Concrete Chipping slab t=10 cm (top)	m2	2,400.0	78,000	187,200,000
2	Concrete Chipping slab t=10 cm (bottom)	m2	1,608.0	109,200	175,593,600
3	Concrete Chipping beam t=10 cm	m2	792.0	109,200	86,486,400
4	Removing corroded rebar on beam	kg	31,814.9	3,900	124,078,199
5	Removing corroded rebar on slab	kg	58,082.8	3,900	226,522,804
6	Installing Shear connector on slab	m2	200.0	600,000	120,000,000
7	Grouting new concrete cover on slab (bottom) t=10 cm	m3	160.8	20,000,000	3,216,000,000
8	Grouting new concrete cover on beam t = 10 cm	m3	72.7	20,000,000	1,453,440,000
9	Reinforcement on beam cover	kg	19,079.5	15,682	299,207,803
10	Pouring new concrete slab t=30 cm	m3	720.0	1,515,967	1,091,496,183
11	Reinforcement on new slab	kg	139,988.6	15,682	2,195,326,559
12	Installing formwork slab (edge)	m2	33.0	871,101	28,746,342
13	Installing FRP on beam	m2	3,564.0	1,000,000	3,564,000,000
14	Coating on slab	m2	1,608.0	100,000	160,800,000
15	Coating on beam	m2	2,772.0	100,000	277,200,000
					<b>13,206,097,890</b>
<b>III</b>	<b>REPAIRING EXISTING TRESTLE</b>				
1	Removing slab	m3	630.0	78,000	49,140,000
2	Removing Transversal Steel plate (Double WF 350x350x12x19)	kg	55,543.5	15,391	854,883,213
3	Adding new plate	kg	55,543.5	31,649	1,757,915,729
4	Adding plat double siku (L-100x100x10)	kg	16,704.8	31,649	528,696,460
5	Adding bolt diameter 16	nos	1,710.0	50,000	85,500,000
6	New Precast Concrete Slab (t=25 cm)	m3	630.0	1,515,967	955,059,160
7	Formwork for Precast concrete slab	m2	4,410.0	43,555.06	192,077,832
8	Reinforcement in precast concrete	kg	246,785.7	15,391	3,798,339,819
					<b>8,221,612,212</b>
<b>IV</b>	<b>REPAIRING EXISTING MOORING DOLPHIN</b>				
1	Concrete Chipping plat t=10 cm	m3	128.0	78,000	9,984,000
2	Removing corroded rebar	kg	2,019.7	3,900	7,877,021
3	Adding new rebar D19-300	kg	2,019.7	15,682	31,674,082
4	Grouting new concrete cover on slab	m3	12.8	20,000,000	256,000,000
5	Installing FRP	m2	128.0	1,000,000	128,000,000
					<b>433,535,103</b>
	<b>Sub Total</b>				<b>22,954,307,466</b>

