



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

**EVALUASI STRUKTUR TRESTLE DERMAGA DI
PROBOLINGGO SETELAH BERUMUR 26 TAHUN PADA
TAHUN 2018 DENGAN MENINJAU METODE PERBAIKAN
DAN PERKUATAN**

Mahasiswa

**DIO AGUNG SAPUTRA
NRP. 10111510000057**

**Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Muhammad Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003**

**Dosen Pembimbing II
R. Buyung Anugraha A., ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002**

**PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

**EVALUASI STRUKTUR TRESTLE DERMAGA DI
PROBOLINGGO SETELAH BERUMUR 26 TAHUN PADA
TAHUN 2018 DENGAN MENINJAU METODE PERBAIKAN
DAN PERKUATAN**

**DIO AGUNG SAPUTRA
NRP. 10111510000057**

**Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Muhammad Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003**

**Dosen Pembimbing II
R. Buyung Anugraha A., ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002**

**PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**



APPLIED FINAL PROJECT - VC 181819

**EVALUATING STRUCTURE OF TRESTLE PORT IN
PROBOLINGGO AFTER 26 YEARS OF AGE IN 2018 BY
REVIEWING THE REPAIR AND STRENGTHENING METHODS**

**DIO AGUNG SAPUTRA
NRP. 10111510000057**

**Supervisor I
Prof. Ir. Muhammad Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003**

**Supervisor II
R. Buyung Anugraha A., ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002**

**APPLIED DEGREE PROGRAM
DEPARTEMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING
FACULTY OF VOCATION
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2020**

LEMBAR PENGESAHAN

“EVALUASI STRUKTUR TRESTLE DERMAGA DI PROBOLINGGO SETELAH BERUMUR 26 TAHUN PADA TAHUN 2018 DENGAN MENINJAU METODE PERBAIKAN DAN PERKUATAN”

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik
Pada

Program Studi Diploma IV Teknik Sipil
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Surabaya, 31 Januari 2020

Disusun oleh:

MAHASISWA





Dio Agung Saputra

NRP. 10111510000057


31 JAN 2020

Disetujui oleh

DOSEN PEMBIMBING I



DOSEN PEMBIMBING II



31/01/20

Prof. Ir. M. Sigit D., M.Eng.Sc., Ph.D. R. Boyung Anugraha A., ST., MT.

NIP. 19630726 198903 1 003 NIP. 19740203 200212 1 002



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
 PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
 -/890/IT2.VI.8.1/PP.05.02/2020

Tanggal : 15/01/2020

Judul Tugas Akhir Terapan	Evaluasi Struktur Trestle Dermaga Di Probolinggo Setelah Berumur 26 Tahun pada Tahun 2018 dengan Meninjau Metode Perbaikan dan Perkuatan Struktur		
Nama Mahasiswa 1	Dio Agung Saputra	NRP	1011151000087
Dosen Pembimbing 1	Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D. NIP. 19630726 198903 1 003	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT. NIP. 19740203 200212 1 002	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
1. Lokasi Dermaga di Probolinggo → Judul diperbaiki 2. Jenis perbaikan → non struktural → perawakan 3. Keterangan pada tabel 4. Perhitungan volume	 Ir. Srie Subekti, MT. NIP. 19560520 198903 2 001
1. Alasan dilakukan kontrol struktur umur 26 tahun 2. Cek mutu beton rata-rata 3. Cek mutu baja yg digunakan sebagai perhitungan 4. Pengertian Best Case, Average Case, Worst Case 5. Cek perhitungan laru korosi pada tiang pancang 6. Kesimpulan dibuat pada masing-masing elemen balok, plat lander, pile cap.	 Afif Navir Refani ST., MT. NIP. 19840919 201504 1 001
	NIP -
	NIP -
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
Ir. Srie Subekti, MT. NIP. 19560520 198903 2 001	Afif Navir Refani ST., MT. NIP. 19840919 201504 1 001		

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjiilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	 Dosen Pembimbing 1	 Dosen Pembimbing 2
	Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D. NIP. 19630726 198903 1 003	R. Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT. NIP. 19740203 200212 1 002



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60118
Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Dio Agung Saputra. 2
NRP : 1 1011151000057 2
Judul Tugas Akhir : Evaluasi Struktur Trestle Dermaga Di Situbondo Setelah Berumur 26 Tahun Pada Tahun 2018 Dengan Meninjau Metode Perbaikan dan Penguatan Prof. Ir. Muhammed Sigit Darmawan
Dosen Pembimbing : R. Bulyung Anugraha

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
01	07-Feb-2019	<ul style="list-style-type: none"> Utk material bearing pad dapat di braur. Utk beban conveyor dri busur dan demo- dalkan dalam bentuk beban titik pada plat. Utk finder cari grafik reduksi beban berthung energy. Beban lingkungan no angin, air, gelombang. Beban angin hanya pada kapal (dg lihat asumsi elatungnya arah angin) Utk t. pencaang pakai bahan beton virtual set pada pile cap Cari asumsi berat kapal agar sesuai elastisitas. 		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
02	15-Feb-2019	<ul style="list-style-type: none"> Setelah tahap insiasi → propagasi A hitung kapasitas awal sebelum korosi Hitung elemen struktur yg mengalami korosi Hitung pengurangan ko diameter tulangan Hitung satu jumlah sampel uji dan lakukan reduksi. Nilai Cs pakai nilai pengujian. Utk elemen struktur yg mengalami spalling maka tetap diperhitungkan. 		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket :
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60118

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

: 1 Dio Agung Saputra 2

NRP

: 1 1011510000057 2

Judul Tugas Akhir

: Evaluasi Struktur Trestle Dermaga Di Situbondo Setelah Berumur 26 tahun Pada 2018 Dengan Meninjau Metode Perbaikan dan Penguatan

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Muhammad Sigit Parmawan

: R. Bayung Anugraha ST. MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
03	16 April 2019	Uji NMT digunakan utk memperkirakan aya, utk perhitungan memalui data uy DT				
		- Kondisi Ctn dg coba ² serta melihat kondisi lapangan (0,6 - 0,9)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Cek harga data to Htn kedepan				
		- Jika mutu beton shop drawing		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Absensi korosi kedepan memalui teoritis utk t. panyang				
04	16 April 2019	- Betonnya dihitung di menghitung data korosi		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Utk pengecekan elemen dicari yg paling kritis (stress ratio)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Utk mutu perkeatan dihitung memalui ctu to tahun kedepan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Utk cacat spalling dapat direduksi 5%.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.

- : = Lebih cepat dari jadwal
- C = Sesuai dengan jadwal
- K = Terlambat dari jadwal



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Dio Agung Saputra 2
NRP : 1 10111510000057 2
Judul Tugas Akhir : Evaluasi Struktur Trestle Dermaga Di Sitobondo setelah Benumer 26 Tahun pada tahun 2018 Dengan Meninjau Metode Perbaikan & Perkuatan
 - Prof. Ir. Muhammad Sigit Parnawan
Dosen Pembimbing : - R. Bayung Anugraha ST.MS.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
05	03-Okt-2019	1. Utk beban gelombang didekatkan dg ber referensi beban mara krr SAP2000 teh berisensi -		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
		2. Utk nilai k spring utk trestle tdk pada bisa dipertungkan krr data tdk ada, maka hasil bisa diberi catatan -		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		3. Syarat batas 0,1-0,3 mm/tahun masih kategori aman, coba cek syarat batas tularan (P/min).		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
		4. Utk beton UDL trestle sebesar 1-2 T/m ² . Beban UDL divariasikan pd pemodelan -		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		5. Coba cek utk kapasitas sambatan tiang pancang cabat dan pondasi ✓		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
06	09-Okt-2019	6. Cek pengaruh diafragma p ath kontrol tegangan plat.		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		7. Cek lendutan akibat beban Utk mengitung tegangan perbaikan. ✓		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
		1. Utk Ckn harus sama dan tentakkan koreksi best case.		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2. Koreksi berdasarkan realitis & teoritis dikan dangkan dg ko dan dihitung ulang. (SF)	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K			
		3. Lalu dibandingkan dg hasil mana yg lebih mondehakti.		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Dio Agung Seputra. 2
NRP : 1 1011510000057 2
Judul Tugas Akhir : Evaluasi Struktur Trestle Dermaga Di Situbondo setelah Berumur 26 Tahun Pada Tahun 2018 Dengan Merumuskan Metode Perbaikan & Penguatan.
 - Prof. Ir. M. Sigis Darmawan
Dosen Pembimbing : - R. Bayang Anugraha ST, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
07	22-Okt-2019	- Utk membandingkan tegangan keadaan service - - Utk kondisi sempa sdh melebihi ratio 1/0 ditulis dan diidentifikasi. - Coba dihitung akibat penambahan jacketing beton pada pampang. - Cek ke-ujr korosi pada plat bentuk trestle		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
08	25-Okt-2019	- Coba perbaikan breeding - Utk saran - Cantt perbaikan ketaraman ketinggian 2-6m dg D = 50-70 / 20-10 dm - Coba analisis tegangan dg penambahan diafragma pada girder menyangg. (saran) dg permedelan.		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
09	05-Nov-2019	- Utk as A - G coba digabung utk cek pampang - Tegangan retak plat di saran utk penambahan penguatan utk plat. - Penambahan diafragma baru sampai ke saran. - Utk tegangan vs tegangan ijin.		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

“EVALUASI STRUKTUR TRESTLE DERMAGA DI PROBOLINGGO SETELAH BERUMUR 26 TAHUN PADA TAHUN 2018 DENGAN MENINJAU METODE PERBAIKAN DAN PERKUATAN”

Mahasiswa : Dio Agung Saputra
NRP : 10111510000057
Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc., Ph.D
NIP : 19630726 198903 1 003

ABSTRAK

Desain struktur tahan harus diterapkan terhadap bangunan infrastruktur khususnya untuk struktur yang tidak terlindung atau dekat dengan laut seperti dermaga. Kerusakan beton di air laut disebabkan khlorida yang terkandung di air laut yaitu NaCl dan MgCl, akibat rusaknya beton tersebut menimbulkan baja tulangan tidak lagi memiliki lapisan pelindung dan mengalami korosi. Jika faktor ini dibiarkan tanpa ada *maintenance* secara berkala dapat menyebabkan turunnya kekuatan kapasitas dari masing-masing komponen struktur sehingga membahayakan keselamatan pengguna bangunan. Mengacu pada peraturan *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2012* bahwa jembatan (dermaga) yang dibangun harus mampu beroperasi dengan masa aman selama 75 tahun.

Inspeksi dan evaluasi struktur secara berkala sangat diperlukan, sehingga diharapkan dapat mengurangi besarnya penurunan material dan mampu bertahan hingga umur rencana. Pada tulisan ini akan membahas tentang inspeksi dan evaluasi struktur trestle dermaga di Probolinggo setelah berumur 26 tahun. Tahapan awal dalam pekerjaan ini ialah melakukan inspeksi visual langsung disertai dengan pengujian dan pengambilan benda uji dilapangan dengan metode *non destructive test* (NDT) dan *destructive test* (DT). Hasil dari inspeksi visual dan pengujian ini, akan digunakan dalam

mengevaluasi kinerja struktur saat ini serta memprediksi hingga 10 tahun kedepan dengan menggunakan standart dan peraturan yang berlaku sekarang. Serta mengetahui metode desain perbaikan dan perkuatan yang efisien dan dapat diterapkan guna menjaga struktur dermaga tersebut hingga 10 tahun kedepan.

Dari hasil evaluasi diketahui bahwa akibat terjadinya korosi setelah masa operasi selama 26 tahun elemen struktur mengalami penurunan kapasitas sebesar 10,18% pada plat lantai; 16,11% pada balok girder; 14,04% pada pile cap; 23,61% pada RCFT; dan 22,13% pada *steel pipe*. Untuk performa kapasitas struktur sendiri saat dilakukan *assessment* tahun 2018 masih cukup aman dalam memikul beban hingga 10 tahun kedepan dengan dibuktikan tidak adanya angka keamanan (SF) dibawah 1,0. Sehingga jenis perbaikan yang dilakukan hanya *non structural* seperti *epoxy injection*, *corrosion inhibitor coating*, *grouting non shrink* dan *patching*, dan *pile encapsulation grouting*.

Kata kunci: Inspeksi dan Evaluasi Struktur Dermaga, Uji Non Destructive dan Destructive, Korosi pada Beton, Laju Korosi, Metode Desain Perbaikan, Grouting.

**“EVALUATING STRUCTURE OF TRESTLE PORT IN
PROBOLINGGO AFTER 26 YEARS OF AGE IN 2018 BY
REVIEWING THE REPAIR AND STRENGTHENING
METHODS”**

College Student : Dio Agung Saputra
NRP : 10111510000057
Departement : Civil Infrastructure FV-ITS
Supervisor : Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc., Ph.D
NIP : 19630726 198903 1 003

ABSTRACT

Resistant structure designs must be applied to infrastructure buildings, especially for structures that are not protected or close to the sea such as a pier. Damage to concrete in seawater is caused by chlorides contained in seawater, namely NaCl and MgCl, due to damage to the concrete, reinforcing steel no longer has a protective layer and corrosion. If this factor is left without periodic maintenance it can cause a decrease in the strength of the capacity of each component of the structure, thus endangering the safety of building users. Referring to the AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2012 regulation that the bridge (pier) that was built must be able to operate with a safe period of 75 years.

Periodic structural inspection and evaluation is needed, so that it is expected to reduce the amount of material degradation and be able to last up to the planned life. This article will discuss the inspection and evaluation of the pier trestle structure in Probolinggo after 26 years of age. The initial stage in this work is conducting a direct visual inspection accompanied by testing and taking test specimens in the field with non-destructive test (NDT) and destructive test (DT) methods. The results of the visual inspection and testing will be used in evaluating the performance of the current structure and predicting it for the next 10 years using current standards and

regulations. And know the design methods of repair and reinforcement that are efficient and can be applied to maintain the structure of the pier for the next 10 years.

From the evaluation results it is known that due to corrosion after 26 years of operation the structural elements have decreased by 10.18% capacity on the floor plate; 16.11% in the girder beam; 14.04% in the pile cap; 23.61 on RCFT; and 22.13% in steel pipes. For the performance of the capacity of the structure itself during the 2018 assessment, it is still quite safe to carry the burden up to the next 10 years with the proven absence of safety (SF) values below 1.0. So that the type of repairs carried out are only non structural such as epoxy injection, corrosion inhibitor coating, grouting non shrink and patching, and pile encapsulation grouting.

Keywords: *Pier Structure Inspection and Evaluation, Non Destructive and Destructive Test, Concrete Corrosion, Corrosion Rate, Repair Design Method, Grouting.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang tak ternilai. Sholawat dan salam selalu tertuju pada Nabi Muhammad SAW yang senantiasa mendoakan keselamatan umatnya.

Alhamdulillah berkat kerja keras dan kerjasama dari berbagai pihak penulis berhasil menyelesaikan Proposal Tugas Akhir dengan judul “**Evaluasi Struktur Trestle Dermaga Di Probolinggo Setelah Berumur 26 Tahun Pada Tahun 2018 Dengan Meninjau Metode Perbaikan Dan Perkuatan**”. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak – pihak yang ikut serta dalam membantu dalam menyelesaikan laporan ini:

1. Orang tua yang mendukung perjuangan penulis dan selalu melantunkan doa-doa untuk perjuangan penulis
2. Bapak Prof. Ir. Muhammad Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D dan Bapak R. Buyung Anugraha A., ST., MT. selaku dosen pembimbing yang banyak memberikan bimbingannya kepada penulis
3. Teman – teman jurusan Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS yang telah memberikan bantuannya kepada kami dalam membuat karya kami

Penulis sadar bahwa laporan tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan serta kekhilafan. Oleh sebab itu komentar, kritik, dan saran yang membangun sangat penulis butuhkan demi kebaikan dan pengembangan karya kami agar dapat bermanfaat dan lebih baik kedepannya.

Surabaya, 31 Januari 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Peta Lokasi.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Umum	7
2.2 Peraturan Perencanaan	7
2.3 Struktur <i>Deck On Pile</i>	8
2.4 Retak pada Beton Bertulang.....	8
2.4.1 Retak Struktural	12
2.4.2 Retak Non-Struktural.....	13
2.5 Korosi pada Beton Bertulang.....	17
2.5.1 Periode Inisiasi Korosi.....	18
2.5.2 Periode Propagasi Korosi.....	24

2.5.3	Model Korosi Akibat Kerusakan pada Beton	28
2.6	Elemen Struktur	29
2.6.1	Pelat Lantai	30
2.6.2	Balok Dermaga.....	31
2.6.3	Pile Cap	31
2.7	Tinjauan Nominal Elemen Struktur.....	31
2.7.1	Momen Nominal.....	32
2.7.2	Geser Nominal.....	34
2.7.3	Torsi Nominal	36
2.8	Perencanaan Pembebanan Dermaga.....	36
2.8.1	Beban Horizontal.....	36
2.8.2	Beban Vertikal.....	46
2.9	Pemeriksaan Struktur Bawah	50
2.9.1	Daya Dukung Tiang yang Diiijinkan	50
2.9.2	<i>Spring Constant</i>	53
2.10	Metode Perbaikan	54
BAB III METODOLOGI		61
3.1	Diagram Alur Penyelesaian Tugas Akhir	61
3.2	Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir.....	63
3.3	Pengamatan Visual Kondisi Struktur	63
3.4	Penilaian Kondisi Eksisting Struktur.....	63
3.5	Pengumpulan Data dan Studi Literatur	66
3.5.1	Data Sekunder	66
3.5.2	Data Oceanografi.....	67

3.6	Studi Literatur	67
3.7	Analisa Pembebanan Struktur	68
3.7.1	Kombinasi Pembebanan.....	68
3.8	Analisa Kondisi Eksisting Kerusakan (Degradasi Material)	69
3.9	Analisa Gaya Dalam dan Permodelan Struktur	71
3.10	Analisa Kapasitas Struktur Berdasarkan <i>As Built Drawing</i>	71
3.11	Analisa Kapasitas Sisa Layan Dermaga	72
3.12	Perencanaan Metode Desain Perbaikan dan Perkuatan.....	73
3.13	Gambar Desain Perbaikan / Perkuatan	73
BAB IV HASIL SURVEY KONDISI STRUKTUR DAN UJI MATERIAL STRUKTUR		75
4.1	Umum	75
4.2	Inspeksi Visual.....	75
4.2.1	Kondisi Terkini Struktur Pada Trestle	77
4.2.3	Pengamatan Pola Retak Terjadi	80
4.3	Pengujian Material Struktur	82
4.3.1	Pengujian <i>Schmidt Hammer</i>	82
4.3.2	Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>	84
4.3.3	Pengujian <i>Bar Locator</i>	85
4.3.4	Pengujian <i>Half Cell Potential</i>	86
4.3.5	Pengujian <i>Resistivity</i>	88
4.3.6	Pengujian <i>Permeability</i>	90
4.3.7	Pengukuran Lebar dan Kedalaman Retak	92

4.3.8	Pengambilan Benda Uji dengan <i>Core Drill</i>	93
4.3.9	Uji Kuat Tekan Inti Beton	95
4.3.10	Uji Tarik Baja Tulangan.....	96
4.3.11	Uji Tingkat Durabilitas Beton Bertulang	97
4.3.12	Uji Porositas.....	100
4.3.13	Uji Korosi pada Baja Tulangan.....	100
4.3.14	Korelasi Uji <i>Hammer</i> dengan Uji Tekan Beton Inti.....	101
4.3.15	Korelasi Uji <i>UPV</i> dengan Uji Tekan Beton Inti.....	103
4.4	Uji Kandungan Air Laut.....	105
4.5	Pengukuran Ketebalan Baja (<i>Thickness</i>)	105
BAB V PEMBEBANAN		109
5.1	Beban Horizontal	109
5.1.1	Beban Gempa	109
5.1.2	Beban Gelombang dan Arus	115
5.2	Beban Vertikal	119
5.2.1	Beban UDL (<i>Uniform Distributed Load</i>).....	119
5.2.2	Beban Truck.....	120
5.2.3	Beban Peralatan.....	123
5.2.4	Beban Air Hujan.....	124
5.3	<i>Spring Constant</i> Tiang Dalam Tanah	124
5.4	Kombinasi Pembebanan.....	126
5.4.1	Kondisi Ultimate	126
5.4.2	Kondisi Gempa.....	127

BAB VI ANALISA DURABILITAS.....	129
6.1 Umum.....	129
6.2 Analisa Kandungan Air Laut	131
6.3 Durabilitas Trestle Dermaga	132
6.3.1 Analisa Uji Kuat Tekan Beton Inti.....	132
6.3.2 Analisa Uji Hammer.....	133
6.3.3 Analisa Uji Ultrasonic Pulse Velocity	133
6.3.4 Analisa Uji Porositas	134
6.3.5 Analisa Uji Resistivity	134
6.3.6 Analisa Uji <i>Half Cell Potensial</i>	135
6.3.7 Analisa Uji Permeability.....	135
6.3.8 Analisa Uji Penetrasi Chlor dan pH Beton.....	136
6.3.9 Analisa Uji <i>Bar Locator</i>	136
6.3.10 Analisa Uji Tebal Korosi Tulangan	137
6.3.11 Analisa Teoritis Perhitungan Korosi Beton Bertulang.....	137
6.3.12 Analisa Durabilitas Pondasi Tiang Pancang Baja.....	149
BAB VII ANALISA STRUKTUR DAN PEMBAHASAN	155
7.1 Umum.....	155
7.2 Permodelan Struktur	155
7.3 Analisa Elemen Struktur Plat Lantai	156
7.3.1 Perhitungan Struktur Plat Lantai	158
7.4 Analisa Elemen Struktur Balok Dermaga	166

7.4.1	Perhitungan Balok Girder Trestle Dermaga	167
7.5	Analisa Elemen Struktur PileCap Trestle	173
7.5.1	Perhitungan PileCap Trestle Dermaga	174
7.6	Analisa Elemen Struktur Tiang Pancang Trestle	180
7.6.1	Perhitungan Kapasitas Tiang Pancang Baja Trestle.....	181
7.7	Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang.....	194
7.7.1	Kapasitas Axial Daya Dukung Satu Tiang	194
7.7.2	Virtual Fixed Point (Z_r).....	200
7.7.3	Kapasitas Pondasi Kelompok.....	202
BAB VIII METODE PERBAIKAN DAN RAB		209
8.1	Umum	209
8.1.1	Kriteria Keretakan	209
8.2	Perbaikan Kerusakan pada Pelat Lantai Trestle	210
8.2.1	Metode Perbaikan Retak <i>Injection</i>	212
8.2.2	Metode Perbaikan <i>Corrosion Inhibitor Coating</i>	217
8.2.3	Metode Perbaikan <i>Concrete Coating</i>	219
8.3	Perbaikan Kerusakan pada PileCap Trestle	220
8.3.1	Metode Perbaikan <i>Grouting Flowable Micro Concrete</i>	226
8.4	Perbaikan Kerusakan pada <i>Jacketing Mortar</i> Tiang Pancang.....	234

8.4.1	Metode Perbaikan <i>Pile Encapsulation System</i>	236
8.5	Rencana Anggaran Biaya	241
8.5.1	Perkiraan Volume Pekerjaan	241
8.5.2	Daftar Harga Bahan	244
8.5.3	Daftar Analisa Harga Satuan	245
8.5.4	Analisa Rencana Anggaran Biaya	251
BAB IX	KESIMPULAN DAN SARAN	255
9.1	Kesimpulan	255
9.2	Saran	258
DAFTAR	PUSTAKA	261
BIODATA PENULIS		
UCAPAN TERIMA KASIH		
LAMPIRAN 1 (Data Uji Eksiting)		
LAMPIRAN 2 (Rekapitulasi Perhitungan Struktur)		
LAMPIRAN 3 (Brosur Material)		

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

BAB I PENDAHULUAN

Gambar 1.1 Kondisi Eksisting Trestle Dermaga.....	2
Gambar 1.2 Lokasi Trestle Dermaga (Sumber: googlemaps.com)	4

BAB II TINJAUAN PUSAKA

Gambar 2.1 Contoh keretakan pada struktur beton bertulang (Sumber: Journal “Classification of Concrete Cracks”)	8
Gambar 2.2 Layout trestle dermaga (a) Denah trestle (b) Denah Tiang Pancang (c) Potongan Memanjang dan Melintang	11
Gambar 2.3 Perkembangan Retakan pada struktur beton (Walraven, 2002)	12
Gambar 2.4 Plastic shrinkage cracks (National Ready Mixed Concrete Association)	13
Gambar 2.5 <i>Settlement Cracks (Cement and Concrete Association of Australia and Standards Australia, 2005)</i>	14
Gambar 2.6 Craziing concrete surface (Sumber: google.com)	15
Gambar 2.7 Drying shrinkage cracks (Sumber: google.com)	16
Gambar 2.8 Thermal cracks in a thick slab (Sumber: CTL, 2002).....	16
Gambar 2.9 Corrosion craks (Sumber: dok.pribadi, 2018)....	17
Gambar 2.10 Mekanisme periode korosi dan tingkat kerusakannya (Sumber: fib 2006)	18
Gambar 2.11 Tipe Korosi pada tulangan: (a) karbonasi, (b) serangan klorida, (c) Retak akibat korosi tegangan (Rodriguez et al., 1994)	19
Gambar 2.12 Representasi dari hukum akar kuadrat dalam diagram log, kemiringan 0,5 mewakili nilai konstanta K (Tuutti, 1996)	20

Gambar 2.13 Service life pada struktur beton yang mengalami korosi (Tuutti, 1982)	20
Gambar 2.14 Konsekuensi kerusakan utama korosi (Sumber: www.witpress.com).....	24
Gambar 2.15 Pengurangan Luasan Tulangan akibat serangan korosi seragam dan setempat	25
Gambar 2.16 Variasi prediksi icorr dengan waktu (Vu dan Stewart, 2000)	26
Gambar 2.17 Keretakan beton akibat korosi (Daily, 2007) ...	28
Gambar 2.18 Tipe Plat Lantai (a) pelat dua arah (b) pelat satu arah.....	30
Gambar 2.19 Letak tulangan pokok dan tulangan bagi.....	31
Gambar 2.20 Diagram tegangan beton bertulang	32
Gambar 2.21 Inertia coefficient (Technical standards for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002)	38
Gambar 2.22 Drag coefficient (Technical standards for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002)	38
Gambar 2.23 Peta percepatan puncak batuan dasar (PGA) berdasarkan SNI 2833-2016	40
Gambar 2.24 Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar berdasarkan SNI 2833-2016	41
Gambar 2.25 Peta respons spektra percepatan 1,0 detik di batuan dasar (S1) berdasarkan SNI 2833-2016.....	41
Gambar 2.26 Bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah (SNI 2833-2016).....	44
Gambar 2.27 Pembebanan Truck, 500kN (SNI 1725-2016)..	49
Gambar 2.28 Daya dukung ujung (Rp).....	50
Gambar 2.29 Faktor Adhesi, (API Metode-2, 1986)	51
Gambar 2.30 Hubungan Antara N-SPTcorr dengan Cu (Terzhagi dan Peck, 1967).....	52
Gambar 2.31 Koreksi Nilai N-SPT (Vesic, 1970)	52

BAB III METODOLOGI

Gambar 3.1 Diagram Alur Pekerjaan Tugas Akhir	62
Gambar 3.2 Kombinasi Pembebanan Dermaga (<i>Port of Long Beach Wharf Design Criteria</i>)	68

BAB IV HASIL SURVEY KONDISI STRUKTUR DAN UJI MATERIAL STRUKTUR

Gambar 4.1 Layout Trestle: Potongan Memanjang dan Melintang, Denah Tiang Pancang (Dari Atas ke Bawah)	76
Gambar 4.2 Kondisi Plat lantai trestle dan conveyor	77
Gambar 4.3 Retak diagonal pada plat lantai trestle	77
Gambar 4.4 Retak memanjang pada plat lantai trestle	77
Gambar 4.5 Kondisi balok girder dan plat lantai sisi bawah masih baik tidak ada keretakan	78
Gambar 4.6 PileCap beton mengalami retak keliling (mengelupas) dan spalling	78
Gambar 4.7 PileCap beton keropos dan tulangan terkorosi ...	79
Gambar 4.8 Selimut beton pancang baja mengalami keretakan	79
Gambar 4.9 Pola retak pada plat lantai trestle	80
Gambar 4.10 Pola retak pilecap as C-D	81
Gambar 4.11 Pola retak pilecap trestle as K-L	81
Gambar 4.12 Pola retak pilecap trestle as N-O	81
Gambar 4.13 Titik lokasi uji hammer	83
Gambar 4.14 Titik lokasi pengujian UPV	84
Gambar 4.15 Titik lokasi pengujian bar locator	86
Gambar 4.16 Titik lokasi pengujian Half-Cell Potential	87
Gambar 4.17 Titik lokasi pengujian Resistivity	89
Gambar 4.18 Titik lokasi pengujian permeability	91
Gambar 4.19 Lokasi pengujian kedalaman dan lebar retak ...	92

Gambar 4.20 Titik lokasi pengambilan sample Core Drill	94
Gambar 4.21 Hasil Tes Karbonasi pada sample Core Drill .	100
Gambar 4.22 Salah satu contoh uji foto makro dan korosi permukaan tulangan kode T.4	101
Gambar 4.23 Grafik regresi korelasi hubungan hammer dengan uji tekan core drill	102
Gambar 4.24 Grafik Regresi Korelasi Hubungan Kuat Tekan hasil uji Beton Inti dengan Uji Ultrasonic Pulse Velocity ..	104
Gambar 4.25 Pengukuran Ketebalan Baja Pada Tiang Pancang	106

BAB V PEMBEBANAN

Gambar 5.1 Respons Spektrum Desain	114
Gambar 5.2 Input beban gempa respon spektrum pada SAP2000	114
Gambar 5.3 Input Wave Load pada permodelan SAP2000 .	118
Gambar 5.4 Input variasi beban UDL 1 pada permodelan SAP2000	119
Gambar 5.5 Input variasi beban UDL 2 pada permodelan SAP2000	119
Gambar 5.6 Input variasi beban UDL 3 pada permodelan SAP2000	119
Gambar 5.7 Input variasi beban UDL 4 pada permodelan SAP2000	120
Gambar 5.8 Input variasi beban UDL 5 pada permodelan SAP2000	120
Gambar 5.9 Input variasi beban UDL 6 pada permodelan SAP2000	120
Gambar 5.10 Letak lane 1 moving load.....	121
Gambar 5.11 Letak lane 2 moving load.....	121
Gambar 5.12 Letak lane 3 moving load.....	122

Gambar 5.13 Input moving load truck pada permodelan SAP2000	123
Gambar 5.14 Conveyor Belt (Sumber: dok. pribadi)	123
Gambar 5.15 Permodelan dan Input Spring Constant pada permodelan SAP2000.....	126

BAB VI ANALISA DURABILITAS

Gambar 6.1 Degradasi Mutu Beton Elemen PileCap Dermaga	141
Gambar 6.2 Prediksi Laju Korosi Teoritis dan Actual Elemen Plat Lantai Trestle	145
Gambar 6.3 Prediksi Laju Korosi Teoritis dan Actual Elemen PileCap Trestle.....	145
Gambar 6.4 Waktu inisiasi korosi dan waktu retak untuk lebar retak maksimum 1,0 mm plat trestle dermaga	149
Gambar 6.5 Hasil Pengamatan Sistem Proteksi Katodik	151

BAB VII ANALISA STRUKTUR DAN PEMBAHASAN

Gambar 7.1 Permodelan Struktur Jetty Dermaga	156
Gambar 7.2 Hasil Gaya Dalam Momen Area Plat Akibat Kombinasi Pembebanan 1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T (M11)	156
Gambar 7.3 Hasil Gaya Dalam Momen Area Plat Akibat Kombinasi Pembebanan 1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T (M22)	157
Gambar 7.4 Hasil Kontur Tegangan Area Plat Akibat Kombinasi Pembebanan 1D + 1L + 1T (S22 _{TOP}).....	157
Gambar 7.5 Hasil Kontur Tegangan Area Plat Akibat Kombinasi Pembebanan 1D + 1L + 1T (S22 _{BOTTOM}).....	158
Gambar 7.6 Detail Tulangan Potongan Melintang Plat Lantai Trestle	159
Gambar 7.7 Penurunan Kemampuan Slab Trestle (Daerah Lapangan)	162

Gambar 7.8 Penurunan Kemampuan Slab Trestle (Daerah Tumpuan)	163
Gambar 7.9 Geser Dua Arah pada Plat Lantai	164
Gambar 7.10 Lendutan yang terjadi pada balok dan plat lantai trestle	165
Gambar 7.11 Hasil Gaya Dalam Balok Trestle Akibat Kombinasi Pembebanan $1,3D + 1,8L$	166
Gambar 7.12 Detail Tulangan Pot. Melintang Balok Trestle	167
Gambar 7.13 Grafik Penurunan Kemampuan Lentur Balok Girder Trestle Bagian Tengah As C-X Kombinasi $1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T$	170
Gambar 7.14 Grafik Penurunan Kemampuan Geser Balok Girder Trestle Bagian Tengah As C-X Kombinasi $1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T$	172
Gambar 7.15 Hasil Gaya Dalam PileCap Trestle Row D, E, F Akibat Kombinasi Pembebanan $1D + 0,5L + E$ (R=3)	173
Gambar 7.16 Hasil Gaya Dalam PileCap Trestle Row D, E, F Akibat Kombinasi Pembebanan $1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T + 1,3W$	173
Gambar 7.17 Detail Tulangan Potongan Melintang PileCap Trestle Row D, E, F	174
Gambar 7.18 Grafik Penurunan Kemampuan Lentur Negatif PileCap Trestle Row D, E, F Kombinasi $1D + 0,5L \pm 1E$ (R=3)	177
Gambar 7.19 Grafik Penurunan Kemampuan Lentur Positif PileCap Trestle Row D, E, F Kombinasi $1D + 0,5L \pm 1E$ (R=3)	178
Gambar 7.20 Grafik Penurunan Kemampuan Geser PileCap Trestle Row D, E, F Kombinasi $1D + 0,5L \pm 1E$ (R=3)	180
Gambar 7. 21 Hasil Gaya Dalam Tiang Pancang Baja As A Trestle Akibat Kombinasi Pembebanan $1D + 0,5L + E$ (R=1)	180

Gambar 7.22 Detail Tiang Pancang Baja	181
Gambar 7.23 Plastic Stress Distribution for Reinforced Concrete Fill Tubes	184
Gambar 7.24 Plastic neutral axis for RCFT.....	185
Gambar 7.25 Steel Stress Check Data Output SAP2000 Elemen Tiang Pancang Komposit Terisi Beton.....	191
Gambar 7.26 Steel Stress Check Data Output SAP2000 Elemen Tiang Pancang Baja.....	191
Gambar 7.27 Ratio P-M ouput SAP2000 elemen tiang pancang	192
Gambar 7.28 Hubungan antara N-SPTcorrection dengan Cu (Sumber: Terzhagi and Peck, 1967)	196
Gambar 7.29 Proyeksi Q_{ult} terhadap vertikal dan horizontal	197
Gambar 7.30 Letak fixity point pada tiang pancang	200
Gambar 7.31 Pondasi Row I, K, O Bagian Tengah	202
Gambar 7.32 Gaya yang terjadi pada pilecap dan tiang pancang Row I, K, O bagian tengah.....	204

BAB VIII METODE PERBAIKAN DAN RAB

Gambar 8.1 Ilustrasi keseluruhan metode perbaikan pada trestle.....	210
Gambar 8.2 Ilustrasi perbaikan kerusakan retak dengan injection epoxy method	211
Gambar 8.3 Pola retak pada lantai atas trestle	212
Gambar 8.4 Sketsa dan prinsip metode injeksi beton	212
Gambar 8.5 Ilustrasi pekerjaan chipping	214
Gambar 8.6 Ilustrasi pemasangan nipple	214
Gambar 8.7 Ilustrasi penutupan retak	215
Gambar 8.8 Ilustrasi penyambungan antar kepala nipple	215
Gambar 8.9 Ilustrasi proses injeksi.....	216
Gambar 8.10 Ilustrasi tahap akhir proses injeksi	216

Gambar 8.11 Ilustrasi finishing akhir pelepasan nipple	217
Gambar 8.12 Ilustrasi proses impregnasi pada corrosion inhibitor	217
Gambar 8.13 Ilustrasi pembersihan permukaan beton	218
Gambar 8.14 Ilustrasi pengolesan corrosion inhibitor	219
Gambar 8.15 Pola retak pada pilecap trestle as C dan D	220
Gambar 8.16 Pola retak pada pilecap trestle as E dan F	221
Gambar 8.17 Pola retak pada pilecap trestle as G dan H	221
Gambar 8.18 Pola retak pada pilecap trestle I dan J	222
Gambar 8.19 Pola retak pada pilecap trestle as K dan L	222
Gambar 8.20 Pola retak pada pilecap trestle as N dan O	223
Gambar 8.21 Pola retak pada pilecap trestle as P dan Q	223
Gambar 8.22 Pola retak pada pilecap trestle as R dan S	224
Gambar 8.23 Pola retak pada pilecap trestle as T dan U	224
Gambar 8.24 Uji karbonasi dan spalling selimut beton	225
Gambar 8.25 Sketsa dan prinsip perbaikan dengan metode grouting flowable micro concrete	226
Gambar 8.26 Ilustrasi perbaikan grouting pada pilecap	227
Gambar 8.27 Ilustrasi Pekerjaan Marking Area Spalling	228
Gambar 8.28 Ilustrasi Pemasangan Scaffolding untuk Perbaikan Pile Cap	228
Gambar 8.29 Ilustrasi Pekerjaan Chipping Beton	229
Gambar 8.30 Ilustrasi Pembersihan Baja Tulangan Terkorosi	229
Gambar 8.31 Ilustrasi Penambahan Baja Tulangan pada Tulangan yang Terkorosi	230
Gambar 8.32 Ilustrasi Pengelasan Baja Tulangan Baru pada Tulangan yang Terkorosi	230
Gambar 8.33 Ilustrasi Pemasangan Formwork	231
Gambar 8.34 Ilustrasi Pre-Placed Aggregate	231

Gambar 8.35 Ilustrasi pengecekan formwork dan material .	232
Gambar 8.36 Ilustrasi Proses Injection Grouting Non-Shrink	232
Gambar 8.37 Ilustrasi Pelepasan Formwork pada pilecap ...	233
Gambar 8.38 Ilustrasi hasil akhir perbaikan grouting	233
Gambar 8.39 Kondisi kerusakan jacketing mortar pancang	234
Gambar 8.40 Pemeriksaan tebal pancang dan cathodic bawah air laut	234
Gambar 8.41 Detail pile encapsulation system	235
Gambar 8.42 Metode Perbaikan Pile Encapsulation	236
Gambar 8.43 Ilustrasi pembersihan permukaan tiang	237
Gambar 8.44 Ilustrasi pengolesan seal gasket dengan epoxy pasta	238
Gambar 8.45 Ilustrasi pemasangan fiberglass jacket terhadap struktur tiang pancang	238
Gambar 8.46 Ilustrasi pemasangan temporary bracing pada fiberglass jacket.....	239
Gambar 8.47 Ilustrasi proses injeksi epoxy grout.....	239
Gambar 8.48 Ilustrasi injeksi epoxy grout hingga topping off	240
Gambar 8.49 Ilustrasi finishing pengecekan akhir Pile Encapsulation System	240

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 2.1 Klasifikasi Retak (Sumber: Journal “Classification of Concrete Cracks”)	9
Tabel 2.2 Sensivitas waktu inisiasi korosi untuk paparan lingkungan terhadap baja karbon (Wers dkk, 1993)	22
Tabel 2.3 Sensivitas dari waktu inisiasi korosi untuk tingkat ambang klorida dengan eksposur berbeda, Cth (Trejo dan Pillai, 2004)	22
Tabel 2.4 Berbagai nilai kadar kritis klorida (Stewart dan Faber, 2003)	23
Tabel 2.5 Acuan Retak Struktural sesuai (ACI 224R-01)	29
Tabel 2.6 Kelas Situs Tanah (SNI 2833-2016)	42
Tabel 2.7 Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (FPGA/Fa) (SNI 2833-2016)	43
Tabel 2.8 Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (Fv) (SNI 2833-2016)	44
Tabel 2.9 Zona Gempa (SNI 2833-2016)	45
Tabel 2.10 Faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah (SNI 2833-2016)	46
Tabel 2.11 Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur (SNI 2833-2016)	46
Tabel 2.12 Besaran Beban Mati (SNI 1725-2016)	46
Tabel 2.13 Faktor beban untuk berat sendiri (SNI 1725-2016)	47
Tabel 2.14 Faktor beban untuk beban mati tambahan (SNI 1725-2016)	47
Tabel 2.15 Beban hidup merata dermaga	48
Tabel 2.16 Faktor Keamanan Tanah	51
Tabel 2.17 Macam-macam metode perbaikan	58

BAB III METODOLOGI

Tabel 3.1 Penyebab Retak pada beton	69
Tabel 3.2 Jenis dan bentuk retakan.....	70

BAB IV HASIL SURVEY KONDISI STRUKTUR DAN UJI MATERIAL STRUKTUR

Tabel 4.1 Hasil rata-rata nilai uji hammer	82
Tabel 4.2 Hasil rata-rata nilai uji UPV	85
Tabel 4.3 Hubungan nilai potensial tulangan dengan kemungkinan korosi pada tulangan (ASTM C 876)	88
Tabel 4.4 Parameter beton berdasar nilai Permeability.....	90
Tabel 4.5 Hasil nilai rerata uji Permeability	91
Tabel 4.6 Hasil rerata pengukuran kedalaman dan lebar retak	93
Tabel 4.7 Rincian sample Core Drill	93
Tabel 4.8 Sample untuk uji tekan, tarik baja, chlor penetration, dan pH.....	95
Tabel 4.9 Hasil uji tekan beton Core Drill	95
Tabel 4.10 Evaluasi Nilai Kuat Tekan Beton Inti (Thn 2018) Trestle Dermaga	96
Tabel 4.11 Hasil uji tarik baja Core Drill	97
Tabel 4.12 Evaluasi Nilai Kuat Tarik Baja (Thn 2018) Trestle Dermaga	97
Tabel 4.13 Nilai pH dan Chlor beton pada sample Core Drill	98
Tabel 4.14 Hasil Uji Porositas Beton Sample Core Drill	100
Tabel 4.15 Hasil uji ketebalan korosi tulangan.....	101
Tabel 4.16 Korelasi Hubungan Tegangan antara Hasil Core Drill Beton dengan Hammer Test pada seluruh elemen struktur	102
Tabel 4.17 Korelasi Hubungan Kuat Tekan dari Hasil Uji Beton Inti dengan Uji UPV	103

Tabel 4.18 Klasifikasi tingkat kepadatan beton menurut BS1881-1986 (2004).....	104
Tabel 4.19 Hasil Uji Analisis Kandungan Air	105

BAB V PEMBEBANAN

Tabel 5.1 Perhitungan N-SPT rata-rata	109
Tabel 5.2 Respons Spektrum Desain.....	113
Tabel 5.3 Beban gelombang untuk berbagai kondisi	116
Tabel 5.4 Beban arus untuk berbagai kondisi	117
Tabel 5.5 Spesifikasi Conveyor Belt	124
Tabel 5.6 Rekapitulasi hasil Spring Constant tiap 1m	124

BAB VI ANALISA DURABILITAS

Tabel 6.1 Indicative design working life categories for maritime works	129
Tabel 6.2 Inspection Schedule.....	130
Tabel 6.3 Paparan kelas untuk kandungan air (Sumber: EN 206-1).....	131
Tabel 6.4 Paparan kelas untuk kandungan air (Sumber: SNI 2847-2013).....	132
Tabel 6.5 Nilai Kuat Tekan Beton (Thn 2018) Tiap Elemen	132
Tabel 6.6 Nilai Korelasi Uji Hammer (Thn 2018) Tiap Elemen	133
Tabel 6.7 Nilai Korelasi Uji UPV (Thn 2018) Tiap Elemen	133
Tabel 6.8 Hasil Uji Porositas (Tahun 2018) Tiap Elemen ...	134
Tabel 6.9 Hasil Uji Resistivity (Tahun 2018) Tiap Kondisi Trestle Dermaga	134
Tabel 6.10 Hasil Uji Half Cell (Tahun 2018) Tiap Kondisi Trestle Dermaga	135
Tabel 6.11 Hasil Uji Permeability (Tahun 2018) Tiap Elemen	135

Tabel 6.12 Hasil Uji Penetrasi Chlor dan pH (Tahun 2018) Tiap Elemen	136
Tabel 6.13 Hasil Uji Bar Locator (Tahun 2018) Tiap Kondisi Trestle Dermaga	136
Tabel 6.14 Hasil Uji Tebal Korosi (Tahun 2018) Tiap Elemen	137
Tabel 6.15 Prediksi Penurunan Mutu Beton Elemen PileCap Demaga	141
Tabel 6.16 Penurunan Mutu Baja Tulangan Dermaga	142
Tabel 6.17 Rekapitulasi Analisa Teoritis Durabilitas tiap elemen dermaga s/d 10 tahun	143
Tabel 6.18 Rekapitulasi Kecepatan Korosi Teoritis dan Aktual tiap elemen dermaga s/d 10 tahun	143
Tabel 6.19 Rekapitulasi Analisis Lebar dan Waktu Retak Tiap Elemen	149
Tabel 6.20 Rekapitulasi Pengurangan Tebal Baja Pancang Trestle	150
Tabel 6.21 Rekapitulasi kapasitas penampang RCFT.....	186
Tabel 6.22 Rekapitulasi kapasitas penampang steel pipe.....	189

BAB VII ANALISA STRUKTUR DAN PEMBAHASAN

Tabel 7.1 Hasil Momen Ultimit Area Plat Lantai Trestle	158
Tabel 7. 2 Hasil Tegangan Ijin Area Plat Lantai Trestle.....	158
Tabel 7.3 Penurunan Kemampuan Plat Lantai Trestle Kondisi <i>Average (Actual)</i>	162
Tabel 7.4 Penurunan Kemampuan Plat Lantai Trestle Kondisi <i>Worst Case (Teoritis)</i>	162
Tabel 7.5 Hasil Gaya Dalam Balok Girder Trestle Bagian Tengah As C-X	167
Tabel 7.6 Hasil Gaya Dalam Balok Girder Trestle Bagian Tepi As C-X	167

Tabel 7.7 Penurunan Kemampuan Lentur Balok Girder Trestle Bagian Tengah As C-X Kombinasi 1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T.....	170
Tabel 7.8 Penurunan Kemampuan Geser Balok Girder Trestle Bagian Tengah As C-X Kombinasi 1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T.....	172
Tabel 7.9 Hasil Gaya Dalam PileCap Trestle Row D, E, F .	174
Tabel 7.10 Penurunan Kemampuan Lentur Negatif PileCap Trestle Row D, E, F Kombinasi 1D + 0,5L ± 1E (R=3)	177
Tabel 7.11 Penurunan Kemampuan Lentur Positif PileCap Trestle Row D, E, F Kombinasi 1D + 0,5L ± 1E (R=3)	177
Tabel 7.12 Penurunan Kemampuan Geser PileCap Trestle Row D, E, F Kombinasi 1D + 0,5L ± 1E (R=3)	179
Tabel 7.13 Hasil Gaya Dalam Tiang Pancang Trestle As A-C	181
Tabel 7.14 Koreksi Nilai N-SPT (Vesic, 1970).....	195
Tabel 7.15 Rekapitulasi hasil perhitungan daya dukung axial tiang pancang	198
Tabel 7.16 Rekapitulasi hasil perhitungan fixity point	201
Tabel 7.17 Tabel perhitungan jarak tiang ke titik pusat.....	205
BAB VIII METODE PERBAIKAN DAN RAB	
Tabel 8.1 Rekapitulasi retak beton pada plat lantai.....	209
Tabel 8.2 Perbandingan tegangan ijin area plat lantai trestle	211
Tabel 8.3 Perhitungan Volume Pekerjaan Injection Plat Lantai	241
Tabel 8.4 Perhitungan Luas Pekerjaan Coating Plat Lantai	242
Tabel 8.5 Perhitungan Luas Pekerjaan Coating Balok Girder.....	242

Tabel 8.6 Perhitungan Volume Pekerjaan Grouting PileCap.....	242
Tabel 8.7 Perhitungan Volume Pekerjaan Patching PileCap.....	242
Tabel 8.8 Perhitungan Kebutuhan Pile Encapsulation per tiang.....	243
Tabel 8.9 Rekapitulasi Daftar Harga Bahan	244
Tabel 8.10 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Epoxy Injection (pembayaran dalam liter)	245
Tabel 8.11 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Corrosion Inhibitor Coating (pembayaran dalam m ²).....	246
Tabel 8.12 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Concrete Coating (pembayaran dalam m ²).....	247
Tabel 8.13 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Grouting Non Shrink (pembayaran dalam m ³).....	248
Tabel 8.14 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Patching (pembayaran dalam m ³)	249
Tabel 8.15 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Pile Encapsulation (pembayaran dalam buah)	250
Tabel 8.16 Analisa Keseluruhan Rencana Anggaran Biaya	251
Tabel 8.17 Rekapitulasi Total Rencana Anggaran Biaya Perbaikan Trestle.....	253

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang di dunia dengan tingkat perkembangan penduduk yang tinggi. Tingginya kepadatan penduduk tersebut mendorong adanya pembangunan yang berkaitan dengan kebutuhan tempat tinggal. Hal ini berdampak pada penggunaan listrik negara yang secara tidak langsung ikut meningkat. Seiring berkembangnya zaman, listrik menjadi kebutuhan primer untuk menunjang keperluan setiap manusia.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap hasil pembakaran batubara untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu PLTU terbesar adalah PLTU di Probolinggo yang berada di kompleks pembangkit listrik di Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo. Pada PLTU ini dilengkapi dengan dermaga yang berguna untuk penerimaan batubara serta dilengkapi dengan rute pengangkutan batubara ke lapangan penumpukan. Dermaga ini harus direncanakan pada ukuran minimal untuk menjaga agar kapal dapat dengan mudah dan aman bertambat/meninggalkan dermaga setelah melakukan bongkar muat muatannya.

Dermaga ini merupakan tipe *jetty* sehingga berada menjorok ke laut, oleh karenanya terdapat bangunan trestle sebagai penghubung daratan ke *jetty*. Menurut Murdock (1991) durabilitas material struktur baik beton maupun baja dapat berkurang atau mengalami degradasi akibat serangan air laut. Kerusakan beton di air laut disebabkan khlorida yang terkandung di air laut, yaitu NaCl dan MgCl (Neville, 1981). Akibat rusaknya beton tersebut menimbulkan baja tulangan tidak lagi memiliki lapisan pelindung dan mengalami korosi. Berkurangnya kemampuan durabilitas beton dan baja, menyebabkan *serviceability* materialnya menurun.

Trestle dermaga ini dibangun pada tahun 1991, sehingga pada tahun 2018 ini umur bangunan tersebut sudah mencapai 26 tahun. Untuk menjaga perilaku durabilitas material selama masa layannya dan masa mendatang, maka perlu dilakukan pekerjaan *assessment* atau penilaian guna mengetahui kondisi terkini struktur trestle dermaga tersebut.

Pada tugas akhir ini penulis akan melakukan evaluasi terhadap struktur trestle dermaga. Yang nantinya digunakan untuk melakukan analisa perbaikan dan perkuatan yang bisa diterapkan sesuai dengan lokasi pekerjaan guna dermaga tersebut dapat selalu mendukung PLTU dalam memenuhi kebutuhan listrik negara.



Gambar 1.1 Kondisi Eksisting Trestle Dermaga

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diambil dalam tugas akhir ini ialah sebagai berikut :

- a) Bagaimana pengaruh korosi air laut pada struktur trestle dermaga ?
- b) Bagaimana menentukan permodelan dan asumsi pembebanan pada trestle dermaga ?
- c) Bagaimana analisa kapasitas eksisting penampang struktur trestle dermaga terkait kerusakan struktur yang ada ?
- d) Bagaimana metode perbaikan dan perkuatan yang dapat diterapkan pada struktur trestle dermaga ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini sebagai berikut:

- a) Dapat menganalisa pengaruh dari lingkungan korosif air laut terhadap struktur trestle dermaga
- b) Dapat menentukan permodelan dan asumsi pembebanan yang sesuai kondisi eksisting trestle dermaga
- c) Dapat menganalisa dan mengetahui kapasitas eksisting struktur trestle dermaga dengan memasukkan kerusakan yang terjadi
- d) Dapat mengetahui dan menetapkan metode perbaikan dan perkuatan pada struktur trestle dermaga yang efisien dan dapat diterapkan

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diambil pada Tugas Akhir ini ialah sebagai berikut :

- a) Evaluasi struktur hanya meninjau struktur trestle dermaga
- b) Jenis korosi yang terjadi diasumsikan merupakan korosi seragam (*uniform corrosion*)
- c) Pembebanan gempa hanya dilakukan dengan respon spektrum
- d) Metode pelaksanaan yang dibahas hanya metode pelaksanaan perbaikan dan perkuatan struktur yang diterapkan
- e) RAB yang ditinjau hanya pada kebutuhan penentuan rencana metode perbaikan dan perkuatan

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penyusunan dari Tugas Akhir ini ialah :

- a) Dapat mengetahui konsep perkuatan dari struktur dermaga
- b) Mengetahui hal-hal yang harus diperhatikan pada saat evaluasi struktur sehingga menghasilkan kesimpulan yang rasional dan dapat diterapkan

- c) Mengetahui tentang konsep perhitungan struktur dermaga akibat pengaruh korosi
- d) Menjadi referensi bagi mahasiswa, pemerintah, atau instansi lain

1.6 Peta Lokasi

Lokasi dermaga PLTU Paiton ini berada pada Jl. Raya Surabaya-Probolinggo Km. 142, Bhinor, Paiton, Area Sawah, Bhinor, Paiton, Probolinggo, Jawa Timur.



Gambar 1.2 Lokasi Trestle Dermaga (Sumber: googlemaps.com)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Desain struktur tahan harus diterapkan terhadap bangunan infrastruktur seperti gedung, jembatan, dermaga, dan lain sebagainya guna menjamin keselamatan penghuni disekitarnya. Evaluasi struktur sangat diperlukan pada bangunan yang telah ada salah satunya dermaga (eksisting dermaga), hal tersebut dilakukan karena adanya penurunan kualitas material (degradasi material) akibat adanya korosi. Degradasi material pada dermaga selama umur layannya (*service life*) perlu dipertimbangkan. Jika faktor ini dibiarkan tanpa ada *maintenance* secara berkala dapat menyebabkan turunnya kekuatan kapasitas dari komponen struktur sehingga membahayakan keselamatan pengguna bangunan.

2.2 Peraturan Perencanaan

Berikut ialah acuan yang digunakan untuk persyaratan evaluasi struktur trestle dermaga antara lain:

- Perencanaan beban gempa sesuai dengan SNI 2833-2016, Standart Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan
- Perencanaan beban mati dan beban hidup sesuai dengan SNI 1725-2016
- Perhitungan kapasitas struktur dermaga sesuai dengan SNI 03-2847-2013, Tata Cara Perlindungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung
- Perencanaan Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, 2009
- *Standart Design and Criteria for Port in Indonesia, 1994*
- *Techinal Standards for Port and Harbour Facilities in Japan (2002)*
- *Port of Long Beach Wharf Design Criteria*
- Jurnal-jurnal yang berkaitan dengan korosi pada beton bertulang dan evaluasi struktur dermaga

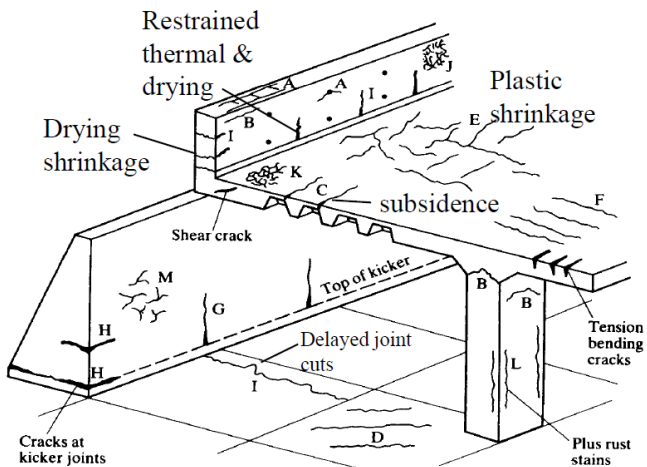
2.3 Struktur *Deck On Pile*

Struktur dermaga *deck on pile* (*open type structure*) menggunakan serangkaian tiang pancang (*piles*) sebagai pondasi untuk lantai dermaga. Pada umumnya, jenis struktur tiang pada struktur dermaga “*Deck On Pile*” sedikit sensitif terhadap getaran-getaran lokal seperti tumbukan bawah air akibat haluan kapal dibandingkan struktur dermaga lainnya. Untuk layout dari struktur trestle disajikan pada gambar 2.2.

2.4 Retak pada Beton Bertulang

Retak pada beton merupakan fenomena yang sering terjadi pada struktur beton bertulang. Pada beton yang mengalami keretakan merupakan cacat serius, karena dalam hal ini dapat mempengaruhi kekuatan, fungsi atau penampilan. Maka dari itu perlu dilakukan identifikasi tentang jenis dan penyebab utama dari timbulnya retak-retak tersebut.

Jenis retakan memberikan informasi yang berguna untuk membantu memahami efek retakan pada stabilitas struktural. Gambar berikut menyajikan ringkasan dari berbagai jenis retakan beton dan kemungkinan penyebabnya.



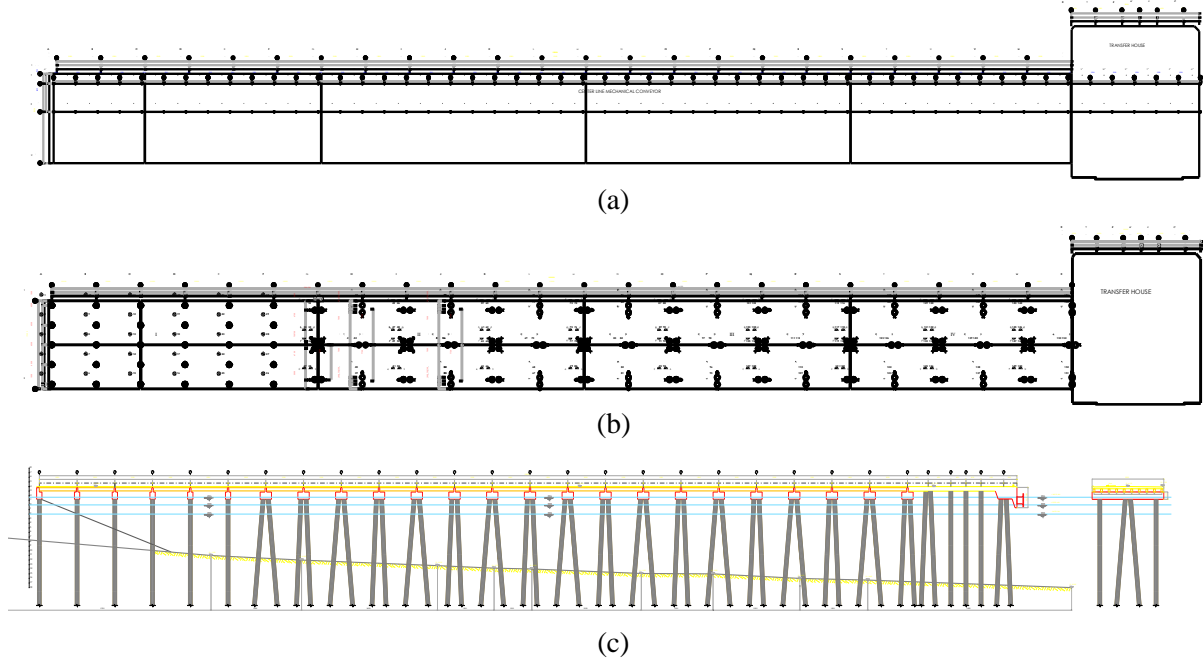
Gambar 2.1 Contoh keretakan pada struktur beton bertulang
(Sumber: *Journal “Classification of Concrete Cracks”*)

Untuk keterangan simbol pada gambar 2.1 tersebut dijelaskan pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Klasifikasi Retak (Sumber: *Journal “Classification of Concrete Cracks”*)

<i>Type of Cracking</i>	<i>Letter (See Figure I.4)</i>	<i>Subdivision</i>	<i>Most Common Location</i>	<i>Primary Cause (Excluding Restraint)</i>	<i>Secondary Causes / Factors</i>	<i>Remedy (Assuming Basic Redesign is Impossible) In All Cases Reduce Restraint</i>	<i>Time of Appearance</i>
<i>Plastic Settlement</i>	A	<i>Over reinforcement</i>	<i>Deep Sections</i>	<i>Excess bleeding</i>	<i>Rapid early drying conditions</i>	<i>Reduce bleeding (air entrainment) or revibrate</i>	<i>Ten minutes to three hours</i>
	B	<i>Arching</i>	<i>Top of Columns</i>				
	C	<i>Change of depth</i>	<i>Trough and waffle slabs</i>				
<i>Plastic Shrinkage</i>	D	<i>Diagonal</i>	<i>Roads and slabs</i>	<i>Rapid early drying</i>	<i>Low rate of bleeding</i>	<i>Improve early curing</i>	<i>Thirty minutes to six hours</i>
	E	<i>Random</i>	<i>Reinforced concrete slabs</i>	<i>Ditto plus steel near surface</i>			
	F	<i>Over reinforcement</i>	<i>Reinforced concrete slabs</i>				
<i>Early thermal contraction</i>	G	<i>External restraint</i>	<i>Thick walls</i>	<i>Excess heat generation</i>	<i>Rapid cooling</i>	<i>Reduce heat and/or insulate</i>	<i>One day to two or three weeks</i>
	H	<i>Internal restraint</i>	<i>Thick slabs</i>	<i>Excess temperature gradients</i>			
<i>Long-term drying shrinkage</i>	I		<i>Thin slabs (and walls)</i>	<i>Inefficients joints</i>	<i>Excess shrinkage Inefficient curing</i>	<i>Reduce water content improve curing</i>	<i>Several weeks or months</i>

Type of Cracking	Letter (See Figure 1.4)	Subdivision	Most Common Location	Primary Cause (Excluding Restraint)	Secondary Causes / Factors	Remedy (Assuming Basic Redesign is Impossible) In All Cases Reduce Restraint	Time of Appearance
Crazing	J	Against formwork	Fair faced' concrete	Impermeable formwork	Rich mixes Poor curing	Improve curing and finishing	One to seven days, sometimes much later
	K	Floated concrete	Slabs	Over-trowelling			
Corrosion of reinforcement	L	Natural	Columns and beams	Lack of cover	Poor quality concrete	Eliminate causes listed	More than two years
	M	Calcium chloride	Precast concrete	Excess calcium chloride			
Alkali-silica reaction	N		(Damp locations)	Reactive aggregate plus high-alkali cement		Eliminate causes listed	More than five years



Gambar 2.2 Layout trestle dermaga (a) Denah trestle (b) Denah Tiang Pancang (c) Potongan Memanjang dan Melintang

2.4.1 Retak Struktural

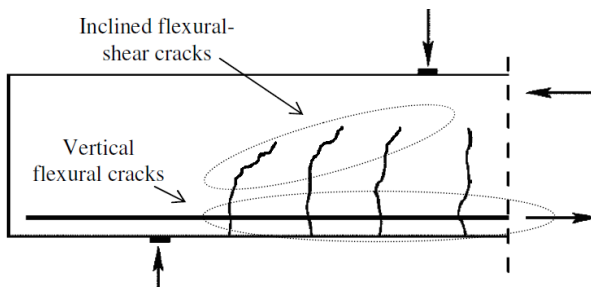
Kekuatan tarik (*tensile*) dari beton sangat rendah dan kuat tarik pada struktur beton sendiri secara garis besar dilimpahkan kepada baja tulangan. Tujuan dari tulangan tersebut tidak untuk mencegah retak pada beton, kapasitas regangan tarik beton sendiri terlalu kecil dibandingkan dengan regangan kerja yang terjadi pada baja sehingga timbul keretakan pada beton. Namun perlu untuk membatasi lebar dari retak tersebut sehingga persyaratan estetika tidak dilanggar dan juga agar baja yang tertanam tidak mengalami korosi akibat penetrasi zat perusak ke dalam retakan.

a. *Flexural Cracking*

Retakan lentur ialah retakan struktural yang disebabkan oleh tekanan tarik. Pada bagian lentur beton bertulang kapasitas regangan tarik dari beton sangat kecil dan regangan kerja yang relatif besar dalam tulangan baja bergabung untuk membuat retak lentur pada zona tarik. Lebar dan jarak retak lentur dikendalikan terutama oleh faktor-faktor geometris (ketinggian sumbu netral dan cover beton) serta kualitas ikatan antara baja dan beton.

b. *Shear Cracking*

Pada beton bertulang, retakan geser biasanya digambarkan sebagai retak diagonal. Hal ini terjadi sebagai akibat dari tegangan tarik berlebih yang disebabkan oleh kombinasi lentur dan geser.



Gambar 2.3 Perkembangan Retakan pada struktur beton
(Walraven, 2002)

2.4.2 Retak Non-Struktural

Retak non struktural adalah hasil dari sifat intrinsik dari beton sendiri dan bahan penyusunnya. Retak ini dipengaruhi oleh faktor temperatur dan kelembapan. Ketika elemen beton mengering atau mendingin, beton tersebut mencoba menyusut atau berkontraksi dengan pengaruh sekitarnya sampai disaat tegangan total yang terjadi melebihi kekuatan tarik beton maka keretakan akan terjadi. Retakan intrinsik jauh lebih jarang terjadi daripada retak struktural, dan retak ini dapat dibatasi / dikendalikan.

2.4.2.1 Retak Sebelum Pengerasan

Retak ini terbentuk sebelum beton sudah mengeras, biasanya terjadi antara 10 menit sampai 6 jam setelah penempatan. Terdapat dua jenis retakan utama, yaitu sebagai berikut.

a. *Plastic Shrinkage Cracks*

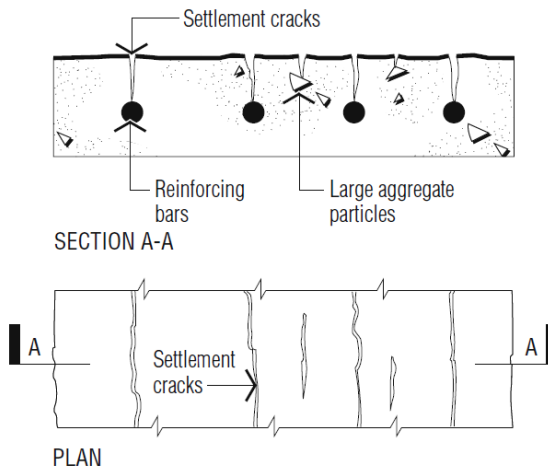
Retakan ini terutama disebabkan oleh pengeringan permukaan yang cepat. Setelah beton ditempatkan dan dipadatkan, padatan tersebut mengendap dan air dari beton basah tersebut terbentuk di permukaan. Gejala ini sering disebut *bleeding*. Dalam kondisi dengan pengeringan yang cepat, air akibat *bleeding* ini cepat menguap sebelum beton sendiri mengeras. Ketika ini terjadi, beton di dekat permukaan menyusut dan dapat retak dengan cara yang sama seperti tanah liat yang mengering. Angin kencang, suhu tinggi, dan kelembapan cenderung menyebabkan keretakan karena mendorong penguapan.



Gambar 2.4 *Plastic shrinkage cracks (National Ready Mixed Concrete Association)*

b. *Plastic Settlement Cracks*

Keretakan ini disebabkan ketika penurunan beton segar tertahan oleh tulangan ataupun bekisting. Retakan penurunan plastis ini dapat terbentuk pada beberapa jam setelah beton dituangkan. Saat air bergerak ke atas melalui campuran, dan material padat akan bergerak ke bawah sama halnya seperti *bleeding*. Namun pada saat material padat bergerak kebawah terhambat oleh tulangan ataupun bekisting yang terpasang. Hal ini membuat beton dalam keadaan plastis dapat melengkung diatas permukaan batang tulangan yang berakibat permukaan menjadi tegang. Retak dapat berkembang pada jarak yang teratur dan biasanya mengikuti garis batang tulangan paling atas.



Gambar 2.5 *Settlement Cracks (Cement and Concrete Association of Australia and Standards Australia, 2005)*

2.4.2.2 Retak Setelah Beton Mengeras

Retakan yang terjadi saat beton sudah mengeras ialah terdapat dua alasan utama, yaitu:

- a) Perubahan volume beton
- b) Reaksi kimia di dalam beton yang menyebabkan ekspansi dan selanjutnya beton retak

Pergerakan volumetrik pada beton tidak dapat dicegah. Itu terjadi setiap kali beton memperoleh atau kehilangan kelembaban (susut pengeringan) atau setiap kali suhunya berubah (gerakan termal). Terdapat jenis keretakan yang terjadi setelah beton mengeras, sebagai berikut.

a. *Crazing*

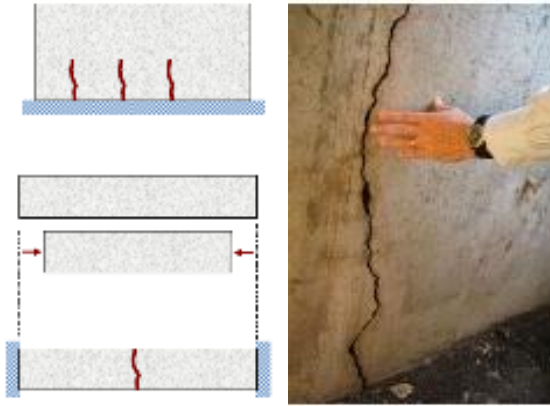
Crazing ialah retakan yang digambarkan dengan retak sangat halus yang terbentuk pada permukaan beton setelah terekspos langsung oleh lingkungan selama beberapa waktu. Retakan yang terjadi tersebut tidak terlalu dalam sehingga tidak begitu mempengaruhi integritas struktur beton. Hal ini terjadi ketika permukaan beton mengembang dan menyusut selama siklus pembasahan dan pengeringan.



Gambar 2.6 *Crazing concrete surface* (Sumber: google.com)

b. *Drying Shrinkage Cracks*

Retak ini terbentuk setelah beton mengeras. Secara umum, retakan ini disebabkan oleh penyusutan beton. Saat beton mengering atau mengalami perubahan temperatur, maka akan mengalami perubahan volume. Akibat perubahan volume beton tersebut menimbulkan tekanan pada beton, jika melebihi kondisi batas kekuatan dari beton maka timbul retakan.



Gambar 2.7 *Drying shrinkage cracks* (Sumber: google.com)

c. *Thermal Cracking*

Keretakan termal ini terjadi karena perbedaan suhu yang berlebihan dalam struktur beton atau lingkungannya. Perbedaan suhu menyebabkan bagian yang lebih dingin berkontraksi lebih dari pada bagian yang lebih hangat, yang menahan kontraksi. Retak termal muncul ketika pengekangan menghasilkan tegangan tarik yang melebihi kekuatan tarik beton di tempat. Retak karena suhu dapat terjadi pada bagian beton yang tidak dianggap beton massa.



Gambar 2.8 *Thermal cracks in a thick slab* (Sumber: CTL, 2002)

d. Corrosion Cracks

Baja tulangan di dalam beton berada dalam lingkungan bersifat basa kuat dengan nilai 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. Lingkungan basa kuat ini memberikan perlindungan terhadap baja tulangan di dalam beton dari serangan korosi karena baja tulangan di dalam lingkungan basa kuat menjadi pasif.

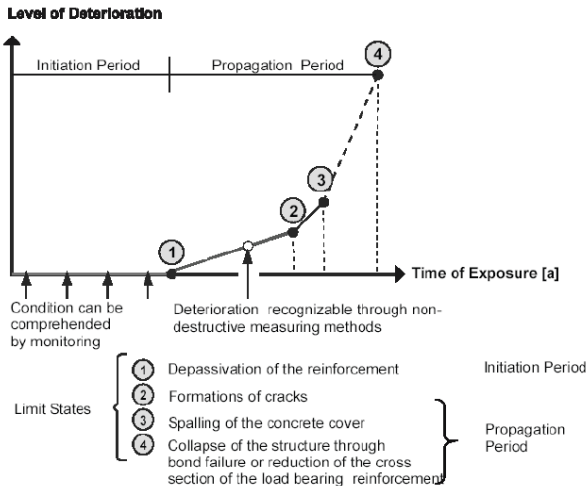
Korosi baja tulangan adalah reaksi kimia atau elektro kimia antara baja tulangan dengan lingkungannya. Baja tulangan yang terkorosi, volume karatnya lebih besar 3 kali dari volume bahan asalnya sehingga mengakibatkan keretakan pada beton. Hal ini merupakan awal dari kerusakan beton yang akhirnya menuju ke kerusakan yang lebih parah sehingga secara keseluruhan memperpendek usia pakai konstruksi yang bersangkutan.



Gambar 2.9 *Corrosion craks* (Sumber: dok.pribadi, 2018)

2.5 Korosi pada Beton Bertulang

Pengaruh korosi pada *reinforcement* telah diidentifikasi sebagai mekanisme penurunan kekuatan yang paling dominan untuk struktur beton bertulang, yang secara serius mempengaruhi *serviceability and safety* pada struktur trestle dermaga. Kerusakan yang disebabkan oleh korosi dibagi menjadi dua (2) periode waktu utama yaitu, periode inisiasi dan periode propagasi seperti pada gambar 2.10 berikut.



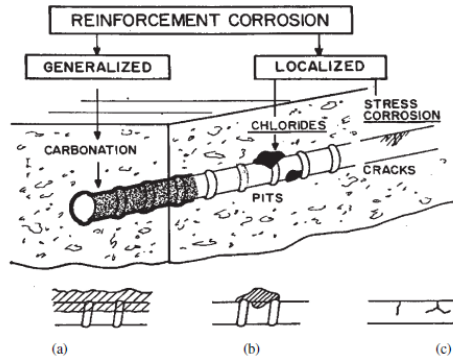
Gambar 2.10 Mekanisme periode korosi dan tingkat kerusakannya (Sumber: fib 2006)

Periode inisiasi didefinisikan sebagai waktu sampai beton terdegradasi baik oleh adanya garam klorida atau oleh karbonasi. Segera setelah tulangan dalam beton terkarbonasi atau mengandung jumlah klorida (Cl^-) yang cukup untuk membuat tulangan terdegradasi dan korosi dapat terjadi. Pada keadaan batas ini mendefinisikan awal periode propagasi. Selama periode propagasi juga dapat menyebabkan kerusakan pada beton juga. Produk korosi yang ekspansif membuat retakan di sepanjang tulangan, dan kemudian pada cover beton.

2.5.1 Periode Inisiasi Korosi

Untuk korosi yang diinduksi oleh klorida, tahap inisiasi sesuai dengan periode waktu dimana klorida menembus beton tetapi tidak ada kerusakan yang diamati. Masuknya klorida ke dalam beton karena disebabkan oleh beberapa mekanisme transportasi, seperti difusi dan adsorpsi. Dalam pori-pori beton, uap air dapat mengalir melalui difusi dan melalui aliran kapiler yang tidak jenuh atau bahkan jenuh pada pori-pori yang lebih halus (Kropp dan Hilsdorf 1995).

Untuk adsorpsi terjadi pada lapisan permukaan beton yang mengalami siklus basah dan kering, dan hanya mempengaruhi permukaan beton terbuka hingga 10-20 mm (Weyers et al 1993; Tuutti 1996). Diluar zona adsorpsi ini, proses difusi yang lebih mendominasi (Tuutti 1996).



Gambar 2.11 Tipe Korosi pada tulangan: (a) karbonasi, (b) serangan klorida, (c) Retak akibat korosi tegangan (Rodriguez et al., 1994)

Difusi klorida ialah transfer massa dengan gerakan acak ion klorida bebas dalam larutan pori sehingga menghasilkan aliran bersih dari daerah yang lebih tinggi ke daerah dengan konsentrasi lebih rendah (Crank, 1975). Dua penyebab utama korosi seperti yang dijelaskan sebelumnya, ialah: karbonasi penutup beton dan penetrasi ion klorida. Karbonasi biasanya berlangsung dengan mekanisme difusi sedangkan klorida dapat menembus juga dengan kombinasi penyerapan dan difusi. Untuk mengetahui konsentrasi klorida yang terkandung pada kedalaman tertentu selama waktu layannya dapat menggunakan persamaan berikut (Crank, 1975).

$$x = K\sqrt{t} \quad (2.1)$$

$$C(x, t) = C_s \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right] \quad (2.2)$$

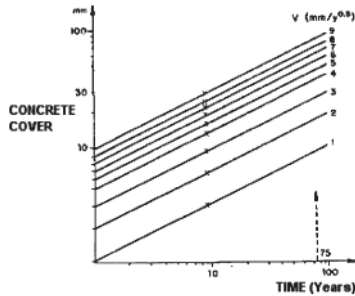
Dimana

x : kedalaman serangan penetrasi (mm)

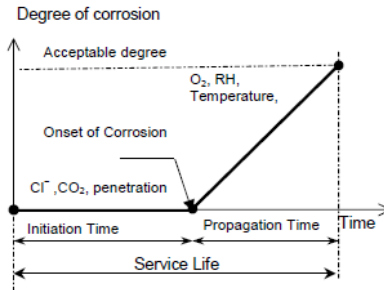
K : konstanta

- $C(x,t)$: konsentrasi klorida jarak x selama waktu t (kg/m^3)
 C_s : konsentrasi klorida pada permukaan beton (kg/m^3)
 D : koefisien difusi (m^2/s)
 t : waktu paparan (s)
 erf : fungsi error

Menurut (Tuutti, 1996) untuk harga nilai K dapat dilihat pada grafik yang berasal dari hukum akar kuadrat yang diplot pada skala log dibawah ini.



Gambar 2.12 Representasi dari hukum akar kuadrat dalam diagram log, kemiringan 0,5 mewakili nilai konstanta K (Tuutti, 1996)



Gambar 2.13 *Service life* pada struktur beton yang mengalami korosi (Tuutti, 1982)

Seperti yang terlihat pada gambar diatas, tahap inisiasi korosi sesuai dengan proses transportasi klorida ke permukaan baja, sementara baja tetap pasif dengan laju korosi yang lebih rendah dari tingkat yang ditentukan (Gonzales et al. 1980).

Baja tulangan diasumsikan mengalami serangan korosi ketika konsentrasi klorida pada tingkat tulangan telah mencapai “tingkat ambang klorida (C_{th})”, yang menghancurkan passivasi baja. Sehingga tahap inisiasi dan serangan korosi menurut gambar model Tuutti dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut.

Tahap inisiasi : $C(d_c, t) < C_{th}$ untuk $0 \leq t < T_i$

Serangan korosi : $C(d_c, t) = C_{th}$ untuk $t = T_i$

Dimana T_i adalah waktu untuk terjadinya korosi (setara dengan waktu inisiasi korosi) dan d_c ialah tebal cover beton. Untuk mengetahui waktu inisiasi korosi (T_i) dapat menggunakan persamaan berikut.

$$T_i(C_s, C_{th}, D, d_c) = \frac{d_c^2}{4D \left[\operatorname{erf}^{-1} \left(1 - \frac{C_{th}}{C_s} \right) \right]^2} \quad (2.3)$$

Dimana

d_c : tebal selimut beton (m)

D : koefisien difusi (m^2/s)

C_{th} : kadar kritis klorida (kg/m^3)

C_s : kadar klorida pada permukaan beton (kg/m^3)

2.5.1.1 Kandungan Klorida Permukaan (C_s)

Dan (Mc Gee, 1999) telah melakukan uji lapangan terhadap 1158 jembatan di Tasmania Australia untuk mendapatkan perumusan kadar chlorida di permukaan beton (C_s) sebagai fungsi jarak dari pantai (d dalam km) sebagai berikut.

$$C_s(d) = 3,05 \text{ kg/m}^3 \quad d < 0,1 \text{ km}$$

$$C_s(d) = 1,24 - 1,81 \log(d) \quad 0,1 \text{ km} < d < 2,84 \text{ km}$$

$$C_s(d) = 0,42 \text{ kg/m}^3 \quad d > 2,84 \text{ km}$$

Selanjutnya (Wers dkk, 1993) mengklasifikasikan lingkungan korosif di sekitar dek jembatan menjadi empat kategori dalam hal konsentrasi klorida permukaan (C_s): ringan, sedang, tinggi, dan berat seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Sensivitas waktu inisiasi korosi untuk paparan lingkungan terhadap baja karbon (Wers dkk, 1993)

Condition	Low (kg/m ³)	Moderate (kg/m ³)	High (kg/m ³)	Severe (kg/m ³)
Range	0 < C _s < 2,4	2,4 < C _s < 4,7	4,7 < C _s < 5,9	5,9 < C _s < 8,9
Mean value	1,8	3,5	5,3	7,4
Variation from mean value	-100% to 33%	-32% to 32%	-11% to 11%	-20% to 20%
Variation in T _i	-25% to ∞	-18% to 40%	-6% to 7%	-9% to 12%

*Note 1 kg/m³ = 0,276% of cement weight for normal weight concrete

2.5.1.2 Konsentrasi Kritis Klorida (C_{th})

Konsentrasi ambang klorida (C_{th}) didefinisikan sebagai kandungan klorida kritis dimana passivasi baja dalam beton akan hancur. Menurut (Bamforth dan Price, 1997; Alonso dkk, 2000) tergantung pada jenis baja, lingkungan elektrokimia dalam beton, dan metode pengujian yang berdampak pada variasi yang cukup besar. Selanjutnya (Trejo dan Pillai, 2004) melaporkan bahwa nilai rata-rata C_{th} dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Sensivitas dari waktu inisiasi korosi untuk tingkat ambang klorida dengan eksposur berbeda, C_{th} (Trejo dan Pillai, 2004)

<i>Variations in chloride threshold level</i>				
<i>Steel Type and Environment</i>	<i>Conventional carbon steel (kg/m³)</i>	<i>Micro-composite steel-MMFX (kg/m³)</i>	<i>Stainless steel SS304 (kg/m³)</i>	<i>Stainless steel SS304 (kg/m³)</i>
Range	0,3 < C _{th} < 0,71	3,8 < C _{th} < 5,3	4,1 < C _{th} < 6,0	9,5 < C _{th} < 12,0
Mean Value	0,52	4,6	5	10,8
Variation from mean value*	-40% to 40%	-16% to 16%	-19% to 19%	-12% to 12%
<i>Variations in corrosion initiation time</i>				
Light C _s =1,8 kg/m ³	-40% to 60%	+	+	+
Moderate C _s =1,8 kg/m ³	-28% to 32%	+	+	+
High C _s =5,3 kg/m ³	26% to -24%	-80% to +	-84% to +	+
Severe C _s =7,4 kg/m ³	-24% to 19%	-40% to 96%	-50% to 400%	+

Dan nilai C_{th} pada tabel 2.4 berikut dihasilkan dari beberapa penelitian terdahulu.

Tabel 2.4 Berbagai nilai kadar kritis klorida (Stewart dan Faber, 2003)

Nilai Rata-Rata (kg/m ³)	COV (Koefisien Variasi)	Distribusi	Sumber
3,35	0,375	Normal	(Val and Stewart, 2001)
0,9	0,19	Uniform (0,6-1,2)	(Stewart and Rosowsky, 1998)
1,4	0,125	Normal	(Thoft-Christensen et al., 1997)
3,6	0,33	Normal	(Faber and Rostam, 2001)
3,4	0,59	Lognormal	(Karlsson, 1995)
1,2	-	Deterministic	(Mc Gee, 1999)
0,83	-	Deterministic	(Frangopo et al., 1997)
2,4	-	-	(Middleton and Hogg, 1998)

2.5.1.4 Koefisien Difusi Beton (D)

Koefisien difusi klorida dari beton adalah properti material yang merupakan ukuran laju penetrasi klorida ke dalam beton. Nilai D tergantung pada desain campuran beton seperti rasio air/semén, kuantitas pencampuran mineral, fraksi agregasi, dan lain-lain serta parameter lain seperti suhu dan usia beton (Bents 2000; Thomas dan Bamforth 1999). Koefisien ini dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan yang diusulkan oleh (Stewart dan Rosowsky, 1998) sebagai berikut.

$$D = 10^{-10+(4,66w/c)} \quad (2.4)$$

$$w/c = \frac{27}{f'_{cyl}+13,5} \quad (2.5)$$

$$f'_{cyl} = f'_c + 7,5 \quad (2.6)$$

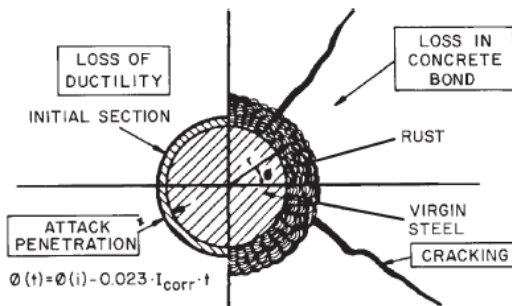
Dimana

w/c : water cement ratio (dalam satuan berat)

f'_c : kuat tekan beton (MPa)

2.5.2 Periode Propagasi Korosi

Ketika tulangan beton mulai mengalami korosi, maka beberapa kerusakan terjadi. Empat konsekuensi kerusakan utama korosi diilustrasikan pada gambar 2.14 (a) hilangnya penampang baja karena serangan penetrasi korosi; (B) kehilangan daktilitas baja karena *embrittlement* yang disebabkan oleh korosi menginduksi pengasaman lokal pada antarmuka baja-beton; (C) hilangnya ikatan baja-beton karena pengurangan luasan bar (*cross section*) dan pembentukan oksida besi; dan (D) terjadi retak (*crack*) pada cover beton karena adanya tekanan yang dihasilkan dari produksi oksida dengan volume yang lebih tinggi daripada baja induk. Akibat kerusakan ini berdampak pada kapasitas dukung beban dari keseluruhan struktur.

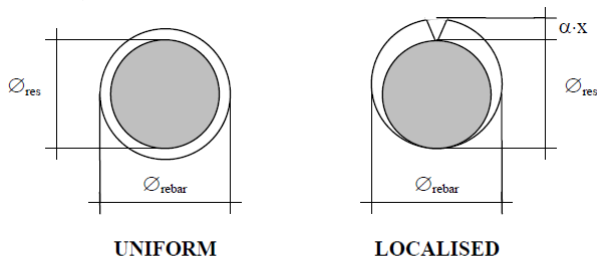


Gambar 2.14 Konsekuensi kerusakan utama korosi (Sumber: www.witpress.com)

2.5.2.1 Laju Korosi / *Corrosion Rate*

Perilaku korosi pada besi tulangan memiliki 2 (dua) tipe yang dijadikan dasar untuk penentuan pengaruh korosi pada struktur beton. Yang pertama ialah korosi seragam (*uniform corrosion*) yang disebabkan oleh serangan karbonasi, dan yang kedua yaitu korosi setempat (*pitting corrosion*) akibat penetrasi klorida. Serangan karbonasi disebabkan oleh penetrasi karbondioksida (CO_2) pada beton, sementara untuk induksi klorida (Cl^-) disebabkan oleh difusi garam pada tulangan beton (Lee et al, 2009).

Pada korosi seragam kehilangan luasan permukaan tulangan dianggap terjadi secara merata, sementara pada korosi setempat kehilangan luasan hanya terpusat pada satu titik tertentu. Namun untuk perhitungan penurunan kapasitas penampang beton lebih banyak dipakai anggapan korosi seragam. Hal ini dipilih sebab perhitungan korosi seragam lebih mudah dilakukan dibandingkan dengan korosi setempat dan juga menghasilkan perkiraan kapasitas yang lebih aman (konservatif).



Gambar 2.15 Pengurangan Luasan Tulangan akibat serangan korosi seragam dan setempat

$$\varnothing_{res} = \varnothing_{rebar} - \lambda \cdot i_{corr} \cdot t_p \quad (2.7)$$

Dimana

\varnothing_{res} : diameter tulangan sesudah korosi (mm)

λ : faktor untuk mengubah kerapatan korosi rata-rata untuk tingkat penetrasi rata-rata ($2,3294 \cdot 10^{-2}$ mm/($\mu\text{A}/\text{cm}^2$))

t_p : waktu propagasi korosi (tahun)

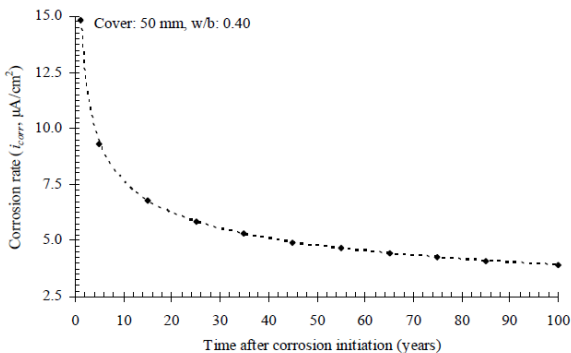
Banyak model yang telah diusulkan untuk memprediksi serangan dan laju korosi tulangan baja pada beton yang terkena klorida dan karbonasi. Meskipun model prediksi ini biasanya memiliki beberapa parameter input yang berbeda, jelas bahwa laju korosi mengatur tentang hasil yang baik dalam hal waktu untuk pencapaian keadaan batas yang ditentukan sebelumnya atau keparahan pada waktu tertentu. Dalam tugas akhir ini penulis menggunakan model prediksi tingkat korosi seragam (*uniform corrosion*) menurut (Vu dan Stewart's, 2000).