## Lampiran 2 Perkiraan Biaya Perincian untuk Memperbaiki Dermaga yang Ada (Alternatif 2)

NO.	DESCRIPTION	UNIT	VOL	UNIT PRICE	TOTAL
<b>I</b>	<b>PRELIMINARY WORKS</b>	Is	1.0	1,131,484,666	<b>1,131,484,665.58</b>
<b>II</b>	<b>REPAIRING EXISTING JETTY</b>				
<b>A</b>	<b>Slab Works</b>				
1	Removing slab	m3	720.0	780,000	561,600,000
2	Removing slab rebar	m3	139,988.6	3,900	545,955,352
3	Pouring new concrete slab t=30 cm	m3	720.0	1,515,967	1,091,496,183
4	Reinforcement on new slab	kq	139,988.6	15,682	2,195,326,559
5	Installing formwork slab	m2	2,466.0	871,101	2,148,135,749
6	Coating on new slab (bottom)	m2	1,608.0	100,000	160,800,000
<b>B</b>	<b>Beam Works</b>				
1	Removing beam	m3	712.8	780,000	555,984,000
2	Removing beam rebar	m3	104,357.8	3,900	406,995,317
3	Pouring concrete on New transversal beam (800x1200)	m3	367.2	1,515,967	556,663,053
4	Reinforcement new transversal beam (800x1200)	kq	53,760.1	15,682	843,075,361
5	Installing Formwork new transversal beam	m2	1,350.5	1,271,101	1,716,596,852
6	Pouring concrete on new longitudinal beam (800x1200)	m3	345.6	1,515,967	523,918,168
7	Reinforcement new longitudinal beam (800x1200)	kq	50,597.7	15,682	793,482,693
8	Installing Formwork new longitudinal beam	m2	1,256.6	1,271,101	1,597,316,709
9	Coating on new beam	m2	2,772.0	100,000	277,200,000
					<b>13,974,545,996</b>
<b>III</b>	<b>REPAIRING EXISTING TRESTLE</b>				
1	Removing slab	m3	630.0	78,000	49,140,000
2	Removing Transversal Steel plate (Double WF 350x350x12x19)	kq	55,543.5	15,391	854,883,213
3	Adding new plate	kq	55,543.5	31,649	1,757,915,729
4	Adding plat double siku (L-100x100x10)	kq	16,704.8	31,649	528,696,460
5	Adding bolt diameter 16	kq	1,710.0	50,000	85,500,000
6	New Precast Concrete Slab (t=25 cm)	m3	630.0	1,515,967	955,059,160
7	Formwork for Precast concrete slab	m2	4,410.0	43,555.06	192,077,832
8	Reinforcement in precast concrete	kq	246,785.7	15,391	3,798,339,819
					<b>8,221,612,212</b>
<b>IV</b>	<b>REPAIRING EXISTING Mooring Dolphin</b>				
1	Concrete Chipping plat t=10 cm	m3	128.0	78,000	9,984,000
2	Removing corroded rebar	kq	2,019.7	3,900	7,877,021
3	Adding new rebar D19-300	kq	2,019.7	15,682	31,674,082
4	Grouting new concrete cover on slab	m3	12.8	20,000,000	256,000,000
5	Installing FRP	m2	128.0	1,000,000	128,000,000
					<b>433,535,103</b>
	<b>Sub Total</b>				<b>23,761,177,977</b>



Form AK/TA-04  
re-01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Supani ST., MT.
NAMA MAHASISWA	: Fauzan Bariza
NRP	: 03111540020125
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Perancangan Pemeliharaan Struktur Jetty Pada Jetty RU <u>VI</u> - Balongan
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	2 April 2019	Progres bab 4.1, 4.2, 4.3	- 4.3. → Hasil Perhitungan - Benar fTA - Masukkan data - Reliabilitas Struktur - Jelaskan konsep	
2)	9 April	- Benar Fakt Tree Analysis - Input data	- perkejas konsep - mulai susun laporan	
3)	16 April	- Laporan hasil wawancara	- menentukan Mu & Mn kapasitas	
4)	25 April	- menentukan Mu & Mn	- Cari State probability - Progres laporan	



Form AK/TA 04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	:	
NAMA MAHASISWA	:	
NRP	:	
JUDUL TUGAS AKHIR	:	
TANGGAL PROPOSAL	:	
NO. SP-MMTA	:	

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
	7 Mei 2019	Progres Perhitungan Data Half Cell Potential Test	Perhitungan Data Selesai	
	13 Mei 2019	Perhitungan Data Selesai	- Max. ke Word - Revisi laporan.	
	20 Mei 2019	Progres laporan	Progres laporan	
	22 Mei 2019	Progres laporan	Progres laporan. Revisi laporan	
	28 Mei 2019	Revisi laporan	Progres laporan Revisi laporan	

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Fauzan Bariza, biasa dipanggil Ojan. Dilahirkan di Jakarta, 20 Juni 1997, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh Pendidikan formal di TK Cempaka (Bekasi), SD Bani Saleh 1 (Bekasi), SMP Al – Azhar 9 (Bekasi), SMA Negeri 2 (Bekasi). Setelah lulus dari SMA Negeri 2 Bekasi tahun 2015, Penulis diterima di Departemen S1 Teknik

Sipil FTSLK-ITS pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 03111540000125. Didepartemen Teknik Sipil ini Penulis mengambil bidang studi Manajemen Konstruksi. Penulis pernah aktif dalam Himpunan Mahasiswa Sipil sebagai Staff Departemen Dalam Negeri 2016/2017 kemudian menjadi Kepala Biro Internal Departemen Dalam Negeri 2017/2018. Kemudian Penulis juga pernah mengikuti kegiatan kepanitiaan Ini Lho ITS tahun 2017. Selain itu, penulis juga mengikuti komunitas yang bergerak dalam bidang sosial yang bernama Jajan Pahala. Penulis berharap Tugas Akhir ini mampu menjadi manfaat bagi para pembaca. Apabila pembaca ingin berdiskusi dengan penulis dapat melalui:

e-mail : [fauzanbariza@gmail.com](mailto:fauzanbariza@gmail.com).