Model ini merupakan pengembangan dari model prediksi i_{corr} berdasarkan pada asumsi bahwa ketersediaan O_2 pada permukaan baja (yang bergantung pada faktor lain diantaranya, kualitas beton, ketebalan cover, dan kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembapan relatif) adalah faktor yang mengatur. Hal ini disebabkan oleh pertimbangan bahwa untuk banyak lokasi di Australia, AS, Eropa, dan Asia kelembapan relatif rata-rata (RH) > 70%. Untuk RH sekitar 75% dan suhu 20°C maka laju korosi dapat menggunakan persamaan berikut.

$$i_{corr(1)} = \frac{37,8(1-w/c)^{-1,64}}{d_c} \quad (2.8)$$

Menurut (Vu dan Stewart, 2000) pembentukan produk karat di permukaan baja akan mengurangi difusi ion besi dari permukaan baja, dan rasio luas antara anoda dan katoda akan berkurang sebagai konsekuensi dari proses korosi. Dengan demikian, diasumsikan bahwa laju korosi akan berkurang seiring berjalannya waktu. Berdasarkan data yang dilaporkan (Liu dan Weyers, 1998) sebuah model yang dikembangkan oleh (Vu dan Stewart, 2000) yang menyatakan hubungan antara waktu sejak awal korosi (waktu propagasi, t_p) dan perumusan laju korosi sebagai berikut.

$$i_{corr-20} = i_{corr(1)} 0,85 t_p^{-0,29} = \left(\frac{32,13(1-w/c)^{-1,64}}{d_c} \right) t_p^{-0,29} \quad (2.9)$$



Gambar 2.16 Variasi prediksi i_{corr} dengan waktu (Vu dan Stewart, 2000)

Dimana untuk Indonesia dengan suhu rata-rata mendekati 30°C penggunaan rumus diatas perlu penyesuaian agar menghasilkan prediksi laju korosi yang lebih akurat. (DucaCrete, 2000) memberikan perumusan untuk memperhitungkan pengaruh suhu sebagai berikut.

$$i_{corr}(T) = i_{corr-20} [1 + 0,073(T - 20)] \quad (2.10)$$

Dimana

$i_{corr}(T)$: kecepatan korosi pada suhu $t > 20^\circ\text{C}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

$i_{corr-20}$: kecepatan korosi pada suhu 20°C ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

t_p : waktu propagasi (tahun) ($t_p = t - t_i$)

T : suhu dimana kecepatan korosi diperhitungkan ($^\circ\text{C}$)

Kerapatan arus korosi baja dalam beton dapat sangat bervariasi dalam kisaran 10 hingga 102 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$; kepadatan arus yang sangat rendah menunjukkan kepasifan dan kepadatan arus yang lebih tinggi menunjukkan korosi aktif. Dengan menggunakan hukum ekuivalen elektrokimia Faraday, laju korosi dalam hal jumlah pelarutan baja dan pembentukan hidroksida / oksida dapat dihitung dari arus listrik.

$$m = \frac{i.t.a}{n.F} \quad (2.11)$$

Dengan asumsi kerapatan massa besi menjadi 7,87 kg/dm^3 , hukum Faraday dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$V_{corr} = 11,6 \cdot i_{corr} \quad (2.12)$$

Dimana

m : massa besi per area terlarut pada anoda (g/m^2)

i : kerapatan arus listrik (A/m^2)

t : waktu (s)

a : massa atom besi (55,8 g/mol)

n : jumlah elektron yang dibebaskan dalam reaksi anodik
(2 untuk $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$)

F : nilai konstant (96487 As/mol)

V_{corr} : laju korosi dalam ($\mu\text{m}/\text{tahun}$)

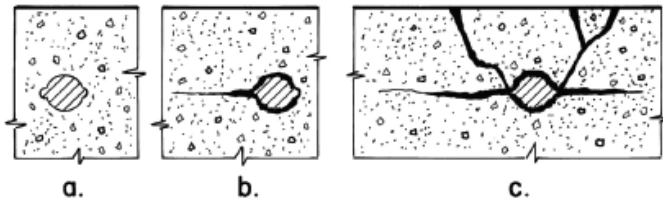
i_{corr} : laju korosi dalam ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

Dengan kata lain, kerapatan arus korosi 1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ sesuai dengan 11,6 μA kehilangan bagian baja per tahun.

2.5.3 Model Korosi Akibat Kerusakan pada Beton

2.5.3.1 Retak Akibat Inisiasi dan Propagasi

Beton adalah material heterogen dimana porositasnya bergantung pada kualitas beton. Ketika zat-zat yang menyebabkan korosi masuk berdifusi kedalam beton melalui pori-pori tersebut. Akibatnya tulangan mengalami ekspansi dan menyebabkan retak pada beton. Retak berkembang setelah kapasitas regangan tarik dari beton terlampaui. Korosi yang berlanjut dapat menyebabkan keretakan dan *spalling* pada cover beton.



Gambar 2.17 Keretakan beton akibat korosi (Daily, 2007)

- Rebar baja dalam keadaan pasif
- Delaminasi pada beton yang disebabkan pertumbuhan karat
- Spalling pada beton akibat produksi karat ekspansive

Dalam model untuk memprediksi serangan penetrasi yang menyebabkan retak (DuraCrete, 1998) dapat menggunakan persamaan berikut.

$$x_{crack} = 83,8 + 7,4 c/\phi - 22,6 f_{c,sp} \quad (2.13)$$

Dimana

x_{crack} : retak yang terjadi akibat serangan penetrasi baja (μm)

c/ϕ : cover/bar diameter ratio

$f_{c,sp}$: karakteristik dari kuat tarik beton (MPa)

Kontrol retak sama pentingnya dengan kontrol defleksi. Sesuai dengan ACI 224R-01 “*Control of Cracking in Concrete Structures*” bahwa retak struktural dibatasi sebagai berikut.

Tabel 2.5 Acuan Retak Struktural sesuai (ACI 224R-01)

<i>Exposure Condition</i>	<i>Crack Width</i>	
	in	mm
<i>Dry air or protective membrane</i>	0,016	0,41
<i>Humidity, moist air, soil</i>	0,012	0,3
<i>Deicing chemicals</i>	0,007	0,18
<i>Seawater and seawater spray, wetting and drying</i>	0,006	0,15
<i>Water-retaining structures</i>	0,004	0,1

2.5.3.2 Waktu untuk menyebabkan korosi pada cover beton

Konversi laju korosi ke tingkat retak dan delaminasi membutuhkan asumsi tentang pertumbuhan oksida ekspansif dan tekanan yang diperlukan untuk retak. Berdasarkan data lapangan dan laboratorium, persamaan empiris disarankan oleh (Morinaga, 1988) untuk memprediksi waktu dari inisiasi korosi ke korosi retak.

$$T_{cr} = \frac{0,602d \left(1 + \frac{2c}{d}\right)^{0,85}}{i_{corr}} \quad (2.14)$$

Dimana

T_{cr} : waktu dari inisiasi korosi ke korosi retak pada cover beton

c : cover beton (mm)

d : diameter tulangan (mm)

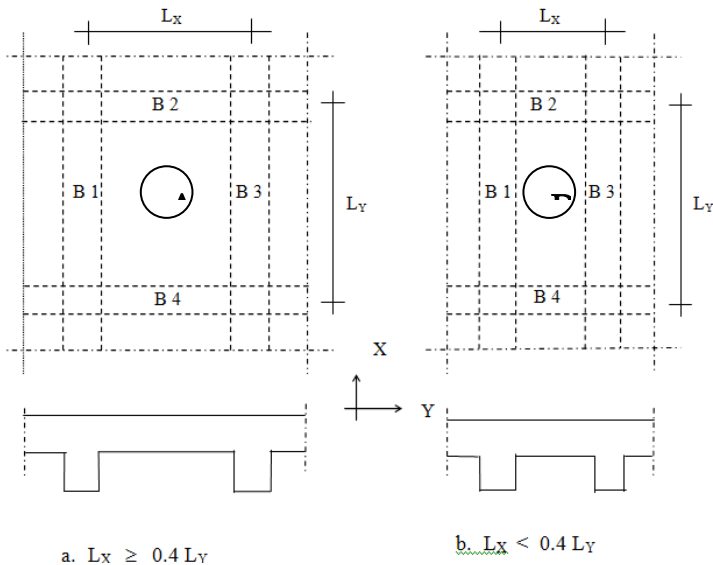
i_{corr} : laju korosi dalam (g/cm²/day)

2.6 Elemen Struktur

Pada umumnya semua jenis struktur, baik struktur gedung, struktur jembatan, struktur dermaga terdapat elemen-elemen struktur yang bertujuan untuk memikul beban layan yang bekerja. Elemen-elemen struktur tersebut bekerja secara estafet dan saling mendukung dalam mendistribusikan beban dari *upper structure* (struktur atas) menuju ke *lower structure* (struktur bawah). Pada struktur dermaga elemen-elemen struktur yang tergabung dalam struktur atas umumnya ialah pelat lantai, dan balok yang terbuat dari elemen beton bertulang. Sedangkan untuk struktur bawah umumnya adalah pondasi.

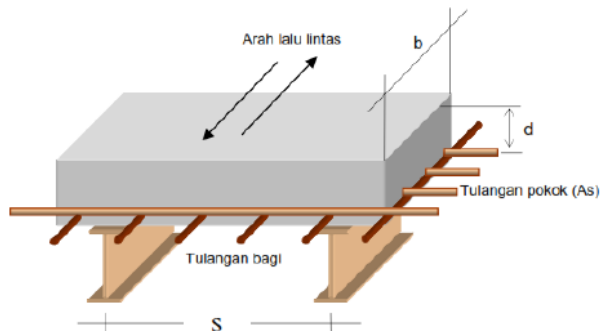
2.6.1 Pelat Lantai

Pelat lantai dermaga umumnya menggunakan material beton bertulang sebagai strukturnya. Pelat secara langsung menerima beban yang bekerja terutama untuk beban mati dan beban hidup yang bekerja pada sebuah struktur. Pada struktur dermaga pelat lantai ini dapat didukung oleh elemen struktur balok ataupun langsung didukung oleh elemen struktur pile (tiang pancang). Berdasarkan tipe tulangannya, pelat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*).



Gambar 2.18 Tipe Plat Lantai (a) pelat dua arah (b) pelat satu arah

Pada struktur dermaga pelat lantai beton bertulang dianggap sebagai pelat dengan tulangan satu arah (*one way slab*) dengan mengikuti pedoman struktur yaitu menghitung momen lentur dengan menerapkan sifat balok dengan banyak perletakan. Selain momen lentur, pengaruh geser pons juga harus diperiksa sebagai akibat dari tekanan roda kendaraan.



Gambar 2.19 Letak tulangan pokok dan tulangan bagi

2.6.2 Balok Dermaga

Secara umum balok ialah elemen struktur yang berfungsi untuk menyangga pelat lantai di atasnya. Balok mempunyai karakteristik utama yaitu lentur, dengan karakteristik tersebut balok merupakan elemen yang dapat diandalkan untuk menangani gaya geser serta momen lentur yang terjadi. Untuk konstruksi dermaga, balok merupakan elemen struktur yang menerima beban vertikal cukup besar sehingga diperlukan acuan pedoman tersendiri berbeda dengan pedoman perencanaan gedung ataupun jembatan.

2.6.3 Pile Cap

Pile cap termasuk elemen struktur bawah. Pada bagian struktur bawah dermaga terdiri dari komponen yang paling banyak melawan gaya horizontal. Sesuai dengan letak dari pile cap sendiri, fungsi pile cap ialah sebagai komponen untuk menyatukan balok, tiang, dan pelat. Selain itu pile cap juga sebagai penahan *punching shear* dari tiang (akibat gaya reaksi dari beban di atas dermaga).

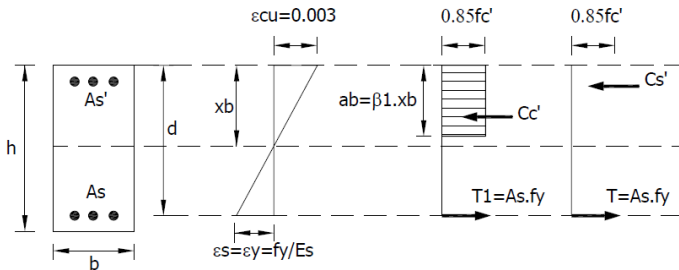
2.7 Tinjauan Nominal Elemen Struktur

Dalam melakukan evaluasi kekuatan struktur dermaga, data yang dibutuhkan merupakan data eksisting yang merupakan data *As Built Drawing*. Pada data ini terdapat komponen tulangan, dimensi yang sudah terpasang sesuai dengan data gambar yang ada.

Kemudian, dalam melakukan peninjauan terhadap kekuatan struktur trestle dermaga meliputi elemen pelat, balok, pile cap dilakukan perhitungan terhadap kuat nominal elemen struktur, meliputi Momen Nominal (M_n), Geser Nominal (V_n), dan Aksial Nominal (P_n).

2.7.1 Momen Nominal

Pada elemen struktur balok, karakteristik utamanya adalah kemampuan struktur dalam menahan gaya lentur yang terjadi akibat beban yang bekerja. Pada proses perencanaan elemen struktur balok terdapat 2 metode yang umum digunakan yaitu, metode tunggal dan metode tulangan rangkap. Karena fakta yang terjadi di lapangan saat proses pemasangan sesuai *As Built Drawing* adalah tulangan selalu terpasang rangkap. Maka pada dasarnya momen lentur yang terjadi tidak sepenuhnya dipikul oleh tulangan tarik, akan tetapi tulangan tekan juga ikut memikul gaya dalam yang terjadi.



Gambar 2.20 Diagram tegangan beton bertulang

Didalam perencanaan tulangan rangkap ini pada prinsipnya penampang beton yang tertekan dibuat sekecil mungkin dengan cara membuat posisi garis netral yang letaknya lebih mendekati pada tulangan tekan (A_s') dengan tetap memperhatikan komposisi tulangan tarik (A_s) dan tulangan tekan (A_s').

Perhitungan momen nominal elemen dilakukan untuk mengetahui besarnya tahanan kekuatan nominal elemen struktur terhadap momen yang akan bekerja (*ultimit*), ditentukan dengan prosedur berikut:

a. Periksa kondisi tulangan tekan

Pada tahap ini penentuan kondisi tulangan tekan harus diketahui apakah tulangan tekan sudah leleh atau belum. Tulangan tekan leleh bila:

$$\varepsilon'_s \geq \frac{f_y}{E_s} \quad (2.15)$$

Sedangkan :

$$\varepsilon'_s = \frac{0,003 \times (c-d'')}{c} \quad (2.16)$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{\beta_1 \times 0,85 f'_c b} \quad (2.17)$$

Faktor β_1 harus diambil sebesar:

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{untuk } f'_c \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f'_c - 30) \quad \text{untuk } f'_c > 30 \text{ MPa}$$

Tetapi β_1 untuk $f'_c > 30$ MPa tidak boleh kurang dari 0,65.

b. Penentuan harga X, sebagai posisi garis netral

Penentuan dari besarnya nilai X ini akan mempengaruhi seberapa besar kontribusi dari tulangan tekan dalam memikul besarnya momen tarik. Umumnya, besarnya nilai X diambil tidak lebih besar dari $0,75X_b$, sedangkan X_b dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \quad (2.18)$$

$$X < 0,75X_b \quad (2.19)$$

c. Kontrol tulangan tekan leleh

Setelah menentukan harga X, selanjutnya dilakukan kontrol terhadap tulangan tekan dalam memikul besarnya momen yang terjadi. Penentuan leleh tidaknya tulangan ditentukan melalui persamaan berikut:

$$f'_s = \left(1 - \frac{d''}{X}\right) \cdot 600 \geq f_y \quad (\text{leleh } f'_s = f_y) \quad (2.20)$$

$$f'_s = \left(1 - \frac{d''}{X}\right) \cdot 600 < f_y \quad (\text{tidak leleh } f'_s = f'_s) \quad (2.21)$$

Pada persamaan diatas jika hasil f_s' lebih besar dari besarnya f_y maka tulangan tekan dianggap leleh dalam menopang momen tarik. Dalam arti dimana tulangan tekan berkontribusi penuh saat momen tarik terjadi. Sebaliknya, ketika nilai f_s' tidak melebihi nilai dari f_y maka tulangan tekan tidak leleh, sehingga tidak memberikan kontribusi penuh terhadap momen tarik yang terjadi.

d. Kontrol kekuatan

Kontrol kekuatan penampang dilakukan untuk mengetahui apakah kapasitas tulangan terpasang baik tarik maupun tekan sudah memiliki komposisi yang tepat dalam menerima momen yang terjadi. Besarnya momen nominal dirumuskan sebagai berikut. Untuk tulangan tekan belum leleh, maka menggunakan persamaan berikut:

$$\phi M_n = \phi \left((A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_s) \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s (d - d'') \right) \quad (2.22)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (2.23)$$

Dimana bila tulangan tekannya sudah leleh, maka menggunakan persamaan berikut:

$$\phi M_n = \phi \left((A_s - A'_s) \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f_y (d - d'') \right) \quad (2.24)$$

$$a = \frac{(A_s - A'_s) \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (2.25)$$

2.7.2 Geser Nominal

Balok harus memiliki keamanan yang memadai terhadap jenis kegagalan lainnya, beberapa di antaranya mungkin lebih berbahaya daripada kegagalan lentur ialah kegagalan geser. Jika balok dirancang dengan benar tanpa tulangan geser dan saat terjadi kelebihan beban maka keruntuhan geser dapat terjadi tiba-tiba tanpa peringatan terlebih dahulu (kegagalan lentur). Oleh karena itu, beton bertulang harus disediakan “*special shear reinforcement*” untuk memastikan kegagalan lentur akan terjadi sebelum kegagalan geser.

Dengan kata lain balok didesain akan mengalami kegagalan lentur tidak dalam kegagalan geser. Terdapat empat fungsi tulangan geser antara lain:

1. Meneruskan sebagian gaya geser eksternal
2. Menahan agar beton tidak mengalami retak secara diagonal
3. Memegang tulangan longitudinal sehingga dapat tersedia kapasitas dowel yang dibutuhkan
4. Membatasi area kompresi pada beton jika sengkang dalam bentuk ikatan tertutup

Pada prinsipnya perencanaan penampang akibat geser harus didasarkan sesuai persamaan berikut.

$$V_u \leq \phi V_n \quad (2.26)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.27)$$

Masing-masing dari V_c maupun V_s memiliki persamaan yang dirumuskan sebagai berikut.

2.7.2.1 Kuat geser yang disumbangkan oleh beton

a) Untuk komponen struktur yang dibebani geser dan lentur saja, maka menggunakan persamaan berikut.

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_w \cdot d \quad (2.28)$$

Untuk perhitungan lebih rinci, dapat menggunakan persamaan berikut.

$$V_c = \left(\sqrt{f_c'} + 120 \cdot \rho_w \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) \frac{b_w \cdot d}{7} \leq 0,3 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (2.29)$$

Dengan nilai ρ_w adalah sebagai berikut:

$$\rho_w = \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u} \leq 1 \quad (2.30)$$

b) Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial, maka berlaku.

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_w \cdot d \quad (2.31)$$

c) Untuk komponen struktur yang dibebani tarik aksial, maka berlaku.

$$V_c = \left(1 + \frac{0,3N_u}{A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_w \cdot d \quad (2.32)$$

2.7.2.2 Kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser

Kapasitas kuat geser yang disumbangkan tulangan geser dapat menggunakan persamaan berikut.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (2.33)$$

Untuk tulangan geser miring menggunakan persamaan berikut.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot d}{s} \quad (2.34)$$

2.7.3 Torsi Nominal

Elemen struktur harus didesain untuk menahan torsi. Dimensi penampang untuk menahan torsi terfaktor diatur sesuai dengan SNI 2847-2013, pasal 11.5.1 (a) dan 11.5.3.1 (a) sebagai berikut:

- a) Untuk komponen struktur non-prategang, besarnya torsi terfaktor T_u harus kurang dari persamaan,

$$T_u = \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (2.35)$$

- b) Untuk komponen non-prategang dengan penampang solid, kekuatan momen torsi pada penampang harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot \rho_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f_c'} \right) \quad (2.36)$$

2.8 Perencanaan Pembebanan Dermaga

Beban-beban yang bekerja pada trestle dermaga dibagi menjadi dua jenis yaitu beban horizontal dan beban vertikal.

2.8.1 Beban Horizontal

Beban horizontal ini timbul akibat 2 faktor yaitu beban gempa dan beban alam seperti gelombang dan arus.

2.8.1.1 Beban Gelombang

Gaya gelombang yang bekerja pada dermaga terjadi pada tiang-tiang pondasi dermaga. Dalam perhitungan gaya gelombang dapat digunakan beberapa rumusan diantaranya ialah persamaan Morison (*Chakrabarti, 1987*).

Persamaan Morison mengasumsikan bahwa gaya gelombang merupakan gabungan dari komponen *inertia force* dan *drag force* yang dijumlahkan secara linier. Syarat pemilihan teori untuk perhitungan gaya gelombang didasarkan pada sebuah tiang pancang dengan diameter (D), yang ditabrak oleh gelombang dengan panjang gelombang sebesar λ sebagai berikut.

- $D/\lambda > 1$: Gelombang mendekati pemantulan murni, persamaan Morison tidak valid
- $D/\lambda > 0,2$: Difraksi gelombang perlu diperhitungkan, persamaan Morison tidak valid
- $D/\lambda < 0,2$: Persamaan Morison valid

Menurut Indiyono (2004), persamaan Morison mengasumsikan bahwa gelombang terdiri dari komponen gaya inersia dan drag (hambatan) yang dijumlahkan secara *linier*. Persamaan dalam perhitungan gaya gelombang pada tiang vertikal dengan kondisi gelombang tidak pecah (*non-breaking waves*) dinyatakan sebagai berikut:

$$F = F_{drag} + F_{inersia} \quad (2.37)$$

$$F_{drag} = \frac{1}{2} \rho C_D D u |u| \quad (2.38)$$

$$F_{inersia} = \frac{1}{4} \rho C_M \pi D^2 \frac{du}{dt} \quad (2.39)$$

Dimana

F : gaya hidrodinamik per satuan panjang (kN/m)

ρ : berat jenis air laut (t/m^3) ($\rho = 1,03 t/m^3$)

D : diameter pile (m)






u : kecepatan partikel air (m/s)

du/dt : percepatan partikel air (m/s^2)

C_D : *drag coefficient*







C_M : *inertia coefficient*

Table T- 5.4.1 Inertia Coefficient

Shape	Reference volume	Inertia coefficient
Circular cylinder 	$\frac{\pi}{4} D^2 \ell$	2.0 ($\ell > D$)
Square-based prism 	$D^2 \ell$	2.19 ($\ell > D$)
Cube 	D^3	1.67
Sphere 	$\frac{\pi D^3}{6}$	1.5
Flat plate 	$\frac{\pi}{4} D^2 \ell$	$D/\ell = 1 \rightarrow 0.61$ $D/\ell = 2 \rightarrow 0.85$ $D/\ell = \infty \rightarrow 1.0$

Gambar 2.21 *Inertia coefficient (Technical standards for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002)*

Table T- 7.2.1 Drag Coefficients

Shape	Projected area	Drag coefficient
Circular cylinder (rough surface) 	$D \ell$	1.0 ($\ell > D$)
Rectangular prism 	$B \ell$	2.0 ($\ell > B$)
Circular disc 	$\frac{\pi}{4} D^2$	1.2
Flat plate 	$a b$	$a/b = 1 \rightarrow 1.12$ $a/b = 2 \rightarrow 1.15$ $a/b = 4 \rightarrow 1.19$ $a/b = 10 \rightarrow 1.29$ $a/b = 18 \rightarrow 1.40$ $a/b = \infty \rightarrow 2.01$
Sphere 	$\frac{\pi}{4} D^2$	0.5~0.2
Cube 	D^2	1.3~1.6

Gambar 2.22 *Drag coefficient (Technical standards for Port and Harbour Facilities in Japan, 2002)*

2.8.1.2 Beban Arus

Untuk struktur yang terletak di tempat dimana ada arus yang kuat seperti arus pasang surut, maka perlu diperhitungkan terhadap kekuatan yang dihasilkan oleh arus dengan kecepatan terbesar dari arah yang paling tidak baik. Beban yang dihitung akibat perilaku arus terhadap tiang pancang terdiri dari gaya seret dan gaya angkat. Perhitungan beban arus berdasarkan *Technical standards for Port and Harbour Facilities in Japan* (OCDI, 2002) *chapter 7.2*.

- Gaya seret

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_0 A U^2 \quad (2.40)$$

- Gaya angkat

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho_0 A_L U^2 \quad (2.41)$$

Dimana

F_D : gaya seret akibat arus (kN)

F_L : gaya angkat akibat arus (kN)

C_D : koefisien seret

C_L : koefisien angkat

ρ : berat jenis air laut (t/m^3) ($\rho = 1,03 t/m^3$)

A : luas penampang sejajar arus (m^2)

A_L : luas penampang tegak lurus arus (m^2)

U : kecepatan arus (m/s)

2.8.1.3 Beban Gempa

Perencanaan beban gempa pada dermaga ini mengacu pada SNI 2833-2016 “Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa”. Didalamnya dijelaskan bahwa kondisi struktur harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon (R) sebagai berikut.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \quad (2.42)$$

Dimana

E_Q : gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} : koefisien respons elastik

R : faktor modifikasi respons

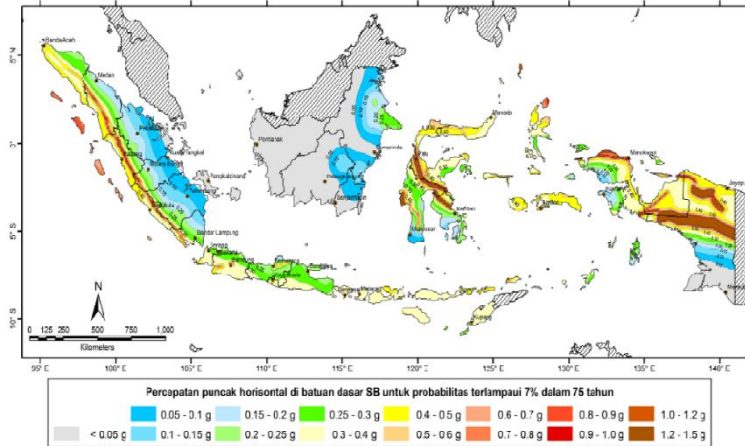
W_t : berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Untuk prosedur perencanaan beban gempa dijelaskan sebagai berikut.

a. Peta Gempa

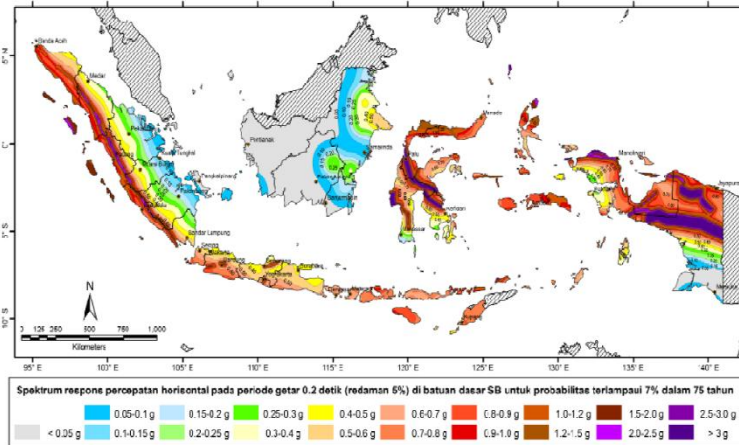
Sesuai dengan SNI 2833-2016 peta gempa dalam ketentuan ini meliputi:

- Peta percepatan puncak batuan dasar (PGA)



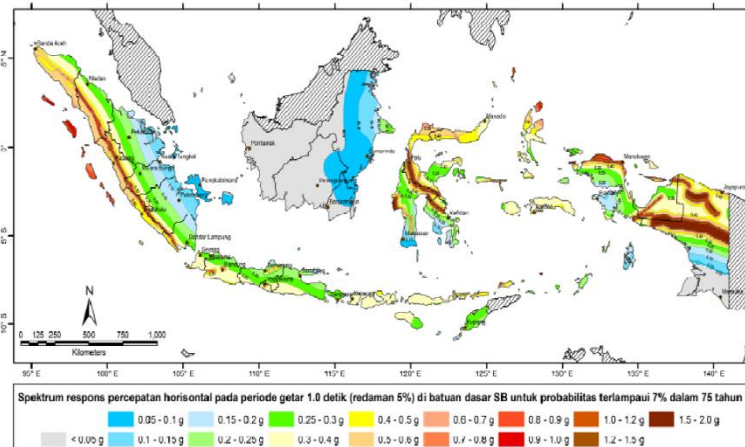
Gambar 2.23 Peta percepatan puncak batuan dasar (PGA) berdasarkan SNI 2833-2016

- Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar (S_S)



Gambar 2.24 Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar berdasarkan SNI 2833-2016

- Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar (S_I)



Gambar 2.25 Peta respons spektra percepatan 1,0 detik di batuan dasar (S_I) berdasarkan SNI 2833-2016

Dalam perencanaan beban gempa untuk trestle dermaga ini diambil sesuai gambar 2.23 – 2.25. Pada peta-peta tersebut, terdapat berbagai macam warna yang dimana setiap warna tersebut nantinya memiliki nilai PGA , S_s , dan S_I yang berbeda-beda sesuai daerah yang ditinjau.

b. Klasifikasi Situs

Setelah menemukan titik sesuai yang ditinjau (Probolinggo), langkah selanjutnya mengklarifikasi situs. Dimana kelas situs tersebut terbagi menjadi: SA, SB, SC, SD, SR, dan SF. Kelas situs nantinya digunakan untuk menentukan faktor situs. Data tanah harus diklarifikasikan sesuai SNI 2833-2016 Pasal 5.3.1 Tabel 2, berdasarkan profil tanah lapisan setebal 30m.

Tabel 2.6 Kelas Situs Tanah (SNI 2833-2016)

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/s)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	\bar{N}/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	\bar{N}/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3m dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $S_u < 25$ kPa		
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: 1. Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 2. Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan $> 3m$) 3. Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5m$ dengan $PI > 75$) 4. Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35m$		

Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

Pada tabel 2.6 \bar{V}_s , \bar{N} , \bar{S}_u adalah nilai rata-rata berbobot cepat rambat gelombang geser, hasil uji penetrasi standar, dan kuat geser tak terdrainase dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya dan harus dihitung menurut persamaan berikut.

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{v_{si}}\right)} \quad (2.43)$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{N_i}\right)} \quad (2.44)$$

$$\bar{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{S_{ui}}\right)} \quad (2.45)$$

Dimana

t_i : tebal lapisan tanah ke-i

V_{si} : kecepatan rambat gelombang geser lapisan tanah ke-i

N_i : nilai hasil uji penetrasi standar lapisan tanah ke-i

S_{ui} : kuat geser tak terdrainase lapisan tanah ke-i

m : jumlah lapisan tanah yang ada di atas batuan dasar

$\sum_{i=t}^m t_i$: 30 m

c. Faktor Situs

Untuk penentuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi untuk PGA, periode pendek ($T=0,2$ detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar (F_{PGA}), faktor amplifikasi periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Untuk nilai faktor tersebut berdasarkan SNI 2833-2016 pasal 5.3.2 tabel 3 dan 4, dimana diambil berdasarkan nilai PGA , S_s , S_I , dan kelas situs.

Tabel 2.7 Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (FPGA/Fa) (SNI 2833-2016)

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA > 0,5
	Ss ≤ 0,25	Ss = 0,5	Ss = 0,75	Ss = 1,0	Ss ≥ 0,29
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1	1	1	1	1
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1	1
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

Tabel 2.8 Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v) (SNI 2833-2016)

Kelas Situs	$S1 \leq 0,1$	$S1 = 0,2$	$S1 = 0,3$	$S1 = 0,4$	$S1 \geq 0,5$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1	1	1	1	1
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang (SD)	2,4	2	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

d. Respon Spektra Rencana

Respon spektra adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum sistem berderajat kebebasan tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Sesuai SNI 2833-2016 pasal 5.4.1 respon spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (PGA , S_s , dan S_1) serta nilai faktor amplifikasi F_{PGA} , F_a , dan F_v . Berikut perumusannya.

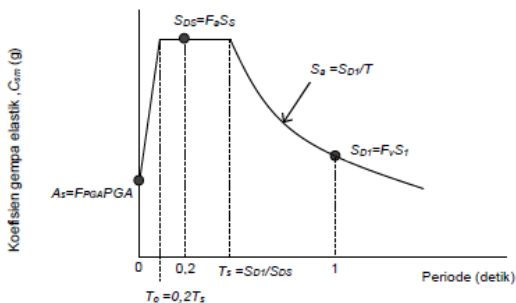
$$A_S = F_{PGA} \times PGA \quad (2.46)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s \quad (2.47)$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 \quad (2.48)$$

e. Koefisien Respon Gempa Elastic

Kurva spektrum respons desain dikembangkan dengan mengacu SNI 2833-2016 Gambar 4 dengan mengikuti ketentuan berikut.



Gambar 2.26 Bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah (SNI 2833-2016)

- Untuk periode lebih kecil dari T_0 , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari persamaan berikut.

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_S) \frac{T}{T_0} + A_S \quad (2.49)$$

- Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 , dan lebih kecil atau sama dengan T_S , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) ialah.

$$C_{sm} = S_{DS} \quad (2.50)$$

- Untuk periode lebih besar dari T_S , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari persamaan berikut.

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.51)$$

Dimana

S_{DS} : nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek ($T=0,2$ detik)

S_{D1} : nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik

T_0 : $0,2T_S$

T_S : S_{D1}/S_{DS}

f. Kategori Kinerja Seismik

Berdasarkan SNI 2833-2016 bahwa terdapat 4 zona gempa yang didasarkan pada spektra percepatan periode 1 detik (S_{D1}) sesuai pada tabel berikut.

Tabel 2.9 Zona Gempa (SNI 2833-2016)

Koefisien percepatan (S_{D1})	Zona Gempa
$S_{D1} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{D1} \leq 0,30$	2
$0,3 < S_{D1} \leq 0,5$	3
$S_{D1} > 0,5$	4

g. Faktor Modifikasi Respon

Berdasarkan SNI 2833-2016 pasal 5.7 bahwa untuk gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastis dengan faktor modifikasi respon (R) sesuai dengan tabel 2.10 dan 2.11 berikut.

Tabel 2.10 Faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah (SNI 2833-2016)

Bangunan Bawah	Kategori Kepentingan		
	Sangat Penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2	3
Tiang miring	1,5	1,5	2
Kolom tunggal	1,5	2	3
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5
Tiang miring	1,5	2	3
Kolom majemuk	1,5	3,5	5

Tabel 2.11 Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur (SNI 2833-2016)

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1
Kolom atau pilar dengan fondasi	1

2.8.2 Beban Vertikal

2.8.2.1 Beban Mati

Menurut SNI 1725-2016 bahwa beban sendiri dermaga merupakan berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian yang merupakan elemen struktural ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Untuk besaran beban mati menggunakan SNI 1725-2016 tabel 2.

Tabel 2.12 Besaran Beban Mati (SNI 1725-2016)

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $fc' < 35\text{MPa}$	22-25	2320
	$35 < fc' < 105\text{MPa}$	$22 + 0,22fc'$	$2240 + 2,29fc'$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11	1125

a. Berat Sendiri

Setiap komponen struktural harus dianggap sebagai suatu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan saat menerapkan faktor beban normal sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 7.2 tabel 3.

Tabel 2.13 Faktor beban untuk berat sendiri (SNI 1725-2016)

Tipe Beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1	1,1	0,9
	Aluminium	1	1,1	0,9
	Beton pracetak	1	1,2	0,85
	Beton dicor di tempat	1	1,3	0,75
	Kayu	1	1,4	0,7

b. Berat Mati Tambahan/Utilitas

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada bangunan yang merupakan elemen non struktural dan besarnya dapat berubah selama umur bangunan. Menurut pasal 7.2 bahwa nilai faktor beban mati tambahan sebagai berikut.

Tabel 2.14 Faktor beban untuk beban mati tambahan (SNI 1725-2016)

Tipe Beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{SMA})		Keadaan Batas Ultimit (γ_{UMA})	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1	2	0,7
	Khusus (terawasi)	1	1,4	0,8

Catatan : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

Pengaruh dari alat pelengkap dan sarana umum yang ditempatkan pada dermaga harus dihitung seakurat mungkin. Dalam hal ini berat pipa untuk saluran air bersih, saluran air kotor, *conveyor*, dan lain-lain harus ditinjau pada keadaan kosong dan penuh sehingga keadaan yang paling membahayakan dapat diperhitungkan.

2.8.2.2 Beban Hidup Merata

Menurut SNI 03-1727-2013, beban hidup ialah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan (operasi bangunan) yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, dan beban mati. Untuk beban hidup merata pada dermaga mengacu pada *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia (1984) V.2 Loads Acting on The Structure*.

Tabel 2.15 Beban hidup merata dermaga

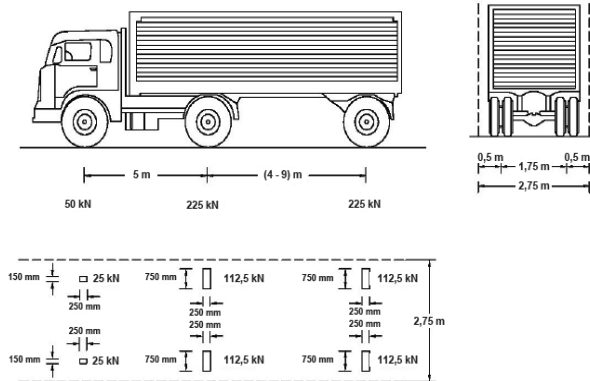
Load	Container		Ocean Going		Short Sea		Perintis/Lokal	
	Wharf	Terminal	Wharf	Terminal	Wharf	Terminal	Wharf	Terminal
Uniform distributed (t/m^2)	3	4	3	3	2	3	1-2	1-2

2.8.2.3 Beban Hidup Terpusat

Beban hidup terpusat merupakan beban yang bekerja pada lantai dermaga akibat alat fasilitas bongkar muat pada pelabuhan terdiri dengan mempertimbangkan berat mobil bersih, beban yang dimuat, dan pengaturan roda gandar.

a. Beban Truck

Untuk beban truk mengacu pada SNI 1725-2016 pasal 8.4.1. Pembebanan truk terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam gambar berikut.



Gambar 2.27 Pembebanan Truck "T", 500kN (SNI 1725-2016)

Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0m – 9,0m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang.

b. Beban Conveyor

Beban rangkaian sistem conveyor yang terdiri struktur baja yang tersusun untuk menopang conveyor yang bekerja dengan beban terpusat pada tiap jaraknya dengan mempertimbangkan kondisi paling kritis dari tiap kondisi conveyor terutama saat conveyor beroperasi.

2.8.2.4 Beban Air Hujan

Dalam hal ini beban air hujan, dihitung dengan asumsi ketinggian genangan air saat hujan setinggi 5cm. Berdasarkan SNI 03-1727-2013 Pasal 8.3, beban hujan rencana dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$R = 0,0098(d_s + d_h) \quad (2.52)$$

Dimana

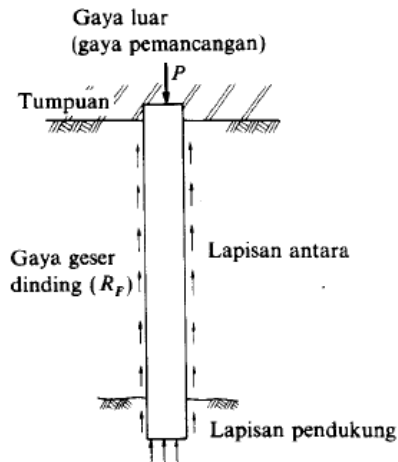
- R : beban air hujan (kN/m^2)
- d_s : tinggi kedalaman air (mm)
- d_h : tambahan tinggi kedalaman air (mm)

2.9 Pemeriksaan Struktur Bawah

Pada umumnya struktur bawah dermaga terdiri dari elemen pondasi dalam serta komponen ini yang dominan untuk menahan beban horizontal. Pada trestle dermaga ini untuk pondasi dalamnya menggunakan tiang baja.

2.9.1 Daya Dukung Tiang yang Diijinkan

Daya dukung tiang pada tanah pondasi umumnya diperoleh dari jumlah daya dukung terpusat tiang dan tahanan geser pada dinding tiang seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.28 Daya dukung ujung (R_p)

2.9.1.1 Daya Dukung Vertikal yang Diijinkan

Untuk perumusan besarnya daya dukung vertikal yang diijinkan (R_a) berdasarkan pada buku *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, Suyono S, Kazuto Nakazawa sebagai berikut.

$$R_a = \frac{R_u}{n} = \frac{(R_p + R_F)}{n} \quad (2.53)$$

Dimana

- n : faktor keamanan, (pada tabel 2.16)
- R_u : daya dukung batas pada tanah pondasi (ton)
- R_p : daya dukung terpusat tiang (ton)
- R_F : tahanan geser selimut tiang (ton)

Tabel 2.16 Faktor Keamanan Tanah

	Jembatan Jalan Raya		Jembatan Kereta Api	Konstruksi Pelabuhan	
	Tiang pendukung	Tiang geser		Tiang pendukung	Tiang geser
Beban tetap	3	4	3	Lebih besar dari 2,5	
Beban tetap + beban sementara	-	-	2	-	
Waktu gempa	2	3	1,5 (1,2)	Lebih besar dari 1,5	Lebih besar dari 2,0

a. Tahanan geser selimut tiang untuk tiang pancang

- Kontribusi dari kohesi tanah

$$R_{FC} = \sum_{i=1}^n \alpha \cdot c_{u-i} \cdot l_i \cdot p \quad (2.54)$$

- Kohesi dari sudut geser dalam tanah

$$R_{F\phi} = \sum_{i=1}^n f_i \cdot l_i \cdot p \quad (2.55)$$

Dimana

α : faktor adhesi

c_{u-i} : kohesi tanah undrained pada lapisan ke-i

l_i : panjang tiang pada lapisan ke-i

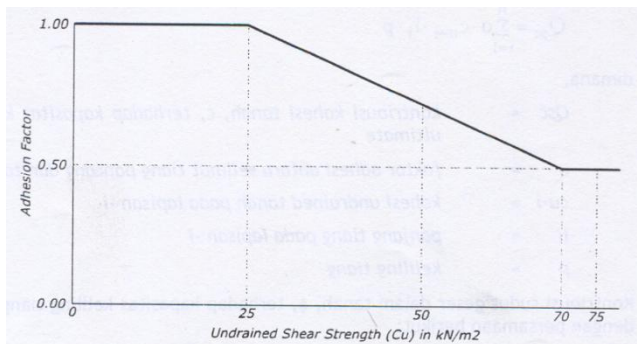
p : keliling tiang

f_i : $K_{o-i} \cdot \sigma'_{v-i} \cdot \tan (2/3 \phi_i)$

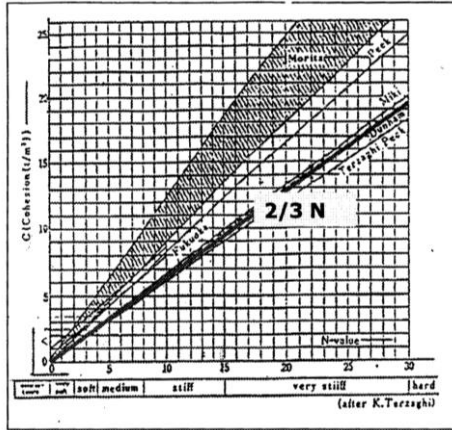
K_{o-i} : koefisien tekanan tanah lateral pada lapisan ke-i ($1 - \sin\phi$)

σ'_{v-i} : tegangan vertikal efektif pada tengah lapisan ke-i

Untuk faktor adhesi tiang pancang berdasarkan *America Petroleum Institute – API metode 2 (1986)* sebagai berikut.

**Gambar 2.29** Faktor Adhesi, (API Metode-2, 1986)

Untuk penentuan nilai c_u dari pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) di lapangan dapat menggunakan metode grafik dibawah (*Terzaghi, 1967*). Metode tersebut dilakukan dengan bantuan grafik perbandingan antara nilai N-SPT vs c_u .



Gambar 2.30 Hubungan Antara N-SPTcorr dengan C_u
(Terzaghi dan Peck, 1967)

Dari gambar grafik hubungan antar nilai N-SPT diatas diatas diperoleh persamaan sederhana yang menunjukkan besaran *undrained shear strength*, sebagai berikut.

$$c_u = \frac{2}{3} \cdot N - SPT_{correction} \quad (2.56)$$

$$N - SPT_{correction} = N - SPT \cdot correction\ factor \quad (2.57)$$

Untuk korelasi nilai N-SPT dapat menggunakan tabel berikut ini. (*Vesic, 1970*)

Countr	Hammer Type	Hammer Release	Estimated Rod Energy (%)	Correction Factor fo r 60% Rod Energy
Japan	Donut	Free Fall	78	78/60 = 1.30
	Donut	Rope an Pulley with special throw release	67	67/60 = 1.12
US	Safety	Rope and Pulley	60	60/60 = 1.00
	Donut	Rope and Pulley	45	45/60 = 0.75
Argentina	Donut	Rope and Pulley	45	45/60 = 0.75
China	Donut	Free Fall	60	60/60 = 1.00
	Donut	Rope and Pulley	50	50/60 = 0.83

Gambar 2.31 Koreksi Nilai N-SPT (*Vesic, 1970*)

b. Tahanan ujung untuk tiang pancang

- Untuk tanah kohesi (*cohesion soil*)
Untuk tanah kohesif, besarnya tahanan ujung tiang pancang (*driven pile*) dihitung berdasarkan metoda *over-bourden* tetapi dengan $\phi=0$.

$$R_p = 9 \cdot c_u \cdot A_p \quad (2.58)$$

- Untuk tanah berbutir kasar (*non-cohesion soil*)
Untuk tanah berbutir kasar, pasir hingga gravel, tahanan ujung tiang pancang sebagai berikut.

$$R_p = 40 \cdot N \cdot A_p \quad (2.59)$$

Dimana

c_u : kohesi tanah tempat ujung tertanam

A_p : luas ujung tiang

N : nilai N-SPT tanah

2.9.1.2 Daya Dukung Horizontal yang diijinkan

Untuk perumusan besarnya daya dukung horizontal yang diijinkan (H_a) berdasarkan pada buku *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, *Suyono S, Kazuto Nakazawa* sebagai berikut.

$$H_a = \frac{4EI \cdot \beta^3}{1 + \beta h} \cdot \delta_a \quad (2.60)$$

Dimana

H_a : daya dukung mendatar yang diijinkan (kg)

k : koefisien raksi lapisan tanah di bawah permukaan dalam arah vertikal (kg/m^3)

D : diameter tiang (cm)

EI : kekakuan lentur tiang (kg/cm^{-1})

β : $\sqrt[4]{(k \cdot D)/4EI}$ (cm^{-1})

h : panjang tiang yang menonjol diatas tanah (cm)

δ_a : besarnya pergeseran normal (cm)

2.9.2 Spring Constant

Konstanta pegas (*spring constant*) k dari tiang dalam arah vertikal adalah suatu konstanta elastis yang dinyatakan sebagai gaya dalam arah vertikal yang menimbulkan pergeseran (*displacement*) sebesar satu satuan dalam arah vertikal pada kepala tiang.

Spring constant ini dihitung mengacu berdasarkan buku *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, Suyono S, Kazuto Nakazawa sebagai berikut.

$$k = k_0 \cdot y^{-1/2} \quad (2.61)$$

$$k_0 = 0,2 \cdot E_0 \cdot D^{-3/4} \quad (2.62)$$

$$\text{Spring constant} = k \cdot D \cdot L_i \quad (2.63)$$

$$E_0 = (N \cdot 28) \quad (2.64)$$

Dimana

k_0 : modulus reaksi horizontal yang harganya konstan sepanjang tiang terbenam

k : koefisien fraksi lapisan tanah di bawah permukaan dalam arah vertikal (kg/m^3)

y : besarnya pergeseran yang akan dicari (cm) (1cm)

E_0 : modulus deformasi tanah pondasi

L_i : panjang tiang yang dihitung

D : diameter tiang (cm)

2.10 Metode Perbaikan

Secara mendasar penyebab dari penurunan kualitas beton adalah evaluasi yang mendasar untuk suatu perbaikan. Jika penyebab dari suatu penurunan kualitas telah diketahui maka lebih mudah untuk memilih system perbaikan sehingga perbaikan yang diinginkan tercapai. Untuk contoh retak bisa sebagai pertanda distorsi tegangan yang dimungkinkan beberapa penyebab seperti susut, perbedaan suhu, beban berlebih, korosi, dan lainnya. Hanya setelah penyebab-penyebab dari penurunan kapasitas bisa ditemukan keputusan-keputusan rasional yang bisa dibuat sebagai acuan untuk memilih sistem *repair* yang cocok dan diterapkan pada proses perbaikan. Berikut ini disajikan beberapa teknik perbaikan untuk menangani kerusakan yang umum terjadi pada beton.

- a. *Acid Etching*, merupakan teknik yang dapat digunakan untuk mempersiapkan permukaan beton asli yang akan menerima penerapan material perbaikan atau untuk mengkasarkan permukaan licin yang akan dikerjakan.

- b. *Caulking*, merupakan teknik yang digunakan untuk perbaikan terhadap retak dengan ukuran kecil atau menengah dimana secara keseluruhan yang tidak perlu dibobok. Dengan teknik retak pada beton tersebut diisi material yang bersifat plastis, bukan yang mengalir dengan mudah seperti *grout* atau kaku seperti *dry pack mortar*.
- c. *Routing* dan *Sealing*, teknik ini digunakan untuk memperbaiki retak yang bersifat *dormant* dan tidak memiliki signifikansi struktural. Dengan teknik ini retak diperbesar sepanjang permukaan yang terekspos dan mengisinya dengan *joint sealant* yang sesuai. Sebagai *sealant* dapat dipilih senyawa *epoxy* yang akan tetap fleksibel pada perubahan temperatur yang besar.
- d. *Coating*, untuk teknik ini beton dilapisi dengan material bersifat plastis atau cair yang kemudian membentuk lapisan yang menyelimuti beton yang menghadapi lingkungan yang membahayakan untuk memperoleh masa guna lebih panjang pada beton.
- e. Penggantian secara konvensional: materi dengan konsistensi plastis, beton yang rusak dapat diganti dengan mortar yang dibuat atas dasar semen *Portland* ataupun material penambal yang bersifat plastis lainnya. Beton asli dapat dibuang sebagian atau seluruhnya tergantung besarnya dan sifat kerusakan.
- f. Penggantian secara konvensional: *dry pack*, prosedur serupa seperti butir e, namun material yang digunakan tidak memiliki *slump*. Material ini dipadatkan kepada daerah yang harus diperbaiki. Teknik ini sesuai untuk memperbaiki rongga-rongga yang dalam dan tidak lebar serta tidak dibalik penghalang maupun tulangan beton (aksesibilitasnya baik) karena dalam hal ini bekisting tidak dibutuhkan.
- g. *Grinding*, bila permukaan suatu plat beton tidak mulus kedatarannya atau bila plat tersebut memiliki lubang atau retak yang dangkal maka teknik ini dapat digunakan.

- h. *Injection*, untuk retak-retak yang sempit dapat diperbaiki dengan menyuntikkan *epoxy resin*.
- i. *Jacketing*, pada teknik ini material dilekatkan dengan menggunakan pengencang pada beton. Material ini dapat berupa metal, karet plastic, atau beton dengan kekuatan tinggi.
- j. *Prepack concrete*, atau disebut juga *preplaced aggregate concrete*. Pada teknik ini agregat yang bersifat *gap graded* dipadatkan pada suatu lubang dan direndam dengan air untuk menjadikan agregat jenuh, kemudian mortar / *grout* dipompakan dari dasar sehingga menggantikan tempat air.
- k. *Resurfacing (overlaying)*, teknik ini digunakan untuk memperbaiki lantai dan perkerasan jalan yang secara struktur masih baik namun permukaan rusak akibat siklus alam ataupun lalu lintas berat.
- l. *Shotcreting*, pada teknik ini beton atau mortar ditembakkan dengan tekanan pada lubang atau permukaan beton yang akan diperbaiki dengan memompa seluruh material yang telah dicampur melalui pipa kemudian menembakkan/memompa bahan atau mortar yang masih kering lalu mencampurnya dengan air pada bagian *nozzle* pembentuk beton.
- m. *Stitching*, digunakan untuk memperbaiki retak yang besar dimana kontinuitas struktur dan kekuatan tarik harus dikembalikan seperti semula. Pada teknik ini digunakan *dogs* (metal berbentuk U dengan kaki pendek) diletakkan melalui retak dan diangker pada lubang-lubang dengan menggunakan *grout* atau sistem perekat berdasarkan *epoxy resin* yang tidak menyusut. *Dogs* dengan beberapa ukuran yang berbeda diletakkan di sepanjang bidang-bidang yang berbeda untuk menghindari konsentrasi tegangan. *Stitching* tidak akan menutup retak tetapi menghindarkan penyebarannya. Bila terdapat masalah air, retak harus ditutup sehingga tahan air sebelum melakukan untuk mencegah korosi.

- n. Penambahan tulangan, pada cara ini mula-mula retak ditutup, lalu lubang-lubang dibuat dengan bor melalui bidang retak pada $\pm 90^\circ$. Lubang-lubang dan bidang retak kemudian diisi *epoxy* yang dipompa dengan tekanan rendah dan selanjutnya tulangan diletakkan pada lubang-lubang tersebut. *Epoxy* akan merekatkan kembali permukaan beton yang retak dan akan mengangker tulangan.
- o. *External prestressing*, bila daerah yang retak terlalu luas untuk menerapkan *stitching* dan retak harus ditutup. Metode *post tensioning* dapat digunakan. Pada cara ini batang atau kabel *prestressing* ditanam pada beton yang rusak, memberikan tegangan padanya sampai suatu tegangan tarik tertentu lalu mengangkerkannya sehingga elemen yang rusak mendapat gaya tekan.
- p. *Autogenous healing*, suatu proses natural perbaikan retak. Dapat terjadi pada beton bila lingkungan sekitarnya bersifat lembab dan tidak ada tegangan tarik atau pergerakan. Proses ini akan menutup retak yang bersifat dormant di dalam lingkungan yang lembab. Perbaikan ini tergantung dari terjadinya proses karbonisasi dari *calcium hydroxide* di dalam pasta semen oleh *carbon dioxide* yang ada di dalam udara atau air sekelilingnya. Pelekatan kimiawi dan mekanik yang terjadi antara kristal dan permukaan pasta serta agregat akan mengembalikan sebagian kekuatan tarik beton melalui penampang retak dan retak akan tertutup.

Pada tabel berikut disajikan rangkuman berbagai metode perbaikan serta material yang dipakai untuk memperbaiki kerusakan pada beton bertulang.

Tabel 2.17 Macam-macam metode perbaikan

Kerusakan	Metode Perbaikan	Material
Retak- Retak	- Injeksi bertekanan menggunakan <i>flexible filler</i> dan <i>rigid filler</i>	<i>flexible epoxy filler</i> dan <i>rigid epoxy filler</i>
	- <i>Jacketing (strapping)</i>	Batang baja
	- <i>Overlaying</i>	Mortar khusus
	- <i>Coating</i>	<i>Bituminouscoating</i>
	- <i>Grinding</i> dan <i>overlaying</i>	<i>Latex modified concrete</i> , beton sangat padat
	- <i>Dry pack</i>	<i>Dry pack</i>
	- <i>Shotcrete</i>	Mortar (semen), <i>fast setting mortar</i> , beton <i>epoxy</i>
	- <i>Caulking</i>	<i>Elastomeric Sealer</i> , <i>cement grout</i> , <i>fast setting mortar</i>
	- Perkuatan	Plat baja, <i>post tensioning</i> , CFIBER GLASS
- Rekonstruksi	Sesuai kebutuhan	
<i>Spalling</i> dan <i>Scalling</i>	- <i>Patching</i>	beton <i>epoxy</i>
	- <i>Shotcrete</i>	Mortar (semen), <i>fast setting mortar</i> , beton <i>epoxy</i>
	- <i>Coating</i>	<i>Bituminouscoating</i>
	- Penggantian	Sesuai kebutuhan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

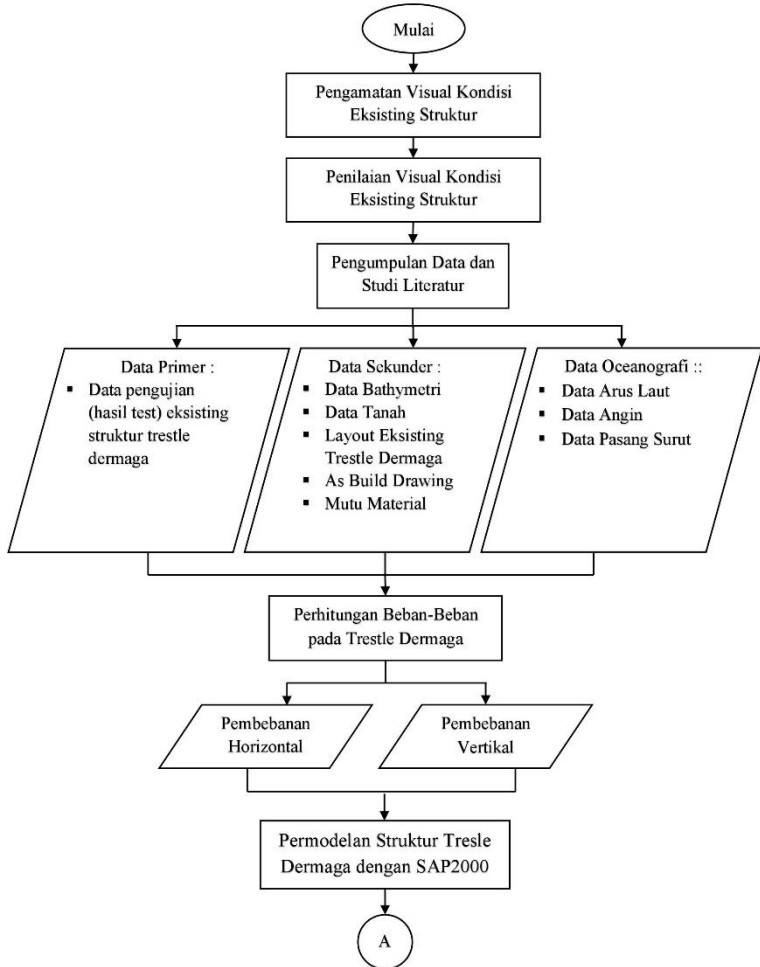
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

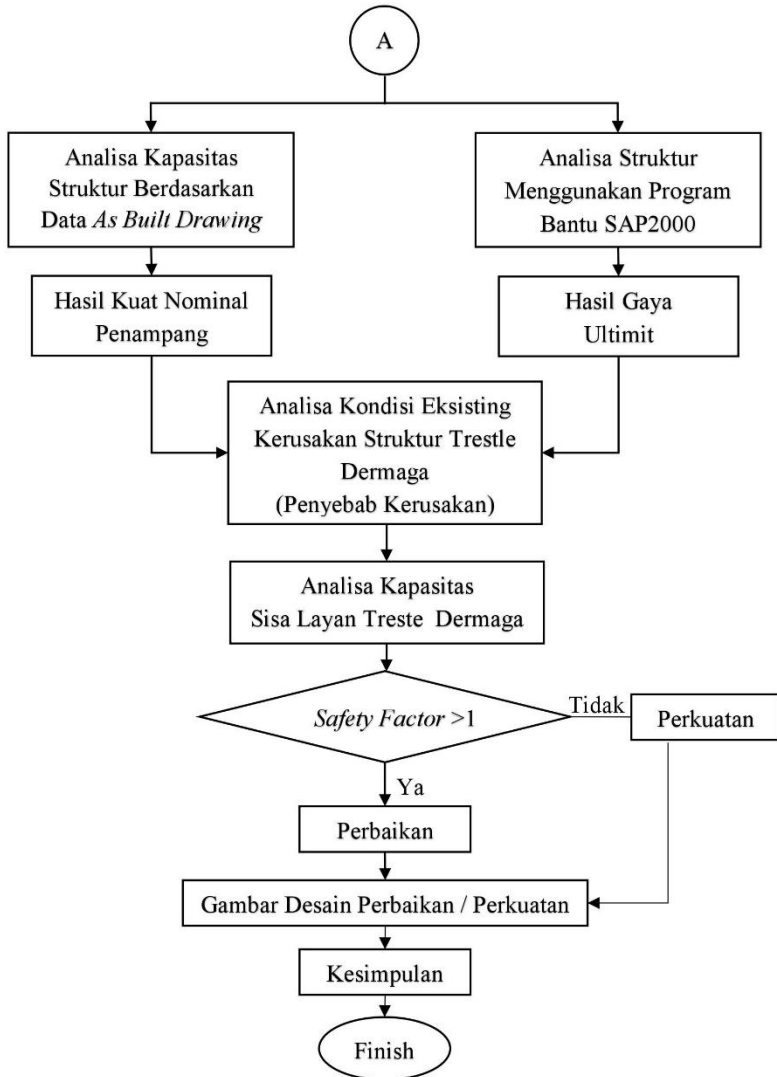
BAB III

METODOLOGI

3.1 Diagram Alur Penyelesaian Tugas Akhir

Langkah-langkah mengerjakan Tugas Akhir digambarkan pada gambar berikut ini.





Gambar 3.1 Diagram Alur Pekerjaan Tugas Akhir

3.2 Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

Dari diagram alur di atas dijelaskan sebagai berikut.

3.3 Pengamatan Visual Kondisi Struktur

Tahapan awal dalam melakukan evaluasi pada suatu struktur ialah meninjau langsung keadaan struktur (eksisting) guna memperoleh gambaran kondisi struktur eksisting trestle dermaga. Kegiatan pada survey pendahuluan sebagian besar merupakan kegiatan pengumpulan data sekunder dan melihat kondisi kerusakan yang terjadi, yang meliputi:

1. Dokumen-dokumen teknis tentang rancang bangunan konstruksi dan sistim operasional trestle dermaga, dengan tujuan untuk :
 - a. Mendapatkan data dan informasi mengenai data teknis trestle dermaga
 - b. Melakukan kompilasi data dan catatan serta pengukuran di lapangan yang pernah dilakukan di area studi
2. Melakukan pengumpulan data untuk analisa dari data yang terdapat pada lokasi maupun sumber-sumber lain yang relevan terdiri dari :
 - a. Data pembebanan saat dilakukan ”*maintenance*” peralatan.
 - b. Data pasang surut.
 - c. Data alat operasional

Pada pengamatan visual dilakukan perekaman berkaitan dengan kerusakan-kerusakan yang terjadi pada struktur yang di atas permukaan air maupun struktur di bawah permukaan air meliputi struktur plat, balok, pilecap, maupun tiang pancang. Untuk hasil pengamatan visual terdapat pada Lampiran.

3.4 Penilaian Kondisi Eksisting Struktur

Untuk mengetahui kondisi eksisting struktur dermaga, dilakukan survei kondisi struktur eksisting di lapangan serta uji material struktur di lapangan dan di laboratorium. Uji material struktur di lapangan meliputi uji *Schmidt Hammer*, *Ultrasonic Pulse Velocity*, *Bar Locator*, *Half-cell potential*, *Resistivity*, *Permeability*, pengukuran kedalaman dan lebar retak.

Serta pengambilan sample dengan *Core Drill* dan uji karbonasi beton dengan menggunakan cairan *phenolphthalein* serta pengambilan sample air.

1. Pengujian dan pengambilan sampel di lapangan ialah :
 - Pencatatan pengamatan visual terhadap kerusakan-kerusakan yang ada, antara lain : lokasi pelapukan, lokasi retak, dan lokasi korosi.
 - Pengambilan sampel beton (benda uji) dengan *core drill* sebanyak 4 titik pada trestle, dilakukan berdasarkan ASTM C42-90. Benda uji beton yang telah diambil dari lapangan kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian kuat tekan, penetrasi chlor dan pH, sedangkan untuk benda uji baja tulangan diadakan pengujian kuat tarik dan uji tebal korosi permukaan baja.
 - Pengambilan contoh air untuk mengetahui tingkat salinitas, kandungan chlor maupun kandungan bahan kimiawi lainnya.
2. Pengambilan sampel tulangan baja dilakukan pada lokasi *core drill*.
3. Pengujian kekuatan beton dengan *hammer test* pada lokasi *core drill* dan beberapa lokasi di setiap elemen struktur bangunan dermaga sesuai yang telah ditentukan dengan 13 titik pada trestle. Pengujian ini dilaksanakan sesuai dengan ASTM C805-85.
4. Pengujian ultrasonic (*UPV Test*) untuk mengetahui tingkat kepadatan dan kekuatan beton dan mengkorelasi hasil pengujian ultrasonic serta hasil kekuatan tekan benda uji *core drill*. Pada pelaksanaan pengujian UPV ini diperoleh kecepatan rambat rata-rata (v). Harga inilah yang akan diterjemahkan ke dalam tegangan tekan dengan menggunakan persamaan regresi linier hasil korelasi hubungan antara tegangan tekan benda uji silinder beton dari *Core Drill* dan kecepatan rambat rata-rata (v). Jumlah pengujian UPV ini ada 13 titik pada trestle. Pengujian ini berdasarkan ASTM C597-83(91).

5. Pengujian *resistivity* untuk mengetahui tingkat ketahanan beton terhadap bahaya korosi dengan menggunakan resipod sesuai dengan ASTM C-876-91. Pengujian ini dilakukan sebanyak 13 titik pada trestle.
6. Penentuan posisi tulangan, sekaligus mencari informasi tebal selimut beton menggunakan alat *bar locator*. Untuk pengujian ini dilakukan pada 13 titik pada struktur trestle.
7. Pengukuran nilai potensial pada lingkungan baja tulangan dengan menggunakan *half-cell potential* sesuai dengan ASTM C-876-91. Nilai potensial tersebut bisa menunjukkan kondisi korosi baja tulangan yang terdapat di dalam beton bertulang. Pengujian dilakukan pada permukaan elemen struktur trestle dermaga sebanyak 11 titik pada trestle.
8. Pengujian *permeability* ini berkaitan dengan adanya potensi korosi yang menyerang beton bertulang. Pengujian ini dilakukan sebanyak 10 titik pada trestle.
9. Pengukuran lebar dan kedalaman retak dilakukan sebanyak 20 titik pada area trestle. Untuk pengukuran kedalaman retak dengan bantuan alat *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* sedangkan pengukuran lebar retak dengan bantuan *crack comparator*.
10. Pengukuran ketebalan baja (*thickness*) dilakukan pada material baja berupa tiang pancang yang terdapat pada jetty dan trestle. Hasil dari pengukuran ini digunakan untuk mengetahui tebal dari baja tiang pancang. Pengujian dilakukan menyebar sebanyak 63 titik pada trestle.
11. Pengukuran cathodic untuk melihat kinerja proteksi system cathodic tiang pancang guna mengetahui kondisi sejauh mana system proteksi korosi pada tiang baja berfungsi.
12. Pengujian di laboratorium:
 - Pengujian kekuatan tekan beton dilakukan pada 17 buah benda uji silinder beton sesuai persyaratan ASTM C39-93A

- Chlor penetration dan pH test dilakukan terhadap 15 benda uji silinder beton hasil core drill, yang masing-masing diambil 2 contoh pada kedalaman 0 mm dan 5 mm menurut standar ASTM C11-52.
- Corrosion rate test dengan standart ASTM G31-72. Korosi pada tulangan dianalisa berdasarkan tulangan yang terambil pada saat pengambilan benda uji core drill. Hasil tersebut dicocokkan dengan hasil analisa penetrasi Chlor dan analisa potensial tulangan.
- Porositas untuk mengetahui prosentase rongga beton, pengujian ini dilakukan sesuai ASTM C642-97.
- Pengujian kuat tarik tulangan baja berdasarkan ASTM A370-94. Kuat tarik baja tulangan yang dilakukan pada baja tulangan beton diambil dari struktur beton bertulang dari benda uji silinder beton yang diambil dengan core drill.
- Pengujian kandungan senyawa kimia air laut berdasarkan ASTM D2216-92. Pengambilan air laut disekitar dermaga dilakukan sebanyak 3 sample.

3.5 Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Untuk mengetahui kinerja struktur bangunan diperlukan data-data yang akan digunakan sebagai dasar dari perhitungan. Diketahui data umum dermaga terbagi menjadi dua yaitu data primer dan sekunder, antara lain sebagai berikut.

3.5.1 Data Sekunder

3.5.1.1 Data Umum

- Nama struktur : Trestle Dermaga
- Lokasi : Kab. Probolinggo, Jawa Timur
- Fungsi : Dermaga curah kering batu bara
- Material dek dan tiang : Data material terlampir

3.5.1.2 Data Tanah

Penyelidikan tanah yang dilakukan adalah jenis bor dalam dengan kedalaman bervariasi sesuai dengan kondisi tanah pada masing-masing titikbor. Untuk data tanah yang lebih detail dapat dilihat pada sub bab 5.1.1.

3.5.1.3 Layout Eksisting

Pada perencanaan data layout eksisting digunakan sebagai penentuan lokasi dermaga tersebut baik lokasi kolam dermaga, kedalaman kolam dermaga dan dimensi dermaga. Untuk layout letak bangunan dapat dilihat pada lampiran.

3.5.1.4 *As Built Drawing*

As Built Drawing merupakan gambar final dari bangunan yang dilaksanakan. Dalam tugas akhir ini *as built drawing* digunakan untuk memodelkan agar sesuai dengan keadaan eksisting bangunan. Untuk *as built drawing* dapat dilihat pada lampiran.

3.5.2 Data Oceanografi

3.5.2.1 Data Arus

Data arus ini dibutuhkan untuk menentukan besarnya gaya pada pondasi pancang.

3.5.2.2 Data Angin

Sama halnya dengan data arus, data angin ini dibutuhkan untuk menentukan besarnya gaya pada pondasi pancang.

3.6 Studi Literatur

Literatur yang digunakan sebagai acuan pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- Perencanaan beban gempa sesuai dengan SNI 2833-2016, Standart Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan
- Perencanaan beban mati dan beban hidup sesuai 1725-2016
- Perhitungan kapasitas struktur dermaga sesuai dengan SNI 03-2847-2013, Tata Cara Perlindungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung
- Perencanaan Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, 2009
- *Standart Design and Criteria for Port in Indonesia, 1994*
- *Techinal Standards for Port and Harbour Facilities in Japan (2002)*
- *Port of Long Beach Wharf Design Criteria*
- Jurnal-jurnal yang berkaitan dengan korosi pada beton bertulang dan evaluasi struktur dermaga

3.7 Analisa Pembebanan Struktur

Analisa pembebanan merupakan perhitungan terhadap beban-beban yang bekerja pada struktur trestle dermaga meliputi beban horizontal, beban vertikal, dan kombinasi pembebanan yang akan digunakan. Pembebanan struktur ini telah dijelaskan pada bab 2.

3.7.1 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang akan ditinjau berdasarkan *Port of Long Beach Wharf Design Criteria*, dengan faktor kombinasi beban seperti pada tabel berikut.

LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD) ^b									
Case	LOAD COMBINATION FACTORS								
	D	L+I ^c	E	W	BE	M	R+S+T	BU	C
I	1.20	1.60	1.60	1.00	—	—	1.20	1.20	1.20
II ^d	0.90	—	1.60	1.00	—	—	1.20	1.00	1.20
III	1.20	1.00	1.60	1.00	1.60	—	—	1.20	1.20
IV	1.20	1.60	1.60	1.00	—	1.60	—	1.20	1.20
SERVICE LOAD DESIGN (SLD) / ALLOWABLE STRESS DESIGN (ASD) ^e									
Case	LOAD COMBINATION FACTORS								
	D	L+I ^c	E	W	BE	M	R+S+T	BU	C
I	1.00	1.00	1.00	0.60	—	—	1.00	1.00	1.00
II	1.00	0.75	1.00	0.45	1.00	—	—	1.00	1.00
III	1.00	1.00	1.00	0.60	—	1.00	—	1.00	1.00
^a For earthquake load combinations, refer to Section 4.5.2 ^b The Load Resistance Factor Design require the strength reduction factors, ϕ as specified in ACI-318 (Ref. 2). Strength reduction factors shall follow ACI-318 (Ref. 2) for reinforced concrete design and AISC (Ref. 4) for structural steel design. ^c The LRFD and SLD/ASD crane wheel loads determined according to Section 3.3.3 should be combined with other loads listed in this table without additional factor. ^d Reduce load factor to 0.9 for dead load (D) to check members for minimum axial load and maximum moment. ^e Increase in allowable stress shall not be used.									

Gambar 3.2 Kombinasi Pembebanan Dermaga (*Port of Long Beach Wharf Design Criteria*)

Load Symbols

D	= Dead Loads
L	= Live Loads
I	= Impact Factor
BU	= Buoyancy Loads
BE	= Berthing Loads
M	= Mooring Loads
E	= Earth Pressure Loads
W	= Wind Loads on Structure
R	= Creep Loads
S	= Shrinkage Loads
T	= Temperature Loads
C	= Current on Structure Loads

3.8 Analisa Kondisi Eksisting Kerusakan (Degradasi Material)

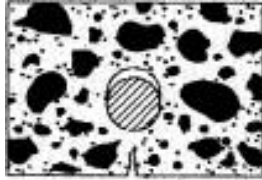
Dalam sub bab ini akan menganalisa bentuk dan jenis kerusakan yang terjadi pada elemen struktur trestle dermaga baik pada pelat, balok, pile cap, dan tiang pancang. Dari hasil peninjauan secara visual terdapat kerusakan berupa retak yang terjadi pada plat lantai trestle, pile cap, dan cover beton tiang pancang baja trestle dermaga. Penting untuk mengidentifikasi masalah utama yang sehubungan dengan keretakan. Kekhawatiran utama adalah retakan mempengaruhi struktur yang disebabkan oleh disain yang tidak sesuai, secara estetika tidak dapat diterima, pengaruh lingkungan, yang pada akhirnya dapat mengurangi daya tahan.

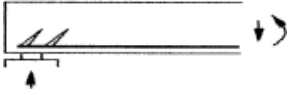
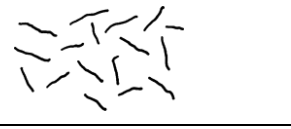
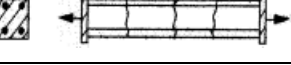

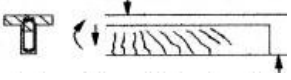
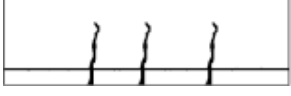
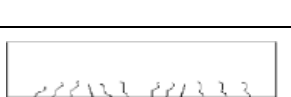
Tabel 3.1 Penyebab Retak pada beton

No	Penyebab Retak	Karakteristik Bentuk Retak	Waktu Retak	Pembatasan Formasi Retak
1	Merosotnya beton segar	Retakan memanjang diatas tulangan teratas; lebar retak mungkin beberap mm; kedalaman retak hanya sampai tulangan	Selama jam-jam awal/pertama setelah penuangan, selama beton keadaan plastis	Komposisi beton, saat pemadatan

No	Penyebab Retak	Karakteristik Bentuk Retak	Waktu Retak	Pembatasan Formasi Retak
2	Penyusutan awal (<i>Plastic shrinkage</i>)	Retakan permukaan, terutama pada bidang permukaan datar; Lebar retak mungkin 1mm; Kedalaman retak kecil	Selama jam-jam awal/pertama setelah penuangan, selama beton keadaan plastis	Komposisi beton, saat pemadatan; Setelah perawatan
3	Aliran panas hidrasi	Retak permukaan, retak yang memisahkan, retak lentur; Lebar retak kemungkinan >1mm	Selama hari-hari awal setelah penuangan	Komposisi beton, pendinginan, setelah perawatan, tulangan sambungan
4	Penyusutan (<i>Drying Shrinkage</i>)	Retak permukaan, retak yang memisahkan, retak lentur; Lebar retak kemungkinan >1mm	Beberapa minggu dan bulan setelah penuangan	Komposisi beton, tulangan, <i>splices reinforcement</i>
5	Paparan suhu (<i>External temperature exposure</i>)	Retakan lentur dan memecah, lebar retak mungkin >1mm, juga mungkin retak permukaan	Setiap saat	Tulangan, sambungan, komposisi beton, prategang
6	Penurunan atau deformasi	Retakan lentur dan memecah, lebar retak mungkin >1mm	Setiap saat	Tulangan, sambungan, komposisi beton, prategang
7	Beban eksternal langsung	Retak lentur, pembagi, geser, rambut, ataupun retakan akumulatif	Setiap saat	Tulangan
9	Korosi tulangan	Retak memanjang sampai tulangan	Setelah beberapa tahun	Komposisi beton, tebal selimut

Tabel 3.2 Jenis dan bentuk retakan

No	Jenis Retakan		Bentuk dan Formasi Retak	Karakteristik
1	Retak permukaan	Celah memanjang ke tulangan		Seringkali pada permukaan diatas tulangan teratas. Tergantung pada penyebabnya (merosot, susut).

No	Jenis Retakan	Bentuk dan Formasi Retak	Karakteristik
2	Retak ikatan (bond crack)		Support area
3	Retak tak beraturan (map crack)		Diatas permukaan bidang datar
4	Retak pemecah (tension crack)		Membentuk bagian celah
5	Retak lentur		Almost perpendicular to the rc- bars. End at neutral axis.
6	Retak geser		Inclined / Develop from flexural cracks
7	Retak akumulatif		Retak sampai sumbu netral beton; biasanya terjadi pada bagian gaya terbesar
8	Secondary crack		Retakan halus antara retakan lentur atau akumulatif

3.9 Analisa Gaya Dalam dan Permodelan Struktur

Analisa struktur menggunakan program bantu SAP2000.

Data yang didapat dari SAP2000 berupa gaya reaksi dan gaya dalam yang terdapat pada struktur.

3.10 Analisa Kapasitas Struktur Berdasarkan *As Built Drawing*

Dari hasil *As Built Drawing* maka dapat diketahui dimensi struktur beserta geometri jumlah material tulangan yang terpasang serta hasil pengujian kondisi eksisting struktur. Sehingga dari data tersebut dapat dihitung kapasitas eksisting terkini pada struktur.

3.11 Analisa Kapasitas Sisa Layan Dermaga

Dari hasil analisa gaya dalam dari program bantu SAP2000 dan hasil analisa kapasitas struktur maka dievaluasi dengan peraturan terbaru meliputi evaluasi semua struktur yang terdapat pada trestle dermaga. Sehingga dari tahap ini diharapkan dapat mengetahui struktur mana saja yang sudah tidak mampu untuk memikul beban operasional dermaga ($SF < 1$). Untuk struktur bangunan beton mengacu pada SNI 2847-2013, berdasarkan ketentuan dalam standar tersebut angka keamanan ($Safety Factor = SF$) terhadap lentur dan geser dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$SF = \frac{\phi M_n(T_o)}{M_u} > 1,0 \quad (3.1)$$

$$SF = \frac{\phi V_n(T_o)}{V_u} > 1,0 \quad (3.2)$$

Pada saat angka keamanan komponen struktur seperti didefinisikan pada persamaan (3.1) dan (3.2) lebih kecil dari 1,0 kondisi struktu sesungguhnya belum akan runtuh akibat lentur maupun geser. Hal ini disebabkan balok masih mempunyai angka kewanan yang cukup besar, meskipun sudah tidak memenuhi kriteria desain sesuai SNI 2847-2013. Angka keamanan yang terkandung dalam SNI tersebut berasal dari gabungan antara faktor beban dan reduksi penampang yang besarnya untuk lentur antara 1,3 s/d 1,8 dan geser berkisar antara 1,6 s/d 2,1. Komponen dinyatakan mendekati runtuh bila kuat nominal terhadap lentur (M_n) dan geser (V_n) lebih kecil dari gaya geser akibat beban kerja (beban tanpa faktor beban).

$$M_n(T_o) < M \quad (3.3)$$

$$V_n(T_o) < V \quad (3.4)$$

Dimana

$M_n(T_o)$: kuat lentur nominal penampang saat T_o setelah inisiasi korosi

M_u : kuat lentur akibat beban terfaktor yang didapat dari analisa struktur

- $V_n(T_o)$: kuat geser nominal penampang saat T_o setelah inisiasi korosi
 V_u : kuat geser akibat beban terfaktor yang didapat dari analisa struktur
 ϕ : faktor reduksi penampang
 M : momen lentur akibat beban kerja
 V : gaya geser akibat beban kerja

3.12 Perencanaan Metode Desain Perbaikan dan Perkuatan

Dari hasil analisa sebelumnya sudah diketahui struktur-struktur mana saja yang hanya perlu diperbaiki dan mana yang harus dilakukan perkuatan struktur. Pada tahap ini diharapkan mengetahui pertimbangan metode teknik yang paling optimal digunakan pada struktur dermaga yang sesuai dengan keadaan lapangan.

3.13 Gambar Desain Perbaikan / Perkuatan

Setelah penentuan metode perbaikan dan perkuatan ditetapkan maka langkah selanjutnya melakukan penggambaran teknik desain perbaikan / perkuatan rencana.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL SURVEY KONDISI STRUKTUR DAN UJI MATERIAL STRUKTUR

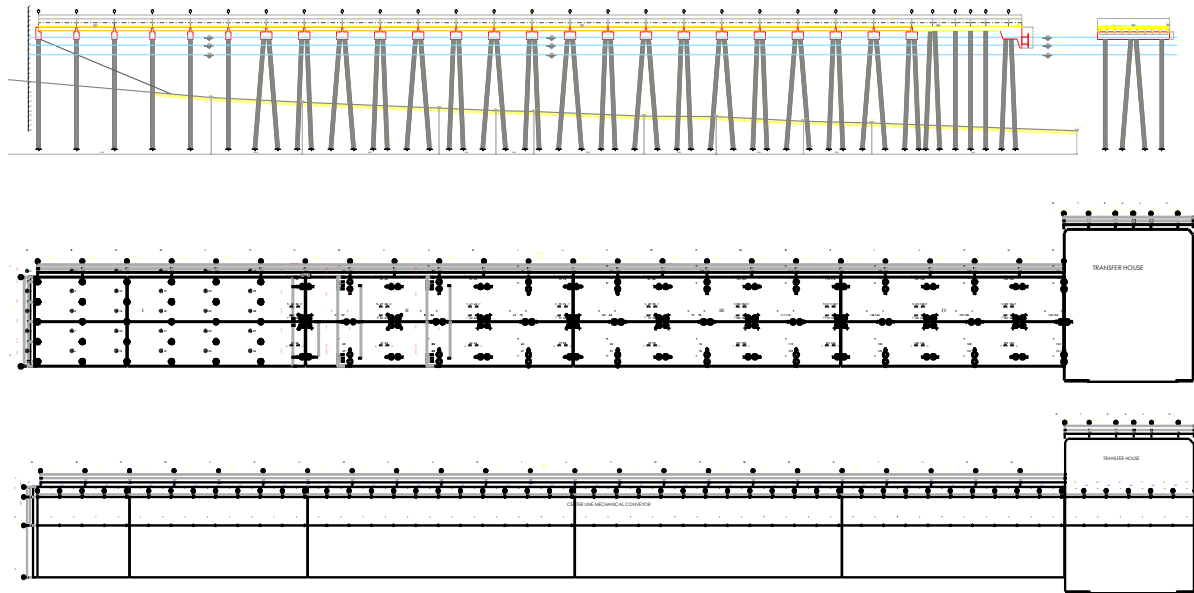
4.1 Umum

Dalam pelaksanaan peninjauan ulang struktur trestle dermaga dilaksanakan dalam beberapa tahap meliputi pengumpulan data sekunder yang berkaitan dengan struktur, survei kondisi struktur eksisting di lapangan serta uji material struktur di lapangan dan laboratorium. Survei dilapangan meliputi pengamatan kondisi semua struktur dermaga meliputi posisi dan jumlah struktur pancang serta inspeksi visual pada struktur dermaga. Untuk uji material struktur di lapangan meliputi uji *hammer*, *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*, *Bar Locator*, *Half-cell potensial*, *Resistivity*, *Permeability*, pengukuran dan kedalaman lebar retak, pengambilan sample dengan *CoreDrill*, uji karbonasi beton dengan menggunakan cairan *phenolphthalein*, serta pengambilan sample air.

Sedangkan untuk uji material struktur di laboratorium meliputi uji tarik baja, uji korosi permukaan baja, uji kuat tekan inti beton, uji kandungan air, uji tingkat durabilitas beton yang meliputi uji chlor dan pH beton. Selain pengujian material struktur dermaga, dilakukan juga penyelidikan tanah berupa uji bor dalam (N-SPT) untuk mengetahui kondisi lapisan tanah yang ada di lokasi dermaga saat ini.

4.2 Inspeksi Visual

Pada dermaga ini terdapat 2 bangunan utama yaitu tresle dan jetty. Pengamatan visual ini dilakukan untuk memperoleh gambaran langsung kondisi terkini struktur eksisting tresle dermaga. Pengamatan visual ini dilakukan pada semua lokasi baik dari sisi atas, bawah, serta struktur yang berada di permukaan air yang meliputi struktur plat, balok, pilecap, dan tiang pancang.



Gambar 4.1 Layout Trestle: Potongan Memanjang dan Melintang, Denah Tiang Pancang (Dari Atas ke Bawah)

4.2.1 Kondisi Terkini Struktur Pada Trestle

4.2.1.1 Pengamatan di Trestle Bagian Sisi Atas Plat

Secara visual, kondisi kerusakan pada trestle sisi atas dapat dilihat dari hasil pengamatan yang telah dilakukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.2 - 4.4 berikut.



Gambar 4.2 Kondisi Plat lantai trestle dan conveyor



Gambar 4.3 Retak diagonal pada plat lantai trestle



Gambar 4.4 Retak memanjang pada plat lantai trestle

Pada pengamatan visual trestle sisi atas terdapat keretakan dengan arah memanjang (vertikal) dan arah diagonal (sudut). Dengan adanya retakan tersebut harus dilakukan peninjauan ulang untuk mengetahui penyebab retak tersebut. Apakah terjadi karena struktural, kembang susut beton, regangan tarik beton, dan korosi. Dari hasil tersebut dapat ditentukan metode perbaikan yang efisien untuk mengatasinya.

4.2.1.2 Pengamatan di Trestle Bagian Bawah Plat

Secara visual, kondisi kerusakan pada trestle sisi bawah dapat dilihat dari hasil pengamatan yang telah dilakukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.5 – 4.8 berikut.



Gambar 4.5 Kondisi balok girder dan plat lantai sisi bawah masih baik tidak ada keretakan



Gambar 4.6 PileCap beton mengalami retak keliling (mengelupas) dan *spalling*



Gambar 4.7 PileCap beton keropos dan tulangan terkorosi

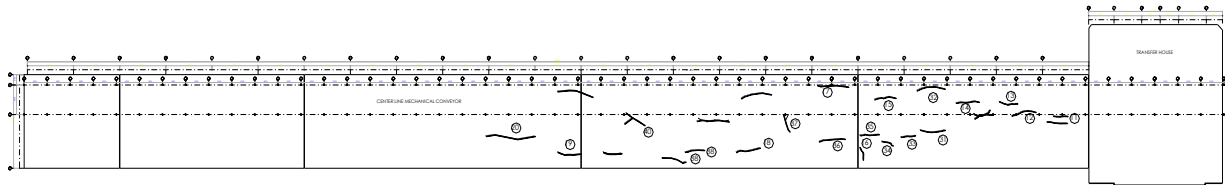


Gambar 4.8 Selimut beton pancang baja mengalami keretakan

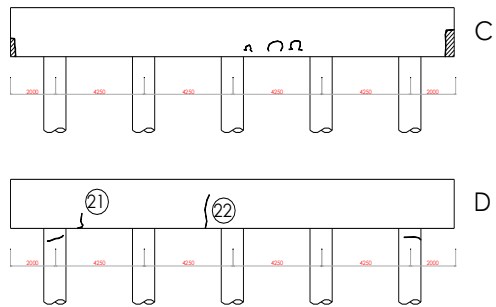
Pada pengamatan visual trestle sisi bawah untuk struktur balok girder dan plat masih dalam kondisi baik tidak terlihat keretakan yang cukup parah. Namun untuk struktur pilecap beton cukup banyak mengalami keretakan dan spalling, yang diakibatkan ekspansi volume tulangan sehingga melebihi batas regangan beton dan akhirnya beton mengelupas. Akibatnya tulangan sudah tidak terlindungi kembali oleh beton dan secara cepat terserang korosi.

4.2.3 Pengamatan Pola Retak Terjadi

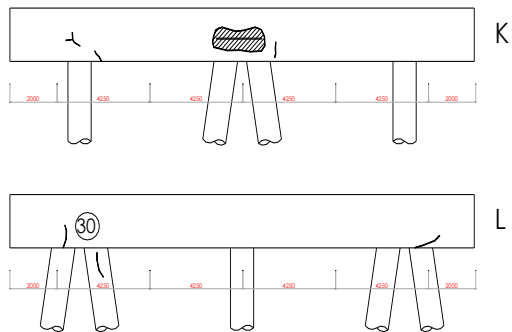
Pengamatan pola retak yang terjadi pada trestle dan jetty dianalisa dan dijadikan sketsa gambar guna mempermudah dalam menganalisa tipe/pola retak maupun kerusakan serta volume kerusakan pada trestle dan jetty. Dari pengamatan ini nantinya akan diketahui bahwa retak-retak pada tiap elemen struktur termasuk ke dalam retak berat, retak sedang, ataupun retak ringan. Sehingga dapat direncanakan metode perbaikan yang efisien sesuai dengan kerusakannya. Adapun kondisi retak pada setiap struktur yang diamati dapat dilihat pada gambar berikut ini.



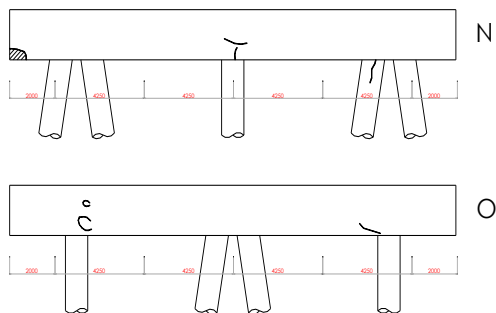
Gambar 4.9 Pola retak pada plat lantai trestle



Gambar 4. 10 Pola retak pilecap as C-D



Gambar 4. 11 Pola retak pilecap trestle as K-L



Gambar 4. 12 Pola retak pilecap trestle as N-O

Dari pengamatan pola retak trestle untuk struktur atas dan struktur bawah akan dilakukan analisa lebih lanjut untuk mengetahui penyebab utama dari keretakan tersebut. Serta nantinya akan dihitung nilai sisa dari kapasitas setiap struktur apakah struktur tersebut masih mampu atau tidak memikul beban operasional dermaga tersebut hingga 10 tahun kedepan.

4.3 Pengujian Material Struktur

Untuk dapat melakukan peninjauan ulang kapasitas dermaga maka diperlukan nilai dari setiap mutu struktur pada dermaga tersebut. Oleh karena itu dilakukan pengujian material struktur meliputi pengujian yang bersifat *non destructive test* dan *destructive test*. Jenis pengujian *non destructive test* yang dilakukan ialah uji *hammer*, *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*, *Bar Locator*, *Half-cell potensial*, *Resistivity*, *Permeability*. Sedangkan untuk pengujian *destructive test* meliputi pengambilan sample beton dan baja tulangan dengan *core drill* dan uji karbonasi beton dengan caira *phenolphthalein*.

4.3.1 Pengujian *Schmidt Hammer*

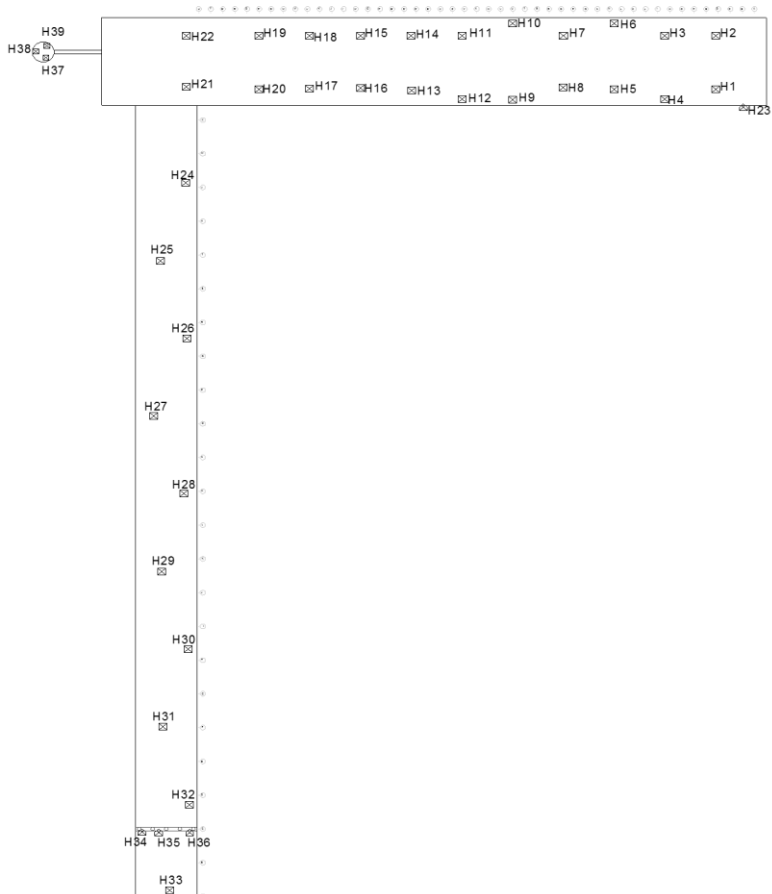
Pengujian *hammer* diperuntukkan untuk mengetahui kekuatan dan keseragaman mutu pelaksanaan pekerjaan beton tanpa harus merusak struktur tersebut. Dari pengujian *hammer* tersebut didapatkan nilai *rebound hammer*, untuk penetapan besar kuat tekan beton dapat dilakukan dengan membuat persamaan regresi linier hubungan antara nilai kuat tekan beton inti dari *core drill* dengan nilai *rebound hammer*. Berikut ini nilai rata-rata dari hasil uji *hammer*.

Tabel 4.1 Hasil rata-rata nilai uji *hammer*

No	Elemen Struktur	Nilai rebound rata-rata	Mutu Beton (MPa)
1	Plat Trestle	57.88	40.23
2	PileCap Trestle	58.46	40.54
3	Plat Dolphin	59.45	41.07

Untuk korelasi nilai mutu beton disajikan pada pasal 4.3.14. Serta hasil keseluruhan uji *schmidt hammer* dapat dilihat pada *Lampiran 1.1*.

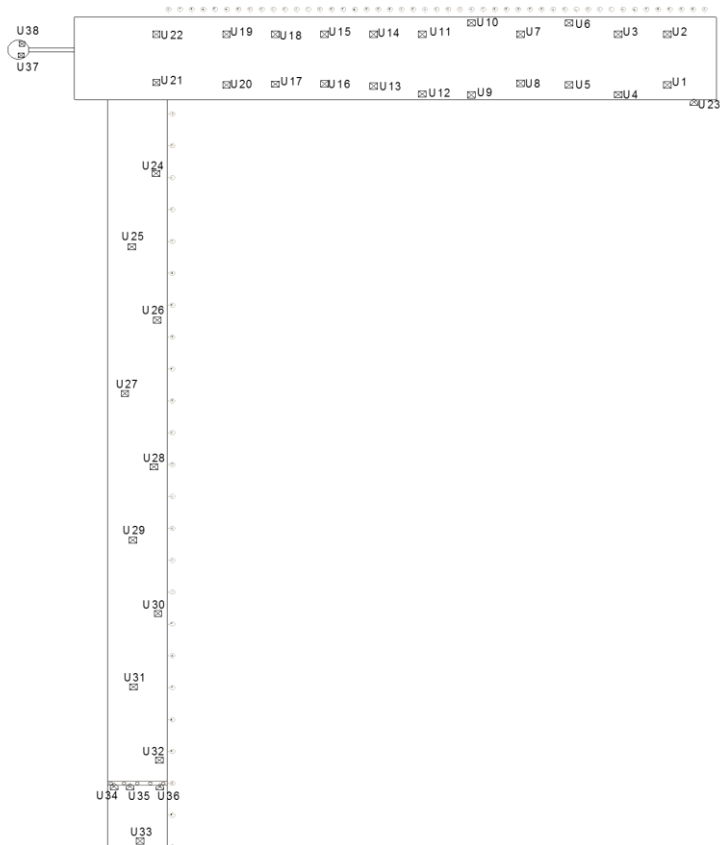
Pada uji *hammer* dermaga ini berjumlah 39 titik yang diantaranya: 23 titik pada jetty, 13 titik pada trestle, dan 3 titik pada mooring dolphin. Penyebaran titik lokasi pengambilan sample uji *hammer* dilakukan untuk semua struktur dermaga, lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Titik lokasi uji hammer

4.3.2 Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity*

Pengujian UPV dilakukan untuk mengetahui tingkat kepadatan beton dan kekuatan tekan beton setelah mengkorelasikan antara hasil uji UPV dengan hasil kuat tekan beton inti dari *Core Drill*. Untuk jumlah pengujian UPV ada 38 titik dengan perincian: 23 titik pada jetty, 13 titik pada trestle, dan 2 titik pada dolphin, lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Titik lokasi pengujian UPV

Dari pengujian UPV tersebut didapatkan nilai kecepatan rambat rata-rata, untuk penetapan besar kuat tekan beton dapat dilakukan dengan membuat persamaan regresi linier hubungan antara nilai kuat tekan beton inti dari *core drill* dengan nilai kecepatan rambat rata-rata. Berikut ini nilai rata-rata dari hasil uji UPV.

Tabel 4.2 Hasil rata-rata nilai uji UPV

No	Elemen Struktur	Kecp. rambat rata ² (m/s)	Mutu Beton (MPa)
1	Plat Trestle	1731.83	40.85
2	PileCap Trestle	3442.22	67.88
3	Plat Dolphin	1635.83	39.34

Untuk korelasi nilai mutu beton dengan disajikan pada pasal 4.3.15. Serta hasil keseluruhan uji *ultrasonic pulse velocity* dapat dilihat pada *Lampiran 1.2*.

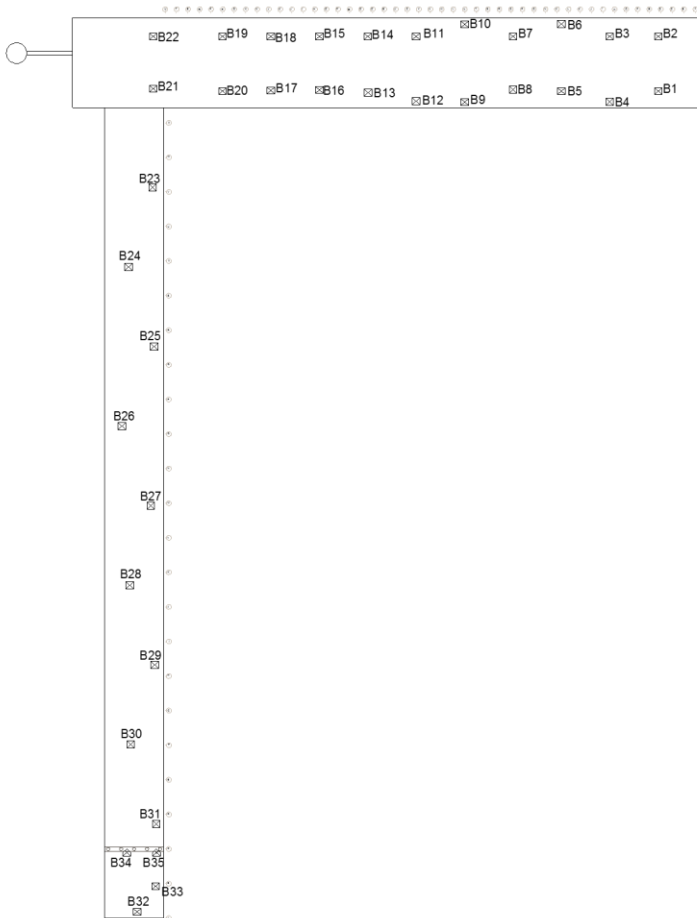
4.3.3 Pengujian Bar Locator

Pengujian *bar locator* merupakan pengamatan untuk mengetahui tebal selimut beton dan jarak tulangan didalam struktur. Hasil pengukuran *bar locator* diperoleh data rata – rata sebagai berikut :

a. Trestle

- Pile Cap : Jarak Tulangan Vertikal 135,6 mm, Jarak Tulangan Horisontal 123,8 mm dan Tebal selimut 65,9 mm
- Pelat : Jarak Tulangan 132,0 mm x 256,8 mm dan Tebal Selimut 55,2 mm.

Untuk pengujian yang merupakan pengamatan tebal selimut beton ini dipakai alat Profometer 5+, yang dilakukan pada 35 titik dengan perincian : 22 titik pada struktur Jetty dan 13 titik pada struktur Trestle. Untuk lokasi hasil keseluruhan uji *bar locator* dapat dilihat pada gambar 4.15 dan *Lampiran 1.3*.

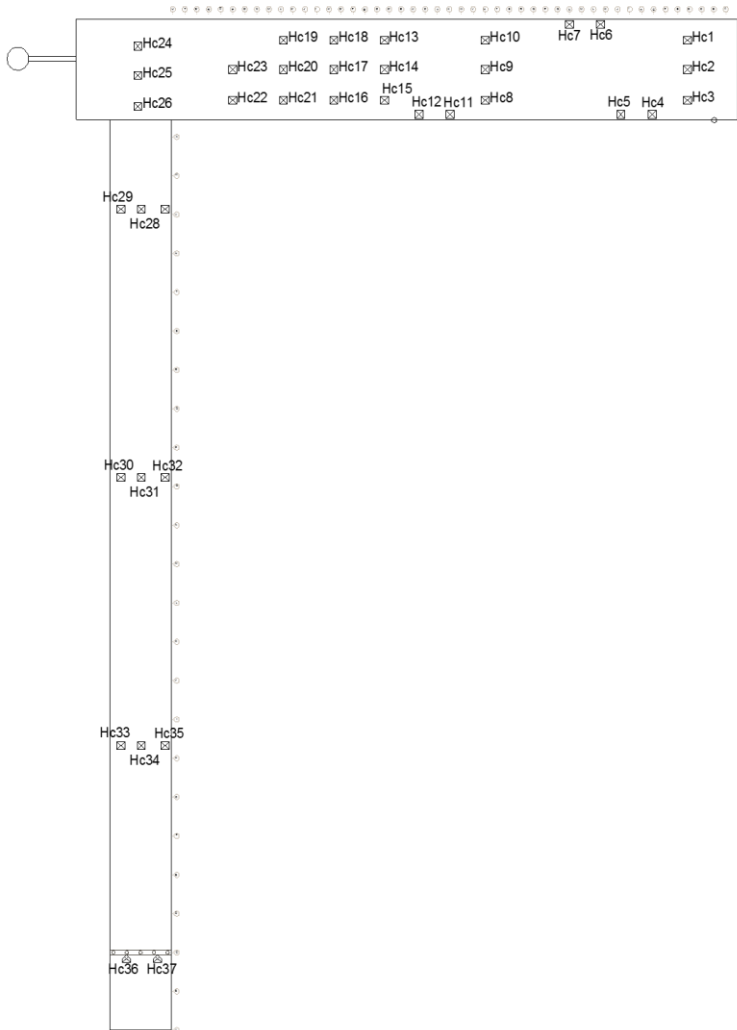


Gambar 4.15 Titik lokasi pengujian *bar locator*

4.3.4 Pengujian *Half Cell Potential*

Pengujian yang merupakan pengukuran nilai potensial yang ada di sekitar baja tulangan dengan menggunakan alat *canin proceq* dengan elektroda standart adalahh Cupri Sulfat (CuSO₄), dan nilai potensial tersebut bisa menunjukkan kondisi korosi baja tulangan yang terdapat di dalam beton bertulang.

Pengujian ini dilakukan pada permukaan elemen struktur dermaga di 37 titik dengan rincian 26 titik pada jetty dan 11 titik pada trestle, lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Titik lokasi pengujian *Half-Cell Potential*

Sesuai RILEM TC 154-EMC menyatakan bahwa besaran voltage yang diperoleh dari uji half-cell potential pada baja tulangan yang diukur dengan cairan CuSO_4 sebagai referensi elektroda dalam kaitannya dengan kondisi beton ialah:

- Water saturated concrete without O_2 : -1000 to -900 mV
- Moist, chloride contaminated concrete: -600 to -400 mV
- Moist, chloride free concrete : -200 to + 100 mV
- Moist, carbonated concrete : -400 to +100 mV
- Dry, carbonated concrete : 0 to +200 mV

ASTM C 876-91 memberikan hubungan nilai potensial tulangan dengan kemungkinan kondisi korosi tulangan seperti pada tabel 4.3 berikut.

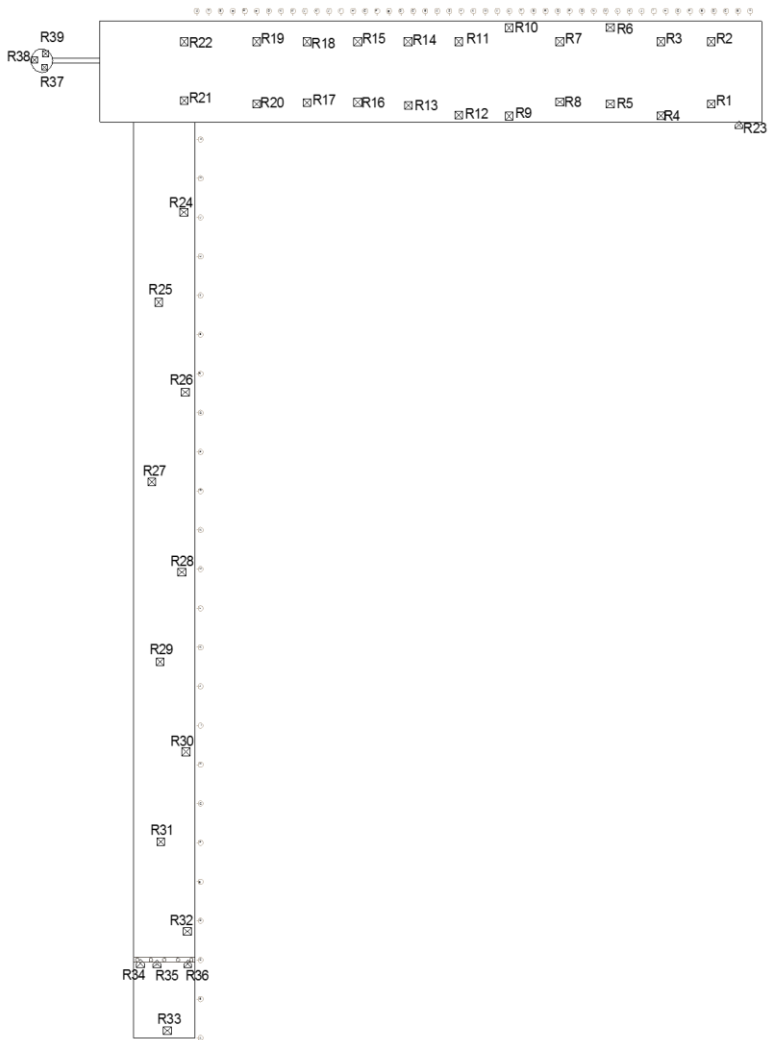
Tabel 4.3 Hubungan nilai potensial tulangan dengan kemungkinan korosi pada tulangan (ASTM C 876)

Nilai Potensial	Kondisi Tulangan pada saat Pengukuran
> - 200 mV	Kemungkinan terjadi korosi < 10 %
- 200 mV s/d – 350 mV	Aktivitas korosi tidak menentu
< -350 mV	Kemungkinan terjadi korosi lebih dari 90%

Berdasarkan hasil pengujian diatas dan dengan kriteria ASTM C876-91 dan RILEM TC 154-EMC diperoleh kesimpulan bahwa secara umum untuk struktur beton dermaga kemungkinan terjadi korosi dibawah 10%. Untuk hasil keseluruhan uji *half-cell potential* dapat dilihat pada *Lampiran 1.4*.

4.3.5 Pengujian *Resistivity*

Pengukuran resistivitas ini digunakan untuk memperkirakan kemungkinan korosi berdasarkan resistivitas listrik pada beton. Pengujian dilakukan pada permukaan elemen struktur beton dermaga sebanyak 39 titik dengan rincian 23 titik pada Jetty, 13 titik pada Trestle dan 3 titik pada Dolphin yang dalam pelaksanaannya menyebar sebagaimana terlihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Titik lokasi pengujian Resistivity

Untuk acuan perkiraan kemungkinan korosi dan laju indikasi korosi sebagai berikut.

- a. Perkiraan Kemungkinan Korosi (untuk *OPC cement* pada 20°C)
 - Ketika ≥ 100 k Ω cm Resiko korosi dapat diabaikan
 - Ketika = 50 - 100 k Ω cm Resiko korosi rendah
 - Ketika = 10 - 50 k Ω cm Resiko korosi sedang
 - Ketika ≤ 10 k Ω cm Resiko korosi tinggi
- b. Indikasi Laju Korosi (Langford dan Broomfield, 1987)
 - 20 k Ω cm Tingkat korosi rendah
 - 10 - 20 k Ω cm Tingkat korosi sedang
 - 5 - 10 k Ω cm Tingkat korosi tinggi
 - < 5 k Ω cm Tingkat korosi sangat tinggi

Berdasarkan hasil pengujian resistivity diperoleh kesimpulan bahwa secara umum untuk struktur beton dermaga memiliki laju korosi yang rendah pada struktur plat lantai. Untuk hasil keseluruhan uji resistivity dapat dilihat pada *Lampiran 1.5*.

4.3.6 Pengujian *Permeability*

Pengujian ini merupakan pengukuran untuk mengetahui nilai permeability beton serta kualitas permukaan beton. Nilai tersebut berkaitan dengan adanya potensi korosi yang menyerang beton bertulang. Pengujian dilakukan pada permukaan elemen struktur beton dermaga sebanyak 33 titik dengan rincian 21 titik pada Jetty, 10 titik pada Trestle dan 2 titik pada Dolphin yang dalam pelaksanaannya menyebar sebagaimana terlihat pada gambar 4.18. Acuan parameter kualitas selimut beton sebagaimana tabel 4.4. berikut.

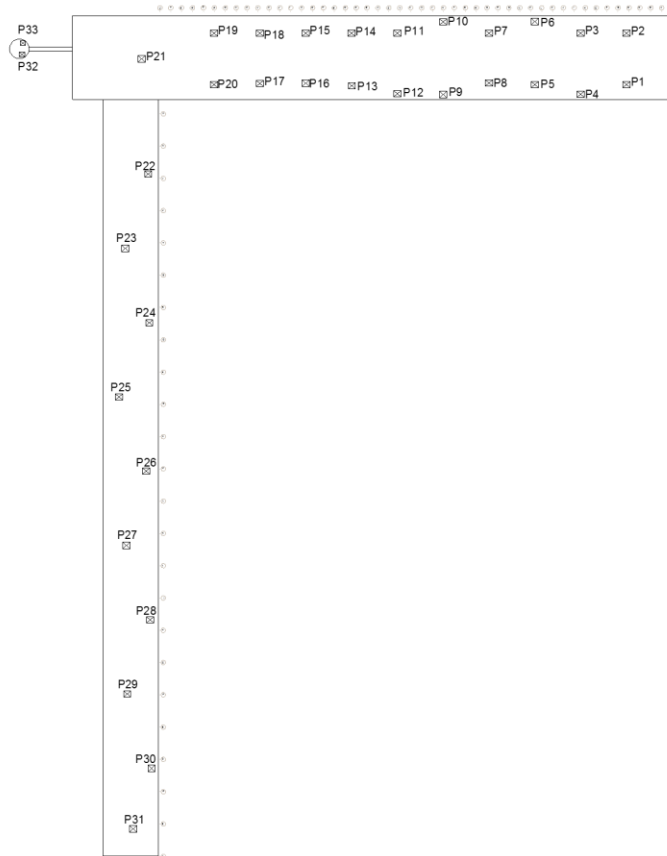
Tabel 4.4 Parameter beton berdasar nilai *Permeability*

Kualitas Selimut Beton	Index	kT (10^{-16} m ²)
Sangat Jelek	5	> 10
Jelek	4	1 – 10
Cukup	3	0.1– 1
Baik	2	0.01 – 0.1
Sangat Baik	1	< 0.01

Dari uji permeability didapatkan hasil rerata untuk setiap elemen struktur plat lantai trestle dermaga, disajikan pada tabel 4.5 berikut. Untuk hasil keseluruhan uji permeability dapat dilihat pada *Lampiran 1.6*.

Tabel 4.5 Hasil nilai rerata uji Permeability

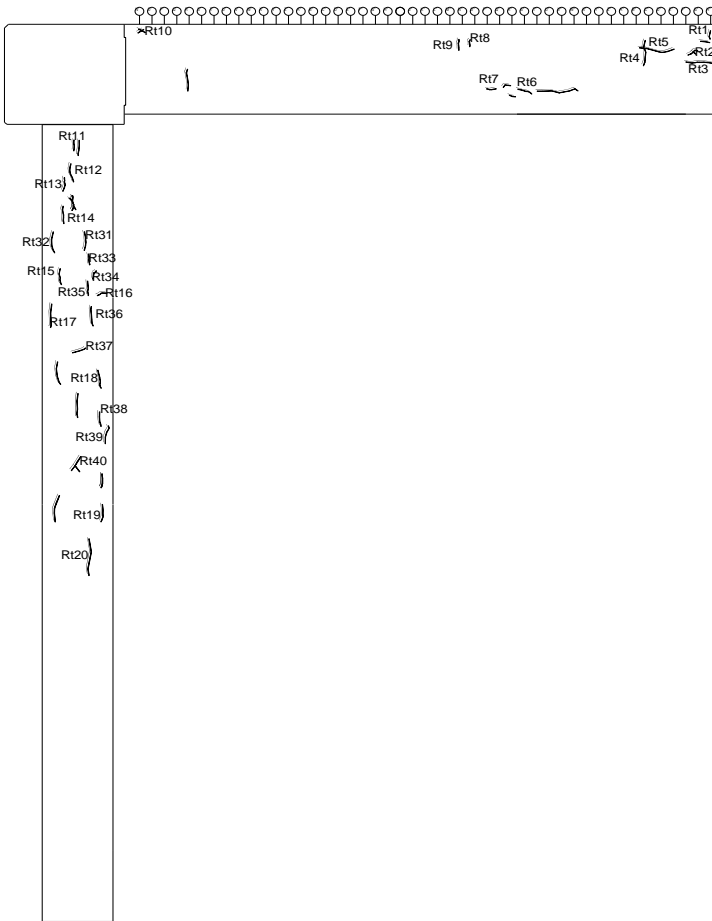
No	Elemen Struktur	KT (E-16 m ²)	Keterangan
1	Plat Trestle	1.24	Jelek
2	Plat Dolphin	0.74	Cukup



Gambar 4.18 Titik lokasi pengujian *permeability*

4.3.7 Pengukuran Lebar dan Kedalaman Retak

Pengukuran kedalaman retak dilakukan sebanyak 30 titik dengan bantuan alat Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) sedangkan pengukuran lebar retak dengan Crack comparator dilakukan 30 titik dengan rincian area Jetty sebanyak 10 titik dan area Trestle sebanyak 20 titik seperti yang terlihat pada gambar 4.19.



Gambar 4.19 Lokasi pengujian kedalaman dan lebar retak

Dari pengujian kedalaman dan lebar diatas didapatkan hasil rerata untuk setiap elemen struktur plat lantai trestle dermaga, dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Hasil rerata pengukuran kedalaman dan lebar retak

No	Elemen Struktur	Kedalaman Retak (mm)	Tebal Selimut (mm)	Status	Lebar Retak (mm)
1	Plat Trestle	56.10	49.24	Sudah mencapai tulangan	0.40

Untuk hasil keseluruhan pengukuran kedalaman dan lebar retak dapat dilihat pada *Lampiran 1.7*.

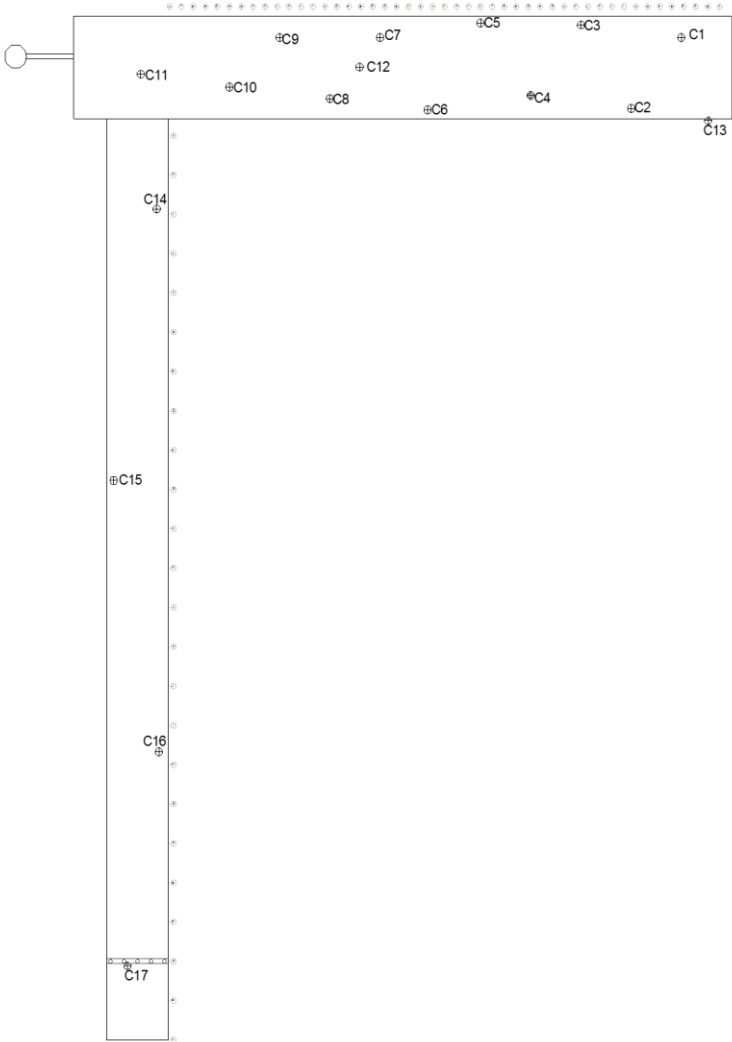
4.3.8 Pengambilan Benda Uji dengan *Core Drill*

Jumlah benda uji (sample) silinder beton yang diambil dengan *Core Drill* sebanyak 17 buah dengan lokasi pengambilan sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.7 dan gambar 4.20 berikut.

Tabel 4.7 Rincian sample *Core Drill*

Unit	Kode	Lokasi	Jumlah
Trestle	T 1	Pelat Trestle	4
	T 2	Pelat Trestle	
	T 3	Pelat Trestle	
	T 4	Pile Cap Trestle	

Untuk detail lokasi pengambilan benda uji silinder beton dan baja tulangan dengan *Core Drill* dapat dilihat pada gambar 4.34. Benda uji beton yang telah diambil dari lapangan kemudian dibawa ke laboratorium untuk diadakan pengujian kuat tekan, penetrasi chlor dan pH, sedangkan untuk benda uji baja tulangan diadakan pengujian kuat tarik dan uji tebal korosi permukaan baja. Jumlah benda uji silinder beton yang diambil dengan *core drill*, yang diperlukan untuk pengujian kuat tekan dan keawetan beton dapat dilihat pada tabel 4.8.



Gambar 4.20 Titik lokasi pengambilan sample Core Drill

Tabel 4.8 Sample untuk uji tekan, tarik baja, chlor penetration, dan pH

No.	Kode Benda Uji	Uji Tekan	Chlor Penetration dan pH	Uji Porositas	Uji Korosi	Uji Tarik Baja
1	J 1	1 sample	2 sample	1 sample	2 sample	1 sample
2	J 2	1 sample	2 sample	1 sample	1 sample	-
3	J 3	1 sample	-	1 sample	1 sample	1 sample
4	J 4	1 sample	-	1 sample	-	1 sample
5	J 5	1 sample	2 sample	-	-	1 sample
6	J 6	1 sample	2 sample	1 sample	1 sample	-
7	J 7	1 sample	2 sample	1 sample	2 sample	1 sample
8	J 8	1 sample	2 sample	1 sample	2 sample	2 sample
9	J 9	1 sample	2 sample	-	1 sample	2 sample
10	J 10	1 sample	2 sample	1 sample	1 sample	1 sample
11	J 11	1 sample	2 sample	1 sample	-	-
12	J 12	1 sample	2 sample	1 sample	1 sample	1 sample
13	J 13	1 sample	2 sample	1 sample	-	1 sample
14	T 1	1 sample	2 sample	1 sample	1 sample	1 sample
15	T 2	1 sample	2 sample	1 sample	-	1 sample
16	T 3	1 sample	2 sample	1 sample	-	-
17	T 4	1 sample	2 sample	1 sample	2 sample	1 sample
Jumlah		17 sample	30 sample	15 sample	15 sample	15 sample

4.3.9 Uji Kuat Tekan Inti Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada benda uji silinder beton dari *Core Drill* yang diambil secara langsung pada elemen struktur beton bertulang dermaga sesuai dengan yang dijelaskan pada tabel 4.8. Dari hasil pengujian kuat tekan elemen struktur eksisting memberikan data disajikan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil uji tekan beton *Core Drill*

Unit	Kode	Lokasi	Kuat tekan f_c' (MPa)
Trestle	J 13	Balok Crane	41.07
	T 1	Pelat Trestle	30.85
	T 2	Pelat Trestle	45.30
	T 3	Pelat Trestle	37.14
	T 4	Pile Cap Trestle	59.45

Pada *as build drawing* diketahui mutu beton pada pelaksanaan pembangunan dermaga adalah K400 ($f'_{ck} = 33,20$ MPa). Berikut perhitungan evaluasi penyelidikan kuat tekan inti beton hasil *Core Drill* disajikan pada tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Evaluasi Nilai Kuat Tekan Beton Inti (Thn 2018) Trestle Dermaga

No.	Kode	Lokasi	f'_{ci} (MPa)	f'_{cr} (3 buah) (MPa)	$\geq 0,85$ f'_{ck} (S1)	$> 0,75$ f'_{ck} (S2)
1	T 1	Pelat Trestle	30,85	-	-	-
2	T 2	Pelat Trestle	45,30	-	-	-
3	T 3	Pelat Trestle	37,14	37,76	MEME- NUHI	MEME- NUHI
4	J 13	Balok Crane	41,07	41,17	MEME- NUHI	MEME- NUHI
5	T 4	Pile Cap	59,45	45,89	MEME- NUHI	MEME- NUHI

$$f'_{cr} = \frac{\sum f'_{ci}}{n} = \frac{213,8}{5} = 42,76 \text{ MPa}$$

$$s_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f'_{ci} - f'_{cr})^2}{(n-1)}} = 10,74 \text{ MPa}$$

Dari hasil evaluasi penyelidikan uji beton inti sesuai SNI 2847:2013 pasal 5.6.5, bahwa saat dilakukan *assessment* tahun 2018 masih cukup memenuhi persyaratan evaluasi penerimaan beton dengan $f'_{ck} = 33,20$ MPa. Selanjutnya untuk analisa durabilitas elemen struktur eksisting trestle memberikan data:

- Benda uji silinder beton Core T1 mempunyai nilai kuat tekan terendah sebesar $f'_{c-\min} = 30,85$ MPa
- Benda uji silinder beton Core T3 mempunyai nilai kuat tekan tertinggi sebesar $f'_{c-\max} = 59,45$ MPa
- Nilai kuat tekan rata-rata benda uji silinder beton dari struktur dermaga sebesar $f'_{cr} = 42,76$ MPa

Dan untuk perhitungan nilai kapasitas trestle dermaga pada tahun 2018 menggunakan $f'_c = 33,20$ MPa, didasarkan pada hasil evaluasi penyelidikan uji kuat tekan beton inti.

4.3.10 Uji Tarik Baja Tulangan

Pengujian kuat tarik baja tulangan dilakukan pada baja tulangan beton yang diambil dari struktur beton bertulang dari Benda Uji Silinder Beton yang diambil dengan *Core Drill*. Pengujian kuat tarik baja tulangan ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik baja tulangan existing guna sebagai data untuk peninjauan ulang dermaga. Dari hasil pengujian Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan dari *Core Drill* untuk setiap elemen struktur dermaga dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil uji tarik baja *Core Drill*

Unit	Kode	Lokasi	Diameter Asal (mm)	Yield Strength, f_y (MPa)	Tensile Strength, f_u (MPa)
Trestle	J 13	Balok Crane	D25	435,98	592,49
	T 1	Pelat Trestle	D16	431,93	553,75
	T 2	Pelat Trestle	D16	444,90	553,41
	T 4	PileCap	D19	391,37	532,69

Pada *as build drawing* diketahui mutu baja pada pelaksanaan pembangunan dermaga adalah $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$ ($f_y = 400 \text{ MPa}$). Berikut perhitungan evaluasi penyelidikan kuat tarik baja hasil *Core Drill* disajikan pada tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.12 Evaluasi Nilai Kuat Tarik Baja (Thn 2018) Trestle Dermaga

Kode	Lokasi	D. Asal (mm)	f_{yi} (YS) (MPa)	f_{ui} (TS) (MPa)	Ratio TS/YS	$> f_y$ (S1)	TS/YS (min. 1,25) (S2)
J 13	Balok Crane	D25	435,98	592,49	1,36	MEME-NUHI	MEME-NUHI
T 1	Pelat Trestle	D16	431,93	553,75	1,28	MEME-NUHI	MEME-NUHI
T 2	Pelat Trestle	D16	444,9	553,41	1,24	MEME-NUHI	T. MEME-NUHI
T 4	Pile Cap	D19	391,37	532,69	1,36	T. MEME-NUHI	MEME-NUHI

Dari hasil evaluasi penyelidikan uji tarik baja sesuai SNI 2052:2017 pasal 6.5, bahwa saat dilakukan *assessment* tahun 2018 baja tulangan untuk elemen balok dan plat masih cukup memenuhi persyaratan evaluasi uji tarik dengan $f_y = 400$ MPa. Namun untuk baja tulangan elemen pilecap sudah tidak memenuhi persyaratan evaluasi. Dari data diatas diperoleh data:

- Hasil nilai kuat tarik leleh terendah sebesar **$f_{y_{min}} = 391,37$ MPa**
- Hasil nilai kuat tarik leleh tertinggi sebesar **$f_{y_{max}} = 444,90$ MPa**
- Hasil nilai kuat tarik leleh rata-rata sebesar **$f_{y_r} = 426,04$ MPa**

Untuk perhitungan nilai kapasitas trestle dermaga pada tahun 2018, untuk elemen struktur yang masih memenuhi persyaratan menggunakan $f_y = 400$ MPa dan untuk elemen struktur yang tidak memenuhi persyaratan menggunakan hasil pengujian. Didasarkan pada hasil evaluasi uji kuat tarik baja.

4.3.11 Uji Tingkat Durabilitas Beton Bertulang

Uji tingkat durabilitas beton bertulang uji penetrasi chlor, uji pH dan uji karbonasi dengan phenolphthalein. Nilai pH diukur dari benda uji *Core Drill* yang diambil dengan metode analisis pH Meter. Adapun pengukuran dilakukan mulai dari sisi permukaan luar beton kemudian masuk ke dalam beton. Tiap-tiap sample diambil 2 titik, mulai dari permukaan luar sebagai no 1 kemudian masuk ke dalam no 2 dengan jarak 5 cm dari permukaan beton. Nilai-nilai tersebut akan menunjukkan besarnya tingkat Karbonasi di dalam beton. Hasil pengujian nilai ph dan chlor disajikan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Nilai pH dan Chlor beton pada sample *Core Drill*

No	Kode Benda Uji	Jarak (cm)	Hasil Analisa Khlorida Bebas (ppm Cl)	pH
1	J 1	0	6,140.35	13.40
2	J 1	5	4,825.09	13.40
3	J 2	0	6,318.21	13.30
4	J 2	5	7,422.40	13.40

No	Kode Benda Uji	Jarak (cm)	Hasil Analisa Klorida Bebas (ppm Cl)	pH
5	J 5	0	5,772.01	13.30
6	J 5	5	9,097.53	13.25
7	J 6	0	6,584.04	13.40
8	J 6	5	7,246.38	13.35
9	J 7	0	5,743.46	13.15
10	J 7	5	5,119.45	13.20
11	J 8	0	3,972.19	13.25
12	J 8	5	7,299.27	13.30
13	J 9	0	5,494.51	13.35
14	J 9	5	5,279.50	13.40
15	J 10	0	5,245.90	13.45
16	J 10	5	7,614.21	13.50
17	J 11	0	5,142.17	13.35
18	J 11	5	4,127.97	13.30
19	J 12	0	5,669.74	13.35
20	J 12	5	3,636.36	13.35
21	J 13	0	4,796.16	13.30
22	J 13	5	6,843.46	13.40
23	TR 1	0	4,711.75	13.40
24	TR 1	5	8,126.20	13.35
25	TR 2	0	3,903.48	13.25
26	TR 2	5	5,120.70	13.20
27	TR 3	0	3,978.12	13.20
28	TR 3	5	7,667.76	13.15
29	TR 4	0	4,667.76	13.25
30	TR 4	5	4,518.07	13.10

Dari hasil analisa pH dan chlor menunjukkan bahwa kondisi beton relatif masih cukup baik yaitu masih dalam keadaan basa ($\text{pH} > 12$). Karbonasi beton hanya terjadi di permukaan dan hanya di beberapa tempat, penurunan pH ada, namun nilainya sangat kecil. Hal tersebut ditunjang dengan hasil tes carbonasi dengan cairan *phenoepthaline*; semua sisi samping beton *core drill* yang terkena cairan tersebut berwarna ungu, seperti terlihat pada gambar 4.21.



Gambar 4.21 Hasil Tes Karbonasi pada sample Core Drill

4.3.12 Uji Porositas

Pengujian ini untuk mengetahui prosentase rongga beton yang nantinya digunakan dalam melakukan peninjauan ulang dermaga ini. Hasil uji porositas disajikan dalam tabel 4.14.

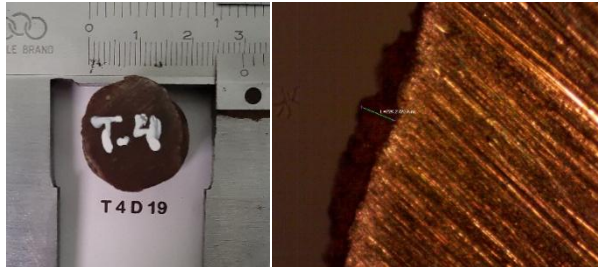
Tabel 4.14 Hasil Uji Porositas Beton Sample Core Drill

No	Kode Uji	B. Dlm Air (gr)	B.SSD (gr)	B.Kering (gr)	Porositas (%)
1	J 1	345.3	590.0	575.5	5.93
2	J 2	374.1	629.2	611.5	6.94
3	J 3	347.0	582.6	568.6	5.94
4	J 4	379.8	620.7	602.7	7.47
5	J 6	375.7	632.9	611.9	8.16
6	J 7	385.6	642.0	623.4	7.25
7	J 8	543.1	917.4	893.3	6.44
8	J 10	566.5	936.8	909.9	7.26
9	J 11	451.8	761.4	737.6	7.69
10	J 12	408.3	683.3	665.4	6.51
11	J 13	376.3	626.3	608.3	7.20
12	T 1	321.6	555.7	540.5	6.49
13	T 2	412.9	699.5	677.9	7.54
14	T 3	391.6	655.5	633.9	8.18
15	T 4	334.6	563.1	547.4	6.87

4.3.13 Uji Korosi pada Baja Tulangan

Pengamatan kondisi kerusakan tulangan (korosi) dilakukan dengan beberapa pendekatan, yaitu:

- Secara visual yang memberikan hasil rekaman foto
- Pengukuran pH dan potensial tulangan
- Pengukuran secara mikro ketebalan korosi tulangan



Gambar 4.22 Salah satu contoh uji foto makro dan korosi permukaan tulangan kode T.4

Korosi pada tulangan dianalisa berdasarkan tulangan yang terambil pada saat pengambilan benda uji core drill. Hasilnya akan dicocokkan dengan hasil analisa penetrasi Chlor dan analisa potensial tulangan. Hasilnya ditampilkan pada tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil uji ketebalan korosi tulangan

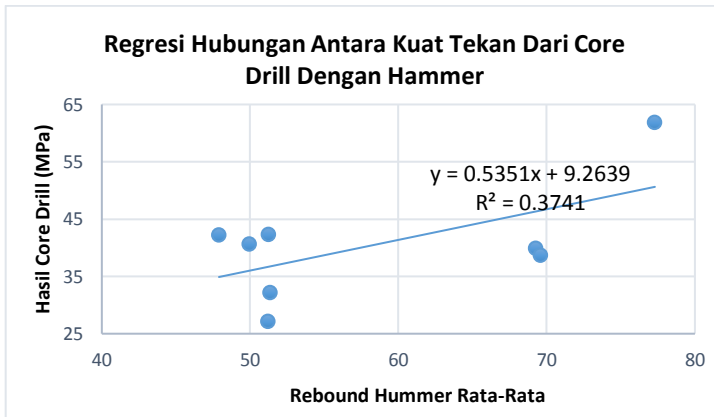
No	Elemen Struktur	Kode Core	Tebal Korosi Permukaan (μm)
1	Pelat Trestle	T 1	57.98131
2	Pile Cap Trestle	T 4	226.27207
3	Pile Cap Trestle	T 4.1	93.72755

4.3.14 Korelasi Uji *Hammer* dengan Uji Tekan Beton Inti

Hasil dari uji *Hammer* dikorelasikan dengan uji kuat tekan beton inti (core drill) untuk mendapatkan gambaran kuat tekan beton di titik titik uji *Hammer*. Pengujian *Hammer* yang dalam pelaksanaannya diambil sebanyak 39 secara random pada permukaan struktur beton. Korelasi antara *Rebound hammer* terkoreksi dengan kuat tekannya (f_c') sesuai dengan hasil regresi linear antara kuat tekan benda uji silinder beton dari *Core Drill* dengan hasil *Rebound Hammer*. Data hasil regresi dapat dilihat pada tabel 4.16 dan gambar 4.23.

Tabel 4.16 Korelasi Hubungan Tegangan antara Hasil *Core Drill* Beton dengan *Hammer Test* pada seluruh elemen struktur

No	Kode	Rebound Rerata	Hasil <i>Core Drill</i> (MPa)
1	J 1	49.95	40.6
2	J 2	47.9	42.16
3	J 7	51.2	27.09
4	J 8	69.25	39.81
5	J 9	51.25	42.21
6	T 1	51.35	32.08
7	T 3	69.6	38.63
8	T 4	77.3	61.83



Gambar 4.23 Grafik regresi korelasi hubungan hammer dengan uji tekan *core drill*

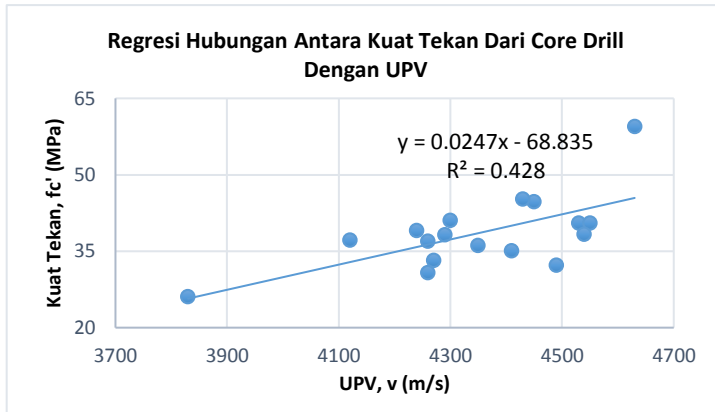
Korelasi kedua uji tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan : $y = 0,5351x + 9,2689$. Selanjutnya, seluruh hasil pengujian Rebound Hammer dari lapangan dapat dikorelasikan menjadi kuat tekan beton yang dapat dilihat pada *Lampiran 1.1*.

4.3.15 Korelasi Uji UPV dengan Uji Tekan Beton Inti

Agar hasil uji *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dapat memberikan gambaran kekuatan tekan beton maka hasil uji ini dikorelasikan dengan uji kuat tekan beton inti (*core drill*). Dalam pelaksanaannya pengujian UPV diambil secara random sebanyak 17 titik lokasi pada permukaan elemen struktur beton dermaga. Hubungan antara kecepatan rambat rata-rata (v) inilah yang akhirnya harus dikorelasikan kedalam kekuatan tekan, dengan persamaan garis regresi linear. Korelasi hasil regresi linear antara kuat tekan benda uji silinder beton dari *Core Drill* dengan hasil UPV disajikan pada tabel 4.17 dan gambar 4.24.

Tabel 4.17 Korelasi Hubungan Kuat Tekan dari Hasil Uji Beton Inti dengan Uji UPV

No	Kode Core	UPV rerata v (m/s)	Hasil <i>Core Drill</i> (MPa)
1	J 1	4240	39.04
2	J 2	4530	40.54
3	J 3	4450	44.77
4	J 4	4490	32.28
5	J 5	4270	33.25
6	J 6	4410	35.15
7	J 7	3830	26.05
8	J 8	4290	38.28
9	J 9	4550	40.58
10	J 10	4350	36.11
11	J 11	4540	38.36
12	J 12	4260	36.99
13	J 13	4300	41.07
14	T 1	4260	30.85
15	T 2	4430	45.30
16	T 3	4120	37.14
17	T 4	4630	59.45



Gambar 4.24 Grafik Regresi Korelasi Hubungan Kuat Tekan hasil uji Beton Inti dengan Uji *Ultrasonic Pulse Velocity*. Hasil *ultrasonic* juga digunakan untuk mengetahui tingkat kepadatan beton dengan membandingkan hasil kecepatan rambat gelombang ultrasonic dengan klasifikasi hasil UPV menurut British Standard (BSI) 1881-1986 (2004) seperti terlihat pada tabel 4.18 berikut.

Tabel 4.18 Klasifikasi tingkat kepadatan beton menurut BS1881-1986 (2004)

Kecepatan V (m/det)	Klasifikasi Kepadatan Beton
$V < 2130$	Kurang
$2130 < V < 3060$	Cukup
$3060 < V < 3670$	Cukup baik
$3670 < V < 4570$	Baik
$V > 4570$	Baik Sekali

Korelasi kedua uji tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan : $y = 0,0247x - 68,835$. Selanjutnya, seluruh hasil pengujian UPV dari lapangan dapat dikorelasikan menjadi kuat tekan beton yang dapat dilihat pada *Lampiran 1.2*.

4.4 Uji Kandungan Air Laut

Air laut di diarea sekitar dermaga diambil untuk dianalisis di laboratorium. Pengambilan air laut disekitar dermaga dilakukan sebanyak 3 sample dengan hasil analisa laboratorium secara lengkap disajikan pada tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil Uji Analisis Kandungan Air

Parameter	Satuan	Hasil Analisa		
		Sample I	Sample II	Sample III
pH	-	7.65	7.70	7.80
Daya Hantar Listrik	µmhos/cm	36300	37000	37000
TDS	mg/L	23780	24240	24238
Kesadahan Total	mg/L CaCO ₃	5964.29	5643.86	5821.43
Kalsium	mg/L Ca	300	285.94	285.94
Magnesium	mg/L Mg	1251.43	1182.72	1225.34
P. Alkalinitas	mg/L CaCO ₃	6	9	4
M. Alkalinitas	mg/L CaCO ₃	24	21	21
Khlorida	mg/L Cl	19400	21800	20400
Besi	mg/L Fe	0.08	0.01	0.03
Natrium	mg/L Na	8644.94	9714.42	9090.56
Sulfat	mg/L SO ₄	2833.15	2963.34	2888.95

Terlihat bahwa pH air di sekitar Coal Jetty berkisar antara 7,65 sampai 7,80, kandungan chlor antara 1940 mg/l sampai 21800 mg/l, serta kandungan Sulfat (SO₄) berkisar antara 2833,15 mg/l sampai 2963,34 mg/l.

4.5 Pengukuran Ketebalan Baja (*Thickness*)

Pengukuran ketebalan (*thickness*) baja dilakukan pada material baja berupa tiang pancang yang terdapat pada pada trestle, hasil dari pengukuran ini digunakan untuk mengetahui tebal dari baja tiang pancang pada trestle. Pengukuran ketebalan baja yang dilakukan terhadap elemen struktur baja tiang pancang dilakukan untuk masing-masing tiang pancang yang diuji sebanyak 4 kali pembacaan. Pengujian dilakukan menyabar pada tiang panjang struktur dermaga 63 titik pada trestle.

Pelaksanaan pengukuran ketebalan baja dilakukan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.25.



Gambar 4.25 Pengukuran Ketebalan Baja Pada Tiang Pancang

Untuk hasil keseluruhan pengukuran ketebalan baja pancang disajikan dalam tabel pada *Lampiran 1.10*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PEMBEBANAN

5.1 Beban Horizontal

Beban elemen struktur dermaga dikenai beban horizontal yang dimana mengacu pada peraturan SNI-2833-2016, *Technical Standards and Commentaries of Port and Harbour Facilities in Japan* (2002), dan brosur yang ada pada saat ini. Adapun beban horizontal yang terjadi akan diterapkan pada perhitungan dan program bantu SAP2000 v.14.

5.1.1 Beban Gempa

Desain beban gempa pada analisa struktur dermaga ini direncanakan menggunakan periode ulang 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Beban gempa akan direncanakan menggunakan *Respond Spectrum*, fungsi *respond spectrum* ditetapkan sesuai peta wilayah gempa di Probolinggo. Berikut ini adalah perhitungan beban gempa menggunakan *respond spectrum*.

5.1.1.1 Menentukan Kelas Situs

Hasil tes tanah dengan kedalaman 41m pada tanah setempat (Jl. Raya Surabaya-Situbono Km.142, Bhinor, Paiton, Area Sawah, Bhinor, Kec. Paiton, Probolinggo). Berdasarkan data tanah SPT berikut ini dapat diketahui kelas situs lokasi yang akan ditinjau.

Tabel 5.1 Perhitungan N-SPT rata-rata

Elv.	Depth (m)	Soil Type	Nspt (Ni)	Grafik N-SPT	Thick Layer (di)	di / Ni
-19	0	Lempung Berlanau Abu-Abu	0		18	0.00
-20	-1	Lempung Berlanau Abu-Abu	1		18	18.00
-21	-2	Lempung Berlanau Abu-Abu	1		18	18.00
-22	-3	Lempung Berlanau Abu-Abu	1		18	18.00
-23	-4	Lempung Berlanau Abu-Abu	1		18	18.00

Elv.	Depth (m)	Soil Type	Nspt (Ni)	Grafik N-SPT	Thick Layer (di)	di / Ni
-24	-5	Lempung Berlanau Abu-Abu	2		18	9.00
-25	-6	Lempung Berlanau Abu-Abu	3		18	6.00
-26	-7	Lempung Berlanau Abu-Abu	4		18	4.50
-27	-8	Lempung Berlanau Abu-Abu	5		18	3.60
-28	-9	Lempung Berlanau Abu-Abu	8		18	2.25
-29	-10	Lempung Berlanau Abu-Abu	10		18	1.80
-30	-11	Lempung Berlanau Abu-Abu	11		18	1.64
-31	-12	Lempung Berlanau Abu-Abu	12		18	1.50
-32	-13	Lempung Berlanau Abu-Abu	13		18	1.38
-33	-14	Lempung Berlanau Abu-Abu	15		18	1.20
-34	-15	Lempung Berlanau Abu-Abu	20		18	0.90
-35	-16	Lempung Berlanau Abu-Abu	26		18	0.69
-36	-17	Lempung Berlanau Abu-Abu	30		18	0.60
-37	-18	Lempung Berlanau Berpasir Abu-Abu	32		11	0.56
-38	-19	Lempung Berlanau Berpasir Abu-Abu	35		11	0.31
-39	-20	Lempung Berlanau Berpasir Abu-Abu	36		11	0.31
-40	-21	Lempung Berlanau Berpasir Abu-Abu	38		11	0.29
-41	-22	Lempung Berlanau Berpasir Abu-Abu	28		11	0.39
-42	-23	Lempung Berlanau Berpasir Abu-Abu	17		11	0.65
-43	-24	Lempung Berlanau Berpasir Abu-Abu	18		11	0.61
-44	-25	Lempung Berlanau Berpasir Abu-Abu	30	11	0.37	
-45	-26	Lempung Berlanau Berpasir Abu-Abu	40	11	0.28	
-46	-27	Lempung Berlanau Berpasir Abu-Abu	40	11	0.28	

Elv.	Depth (m)	Soil Type	Nspt (Ni)	Grafik N-SPT	Thick Layer (di)	di / Ni
-47	-28	Lempung Berlanau Berpasir Abu-Abu	40		11	0.28
-48	-29	Lempung Berlanau Abu-Abu	38		13	0.34
-49	-30	Lempung Berlanau Abu-Abu	32		13	0.41
-50	-31	Lempung Berlanau Abu-Abu	27		13	0.48
-51	-32	Lempung Berlanau Abu-Abu	31		13	0.42
-52	-33	Lempung Berlanau Abu-Abu	36		13	0.36
-53	-34	Lempung Berlanau Abu-Abu	35		13	0.37
-54	-35	Lempung Berlanau Abu-Abu	32		13	0.41
-55	-36	Lempung Berlanau Abu-Abu	29		13	0.45
-56	-37	Lempung Berlanau Abu-Abu	41		13	0.32
-57	-38	Lempung Berlanau Abu-Abu	52		13	0.25
-58	-39	Lempung Berlanau Abu-Abu	60		13	0.22
-59	-40	Lempung Berlanau Abu-Abu	60		13	0.22
-60	-41	Lempung Berlanau Abu-Abu	60	13	0.22	
Σ				603	115.8	

Maka nilai N-SPT rata-rata adalah

$$\bar{N} = \frac{\sum di}{\sum di/Ni} = \frac{603}{115,83} = 5,21$$

Sehingga berdasarkan SNI 2833 2013 tabel 2 atau pada tabel 2.7 pasal 2.8.1.6 untuk nilai $\bar{N} < 15$ termasuk dalam kelas situs tanah lunak (SE).

5.1.1.2 Menentukan Parameter Percepatan Gempa

Dalam penentuan parameter percepatan gempa sesuai dengan peta gempa pada SNI 2833-2016 meliputi percepatan puncak di batuan dasar (PGA), percepatan 0.2 detik di batuan dasar (S_s), dan percepatan 1.0 detik di batuan dasar (S_1).

Dengan mencocokkan lokasi yang akan ditinjau yaitu Paiton, Probolinggo sesuai pada sub bab 2 pasal 2.8.1.6 gambar 2.23 untuk PGA, gambar 2.24 untuk S_s , dan gambar 2.25 untuk S_1 . Maka didapatkan hasil sebagai berikut.

- PGA = 0,235
- S_s = 0,441
- S_1 = 0,236

5.1.1.3 Menentukan Faktor Situs

Faktor situs amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar (F_{PGA}), faktor amplifikasi periode pendek (F_a), dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v).

a. Faktor amplifikasi batuan dasar (F_{PGA}) dan periode pendek (F_a)

Nilai faktor amplifikasi batuan dasar (F_{PGA}) dan periode pendek (F_a) dapat ditentukan sesuai pada sub bab 2 pasal 2.8.1.6 point c. Dengan menggunakan data kelas situs dan nilai PGA dan S_s didapatkan nilai sebagai berikut.

- Kelas situs = Tanah lunak (SE)
- PGA = 0,235 $\rightarrow F_{PGA} = 1.53$
- S_s = 0,441 $\rightarrow F_a = 1.89$

b. Faktor amplifikasi periode 1 detik (F_v)

Nilai faktor amplifikasi batuan dasar (F_{PGA}) dan periode pendek (F_a) dapat ditentukan sesuai pada sub bab 2 pasal 2.8.1.6 point c. Dengan menggunakan data kelas situs dan nilai S_1 didapatkan nilai sebagai berikut.

- Kelas situs = Tanah lunak (SE)
- S_1 = 0,236 $\rightarrow F_v = 3,06$

5.1.1.4 Menentukan Respon Spektra Rencana

Dalam penentuan respon spektra rencana ditentukan sesuai pada sub bab 2 pasal 2.8.1.6 point d persamaan 2.61; 2.62; 2.63. Dengan menggunakan parameter percepatan gempa dan faktor amplifikasi sebagai berikut.

- $A_S = F_{PGA} \times PGA = 1,53 \times 0,235 = 0,358$
- $S_{DS} = F_a \times S_S = 1,89 \times 0,441 = 0,833$
- $S_{D1} = F_v \times S_1 = 3,06 \times 0,236 = 0,721$

5.1.1.5 Menentukan Koefisien Respon Gempa Elastic

Sebelum membuat grafik respon spectrum terlebih dahulu menentukan nilai T_0 dan T_s sebagai berikut.

- $T_0 = 0,2 \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right) = 0,2 \left(\frac{0,721}{0,833} \right) = 0,173$
- $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,721}{0,833} = 0,866$

Setelah didapat nilai T_0 dan T_s , maka langkah selanjutnya ialah menentukan koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) dengan berdasarkan periode sebagai berikut.

- Untuk $T < T_0$,

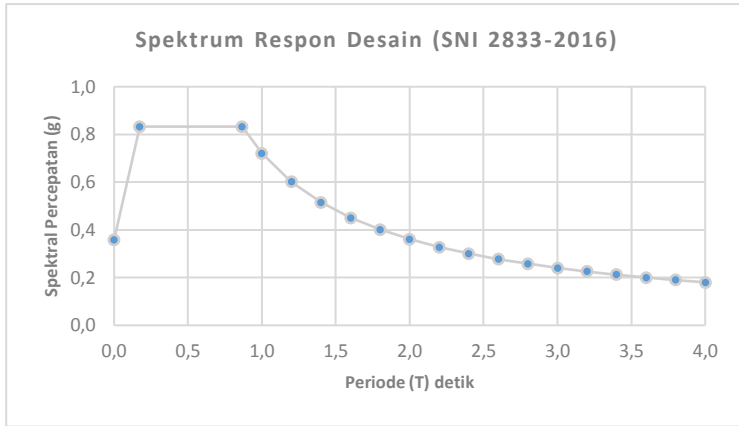
$$C_{sm} = (S_{DS} - A_S) \frac{T}{T_0} + A_S$$
- Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$,

$$C_{sm} = S_{DS}$$
- Untuk $T > T_s$,

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T}$$

Tabel 5.2 Respon Spektrum Desain

T (dtk)	C_{sm} (g)	T (dtk)	C_{sm} (g)
0.000	0.358	2.400	0.301
0.173	0.833	2.600	0.277
0.866	0.833	2.800	0.258
1.000	0.721	3.000	0.240
1.200	0.601	3.200	0.225
1.400	0.515	3.400	0.212
1.600	0.451	3.600	0.200
1.800	0.401	3.800	0.190
2.000	0.361	4.000	0.180
2.200	0.328		



Gambar 5.1 Respons Spektrum Desain

The screenshot shows the 'Response Spectrum AASHTO 2007 Function Definition' dialog box. The 'Function Name' is 'GEMPA PAITON (2012)' and the 'Function Damping Ratio' is 0.05. The 'Parameters' section includes site information and acceleration values. The 'Define Function' table lists period and acceleration values. The 'Function Graph' shows a plot of the spectrum curve.

Period	Acceleration
0	0.3584
0.0577	0.5166
0.1154	0.6748
0.1732	0.833
0.8658	0.833
1	0.7212
1.2	0.601
1.4	0.5152
1.6	0.4508

Calculated Values for Response Spectrum Curve:
 $SD5 = Fa * Ss = 0.833$
 $SD1 = Fv * S1 = 0.7212$

Gambar 5.2 Input beban gempa respon spektrum pada SAP2000

5.1.2 Beban Gelombang dan Arus

Bangunan dermaga harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban gelombang dan arus. Beban gelombang dan arus yang terjadi akan didistribusikan pada tiang pancang dengan kondisi muka air laut pasang, surut, dan normal. Berikut ini tahapan perhitungan beban gelombang yang terjadi pada struktur bangunan.

(Note. Contoh perhitungan beban gelombang dan arus yang ditinjau ialah kondisi muka air normal, untuk kondisi lain ditunjukkan dalam bentuk tabel rekapitulasi)

5.1.2.1 Beban Gelombang

a. Data perencanaan

- Massa jenis air laut (ρ_o) = 1,03 T/m³
- Diameter tiang pancang (D) = 1,016 m
- Luas penampang (A) = 0,811 m²
- Tinggi gelombang (S) = 0,79 m
- Kecepatan partikel air (V) = 0,351 m/s
- Percepatan (a_n) = 9,81 m/s²
- Elevasi muka air pasang (HWL) = 1,662 m
- Elevasi muka air surut (LWL) = -1,662 m
- Elevasi seabed (sd) = -18 m
- Koefisien drag (C_D) = 1 (untuk silinder)
- Koefisien inersia (C_M) = 2 (untuk silinder)
- Panjang tiang yang terkena beban kondisi normal (L_1) = 18,000 m
- Panjang tiang yang terkena beban kondisi pasang (L_2) = 19,662 m
- Panjang tiang yang terkena beban kondisi surut (L_3) = 16,338 m

b. Beban gelombang terjadi

Berikut ini perhitungan beban gelombang dengan kondisi muka air laut normal.

$$F_n = F_1 + F_d$$

Dimana,

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_o \cdot D \cdot S \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1,03 \cdot 1,016 \cdot 0,79 \cdot 0,351^2$$

$$= 0,051 \text{ kN}$$

$$F_d = C_M \cdot \rho_o \cdot a_n \cdot A \cdot S = 2 \cdot 1,03 \cdot 9,81 \cdot 0,811 \cdot 0,79$$

$$= 12,94 \text{ kN}$$

$$F_n = F_1 + F_d = 0,051 + 12,94$$

$$= 12,994 \text{ kN}$$

Agar beban dapat distribusikan pada pile dermaga maka besar beban gelombang bagian atas:

$$F_{n1} = \frac{F_n \cdot 2}{L_1} = \frac{12,994 \cdot 2}{18} = \mathbf{1,444 \text{ kN/m}}$$

∴ Dari perhitungan diatas didapatkan beban gelombang 1,444 kN/m yang didistribusikan menjadi beban merata segitiga pada Pile.

Tabel 5.3 Beban gelombang untuk berbagai kondisi

Kondisi	Beban Gelombang (kN/m)
Normal	1,4438
Pasang	1,3217
Surut	1,5906

5.1.2.2 Beban Arus

a. Data perencanaan

- Massa jenis air laut (ρ_o) = 1,03 T/m³
- Diameter tiang pancang (D) = 1,016 m
- Luas penampang sejajar arus (A_1) = $\frac{\pi \cdot D}{2} \cdot L_1$
= $\frac{\pi \cdot 1,016}{2} \cdot 18$
= 28,73 m²
- Luas penampang tegak lurus arus (A_L)
= $\frac{\pi \cdot 1,016^2}{4}$
= 0,811 m²
- Kecepatan arus (U) = 0,351 m/s
- Elevasi muka air pasang (HWL) = 1,662 m
- Elevasi muka air surut (LWL) = -1,662 m
- Elevasi seabed (sd) = -18 m
- Koefisien seret (C_D) = 1 (untuk silinder)

- Koefisien angkat (C_L) = 2 (untuk silinder)
- Panjang tiang yang terkena beban kondisi normal (L_1) = 18,000 m
- Panjang tiang yang terkena beban kondisi pasang (L_2) = 19,662 m
- Panjang tiang yang terkena beban kondisi surut (L_3) = 16,338 m

b. Beban arus terjadi

Berikut ini perhitungan beban arus dengan kondisi muka air laut normal.

$$F_A = F_D + F_L$$

Dimana,

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_o \cdot A \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1,03 \cdot 28,73 \cdot 0,351^2 = 1,82 \text{ kN}$$

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot \rho_o \cdot A_L \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 1,03 \cdot 0,811 \cdot 0,351^2 = 0,103 \text{ kN}$$

$$F_A = F_D + F_L = 1,82 + 0,103 = 1,92 \text{ kN}$$

Agar beban dapat distribusikan pada pile dermaga maka besar beban arus bagian atas:

$$F_{A1} = F_A \cdot 2 / L_1 = 1,92 \cdot 2 / 18 = 0,214 \text{ kN/m}$$

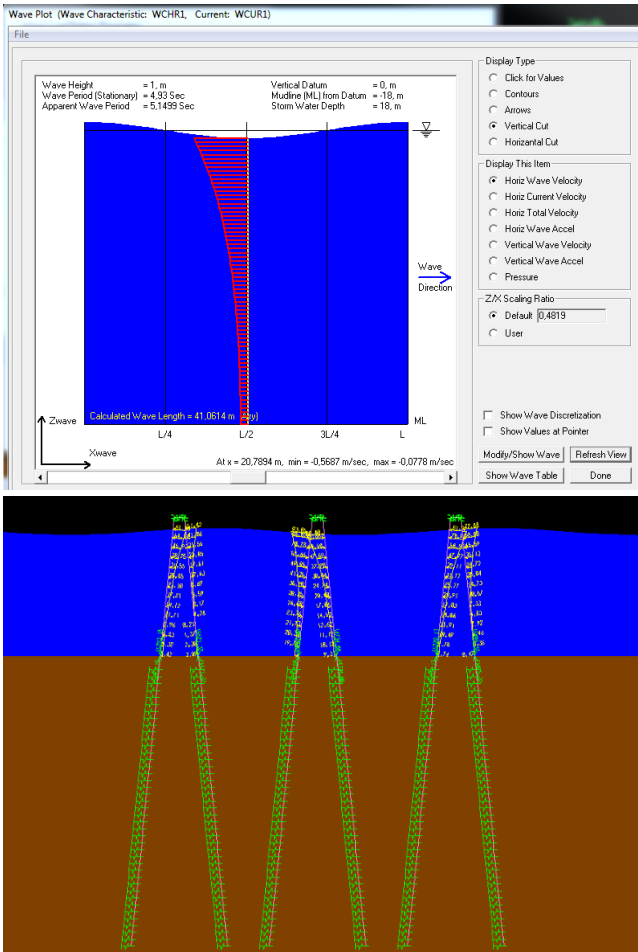
∴ Dari perhitungan diatas didapatkan beban arus 0,214 kN/m yang didistribusikan menjadi beban merata segitiga pada Pile.

Tabel 5.4 Beban arus untuk berbagai kondisi

Kondisi	Beban Arus (kN/m)
Normal	0,214
Pasang	0,213
Surut	0,215

Untuk beban gelombang dan arus dimodelkan pada program bantu SAP2000 v.14 dengan *load case* “*wave load*” di setiap frame tiang pancang yang telah dibuat. Adapun posisi dan besar beban *wave* dibuat dengan kemungkinan yang terjadi.

Serta mempertimbangkan *wave characteristic*, *current profile*, *marine growth*, dan *drag and inertia coefficient*. Berikut ini hasil dari permodelan *wave load*.



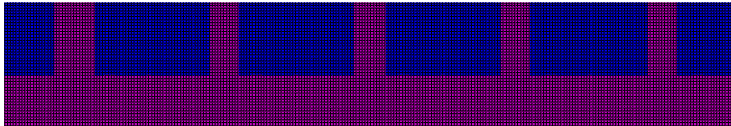
Gambar 5.3 Input Wave Load pada permodelan SAP2000

5.2 Beban Vertikal

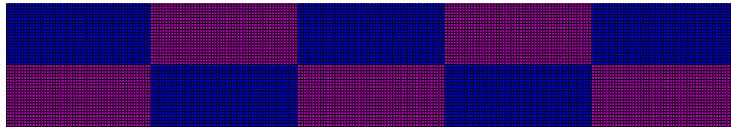
Beban elemen struktur dermaga dikenai beban vertikal yang dimana mengacu pada peraturan SNI 1725-2016, *Standart Design Criteria for Port in Indonesia*, dan brosur yang ada pada saat ini. Adapun beban vertikal yang terjadi akan diterapkan pada perhitungan dan program bantu SAP2000 v.14.

5.2.1 Beban UDL (*Uniform Distributed Load*)

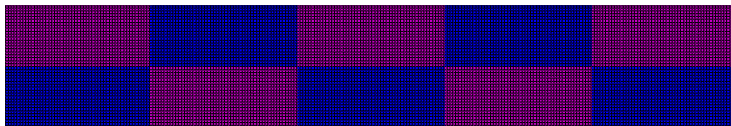
Untuk beban UDL pada dermaga mengacu pada *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia (1984) V.2 Loads Acting on The Structure* seperti pada sub bab 2 pasal 2.8.2.2 tabel 2.16 dengan besar 1 Ton/m^2 . Adapun posisi beban UDL dibuat bervariasi dengan kemungkinan yang terjadi saat operasional (kondisi kritis), disajikan pada gambar 5.4-5.9 berikut.



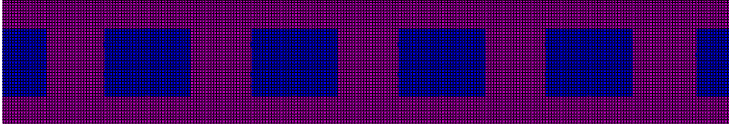
Gambar 5.4 Input variasi beban UDL 1 pada permodelan SAP2000



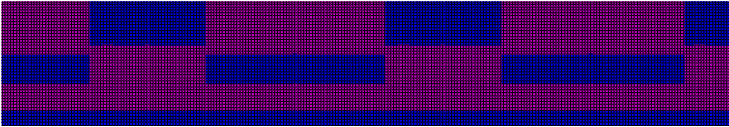
Gambar 5.5 Input variasi beban UDL 2 pada permodelan SAP2000



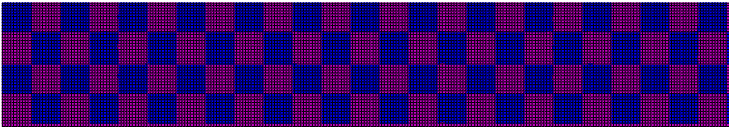
Gambar 5.6 Input variasi beban UDL 3 pada permodelan SAP2000



Gambar 5.7 Input variasi beban UDL 4 pada permodelan SAP2000



Gambar 5.8 Input variasi beban UDL 5 pada permodelan SAP2000



Gambar 5.9 Input variasi beban UDL 6 pada permodelan SAP2000

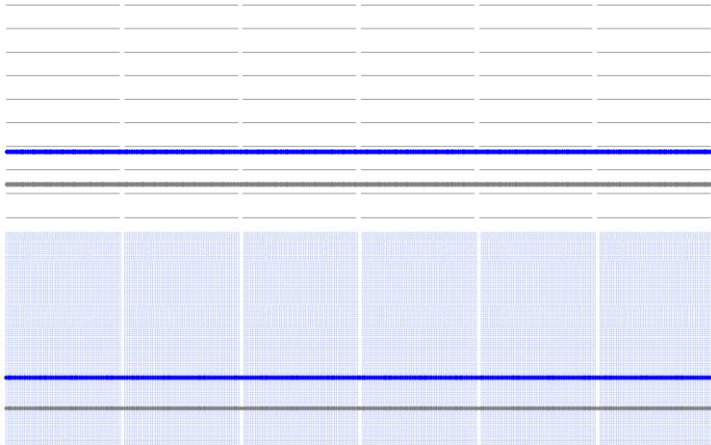
5.2.2 Beban Truck

Untuk beban truck pada dermaga mengacu pada SNI 1725-2016. Spesifikasi beban truck sebagai berikut.

- Panjang truck = 4 - 9 m
- Lebar truck = 2,75 m
- Beban roda as depan = 25 kN
- Beban roda as belakang = 112,5 kN

Sesuai SNI 1725-2016 pasal 8.6 dengan faktor beban dinamis (FBD) sebesar 30%. Untuk beban truck dimodelkan pada program bantu SAP2000 v.14 dengan *load case* "moving load" di setiap *lane* yang telah dibuat. Adapun posisi perletakan beban gandar roda truck (*lane*) dibuat dengan kemungkinan yang terjadi saat operasional (kondisi kritis), disajikan pada gambar 5.10-5.13 berikut.

- Posisi Lane 1: Letak titik gandar roda truck berada diatas plat lantai di sedikit sebelah samping posisi girder



Gambar 5.10 Letak *lane 1* moving load

- Posisi Lane 2: Letak titik gandar roda truck berada diatas plat lantai tepat di atas posisi girder



Gambar 5.11 Letak *lane 2* moving load

- Posisi Lane 3: Letak titik gandar roda truck berada diatas plat lantai tepat di tengah posisi antar girder



Gambar 5.12 Letak lane 3 moving load

Vehicle name: Truck Units: KN, m, C

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0	One Point	
For Other Responses	0	One Point	

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0.3048
 Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects

Axle: None
 Uniform: None

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Fixed Length	0.2		0	Zero Width		25	One Point	
Fixed Length	0.2		0	Zero Width		25	One Point	
Fixed Length	5		0	Zero Width		112.5	One Point	
Variable Length	4	9	0	Zero Width		112.5	One Point	

Add Insert Modify Delete

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

OK Cancel

Load Case Name: TRUCK1 Set Def Name Notes: Modify/Show... Load Case Type: Moving Load Design...

Stiffness to Use
 Zero Initial Conditions - Unstressed State
 Stiffness at End of Nonlinear Case
 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Loads Applied

Assign Number	Vehicle Class	Scale Factor	Min Loaded Lanes	Max Loaded Lanes	Lanes Loaded
1	Truck	1	0	0	Some

MultiLane Scale Factors

Number of Lanes Loaded	Reduction Scale Factor
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

Lanes Loaded for Assignment 1

List of Lane Definitions	Selected Lane Definitions
LANE2A LANE2B LANE3A LANE3B	LANE1A LANE1B

Buttons: Add, Modify, Delete, Add ->, <- Remove, OK, Cancel

Gambar 5.13 Input *moving load truck* pada permodelan SAP2000

5.2.3 Beban Peralatan

Berikut ini beban-beban peralatan yang beroperasi pada dermaga.

5.2.3.1 *Conveyor Belt*

Pada eksisting terdapat fasilitas *conveyor belt* yang digunakan untuk mengangkut batubara dari *shipunloader* menuju ke tempat penumpukan batubara. *Conveyor belt* yang digunakan adalah tipe C01A/B. Untuk gambar dan spesifikasi dapat dilihat pada gambar 5.14 dan tabel 5.5.



Gambar 5.14 *Conveyor Belt* (Sumber: dok. pribadi)

Tabel 5.5 Spesifikasi *Conveyor Belt*

Material to be handled	Coal
Nominal Capacity	2,5 m/s
Weight	3 ton/leg

(Sumber: <http://www.miningandconstruction.sandvik.com>)

5.2.4 Beban Air Hujan

Perhitungan beban air hujan berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 8.3, sebagai berikut.

Direncanakan :

- Tinggi statis (d_s) = 10 mm
- Tinggi hidrolis (d_H) = 20 mm
- Beban air hujan (R) = $0,0098 \times (d_s + d_H)$
 $= 0,0098 \times (10 + 20)$
 $= \mathbf{0,294 \text{ kN/m}^2}$

\therefore Dari perhitungan diatas didapatkan beban air hujan sebesar $0,294 \text{ kN/m}^2$.

5.3 Spring Constant Tiang Dalam Tanah

Konstanta pegas (*spring constant*) ialah gaya tanah dalam arah horizontal (sumbu x, sumbu y) pada badan tiang yang masuk ke dalam tanah setiap 1 meternya. Untuk perhitungan mencari *spring constant* menggunakan persamaan yang terdapat pada sub bab 2 pasal 2.11.2.

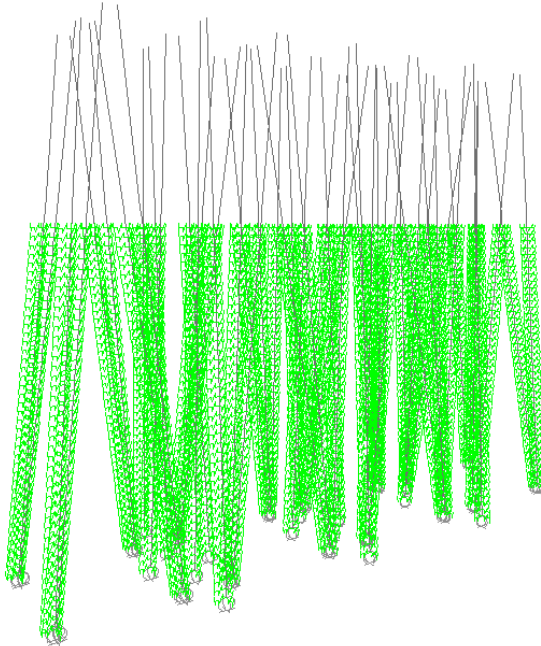
Direncanakan :

- Besar pergeseran (y) = 1 cm
- Diameter tiang (D) = 1016 mm
- Modulus tiang (E_P) = 200000 MPa
- Tebal tiang baja (t) = 21,5 mm
- Luas penampang tiang (A_P) = 67233.883 mm^2

Tabel 5.6 Rekapitulasi hasil Spring Constant tiap 1m

Elv.	Depth (m)	Nspt (Ni)	E_0 (kg/cm^2)	k_0 (kg/cm^3)	k (kg/cm^3)	$k_x = k_y$ (T/m)
-19	0	0	0	0.00	0.00	0.00
-20	-1	1	28	0.03	0.03	31.62
-21	-2	1	28	0.03	0.03	63.23
-22	-3	1	28	0.03	0.03	94.85
-23	-4	1	28	0.03	0.03	126.47

Elv.	Depth (m)	Nspt (Ni)	E_0 (kg/cm ²)	k_0 (kg/cm ³)	k (kg/cm ³)	$k_x = k_y$ (T/m)
-24	-5	2	56	0.06	0.06	316.16
-25	-6	3	84	0.09	0.09	569.09
-26	-7	4	112	0.12	0.12	885.26
-27	-8	5	140	0.16	0.16	1264.65
-28	-9	8	224	0.25	0.25	2276.38
-29	-10	10	280	0.31	0.31	3161.63
-30	-11	11	308	0.34	0.34	3825.58
-31	-12	12	336	0.37	0.37	4552.75
-32	-13	13	364	0.40	0.40	5343.16
-33	-14	15	420	0.47	0.47	6639.43
-34	-15	20	560	0.62	0.62	9484.90
-35	-16	26	728	0.81	0.81	13152.39
-36	-17	30	840	0.93	0.93	16124.33
-37	-18	32	896	1.00	1.00	18211.01
-38	-19	35	980	1.09	1.09	21024.86
-39	-20	36	1008	1.12	1.12	22763.76
-40	-21	38	1064	1.18	1.18	25229.83
-41	-22	28	784	0.87	0.87	19475.66
-42	-23	17	476	0.53	0.53	12361.98
-43	-24	18	504	0.56	0.56	13658.25
-44	-25	30	840	0.93	0.93	23712.25
-45	-26	40	1120	1.24	1.24	32880.98
-46	-27	40	1120	1.24	1.24	34145.64
-47	-28	40	1120	1.24	1.24	35410.29
-48	-29	38	1064	1.18	1.18	34841.20
-49	-30	32	896	1.00	1.00	30351.68
-50	-31	27	756	0.84	0.84	26462.87
-51	-32	31	868	0.96	0.96	31363.40
-52	-33	36	1008	1.12	1.12	37560.20
-53	-34	35	980	1.09	1.09	37623.43
-54	-35	32	896	1.00	1.00	35410.29
-55	-36	29	812	0.90	0.90	33007.45
-56	-37	41	1148	1.28	1.28	47961.97
-57	-38	52	1456	1.62	1.62	62473.87
-58	-39	60	1680	1.87	1.87	73982.21
-59	-40	60	1680	1.87	1.87	75879.19
-60	-41	60	1680	1.87	1.87	77776.17



Gambar 5.15 Permodelan dan Input Spring Constant pada permodelan SAP2000

5.4 Kombinasi Pembebanan

Untuk kombinasi pembebanan pada peninjauan trestle dermaga ini mengacu pada beberapa peraturan yaitu SNI 2833-2016, SNI 1725-2016, dan *Port of Long Beach Wharf Design Criteria Version 3.0*.

5.4.1 Kondisi Ultimate

Berikut ini kombinasi pembebanan untuk kondisi ultimate.

- $1,3D + 1,8 \text{ UDL1} + 1,8L + 1,8T1$
- $1,3D + 1,8 \text{ UDL1} + 1,8L + 1,8T2$
- $1,3D + 1,8 \text{ UDL1} + 1,8L + 1,8T3$
- $1,3D + 1,8 \text{ UDL2} + 1,8L + 1,8T1$
- $1,3D + 1,8 \text{ UDL2} + 1,8L + 1,8T2$
- $1,3D + 1,8 \text{ UDL2} + 1,8L + 1,8T3$

- $1,3D + 1,8 UDL3 + 1,8L + 1,8T1$
- $1,3D + 1,8 UDL3 + 1,8L + 1,8T2$
- $1,3D + 1,8 UDL3 + 1,8L + 1,8T3$
- $1,3D + 1,8 UDL4 + 1,8L + 1,8T1$
- $1,3D + 1,8 UDL4 + 1,8L + 1,8T2$
- $1,3D + 1,8 UDL4 + 1,8L + 1,8T3$
- $1,3D + 1,8 UDL5 + 1,8L + 1,8T1$
- $1,3D + 1,8 UDL5 + 1,8L + 1,8T2$
- $1,3D + 1,8 UDL5 + 1,8L + 1,8T3$
- $1,3D + 1,8 UDL6 + 1,8L + 1,8T1$
- $1,3D + 1,8 UDL6 + 1,8L + 1,8T2$
- $1,3D + 1,8 UDL6 + 1,8L + 1,8T3$
- $1,3D + 1,8 UDL7 + 1,8L + 1,8T1$
- $1,3D + 1,8 UDL7 + 1,8L + 1,8T2$
- $1,3D + 1,8 UDL7 + 1,8L + 1,8T3$
- $1,3D + 1,8 UDL7 + 1,8L + 1,8T1 + 1,3C$
- $1,3D + 1,8 UDL7 + 1,8L + 1,8T2 + 1,3C$
- $1,3D + 1,8 UDL7 + 1,8L + 1,8T3 + 1,3C$

Dimana :

D = Dead Load

UDL = Uniform Distributed Load

L = Live Load (*Conveyor*)

T = Truck Load

C = Current Load (Arus dan Gelombang)

5.4.2 Kondisi Gempa

Kombinasi pembebanan pada saat gempa mengacu pada SNI 2833-2016 pasal 5.8 sebagai berikut.

- $D + \gamma_{EQ}L \pm EQ_x \pm 0,3EQ_y$ (R = 1)
- $D + \gamma_{EQ}L \pm EQ_y \pm 0,3EQ_x$ (R = 1)
- $D + \gamma_{EQ}L \pm EQ_x \pm 0,3EQ_y$ (R = 3)
- $D + \gamma_{EQ}L \pm EQ_y \pm 0,3EQ_x$ (R = 3)

Dimana :

γ_{EQ} = faktor beban hidup kondisi gempa (diambil = 0,5)

R = faktor modifikasi respon (R=1 untuk struktur bawah, dan R=3 untuk struktur atas)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI

ANALISA DURABILITAS

6.1 Umum

Analisa durabilitas dilakukan dengan maksud untuk mengetahui keawetan struktur pada saat ini dan pada masa mendatang bila tidak dilakukan pemeliharaan. Mengacu sesuai dengan peraturan *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2012* bahwa jembatan (dermaga) yang dibangun mampu beroperasi dengan masa aman selama 75 tahun. Serta menurut peraturan *BS 6349-1-1:2013 Table 1*, bahwa *working life* dari struktur laut disajikan pada tabel 6.1 berikut.

Tabel 6.1 *Indicative design working life categories for maritime works*

<i>Design Working Life Category</i>	<i>Indicative Design Working Life (years)</i>	<i>Examples</i>
1	10	<i>Temporary Structures</i>
2	10 to 25	<i>Structural parts designed to be replaceable within a structure or facility of longer design working life</i>
3	15 to 30	<i>Structures dedicated to nonrenewable natural resources, petrochemicals or similar industrial or commercial applications (such as open-piled jetties, mooring and berthing dolphins)</i>
4	50	<i>Common port infrastructure for commercial and industrial ports including reclamation, shore protection, breakwaters, quay walls</i>
5	100	<i>Common port infrastructure including breakwaters for ports of nationally significant strategic or economic value; infrastructure for regional flood defence or coastal management infrastructure</i>

Dari peraturan diatas bahwa struktur dermaga ini harus mampu untuk beroperasi selama 75 tahun. Dermaga ini sudah berumur 26 tahun pada 2018 sejak dibangun pada tahun 1991.

Oleh karena itu dengan adanya inspeksi diharapkan mampu mengevaluasi dan memperpanjang umur hingga 75 tahun (hingga 2066) dengan syarat pemeliharaan yang optimal dilakukan dan inspeksi secara rutin. Menurut *Guidelines on Strategic Maintenance for Port Structures "Port Technology Group ASEAN"* jadwal inspeksi rutin dan visual masing-masing elemen struktur disajikan dalam tabel 6.2 berikut.

Tabel 6.2 *Inspection Schedule*

<i>Component</i>	<i>Routine Inspection</i>	<i>Periodical Visual Inspection</i>
<i>RC Deck</i>	-	<i>Every 5~10 years</i>
<i>RC Beams</i>	-	<i>Every 5 years</i>
<i>RC Supported Beams</i>	-	<i>Every 5 years</i>
<i>Steel Pipe Pile</i>	-	<i>Every 5~10 years</i>
<i>RC Concrete Piles</i>	-	<i>Every 5~10 years</i>
<i>Protective Coating</i>	-	<i>Every 5~10 years</i>
<i>Cathodic Protection</i>	-	<i>Every 5~10 years</i>
<i>Auxiliary Equipments</i>	<i>Every 1 month</i>	<i>Every 1 years</i>
<i>Apron</i>	<i>Every 1 month</i>	<i>Every 1 years</i>
<i>Basins</i>	<i>Every 1 month</i>	<i>Every 1 years</i>

Hasil dari survei kondisi struktur dan uji material struktur digunakan untuk mengevaluasi dan menyimpulkan durability masing-masing elemen struktur dermaga. Sehingga dari tabel diatas akan dihitung prediksi penurunan kapasitas hingga 10 tahun ke depan. Inspeksi berkala harus tetap dilakukan untuk mengetahui degradasi dermaga secara signifikan guna mendukung *service life* selama 75 tahun. Perhitungan durabilitas masing-masing elemen berdasarkan kondisi saat ini (tahun 2018) dengan mengacu pada hasil pengujian material dan pengaruh korosi pada baja tulangan. Data dari setiap uji yang dilakukan seperti *hammer*, *UPV*, *permeability*, *uji tekan beton inti*, *uji tarik baja*, *porositas* akan dianalisa menjadi 3 kondisi dan dijadikan acuan untuk mengevaluasi dan mengetahui keawetan struktur hingga 10 tahun kedepan saat umur dermaga 37 tahun (tahun 2028) diantaranya sebagai berikut.

- Kondisi *best case*, dimana diambil nilai uji terbaik dari setiap pengujian
- Kondisi *average case*, dimana diambil nilai rerata dari masing-masing pengujian
- Kondisi *worst case*, dimana diambil nilai terburuk dari setiap pengujian

Sehingga dari masing-masing kondisi tersebut akan dibandingkan dengan hasil eksisting lapangan dan akan dipilih satu kondisi untuk dijadikan acuan dalam perhitungan selanjutnya untuk masing-masing elemen struktur trestle dermaga.

6.2 Analisa Kandungan Air Laut

Dari hasil uji kandungan air laut yang telah disajikan pada pasal 4.4 tabel 4.17 didapatkan kandungan berikut:

- pH air berkisar antara 7,65 – 7,80
- Sulfat (SO_4^-) berkisar antara 2833,15mg/l – 2963,34mg/l
- Magnesium (Mg^+) berkisar antara 1182,72 mg/l – 1251,43 mg/l

Sesuai dengan peraturan *European Standard EN 206-1* (“*Concrete part 1: Specification, performance, production, and conformity*”) dan SNI 2847-2013 pasal 4, terdapat parameter berbeda dari paparan kelas yang terkait dengan kandungan air disajikan pada tabel 6.3 dan tabel 6.4.

Tabel 6.3 Paparan kelas untuk kandungan air (Sumber: EN 206-1)

Exposition Class	Environment Description (WATER)					Maximum w/c	Minimum Strength Class (N/mm^2)
	SO_4^{2-} (mg/l)	pH	CO_2 (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	MG^{2+} (mg/l)		
XA1	≥ 200 and ≤ 600	$\leq 6,5$ and $\geq 5,5$	≥ 15 and ≤ 40	≥ 15 and ≤ 30	≥ 300 and ≤ 1000	0.55	37
XA2	> 600 and ≤ 3000	$< 5,5$ and $\geq 4,5$	> 40 and ≤ 100	> 30 and ≤ 60	> 1000 and ≤ 3000	0.5	37
XA3	> 3000 and ≤ 6000	$< 4,5$ and $\geq 4,0$	> 100	> 60 and ≤ 100	> 3000	0.45	45

Tabel 6.4 Paparan kelas untuk kandungan air (Sumber: SNI 2847-2013)

Kategori	Tingkat Keperahan	Kelas	Kondisi	w/c maks	fc' min MPa
			Sulfat (SO ₄) larut dalam air (mg/L)		
Sulfat	Tidak Ada	S0	SO ₄ < 150	T/A	17
	Sedang	S1	150 ≤ SO ₄ < 1500	0,50	28
	Parah	S2	1500 ≤ SO ₄ ≤ 10000	0,45	31
	Sangat Parah	S3	SO ₄ > 10000	0,45	31

Dengan kandungan air menurut tabel 6.3 dan 6.4 tersebut, air laut disekitar dermaga ini termasuk ke dalam kelas XA2 dan S2. Dimana pada paparan kelas XA2 dan S2 diisyaratkan agar struktur dengan material beton memiliki nilai maksimum w/c maks = 0,45 - 0,5 dan minimum kuat tekan beton fc'min = 31 MPa - 37 MPa. Untuk selanjutnya dari nilai w/c dan fc' akan dijadikan acuan untuk mengevaluasi setiap elemen struktur dermaga.

6.3 Durabilitas Trestle Dermaga

Pada *as build drawing* diketahui mutu beton pada pelaksanaan dermaga adalah K400 ($f'_{ck} = 33,20$ MPa). Semua pengujian di lapangan sebagai asumsi untuk mengetahui kondisi durabilitas semua elemen struktur dermaga saat ini dan masa mendatang. Dari hasil evaluasi ini akan diketahui kualitas mutu beton saat ini untuk kondisi *average* dan *worst case*.

6.3.1 Analisa Uji Kuat Tekan Beton Inti

Hasil dari pengujian kuat tekan beton inti hasil *Core Drill*, disajikan pada tabel 6.5 berikut.

Tabel 6.5 Nilai Kuat Tekan Beton (Thn 2018) Tiap Elemen

No.	Elemen	fc' (MPa)		w/c	
		Average	Worst Case	Average	Worst Case
1	Pelat Trestle	38.08	30.85	0.46	0.52
2	Balok Crane	41.07	41.07	0.43	0.43
3	PileCap Trestle	59.45	59.45	0.34	0.34

Dari hasil diatas untuk kuat tekan beton semua elemen kondisi *average* masih memenuhi persyaratan sesuai pasal 6.2 tentang paparan kelas air dimana $f'_{cr} > f'_c \text{ min}$ dan $w/c < w/c \text{ maks}$. Namun untuk kondisi *worst case* pada elemen plat lantai tresle sudah tidak memenuhi persyaratan paparan kelas air dimana $f'_{cw} < f'_c \text{ min}$ dan $w/c < w/c \text{ maks}$.

6.3.2 Analisa Uji Hammer

Hasil dari pengujian hammer yang telah dikorelasikan dengan uji kuat tekan inti beton untuk tiap elemen masing-masing disajikan pada tabel 6.6 berikut.

Tabel 6.6 Nilai Korelasi Uji Hammer (Thn 2018) Tiap Elemen

No.	Elemen	fc' (MPa)		w/c	
		Average	Worst Case	Average	Worst Case
1	Pelat Trestle	44.84	36.74	0.41	0.47
2	Balok Crane	46.31	46.31	0.40	0.40
3	PileCap Trestle	50.52	49.84	0.38	0.38

Dari hasil diatas untuk korelasi kuat tekan beton dengan uji hammer untuk keseluruhan elemen kondisi *average* dan *worst case* masih memenuhi persyaratan sesuai pasal 6.2 tentang paparan kelas air.

6.3.3 Analisa Uji Ultrasonic Pulse Velocity

Hasil dari pengujian UPV yang telah dikorelasikan dengan uji kuat tekan inti beton untuk tiap elemen disajikan pada tabel 6.7 berikut.

Tabel 6.7 Nilai Korelasi Uji UPV (Thn 2018) Tiap Elemen

No.	Elemen	Kecepatan v (m/s)		fc' (MPa)	
		Average	Worst Case	Average	Worst Case
1	Pelat Trestle	1731.90	1468.00	40.85	36.69
2	Balok Crane	1910.00	1910.00	43.67	43.67
3	PileCap Trestle	3442.33	3253.00	67.87	64.89

Mengacu sesuai klasifikasi tingkat kepadatan beton menurut BS1881-1986 (2004) pada tabel 4.16 didapatkan bahwa untuk elemen plat trestle, dan balok crane didapat nilai uji UPV kondisi *average* dan *worst case* kurang dari 2130 m/s.

Sehingga memiliki klasifikasi kepadatan beton kurang dan untuk elemen pilecap trestle memiliki klasifikasi kepadatan beton cukup baik.

6.3.4 Analisa Uji Porositas

Hasil uji porositas disajikan pada tabel 6.8 berikut.

Tabel 6.8 Hasil Uji Porositas (Tahun 2018) Tiap Elemen

No.	Elemen	Porositas (%)		Analisis	
		Average	Worst Case	Average	Worst Case
1	Pelat Trestle	7.40	8.18	T.OK	T.OK
2	Balok Crane	7.20	7.20	T.OK	T.OK
3	PileCap Trestle	6.87	6.87	OK	OK

Menurut *European Standard EN 206-1:2000 table F.1* untuk elemen *bridge deck* termasuk kedalam paparan kelas C-1 dimana pada kelas tersebut disebutkan bahwa *air content* beton berkisar 4% - 7%. Dari hasil pengujian porositas pada elemen balok crane dan plat lantai trestle didapatkan hasil rerata > 7%, sehingga tidak memenuhi persyaratan tersebut. Dapat disimpulkan bahwa kadar udara beton pada elemen tersebut cukup banyak sehingga membuat kepadatan beton juga kurang, analisis ini juga didukung oleh hasil uji UPV yang menyatakan kepadatan beton kurang. Namun untuk elemen pilecap trestle didapatkan hasil < 7% dimana kadar udara terkandung cukup optimum membuat kepadatan beton cukup baik serta analisis ini juga didukung oleh hasil uji UPV yang menyatakan kepadatan beton cukup baik.

6.3.5 Analisa Uji Resistivity

Hasil uji resistivity disajikan pada tabel 6.9 berikut.

Tabel 6.9 Hasil Uji Resistivity (Tahun 2018) Tiap Kondisi Trestle Dermaga

No.	Elemen	Bacaan ($k\Omega\text{cm}$)		Analisis
		Average	Worst Case	
1	Pelat Trestle	357.00	272.17	Laju Korosi Rendah
2	Balok Crane	368.50	368.50	Laju Korosi Rendah
3	PileCap Trestle	217.07	185.60	Laju Korosi Rendah

Menurut acuan perkiraan kemungkinan korosi dan indikasi laju korosi pada pasal 4.3.5 dengan hasil nilai bacaan resistivity pada semua elemen dermaga kemungkinan memiliki laju korosi rendah. Dilihat dari nilai bacaan rata-rata $> 100\text{k}\Omega\text{cm}$. Namun untuk elemen pilecap dermaga mendapatkan nilai terendah dari elemen lainnya. Dari hasil asumsi awal analisa korosi pada elemen pilecap ini memiliki tingkat korosi lebih tinggi.

6.3.6 Analisa Uji *Half Cell Potensial*

Hasil uji *half cell potensial* untuk tiap elemen dermaga disajikan pada tabel 6.10 berikut.

Tabel 6.10 Hasil Uji *Half Cell* (Tahun 2018) Tiap Kondisi Trestle Dermaga

No.	Elemen	Nilai Potensial (mV)		Analisis
		Average	Worst Case	
1	Pelat Trestle	-71.11	-95.00	Terjadi Korosi $< 10\%$
2	PileCap Trestle	-79.50	-109.00	Terjadi Korosi $< 10\%$

Dari hasil pengujian didapatkan rata-rata nilai potensial yang ada pada semua elemen dermaga dengan nilai rerata -100 mV . Maka dari hubungan nilai potensial dengan kemungkinan korosi pada tulangan pada tabel 4.3 pasal 4.3.4 kondisi tulangan plat lantai trestle saat ini kemungkinan terjadi korosi $< 10\%$ ($> -200\text{ mV}$).

6.3.7 Analisa Uji Permeability

Hasil uji permeability untuk tiap elemen dermaga disajikan pada tabel 6.11 berikut.

Tabel 6.11 Hasil Uji Permeability (Tahun 2018) Tiap Elemen

No.	Elemen	KT (E-16 m ²)		Kualitas selimut beton
		Average	W. Case	
1	Pelat Trestle	1.24	3.04	Jelek

Dari hasil pengujian didapatkan rerata nilai KT yang ada pada plat lantai trestle berada pada interval 1 sampai 10 E-16 m². Maka dari parameter beton berdasarkan nilai permeability pada tabel 4.4 pasal 4.3.6 kualitas selimut beton plat lantai trestle termasuk dalam kategori jelek (interval 1-10 E-16 m²).

6.3.8 Analisa Uji Penetrasi Chlor dan pH Beton

Hasil uji penetrasi chlor dan pH beton untuk elemen struktur trestle dermaga disajikan pada tabel 6.12 berikut.

Tabel 6.12 Hasil Uji Penetrasi Chlor dan pH (Tahun 2018) Tiap Elemen

No.	Elemen	Jarak (cm)	Khlorida (kg/m ³ Cl)		pH
			Average	W. Case	
1	Pelat Trestle	0	4.20	3.90	13.20
		5	6.97	5.12	13.15
2	Balok Crane	0	4.80	4.80	13.30
		5	6.84	6.84	13.40
3	PileCap Trestle	0	4.67	4.67	13.25
		5	4.52	4.52	13.10

Beton mulai terkontaminasi korosi ketika $\text{pH} \leq 9$. Pada uji pH semua elemen dermaga didapatkan hasil untuk semua kondisi rata-rata dan *worst case* pH masih dalam keadaan basa ($\text{pH} > 9$). Dengan hasil tersebut durabilitas beton plat lantai trestle belum terkontaminasi korosi.

6.3.9 Analisa Uji Bar Locator

Hasil uji bar locator untuk tiap elemen dermaga disajikan pada tabel 6.13 berikut.

Tabel 6.13 Hasil Uji Bar Locator (Tahun 2018) Tiap Kondisi Trestle Dermaga

No.	Elemen	Tebal Selimut Beton (mm)	
		Average	Worst Case
1	Pelat Trestle	55.33	30.00
2	PileCap Trestle	65.90	21.00

Sesuai SNI 2847-2013 untuk tebal minimum selimut beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca (D16) ialah 40 mm. Dari hasil uji *bar locator* didapatkan tebal selimut untuk elemen pilecap trestle pada kondisi *worst case* tidak memenuhi persyaratan.

6.3.10 Analisa Uji Tebal Korosi Tulangan

Dari hasil uji tebal korosi tulangan akan dianalisa dan dihasilkan kecepatan korosi tulangan dalam $\mu\text{m}/\text{tahun}$. Berikut disajikan hasil uji tebal korosi.

Tabel 6.14 Hasil Uji Tebal Korosi (Tahun 2018) Tiap Elemen

No.	Elemen	Tebal Korosi Permukaan (μm)	$V_{\text{corr actual}}$ ($\mu\text{m}/\text{tahun}$)
1	Pelat Trestle	57.98	2.15
2	PileCap Trestle	226.27	8.38

Dari hasil pengujian diatas tahap selanjutnya dilakukan analisa durabilitas secara teoritis untuk mengetahui kondisi pada masa mendatang jika tidak ada perbaikan yang dilakukan.

6.3.11 Analisa Teoritis Perhitungan Korosi Beton Bertulang

Data dari hasil pengujian sebelumnya seperti kuat tekan beton, tebal selimut beton, pH chlor akan dianalisa lebih lanjut untuk mengetahui pengaruhnya terhadap elemen struktur kondisi saat ini dan masa mendatang. Contoh perhitungan yang dicantumkan ialah elemen pilecap dermaga, untuk elemen lainnya disajikan dalam bentuk rekapitulasi tabel.

6.3.11.1 Periode Inisiasi Korosi Beton

Data dari hasil analisa pengujian dilapangan selanjutnya digunakan untuk mendapatkan asumsi besaran pengaruh korosi secara teoritis. Berikut ini tahapan-tahapan dalam perhitungan.

a. Data Analisis

Berikut ini data yang digunakan untuk mengetahui periode inisiasi korosi pada pilecap dermaga.

- Mutu beton (f'_c) = 59,45 MPa
- Kadar chlorida permukaan (C_o) = 4,67 kg/m^3
- Kadar chlorida kritis (C_{th}) = 3,35 kg/m^3 (Tabel 2.4)
- Cover beton (d_c) = 65,9 mm

b. Koefisien Difusi Beton (D)

Perhitungan koefisien difusi beton menggunakan persamaan yang ada pada sub bab 2.5.1.3.

$$f'_{cyl} = f'_c + 7,5 = 59,45 + 7,5 = 66,95 \text{ MPa}$$

$$w/c = \frac{27}{f'_{cyl} + 13,5} = \frac{27}{66,95 + 13,5} = 0,336$$

$$D = 10^{-10 + (4,66 \cdot w/c)} = 10^{-10 + (4,66 \cdot 0,336)}$$

$$D = 3,66 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s} = 3,66 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$$

c. Inisiasi Korosi (T_i)

Perhitungan periode inisiasi korosi menggunakan persamaan yang ada pada sub bab 2.5.1.

$$T_i = \frac{d_c^2}{4D \left[\text{erf}^{-1} \left(1 - \frac{C_{th}}{C_o} \right) \right]^2} = \frac{65,9^2}{4 \cdot 3,66 \times 10^{-13} \left[\text{erf}^{-1} \left(1 - \frac{3,35}{4,67} \right) \right]^2}$$

$$T_i = 2,85 \times 10^8 \text{ detik} = 9,05 \text{ tahun}$$

∴ Jadi periode inisiasi korosi untuk elemen pilecap dermaga adalah **9,05 tahun**.

6.3.11.2 Propagasi Korosi Beton Bertulang

Setelah diketahui periode inisiasi korosi, tahap selanjutnya ialah menghitung periode propagasi korosi untuk mengetahui laju korosi saat ini dan masa mendatang. Diketahui bahwa dermaga beroperasi tahun 1992 dan peninjauan ulang pada tahun 2018.

a. Data Analisis

- Faktor air semen (w/c) = 0,336
- Cover beton (d_c) = 65,9 mm
- Suhu udara lokasi (T) = 31°C
- Umur bangunan tahun 2018 (t) = 27 tahun

b. Laju Korosi PileCap Dermaga

Perhitungan laju korosi menggunakan persamaan yang ada pada sub bab 2.5.2.1.

$$T_p = t - T_i = 27 - 9,05 = 17,95 \text{ tahun}$$

$$i_{corr(1)} = \frac{37,8 (1 - w/c)^{-1,64}}{d_c} = \frac{37,8 (1 - 0,336)^{-1,64}}{65,9}$$

$$i_{corr(1)} = 1,12 \text{ } \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

$$i_{corr(20)} = i_{corr(1)} 0,85 T_p^{-0,29} = 1,12 \cdot 0,85 \cdot 17,95^{-0,29} = 0,41 \text{ } \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

$$i_{corr(T)} = i_{corr(20)} [1 + 0,073(T - 20)] = 0,41 [1 + 0,073(31 - 20)]$$

$$i_{corr(T)} = 0,74 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

$$\Delta D_{(T0)} = \lambda \cdot i_{corr(T)} \cdot T_p = 0,023294 \cdot 0,74 \cdot 17,95 = 0,31 \text{ mm}$$

$$v_{corr} \text{ (teoritis)} = 11,6 \cdot i_{corr(T)} = 11,6 \cdot 0,74 = 8,63 \mu\text{m}/\text{tahun}$$

\therefore Jadi laju korosi untuk pilecap dermaga (i_{corr}) $0,74 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, (v_{corr}) $8,63 \mu\text{m}/\text{tahun}$ dan pengurangan diameter tulangan sebesar (ΔD) $0,31 \text{ mm}$.

6.3.11.3 Degradasi Mutu Beton dan Baja Tulangan Beton Bertulang

Perluasan lapisan karat di sekitar baja tulangan selama proses korosi menyebabkan tekanan internal ke beton di sekitarnya dan akhirnya mengakibatkan retak dan spalling. Berkurangnya kekuatan tekan beton akibat retak dapat dihitung sebagai berikut. Berikut ini perhitungan penurunan mutu beton dan baja tulangan pada tahun 2028.

a. Data Analisis

- Waktu propagasi thn 2028 (T_p) = 27,95 tahun
- Laju korosi ($i_{corr(1)}$) = $1,12 \mu\text{A}/\text{cm}^2$
- Lebar awal struktur (b_0) = 1500 mm
- Jumlah tulangan lapisan atas (n) = 8 buah
- Rasio volumetrik (λ) = 2
- Koef. Kekasaran dan diameter (k) = 0,1
- Diameter tulangan awal (D_0) = 32 mm
- Diameter tulangan thn 2028 (D_{loss}) = 31,54 mm
- Mutu tulangan awal (f_y^0) = 391,37 MPa

b. Penurunan Mutu Beton

Dari hasil pengujian core drill didapatkan mutu beton inti, dan seiringnya berjalannya waktu bangunan maka beton akan mengalami penurunan mutu beton akibat paparan struktur yang termasuk dalam kategori parah. Berikut ini perhitungan penurunan mutu beton akibat pengaruh retakan akibat desakan volume ekspansi tulangan yang terkorosi.

$$i_{corr(20)} = i_{corr(1)} 0,85T_p^{-0,29} = 1,12 \cdot 0,85 \cdot 27,95^{-0,29} = 0,36 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

$$i_{corr(T)} = i_{corr(20)} [1 + 0,073(T - 20)] = 0,36 [1 + 0,073(31 - 20)]$$

$$i_{corr(T)} = 0,65 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

$$\Delta D_{(T0)} = \lambda \cdot i_{corr(T)} \cdot T_p = 0,023294 \cdot 0,65 \cdot (27,95 - 17,95)$$

$$\Delta D_{(T0)} = 0,15 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{0,31+0,15}{2} = 0,232 \text{ mm}$$

$$w = 2 \cdot \pi \cdot x_b (\lambda - 1) = 2 \cdot \pi \cdot 0,232 (2 - 1) = 1,46 \text{ mm}$$

$$b_1 = b_0 + (n \cdot w) = 1500 + (8 \cdot 1,46) = 1511,65 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_a = \left(\frac{b_1}{b_0} - 1 \right) 0,1 = \left(\frac{1511,65}{1500} - 1 \right) 0,1 = 0,0008$$

$$\varepsilon_c = \frac{f_c'}{4700 \cdot \sqrt{f_c'}} = \frac{41,07}{4700 \cdot \sqrt{59,45}} = 0,0016$$

$$f_c'_{crack} = \frac{f_c'}{1 + k \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_c}} = \frac{59,45}{1 + 0,1 \frac{0,0008}{0,0016}} = 56,76 \text{ MPa}$$

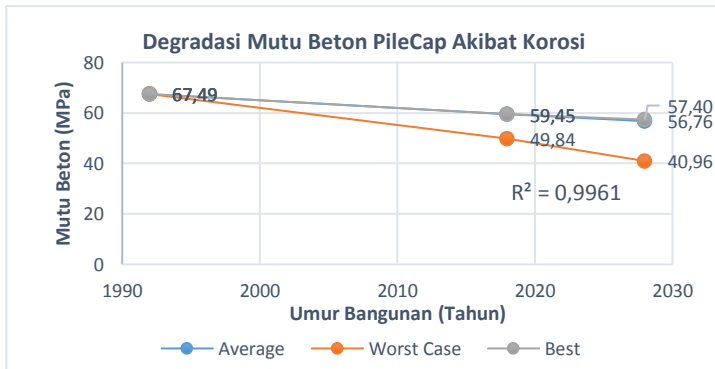
$$\Delta f_c' = f_c' - f_c'_{crack} = 59,45 - 56,76 = 2,69 \text{ MPa}$$

∴ Jadi kekuatan mutu beton pada tahun 2028 ialah 56,76 MPa mengalami penurunan sebesar 2,69 MPa.

Pada *as build drawing* diketahui bahwa antara mutu beton awal perencanaan masih lebih tinggi antara hasil uji core drill elemen dermaga yang sudah berumur 26 tahun. Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan rerata untuk plat trestle 42,76 MPa dengan standar deviasi 10,74 MPa, sedangkan pada *as build drawing* tercantum mutu K400 (33,20 MPa). Asumsi penulis ialah mutu beton yang terpasang saat pelaksanaan lebih tinggi dari mutu perencanaan. Oleh karena itu perhitungan penurunan pada tahun 2028 digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui prediksi mutu beton awal operasional.

Tabel 6.15 Prediksi Penurunan Mutu Beton Elemen PileCap Demaga

Kondisi	Mutu Beton f_c' (MPa)		
	1992	2018	2028
<i>Best</i>	67.49	59.45	57.40
<i>Average</i>	67.49	59.45	56.76
<i>Worst Case</i>	67.49	49.84	40.96



Gambar 6.1 Degradasi Mutu Beton Elemen PileCap Dermaga

Dari tabel 6.15 dan gambar 6.1 mengindikasikan bahwa terjadi penurunan mutu beton yang linier dengan gradien 0,31 selama 30 tahun terakhir, hasil perhitungan tersebut dibuktikan dengan nilai kepercayaan $R^2 = 0,996$.

c. Penurunan Mutu Baja Tulangan Terkorosi

Penurunan kekuatan tulangan akibat korosi dapat menggunakan persamaan empiris berikut (Du et al. 2005).

$$m_{loss} = 100 - \left(\frac{D_{loss}}{D_0} \cdot 100 \right) = 100 - \left(\frac{31,53}{32} \cdot 100 \right) = 1,46\%$$

$$f_y^r = (1 - 0,005m_{loss}) f_y^0 = (1 - 0,005 \cdot 1,46\%) 391,37$$

$$f_y^r = 388,50 \text{ MPa}$$

∴ Jadi kekuatan mutu baja tulangan pada tahun 2028 ialah 388,50 MPa.

Tabel 6.16 Penurunan Mutu Baja Tulangan Dermaga

No.	Elemen	Kondisi	fy (MPa)	
			2018	2028
1	Plat Trestle	<i>Average</i>	438.41	428.03
		<i>Worst case</i>	438.41	401.64
2	Balok Crane	<i>Average</i>	435.98	428.24
		<i>Worst case</i>	435.98	418.15
3	Pilecap Trestle	<i>Average</i>	391.37	388.50
		<i>Worst case</i>	391.37	378.98

Dari tabel 6.14 diketahui prediksi penurunan tiap elemen dermaga dari tahun 2018 hingga 10 tahun kedepan. Hasil dari perhitungan ini akan menjadi dasar untuk perhitungan selanjutnya kapasitas struktur.

d. Kecepatan Laju Korosi

Dari hasil analisis perhitungan laju korosi teoritis akan dibandingkan laju korosi aktual dilapangan hasil pengukuran uji tebal korosi tulangan beton. Berikut ini rekapitulasi durabilitas dan degradasi elemen struktur dermaga jika tidak dilakukan perbaikan. Pada tabel 6.17 dan 6.18 diketahui degradasi material tiap elemen struktur pada kondisi *best*, *average*, *worst case*, dan *destructive test* dimana nantinya akan digunakan untuk menghitung kapasitas dan akan dibandingkan dengan beban-beban operasional terjadi.

Tabel 6.17 Rekapitulasi Analisa Teoritis Durabilitas tiap elemen dermaga s/d 10 tahun

No.	Elemen	Kondisi	fc' (MPa)	dc (mm)	D (m ² /s)	C ₀ (kg/m ³)	C _{th} (kg/m ³)	Ti (tahun)	Tp ₁ (tahun) 2018	Tp ₂ (tahun) 2028	i _{corr} (μA/cm ²)	V _{corr} teoritis (μm/thn)
1	Plat Trestle	<i>Best</i>	45,30	68,00	7,90,E-13	8,13	3,35	16,38	10,62	20,62	1,01	11,74
		<i>Average</i>	38,08	55,37	1,35,E-12	6,97	3,35	5,21	21,79	31,79	1,17	13,52
		<i>W. case</i>	30,85	30,00	2,67,E-12	5,12	3,35	0,38	26,62	36,62	2,49	28,89
2	Balok Crane	<i>Best</i>	41,07	56,60	1,06,E-12	6,84	3,35	6,69	20,31	30,31	1,09	12,65
		<i>Average</i>	41,07	55,33	1,06,E-12	6,84	3,35	6,39	20,61	30,61	1,11	12,88
		<i>W. case</i>	41,07	30,00	1,06,E-12	4,80	3,35	0,73	26,27	36,27	1,91	22,14
3	Pilecap Trestle	<i>Best</i>	59,45	79,00	3,66,E-13	4,67	3,35	13,00	14,00	24,00	0,67	7,74
		<i>Average</i>	59,45	65,90	3,66,E-13	4,67	3,35	9,05	17,95	27,95	0,74	8,63
		<i>W. case</i>	49,84	21,00	5,97,E-13	4,52	3,35	0,48	26,52	36,52	2,34	27,17

Tabel 6.18 Rekapitulasi Kecepatan Korosi Teoritis dan Aktual tiap elemen dermaga s/d 10 tahun

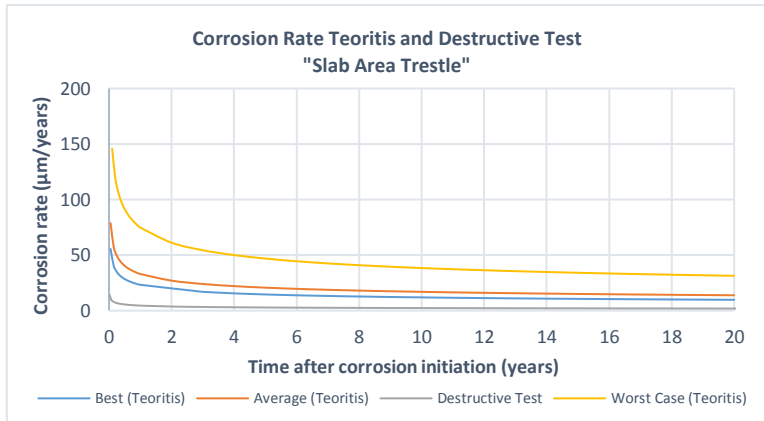
No.	Elemen	Kondisi	V _{corr} (mm/thn)	Prosentase Tulangan (%)			fc' (MPa)		
				1992	2018	2028	1992	2018	2028
1	Plat Trestle	<i>Best</i>	0,0117	100	98,43	0,00	46,99	45,30	0,00
		<i>Average</i>	0,0135	100	96,30	94,61	48,98	38,08	34,00
		<i>Worst case</i>	0,0289	100	90,35	85,69	48,98	30,85	23,18
		<i>Dest. Test</i>	0,0021	100	99,64	99,41	48,18	38,08	37,56

No.	Elemen	Kondisi	V _{corr} (mm/thn)	Prosentase Tulangan (%)			f _c ' (MPa)		
				1992	2018	2028	1992	2018	2028
2	Balok Crane	<i>Best</i>	0,0126	100	97,29	96,03	48,98	41,07	38,44
		<i>Average</i>	0,0129	100	97,19	95,91	48,18	41,07	38,37
		<i>Worst case</i>	0,0221	100	93,85	91,45	48,18	41,07	35,87
		<i>Dest. Test</i>	-	-	-	-	-	-	-
3	Pilecap Trestle	<i>Best</i>	0,0077	100	99,30	98,86	67,49	59,45	57,40
		<i>Average</i>	0,0086	100	99,03	98,54	67,49	59,45	56,76
		<i>Worst case</i>	0,0272	100	95,48	93,67	67,49	49,84	40,96
		<i>Dest. Test</i>	0,0084	100	99,29	98,85	0,00	59,45	56,76

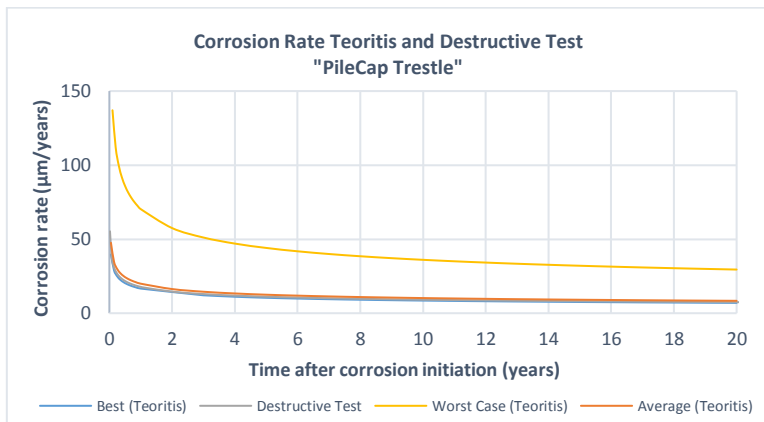
*)*Note.* Untuk baris yang diblock dengan warna biru ialah kondisi yang dipilih untuk perhitungan analisa selanjutnya

Dari hasil analisa beberapa kondisi korosi diatas, selanjutnya dari beberapa kondisi tersebut akan dipilih kondisi yang tepat untuk digunakan sebagai acuan dalam analisa struktur.

- Elemen plat lantai trestle dipilih kondisi *destructive test*, karena didasarkan antara hasil teoritis dengan *actual* mempunyai deviasi hasil yang cukup besar. Serta secara inspeksi visual yang telah dilakukan korosi yang terjadi untuk elemen plat dari analisa kondisi teoritis tidak sesuai dengan yang terjadi pada eksisting. Maka dari itu dipilih kondisi *destructive test*.
- Elemen balok dan pilecap trestle dipilih kondisi *average*, hal tersebut didasarkan karena antara hasil teoritis dengan *actual* mempunyai kemiripan hasil yang sama. Serta secara inspeksi visual yang telah dilakukan korosi yang terjadi untuk elemen tersebut dari analisa kondisi teoritis hampir sesuai dengan yang terjadi pada eksisting. Maka dari itu dipilih kondisi *average*.



Gambar 6.2 Prediksi Laju Korosi Teoritis dan Actual Elemen Plat Lantai Trestle



Gambar 6.3 Prediksi Laju Korosi Teoritis dan Actual Elemen PileCap Trestle

Hasil analisis teoritis didapatkan untuk kondisi *average* didapatkan selisih sebesar 3,1% dan untuk kondisi *worst case* didapatkan selisih sebesar 70,3%. Dengan hasil tersebut kondisi *average* dinilai dapat mewakili perhitungan nilai degradasi material dermaga kedepannya.

6.3.11.4 Analisis Retak Korosi Dermaga

Untuk memahami perilaku retak yang terjadi pada eksisting maka akan dianalisa secara teoritis retak akibat pengaruh korosi, nantinya akan dibandingkan dengan kondisi terkini eksisting dermaga. Pada contoh perhitungan dibawah ditunjukkan untuk elemen plat lantai trestle dermaga, sedangkan untuk elemen yang lain akan disajikan dalam bentuk rekapitulasi tabel.

a. Data Analisis

- Berat jenis karat (ρ_{rust}) = 3605 kg/m³
- Tebal selimut beton (c) = 55,4 mm
- Kuat tekan beton (f_c') = 38,08 MPa
- Kuat tarik beton (f_t) = $0,4\sqrt{f_c'} = 2,47$ MPa
- Poisson ratio (ν_c) = 0,2
- Diameter tulangan (D) = 16 mm
- Tebal zona pori beton (d_0) = $12,5 \cdot 10^{-6}$ mm
- $a = 0,5 (D + 2d_0)$ = 8,00 mm
- $b = c + a$ = 63,37 mm
- Modulus elastisitas beton (E_c) = $4700\sqrt{f_c'}$
= 29001,3 MPa
- Koefisien rangkai beton (ϕ_{cr}) = 2
- Mod. El beton efektif (E_{ef}) = $E_c / (1 + \phi_{cr})$
= 9667,11 MPa
- Koef. Tipe karat terjadi (α) = 0,5725
- Kecepatan korosi ($i_{corr(1)}$) = 1,86 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
- Faktor kekangan tulangan (k_c) = 1
- Waktu inisiasi korosi (T_i) = 11,02 Tahun

b. Jumlah berat karat untuk terjadinya retak

$$W_{crit} = \frac{\rho_{rust} \left(\pi \left[\frac{c f_t}{E_{ef}} \left(\frac{a^2 + b^2}{b^2 - a^2} + \nu_c \right) + d_0 \right] \cdot D \right)}{1000(1 - \alpha)}$$

$$W_{crit} = \frac{3605 \left(\pi \left[\frac{55,4 \cdot 2,47}{9667,11} \left(\frac{8^2 + 63,37^2}{63,37^2 - 8^2} + 0,2 \right) + 12,5 \cdot 10^{-6} \right] \cdot 16 \right)}{1000(1 - 0,5725)}$$

$$W_{crit} = 7,39 \text{ kg/m}$$

c. Waktu inisiasi retak

$$k_p = 0,098 \cdot \left(\frac{1}{\alpha}\right) \cdot \pi \cdot D \cdot i_{corr} = 0,098 \cdot \left(\frac{1}{0,5725}\right) \cdot \pi \cdot 16 \cdot 1,86$$

$$k_p = 15,99$$

$$T_{cr-i} = \frac{(W_{crit})^2}{2k_p} = \frac{(7,39)^2}{2 \cdot 16,11} = 1,71 \text{ Tahun}$$

d. Waktu propagasi retak untuk ($w_{lim} = 0,15 \text{ mm}$)

$$i_{corr(exp)} = 100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

$$i_{corr(real)} = 1,86 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

$$\psi_{cp} = c/(D \cdot f_t) = 55,4/(16 \cdot 2,47) = 1,40$$

$$r_{crack} = 0,0008 e^{-1,7\psi_{cp}} = 0,0008 e^{-1,7 \cdot 1,40}$$

$$r_{crack} = 7,4 \cdot 10^{-5}$$

$$k_R \approx 0,95 \left[\exp\left(\frac{0,3i_{corr(exp)}}{i_{corr(real)}}\right) - \frac{i_{corr(exp)}}{2500i_{corr(real)}} + 0,3 \right]$$

$$k_R \approx 0,95 \left[\exp\left(\frac{-0,3 \cdot 100}{1,86}\right) - \frac{100}{2500 \cdot 1,86} + 0,3 \right] = 0,26$$

$$T_{cr-p} = k_R \frac{w_{lim} - 0,05}{k_c \cdot r_{crack}} \left(\frac{0,0114}{i_{corr(real)}} \right)$$

$$T_{cr-p} = 0,26 \cdot \frac{0,15 - 0,05}{1 \cdot 7,4 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{0,0114}{1,86} \right) = 2,20 \text{ Tahun}$$

$$T_{cr} = T_{cr-i} + T_{cr-p} = 1,71 + 2,20 = 3,91 \text{ Tahun}$$

e. Waktu propagasi retak untuk ($w_{lim} = 0,5 \text{ mm}$)

$$i_{corr(exp)} = 100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

$$i_{corr(real)} = 1,86 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

$$\psi_{cp} = c/(D \cdot f_t) = 55,4/(16 \cdot 2,47) = 1,40$$

$$r_{crack} = 0,0008 e^{-1,7\psi_{cp}} = 0,0008 e^{-1,7 \cdot 1,40}$$

$$r_{crack} = 7,4 \cdot 10^{-5}$$

$$k_R \approx 0,95 \left[\exp\left(\frac{0,3i_{corr(exp)}}{i_{corr(real)}}\right) - \frac{i_{corr(exp)}}{2500i_{corr(real)}} + 0,3 \right]$$

$$k_R \approx 0,95 \left[\exp\left(\frac{0,3 \cdot 100}{1,86}\right) - \frac{100}{2500 \cdot 1,86} + 0,3 \right] = 0,26$$

$$T_{cr-p} = k_R \frac{w_{lim} - 0,05}{k_c \cdot r_{crack}} \left(\frac{0,0114}{i_{corr(real)}} \right)$$

$$T_{cr-p} = 0,26 \cdot \frac{0,5 - 0,05}{1 \cdot 7,4 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{0,0114}{1,86} \right) = 9,90 \text{ Tahun}$$

$$T_{cr} = T_{cr-i} + T_{cr-p} = 1,71 + 9,90 = 11,60 \text{ Tahun}$$

f. Waktu propagasi retak untuk ($w_{lim} = 1 \text{ mm}$)

$$i_{corr(exp)} = 100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

$$i_{corr(real)} = 1,86 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

$$\psi_{cp} = c / (D \cdot f_t) = 55,4 / (16 \cdot 2,47) = 1,40$$

$$r_{crack} = 0,0008 e^{-1,7\psi_{cp}} = 0,0008 e^{-1,7 \cdot 1,40}$$

$$r_{crack} = 7,4 \cdot 10^{-5}$$

$$k_R \approx 0,95 \left[\exp\left(\frac{0,3 i_{corr(exp)}}{i_{corr(real)}}\right) - \frac{i_{corr(exp)}}{2500 i_{corr(real)}} + 0,3 \right]$$

$$k_R \approx 0,95 \left[\exp\left(\frac{0,3 \cdot 100}{1,86}\right) - \frac{100}{2500 \cdot 1,86} + 0,3 \right] = 0,26$$

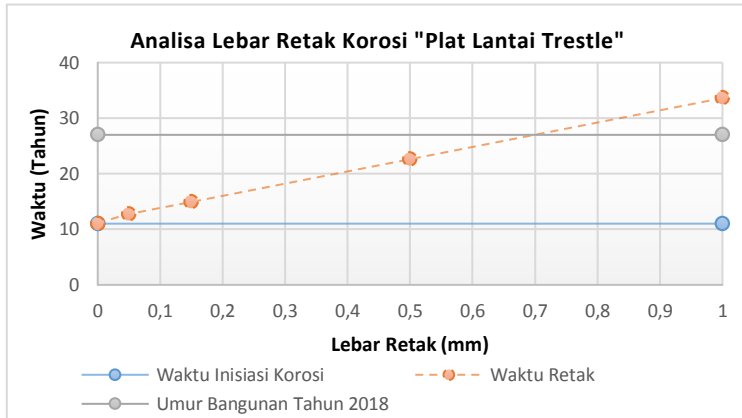
$$T_{cr-p} = k_R \frac{w_{lim} - 0,05}{k_c \cdot r_{crack}} \left(\frac{0,0114}{i_{corr(real)}} \right)$$

$$T_{cr-p} = 0,26 \cdot \frac{1,0 - 0,05}{1 \cdot 7,4 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{0,0114}{1,86} \right) = 20,89 \text{ Tahun}$$

$$T_{cr} = T_{cr-i} + T_{cr-p} = 1,71 + 20,89 = 22,60 \text{ Tahun}$$

Pada analisa teoritis menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk terjadinya retak dihitung mulai dari awal berfungsinya bangunan sekitar 33,62 tahun, yang terdiri atas waktu inisiasi korosi selama 11,02 tahun dan waktu retak selama 22,6 tahun untuk mencapai lebar retak 1mm. Dari gambar 6.4 didapatkan pada umur bangunan saat ini 27 tahun dan dari perhitungan didapatkan lebar retak teoritis ialah 0,70 mm.

Pada hasil pengujian lebar retak dilapangan untuk plat lantai trestle didapatkan hasil rata-rata 0,4 mm dan paling besar 1,2 mm. Dengan hasil teoritis dan aktual berada dalam satu interval, maka analisa teoritis retak dapat dipertanggung jawabkan. Dengan demikian diperlukan waktu yang cukup lama untuk terjadi retak segera setelah proses inisiasi korosi selesai.



Gambar 6.4 Waktu inisiasi korosi dan waktu retak untuk lebar retak maksimum 1,0 mm plat trestle dermaga

Berikut ini disajikan rekapitulasi analisis retak pada tabel 6.19.

Tabel 6.19 Rekapitulasi Analisis Lebar dan Waktu Retak Tiap Elemen

No.	Elemen	Waktu Retak (Tahun)				Lebar Retak Saat Ini (mm)
		T_{cr-i}	T_{cr} (0,15 mm)	T_{cr} (0,5 mm)	T_{cr} (1 mm)	
1	Plat Trestle	1.71	3.91	11.60	22.60	0.700
2	Balok Crane	2.35	3.93	9.48	17.40	0.896
3	Pilecap Trestle	8.64	9.63	13.10	23.03	1.135

6.3.12 Analisa Durabilitas Pondasi Tiang Pancang Baja

Pada bangunan trestle dermaga ini untuk struktur bawah pondasi berupa tiang pancang baja. Dari hasil pengujian *ultrasonic thickness test* pancang eksisting yang berada dibawah air diketahui bahwa dinding elemen tiang pancang terdapat lapisan pelindung (*protective coating*).

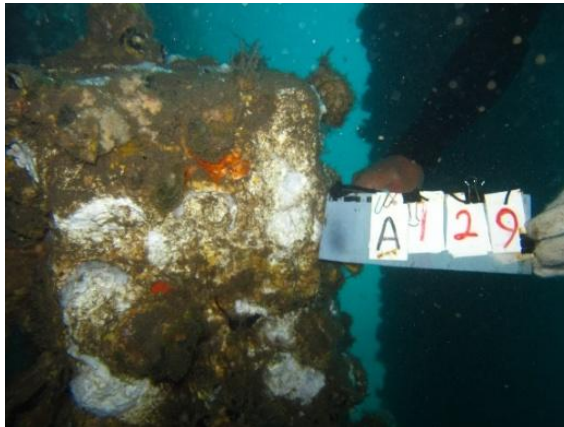
Dimana menurut *specification* pabrik sesuai CAN/CSA-Z 245-21-02 bahwa tebal total pelapisan minimum ialah 2,5 mm. Hal tersebut mengakibatkan pembacaan pengukuran tebal pipa melebihi tebal awal pipa. Dari hasil pengukuran didapatkan rerata tebal pancang sebesar 21,53 mm dengan tebal awal pancang 19 mm. Untuk hasil analisa disajikan pada tabel 6.20 berikut.

Tabel 6.20 Rekapitulasi Pengurangan Tebal Baja Pancang Trestle

Elemen Struktur	Hasil Pengukuran Tebal Baja (mm)				Rata-Rata (mm)	Initial Thickness	Pengurangan Tebal (mm)
	A	B	C	D			
Pancang	21,68	21,46	21,46	21,34	21,49	23,00	-1,5150
Pancang	21,77	21,29	21,29	21,34	21,42		-1,5775
Pancang	21,61	21,34	21,34	21,28	21,39		-1,6075
Pancang	21,22	21,11	21,11	21,47	21,23		-1,7725
Pancang	21,56	21,18	21,18	21,48	21,35		-1,6500
Pancang	21,19	21,48	21,48	21,47	21,41		-1,5950
Pancang	21,22	21,53	21,53	21,24	21,38		-1,6200
Pancang	21,84	21,29	21,29	21,58	21,50		-1,5000
Pancang	21,51	21,22	21,22	21,68	21,41		-1,5925
Pancang	21,18	21,58	21,58	21,49	21,46		-1,5425
Pancang	21,13	21,65	21,65	21,42	21,46		-1,5375
Pancang	21,32	21,53	21,53	21,53	21,48		-1,5225
Pancang	21,38	21,35	21,11	21,65	21,37		-1,6275
Pancang	21,54	21,17	21,34	21,63	21,42		-1,5800
Pancang	21,64	21,53	21,14	21,34	21,41		-1,5875
Pancang	21,56	21,22	21,58	21,64	21,50		-1,5000
Pancang	21,79	21,13	21,74	21,29	21,49		-1,5125
Pancang	21,68	21,17	21,28	21,55	21,42		-1,5800
Pancang	21,89	21,38	21,48	21,25	21,50		-1,5000
Pancang	21,29	21,57	21,43	21,34	21,41		-1,5925
Pancang	21,34	21,34	21,32	21,56	21,39		-1,6100
Pancang	21,31	21,13	21,64	21,56	21,41		-1,5900
Pancang	21,04	21,67	21,85	21,34	21,48		-1,5250
Pancang	21,08	21,18	21,19	21,72	21,29		-1,7075
Pancang	21,38	21,22	21,34	21,81	21,44		-1,5625

Elemen Struktur	Hasil Pengukuran Tebal Baja (mm)				Rata-Rata (mm)	Initial Thickness	Pengurangan Tebal (mm)
	A	B	C	D			
Pancang	21,05	21,56	21,34	21,48	21,36		-1,6425
Pancang	21,64	21,13	21,84	21,34	21,49		-1,5125
Pancang	21,59	21,46	21,14	21,57	21,44		-1,5600
Pancang	21,64	21,56	21,57	21,25	21,51		-1,4950
Pancang	21,13	21,46	21,67	21,77	21,51		-1,4925
Pancang	21,33	21,20	21,72	21,56	21,45		-1,5475
Pancang	21,29	21,92	21,04	21,63	21,47		-1,5300

Dimana untuk *initial thickness* pancang baja sebesar 23 mm, dengan asumsi tebal lapisan *coating* 4 mm. Selanjutnya dalam analisa kapasitas tiang pancang baja, ketebalan profil akan dikurangi akibat korosi air laut menggunakan metode *uniform corrosion* dengan pendekatan yang lebih konservatif dan ditetapkan asumsi kecepatan korosi dengan kondisi *worst case* sebesar 0,0656 mm/tahun. Disimpulkan bahwa kondisi tiang pancang terendam masih cukup baik didukung dengan hasil pengamatan pengorbanan anoda pada sistem proteksi katodik masih berfungsi dengan baik, sebagaimana terlihat pada gambar berikut.



Gambar 6.5 Hasil Pengamatan Sistem Proteksi Katodik

Menurut journal yang diambil dari “*FHWA NHI-05-042 Design and Construction of Driven Pile Foundations, and the Ferries Terminal Design Manual*” menyatakan bahwa ketebalan dinding desain untuk tiang pancang baja harus dikurangi akibat korosi selama umur desain 75 tahun dengan laju korosi minimum sebagai berikut:

- Zona tertanam tanah (*undisturbed soil*) :
0,001 inc/tahun → 0,0254 mm/tahun
- Zona tertanam tanah (*fill or disturbed natural soil*) :
0,003 inc/tahun → 0,0762 mm/tahun
- Zona tenggelam (*fresh water*) :
0,002 inc/tahun → 0,0508 mm/tahun
- Zona tenggelam dan tidal (*salt water*) :
0,004 inc/tahun → 0,1016 mm/tahun
- Zona percikan (*salt water*) :
0,006 inc/tahun → 0,1524 mm/tahun
- Zona atmosfer :
0,004 inc/tahun → 0,1016 mm/tahun

Oleh karena dari hasil pengujian dan analisa diambil hasil paling kritis (*worst case*) untuk laju korosi tiang pancang trestle ialah 0,0656 mm/tahun. Hasil tersebut masih lebih kecil dari yang disyaratkan pada ketentuan diatas untuk zona tenggelam dan tidal (*salt water*). Sehingga untuk laju korosi dalam perhitungan selanjutnya menggunakan ketentuan minimum laju korosi sebesar 0,1016 mm/tahun untuk daerah tenggelam, dan 0,1524 mm/tahun untuk daerah percikan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VII

ANALISA STRUKTUR DAN PEMBAHASAN

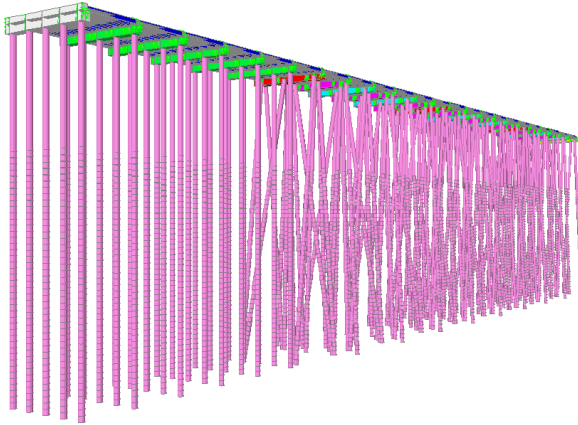
7.1 Umum

Analisa struktur dilakukan dengan maksud untuk mengetahui kekuatan struktur pada saat ini dan pada masa 10 tahun mendatang bila tidak dilakukan pemeliharaan. Untuk dapat mengevaluasi dan menyimpulkan kekuatan struktur trestle dermaga. Maka perlu dilakukan analisa struktur sesuai perencanaan yang berupa perhitungan gaya-gaya dalam pada setiap elemen yang ditinjau dan nantinya akan digunakan sebagai tolak ukur kekuatan struktur pada saat ini dan 10 tahun mendatang.

Untuk mengetahui angka keamanan struktur, maka dilakukan perhitungan kekuatan nominal struktur berdasarkan As built drawing serta mengacu kepada hasil pengujian kekuatan material beton dan pengaruh korosi pada baja tulangan. Dengan demikian akan diketahui perbandingan antara kekuatan nominal elemen dengan gaya dalam yang dipikul, setelah itu dilakukan perhitungan kembali berdasarkan prediksi penurunan kualitas beton dan pengurangan diameter tulangan pada 10 tahun mendatang apabila tidak dilakukan pemeliharaan.

7.2 Permodelan Struktur

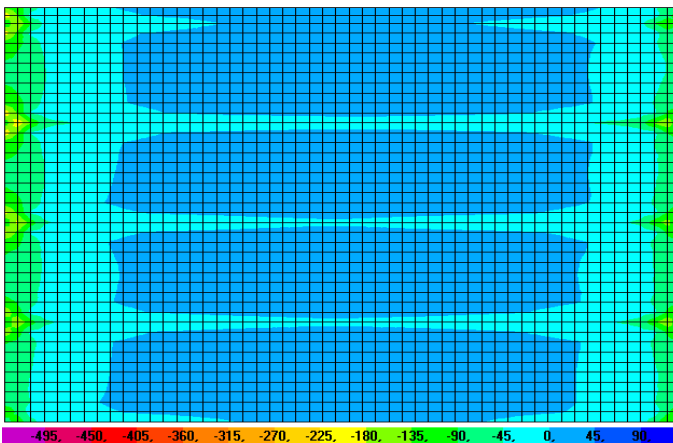
Pemodelan yang dilakukan dalam analisis struktur bangunan trestle dan jetty menyesuaikan elemen-elemen struktur yang ada di dalamnya. Beban-beban yang bekerja pada trestle dermaga menyesuaikan dengan keadaan eksisting sebenarnya meliputi beban truck, beban conveyor, beban UDL, beban arus dan gelombang, dan beban gempa. Untuk hasil permodelan struktur dermaga menggunakan program bantu SAP2000 v.14 seperti pada gambar 7.1 berikut.



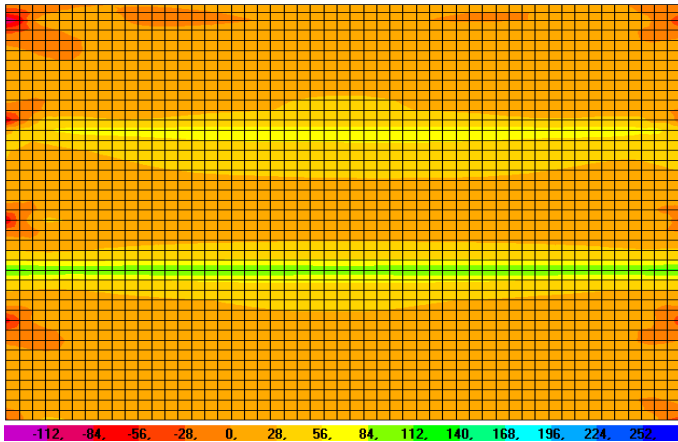
Gambar 7.1 Permodelan Struktur Jetty Dermaga

7.3 Analisa Elemen Struktur Plat Lantai

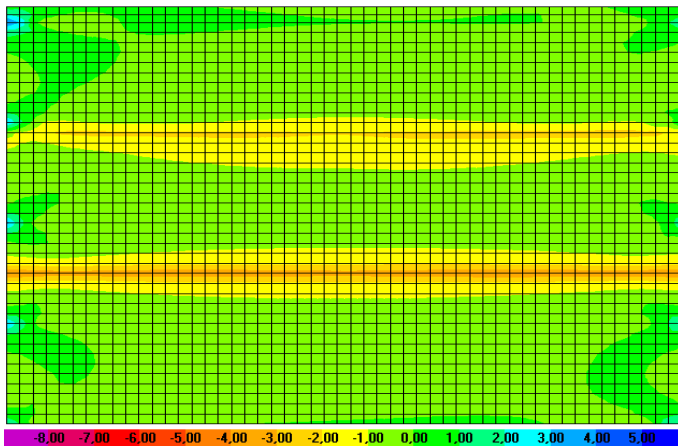
Struktur plat dianalisa untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja. Dalam perhitungan momen plat dermaga, asumsi plat sebagai plat lentur yang dianggap terjepit penuh dengan balok di kedua sisinya.



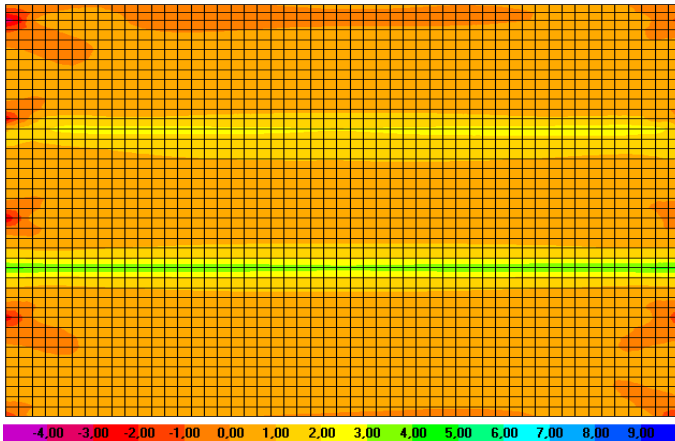
Gambar 7.2 Hasil Gaya Dalam Momen Area Plat Akibat Kombinasi Pembebanan $1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T$ (M11)



Gambar 7.3 Hasil Gaya Dalam Momen Area Plat Akibat Kombinasi Pembebanan $1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T$ (M_{22})



Gambar 7.4 Hasil Kontur Tegangan Area Plat Akibat Kombinasi Pembebanan $1D + 1L + 1T$ (S_{22TOP})



Gambar 7.5 Hasil Kontur Tegangan Area Plat Akibat Kombinasi Pembebanan 1D + 1L + 1T (S_{22} _{BOTTOM})

Dari hasil analisis struktur elemen plat lantai didapatkan besaran nilai gaya dalam momen dan tegangan plat yang disajikan dalam tabel 7.1 dan 7.2 berikut.

Tabel 7.1 Hasil Momen Ultimit Area Plat Lantai Trestle

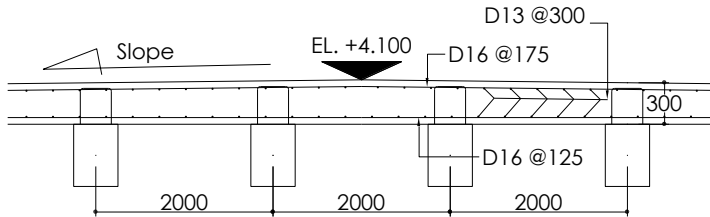
Kombinasi	Lapangan		Tumpuan	
	M_{11} (kN.m/m)	M_{22} (kN.m/m)	M_{11} (kN.m/m)	M_{22} (kN.m/m)
1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T	90,06	102,11	-119,68	-40,22
1,3D + 1,8L + 1,8T	84,88	98,27	-76,06	-37,89

Tabel 7.2 Hasil Tegangan Ijin Area Plat Lantai Trestle

Kombinasi	S_{22} (top) (N/mm ²)	S_{22} (bottom) (N/mm ²)
1D + 1L + 1T	-3,847	3,979

7.3.1 Perhitungan Struktur Plat Lantai

Berikut ini akan disajikan detail perhitungan kapasitas nominal plat lantai trestle dermaga pada kondisi saat ini tahun 2018. Sedangkan untuk tipe plat lainnya dan kondisi 10 tahun mendatang akan disajikan dalam bentuk rekapitulasi tabel.



Gambar 7.6 Detail Tulangan Potongan Melintang Plat Lantai Trestle

a. Data Analisis

Berikut ini data analisis yang digunakan dalam perhitungan.

- Prosentase tulangan = 99,64%
- Mutu beton (f_c') = 33,20 MPa
- Mutu baja tulangan leleh (f_y) = 400 MPa
- Mutu baja tulangan putus (f_u) = 500 MPa
- Waktu korosi (T_p) = 13,45 Tahun
- Kecepatan korosi (i_{corr}) = 0,19 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
- Tulangan arah melintang (D_0)
 - Lapis bawah = D16 - 125
 - Lapis atas = D16 - 175
- Tulangan arah memanjang (D_0)
 - Lapis bawah = D13 - 300
 - Lapis atas = D13 - 300
- Lebar plat (l_{plat}) = 2000 mm
- Panjang plat (L_{plat}) = 10000 mm
- Tebal plat (h_{plat}) = 300 mm
- Lebar balok girder (b_{balok}) = 500 mm
- Lebar sisi atas pilecap (b_{pcap}) = 390 mm
- Tebal selimut beton (d') = 55,37 mm
- Faktor distribusi beton (β_1) = $0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7}$
= 0,78
- Koef. Lengan momen (j) = 0,85
- Faktor reduksi lentur (ϕ) = 0,8
- Faktor beton ringan (λ) = 1 (beton normal)

b. Kapasitas Lentur Penampang

Dari gambar dan data tersebut untuk bentang bersih plat lantai,

$$L_{nx} = l_{plat} - \frac{b_{balok}}{2} - \frac{b_{balok}}{2} = 2000 - \frac{500}{2} - \frac{500}{2} = 1500 \text{ mm}$$

$$L_{ny} = L_{plat} - \frac{b_{pcap}}{2} - \frac{b_{pcap}}{2} = 10000 - \frac{390}{2} - \frac{390}{2} = 9160 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_{ny}}{L_{nx}} = \frac{9160}{1500} = 6,11 > 2 \text{ (Pelat satu arah)}$$

Karena tipe plat adalah satu arah maka terdapat satu tulangan utama yaitu searah dengan bentang terpendek. Sedangkan untuk arah bentang panjang merupakan tulangan pembagi untuk menahan susut seperti yang disyaratkan pada SNI 2847-2013. Untuk contoh perhitungan kapasitas pada daerah lapangan dan tumpuan sumbu pendek (M_{22}) sebagai berikut.

- Diameter tulangan tahun 2018:

$$D = D_0 - \lambda \cdot i_{corr} \cdot T_p = 16 - 0,023294 \cdot 0,19 \cdot 13,45$$

$$D = 15,9 \text{ mm}$$

- Tinggi efektif beton:

$$d = h_{plat} - d' - D/2 = 300 - 55,37 - 15,9/2 = 236,66 \text{ mm}$$

- Jarak titik berat tulangan tekan sampai serat teratas:

$$t' = d' + D/2 = 55,37 + 15,9/2 = 63,34 \text{ mm}$$

- Periksa tulangan sudah luluh atau belum:

$$A_s = 0,7854 \cdot D^2 \cdot 1000/s = 0,7854 \cdot 15,9^2 \cdot 1000/125$$

$$A_s = 1596,86 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\rho = A_s/b \cdot d = 1596,86/1000 \cdot 236,66 = 0,0067$$

$$A_s' = 0,7854 \cdot D^2 \cdot 1000/s = 0,7854 \cdot 15,9^2 \cdot 1000/175$$

$$A_s' = 1140,62 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\rho' = A_s'/b \cdot d = 1140,62/1000 \cdot 236,66 = 0,0048$$

$$K = 0,85\beta_1 \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) \left(\frac{t}{d} \right) \left(\frac{600}{600-f_y} \right)$$

$$K = 0,85 \cdot 0,78 \left(\frac{33,20}{400} \right) \left(\frac{63,34}{236,66} \right) \left(\frac{600}{600-400} \right) = 0,044$$

$(\rho - \rho') = 0,0019 < K = 0,044$ (Tulangan tekan belum luluh)

- Hitung ϕMn lentur positif dengan analisis gaya dalam:

$$A_s = 1596,86 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1596,86 \cdot 400}{0,85 \cdot 38,08 \cdot 1000} = 22,63 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = \phi \cdot A_{s\text{total}} \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$\phi Mn = (0,8 \cdot 1596,86 \cdot 400 (236,66 - 22,63/2)) / 10^6$$

$$\phi Mn = 115,15 \text{ kN.m}$$

- Hitung ϕMn lentur negatif dengan analisis gaya dalam:

$$A_s = 1140,62 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1140,62 \cdot 400}{0,85 \cdot 38,08 \cdot 1000} = 16,17 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = \phi \cdot A_{s\text{total}} \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$\phi Mn = (0,8 \cdot 1140,62 \cdot 400 (236,66 - 16,17/2)) / 10^6$$

$$\phi Mn = 83,43 \text{ kN.m}$$

Dalam jurnal "Structural Effects of Reinforcement Corrosion in Concrete Structures" oleh Mohammad Tahershamsi, 2016. Hasil pengujian untuk spesimen yang rusak dengan hanya retak-retak (M) dan penutup *spalling* (H) menunjukkan penurunan 6% dan 9%. Pada perhitungan kapasitas elemen plat lantai ini diambil nilai reduksi 6%.

$$\phi Mn_r (+) = \phi Mn \cdot (100\% - R) = 115,15 \cdot (100\% - 6\%)$$

$$\phi Mn_r (+) = 108,24 \text{ kN.m/m}$$

$$Mu_{(\text{comb no.1})} = 102,11 \text{ kN.m/m}$$

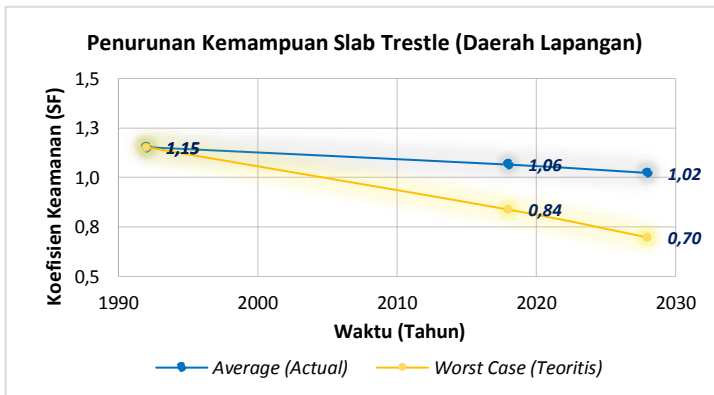
$$SF_{2018} = \frac{\phi Mn_r}{Mu_{(\text{comb no.1})}} = \frac{108,90}{102,11} = 1,06$$

Tabel 7.3 Penurunan Kemampuan Plat Lantai Trestle Kondisi *Average (Actual)*

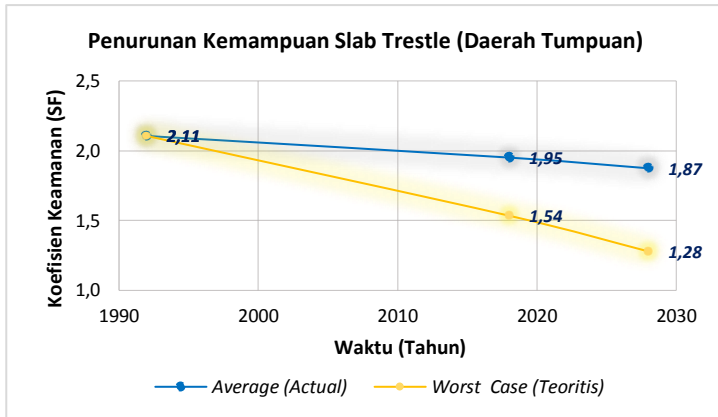
No.	Elemen Struktur	Tahun	Posisi	Kondisi <i>Average</i>		
				ϕMn (kN.m/m)	Mu (kN.m/m)	<i>Safety Factor</i> (SF ₁)
1	Plat Lantai Trestle Dermaga	1992	Tump	84,01	40,22	2,11
2			Lap	115,93	102,11	1,15
3		2018	Tump	78,42	40,22	1,95
4			Lap	108,24	102,11	1,06
5		2028	Tump	75,21	40,22	1,87
6			Lap	104,15	102,11	1,02

Tabel 7.4 Penurunan Kemampuan Plat Lantai Trestle Kondisi *Worst Case (Teoritis)*

No.	Elemen Struktur	Tahun	Posisi	Kondisi <i>Worst Case</i>		
				ϕMn (kN.m/m)	Mu (kN.m/m)	<i>Safety Factor</i> (SF ₂)
1	Plat Lantai Trestle Dermaga	1992	Tump	84,01	40,22	2,11
2			Lap	115,93	102,11	1,15
3		2018	Tump	64,95	40,22	1,54
4			Lap	86,94	102,11	0,84
5		2028	Tump	51,48	40,22	1,28
6			Lap	71,48	102,11	0,70



Gambar 7.7 Penurunan Kemampuan Slab Trestle (Daerah Lapangan)



Gambar 7.8 Penurunan Kemampuan Slab Trestle (Daerah Tumpuan)

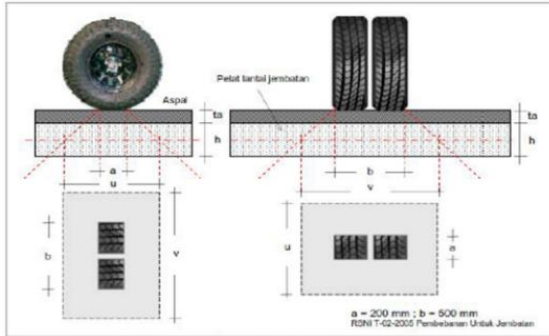
Dari tabel 7.3 dapat diketahui bahwa plat lantai trestle relative aman sampai dengan tahun 2028 karena mempunyai angka keamanan diatas 1,0 sejak tahap awal beroperasi pada tahun 1992 pada kondisi *average (actual)*. Namun pada tabel 7.4 untuk kondisi *worst case (teoritis)* plat lantai trestle angka keamanannya dibawah 1,0 dan diperkirakan sudah tidak mampu memikul beban operasional yang bekerja.

c. Kontrol Geser Pons

Guna melakukan tinjauan terhadap kemungkinan kegagalan geser dua arah, maka dapat diambil potongan kritis penampang yang terletak sejarak u dan v dari roda truck. Dalam SNI 2847:2013, pasal 11.11.2.1, dinyatakan bahwa kuat geser dua arah (V_c) diperoleh dari nilai terkecil dari persamaan berikut.

Diketahui data sebagai berikut:

- Ukuran gandar roda truck, $a = 250$ mm
- Ukuran gandar roda truck, $b = 750$ mm
- Beban gandar roda truck, $V_u = 112500$ N



Gambar 7.9 Geser Dua Arah pada Plat Lantai

Perhitungan kontrol geser pons sebagai berikut.

$$u = 2 \cdot 0,5h_{plat} + a = 2 \cdot 0,5 \cdot 300 + 250 = 550 \text{ mm}$$

$$v = 2 \cdot 0,5h_{plat} + b = 2 \cdot 0,5 \cdot 300 + 750 = 1050 \text{ mm}$$

$$b_o = 2 \cdot (u + v) = 2 \cdot (550 + 1050) = 3200 \text{ mm}$$

$$\beta_c = b/a = 750/250 = 3$$

$$V_{c1} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{c1} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{3}\right) 1 \cdot \sqrt{33,20} \cdot 3200 \cdot 236,6$$

$$V_{c1} = 1236203 \text{ N}$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2\right) \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(\frac{40 \cdot 236,6}{3200} + 2\right) 1 \cdot \sqrt{33,2} \cdot 3200 \cdot 236,6$$

$$V_{c2} = 1795427 \text{ N}$$

$$V_{c3} = 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{c3} = 0,33 \cdot 1 \cdot \sqrt{33,2} \cdot 3200 \cdot 236,6$$

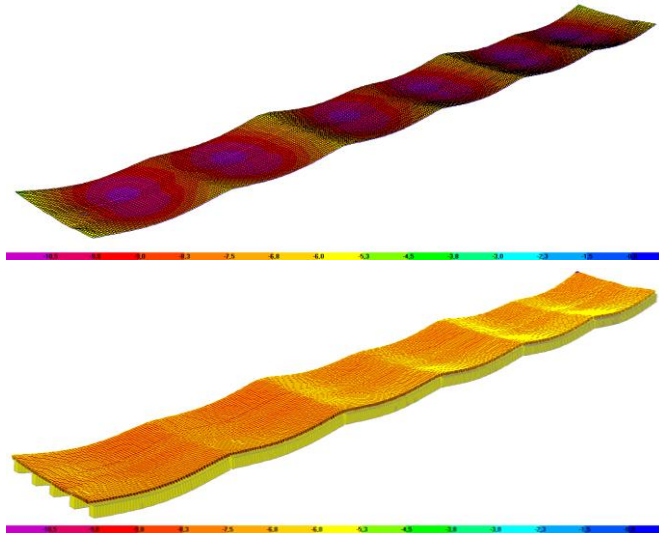
$$V_{c3} = 1439813 \text{ N}$$

Maka,

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 1236203 = 927152 \text{ N} > V_u = 112500 \text{ N (OK)}$$

Sesuai dengan perhitungan diatas baik untuk plat lantai trestle maupun plat lantai jetty didapatkan kemampuan beton lantai plat lantai untuk memikul gaya geser masih lebih besar dari pada beban yang harus diterima.

d. Analisis Keretakan Plat



Gambar 7.10 Lendutan yang terjadi pada balok dan plat lantai trestle

Pada saat mengalami retak, momen kapasitas retak dapat dianalisis dari momen retak penampang. Untuk mengetahui penyebab keretakan plat lantai pada kondisi eksisting, maka dilakukan analisa lendutan dan tegangan. Modulus keruntuhan beton berkisar antara 11% - 23% dari kuat tekannya. SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.3 memberikan korelasi antara modulus keruntuhan beton dengan kuat tekan. Ketika tegangan beton sama dengan modulus keruntuhan, maka terbentuklah momen retak (M_{cr}). Berikut analisis perhitungan retak.

$$\Delta_{ijin} = L / 800 = 10000 / 800 = 12,50 \text{ mm}$$

$$\Delta_u = 11,02 \text{ mm (Hasil output SAP2000)}$$

$$S_{top} = 3,847 \text{ N/mm}^2 \text{ (Hasil output SAP2000)}$$

$$S_{bot} = 3,979 \text{ N/mm}^2 \text{ (Hasil output SAP2000)}$$

$$f_r = 0,62 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} = 0,62 \cdot 1 \cdot \sqrt{33,20} = 3,57 \text{ N/mm}^2$$

$$I_g = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{2000 \cdot 300^3}{12} = 45 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$y_t = h/2 = 300/2 = 150 \text{ mm}$$

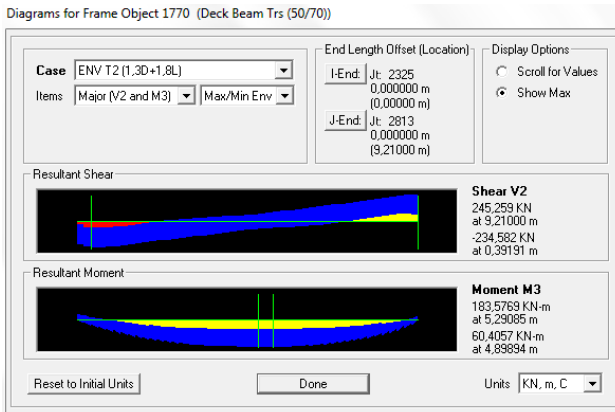
$$M_{cr} = S \cdot I_g / y_t = 3,847 \cdot 45 \cdot 10^8 / 150 = 115,41 \cdot 10^6 \text{ N.mm}$$

$$M_{cr} = 115,41 \text{ kN.m}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan hasil bahwa lendutan yang terjadi masih dibawah dari lendutan ijin serta untuk sisi plat lantai atas (M_{cr}) sudah tidak memenuhi persyaratan retak. Serta untuk tegangan ijin terjadi melebihi tegangan kapasitas ijin retak beton untuk kombinasi beban truck dengan gandar roda truck berada tepat pada diantara balok girder (tengah plat lantai) sehingga menyebabkan pelat lantai kendaraan sisi atas mengalami keretakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3-4.5.

7.4 Analisa Elemen Struktur Balok Dermaga

Struktur balok dianalisa untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja. Dalam perhitungan gaya dalam balok dermaga permodelan menyesuaikan dengan keadaan lapangan yaitu balok girder duduk pada *bearing pad*, dengan asumsi perletakan sendi dan roll.



Gambar 7.11 Hasil Gaya Dalam Balok Trestle Akibat Kombinasi Pembebanan 1,3D + 1,8L

Dari hasil analisis struktur elemen balok girder didapatkan besaran nilai gaya dalam momen dan geser yang disajikan dalam tabel 7.5 berikut.

Tabel 7.5 Hasil Gaya Dalam Balok Girder Trestle Bagian Tengah As C-X

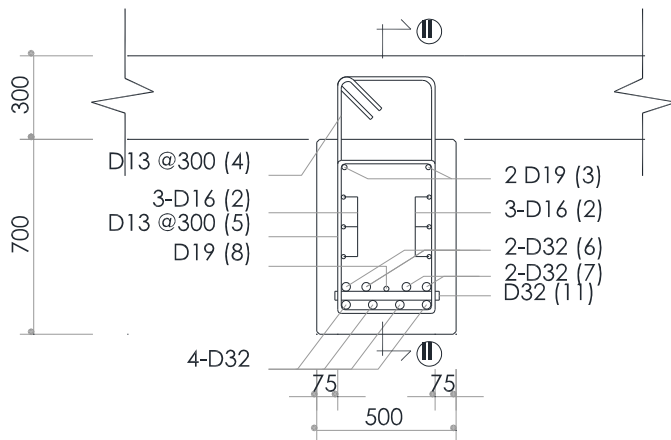
Kombinasi		Balok Girder	Mu (Lap) (kN.m)	Vu (Tump) (kN)
1	1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T	Tengah	190,76	256,76
2	1D + 0,5L ± EX (R=3)		123,94	481,11
3	1D + 0,5L ± EY (R=3)		85,08	206,83

Tabel 7.6 Hasil Gaya Dalam Balok Girder Trestle Bagian Tepi As C-X

Kombinasi		Balok Girder	Mu (Lap) (kN.m)	Vu (Tump) (kN)
1	1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T	Pinggir	147,16	202,76
2	1D + 0,5L ± EX (R=3)		129,14	482,98
3	1D + 0,5L ± EY (R=3)		88,39	204,38

7.4.1 Perhitungan Balok Girder Trestle Dermaga

Berikut ini akan disajikan detail perhitungan kapasitas nominal balok girder trestle dermaga pada kondisi saat ini tahun 2018. Sedangkan untuk kondisi 10 tahun mendatang akan disajikan dalam bentuk rekapitulasi tabel.



Gambar 7.12 Detail Tulangan Pot. Melintang Balok Testle

a. Data Analisis

Berikut ini data analisis yang digunakan dalam perhitungan.

- Prosentase tulangan = 97,19%
- Mutu beton (f_c') = 33,20 MPa
- Mutu baja tulangan leleh (f_y) = 400 MPa
- Mutu baja tulangan putus (f_u) = 500 MPa
- Waktu korosi (T_p) = 20,61 Tahun
- Kecepatan korosi (i_{corr}) = 1,11 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
- Diameter tul. lentur (D_0) = 8D32 + 1D19
- Diameter tul. geser (D_0) = D13 – 100
- Diameter tul. Torsi (D_0) = 6D16
- Tebal plat (h_{plat}) = 300 mm
- Lebar balok girder (b_{balok}) = 500 mm
- Tinggi balok girder (h_{balok}) = 700 mm
- Tebal selimut beton (d') = 55,33 mm
- Faktor distribusi beton (β_1) = $0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7}$
= 0,78
- Koef. Lengan momen (j) = 0,85
- Faktor reduksi lentur (ϕ) = 0,8
- Faktor reduksi geser (ϕ) = 0,75
- Faktor beton ringan (λ) = 1 (beton normal)

b. Kapasitas Lentur Penampang

Untuk contoh perhitungan kapasitas lentur balok girder trestle pada daerah lapangan sebagai berikut.

- Diameter tulangan lentur tahun 2018:
 $D_M = D_0 - \lambda \cdot i_{corr} \cdot T_p = 32 - 0,023294 \cdot 1,11 \cdot 20,61$
 $D_M = 31,5 \text{ mm}$
 $D_M = D_0 - \lambda \cdot i_{corr} \cdot T_p = 19 - 0,023294 \cdot 1,11 \cdot 20,61$
 $D_M = 18,6 \text{ mm}$
- Diameter tulangan geser tahun 2018:
 $D_V = D_0 - \lambda \cdot i_{corr} \cdot T_p = 13 - 0,023294 \cdot 1,11 \cdot 20,61$
 $D_V = 12,5 \text{ mm}$

Pada gambar tulangan lentur terpasang 2 lapis tulangan yaitu lapis 1 4D31,5 dan lapis 2 4D31,5 + 1D18,5. Untuk mengetahui tinggi efektif balok maka terlebih dahulu mencari titik berat tulangan sebagai berikut.

- Jarak titik berat tulangan (dihitung dari serat terbawah):

$$A_{S1} = n \cdot 0,7854 \cdot D_M^2 = 4 \cdot 0,7854 \cdot 31,5^2 = 3110,70 \text{ mm}^2$$

$$Y_1 = d' + D_V + D_M/2 = 55,33 + 12,5 + 31,5/2 = 83,53 \text{ mm}$$

$$A_{S2} = n \cdot 0,7854 \cdot D_M^2 + n \cdot 0,7854 \cdot D_M^2$$

$$A_{S2} = 4 \cdot 0,7854 \cdot 31,5^2 + 1 \cdot 0,7854 \cdot 18,5^2 = 3378,54 \text{ mm}^2$$

$$Y_2 = d' + D_V + 2D_M + D_M/2$$

$$Y_2 = 55,33 + 12,5 + 2 \cdot 31,5 + 31,5/2 = 146,46 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{(A_1 \cdot Y_1) + (A_2 \cdot Y_2)}{A_1 + A_2} = \frac{(3110,70 \cdot 83,53) + (3378,54 \cdot 146,46)}{3110,70 + 3378,54}$$

$$Y = 116,29 \text{ mm}$$

- Tinggi efektif beton:

$$d = h_{\text{balok}} - Y = 700 - 116,29 = 583,71 \text{ mm}$$

- Hitung momen nominal balok ϕMn :

$$A_{S_{\text{total}}} = A_{S1} + A_{S2} = 3110,70 + 3378,54 = 6489,24 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{6489,24 \cdot 400}{0,85 \cdot 33,20 \cdot 500} = 183,96 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = \phi \cdot A_{S_{\text{total}}} \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$\phi Mn = (0,8 \cdot 6489,24 \cdot 400 (583,71 - 183,96/2)) / 10^6$$

$$\phi Mn = 1021,10 \text{ kN.m}$$

- Pada perhitungan kapasitas elemen balok girder ini diambil nilai reduksi 6%:

$$\phi Mn_r = \phi Mn \cdot (100\% - R) = 1021,10 \cdot (100\% - 6\%)$$

$$\phi Mn_r = 959,83 \text{ kN.m}$$

$$Mu_{(\text{comb1})} = 190,76 \text{ kN.m}$$

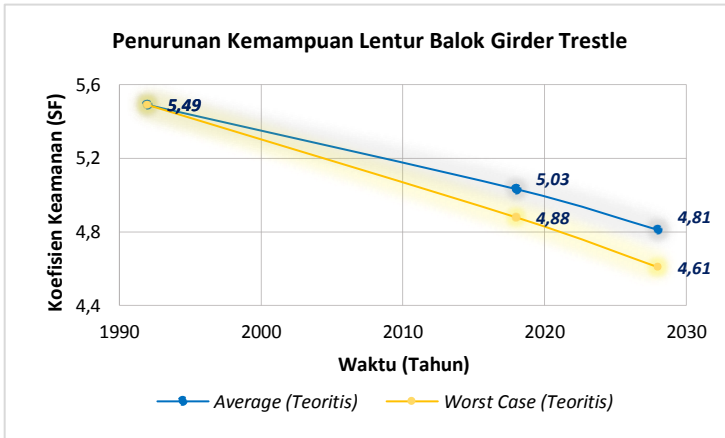
$$SF_{2018} = \phi Mn_r / Mu_{(\text{comb1})} = 959,83 / 190,76$$

$$SF_{2018} = 5,03$$

Untuk penurunan kemampuan lentur dan angka keamanan struktur balok girder disajikan pada tabel 7.7 dan gambar grafik 7.13 mulai dari saat awal beroperasi sampai dengan 10 tahun kedepan.

Tabel 7.7 Penurunan Kemampuan Lentur Balok Girder Trestle Bagian Tengah As C-X Kombinasi 1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T

No.	Elemen Struktur	Tahun	Kondisi	ϕMn (kN.m)	Mu (kN.m)	Safety Factor (SF_1)
1	Balok Girder Trestle Dermaga	1992	Average	1047,09	190,76	5,49
2			W. Case	1047,09	190,76	5,49
3		2018	Average	959,83	190,76	5,03
4			W. Case	930,55	190,76	4,88
5		2028	Average	917,55	190,76	4,81
6			W. Case	878,90	190,76	4,61



Gambar 7.13 Grafik Penurunan Kemampuan Lentur Balok Girder Trestle Bagian Tengah As C-X Kombinasi 1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T

c. Kapasitas Geser Penampang

Untuk contoh perhitungan kapasitas geser pada daerah tumpuan sebagai berikut.

- Tinggi efektif beton:

$$d = h_{balok} - d' - D_V - D_M/2 = 700 - 56,6 - 12,5 - 31,5/2$$

$$d = 616,47 \text{ mm}$$

- Luas tulangan sengkang terpasang:

$$A_v = n \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot D_V^2 = 2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 12,5^2 = 244,14 \text{ mm}^2$$

- Kapasitas geser penampang oleh beton ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_{balok} \cdot d$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{33,20} \cdot 500 \cdot 616,47 / 1000$$

$$\phi V_c = 222,01 \text{ kN}$$

- Kapasitas geser penampang oleh baja tulangan ϕV_s :

$$\phi V_s = \phi \cdot A_v \cdot f_y \cdot \frac{d}{s_{pasang}}$$

$$\phi V_s = 0,75 \cdot 244,14 \cdot 400 \cdot 616,47 / 100 \cdot 1000$$

$$\phi V_s = 451,51 \text{ kN}$$

- Kapasitas geser nominal ϕV_n :

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s = 222,01 + 451,51 = 673,52 \text{ kN}$$

- Pada perhitungan kapasitas elemen balok girder ini diambil nilai reduksi 6%:

$$\phi V_{nr} = \phi V_n \cdot (100\% - R) = 673,52 \cdot (100\% - 6\%)$$

$$\phi V_{nr} = 633,11 \text{ kN}$$

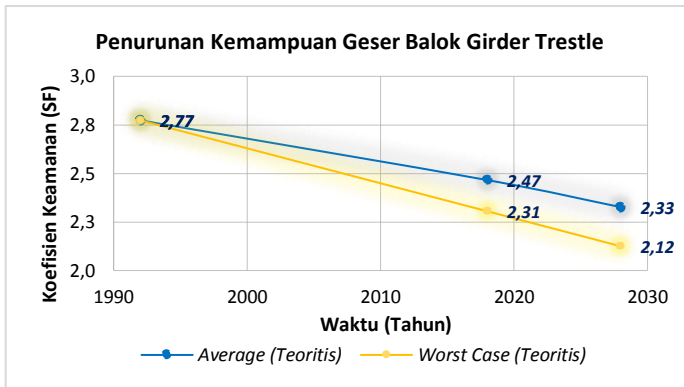
$$V_{u(comb1)} = 256,76 \text{ kN}$$

$$SF_{2018} = \phi V_{nr} / V_{u(comb1)} = 633,11 / 256,76 = 2,47$$

Penurunan kemampuan geser dan angka keamanan struktur balok girder disajikan pada tabel 7.8 dan gambar grafik 7.14 mulai dari saat awal beroperasi sampai dengan 10 tahun kedepan.

Tabel 7.8 Penurunan Kemampuan Geser Balok Girder Trestle Bagian Tengah As C-X Kombinasi 1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T

No.	Elemen Struktur	Tahun	Kondisi	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	Safety Factor (SF ₁)
1	Balok Girder Trestle Dermaga	1992	Average	712,03	256,76	2,77
2			W. Case	712,03	256,76	2,77
3		2018	Average	633,11	256,76	2,47
4			W. Case	591,89	256,76	2,31
5		2028	Average	597,30	256,76	2,33
6			W. Case	545,56	256,76	2,12



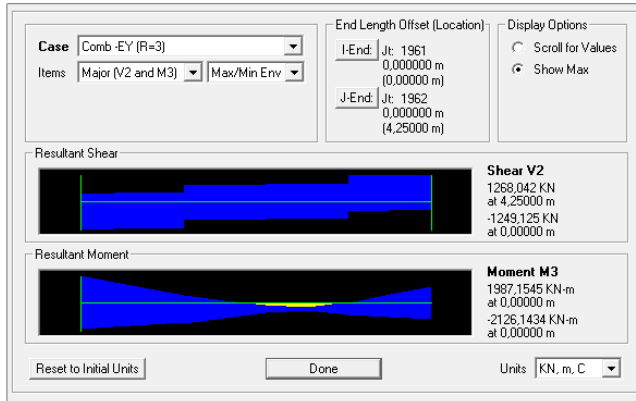
Gambar 7.14 Grafik Penurunan Kemampuan Geser Balok Girder Trestle Bagian Tengah As C-X Kombinasi 1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T

Dari tabel 7.7 dan 7.8 tersebut maka dapat disimpulkan bahwa balok girder trestle relative aman sampai dengan tahun 2028 karena mempunyai angka keamanan diatas 1,0 sejak tahap awal beroperasi hingga tahun 2028 untuk kombinasi 1 – 3 pada kondisi *average* dan *worst case*. Untuk rekapitulasi hasil analisis balok girder disajikan pada *Lampiran 2.1 – 2.2*.

7.5 Analisa Elemen Struktur PileCap Trestle

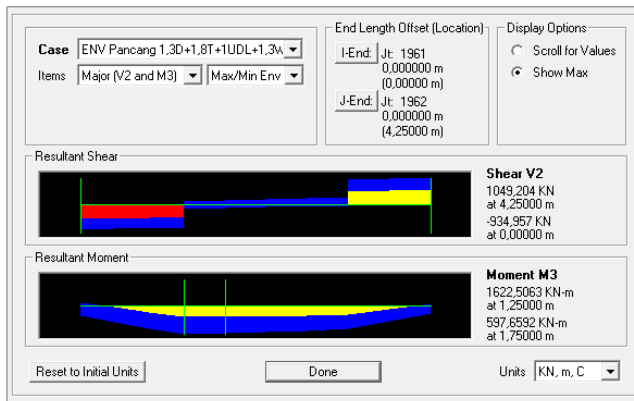
Struktur pilecap dianalisa untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja. Dalam perhitungan gaya dalam pilecap trestle permodelan menyesuaikan dengan keadaan lapangan.

Diagrams for Frame Object 1099 (PileCap Row D, E (Bawah))



Gambar 7.15 Hasil Gaya Dalam PileCap Trestle Row D, E, F Akibat Kombinasi Pembebanan 1D + 0,5L + E (R=3)

Diagrams for Frame Object 1099 (PileCap Row D, E (Bawah))



Gambar 7.16 Hasil Gaya Dalam PileCap Trestle Row D, E, F Akibat Kombinasi Pembebanan 1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T + 1,3W

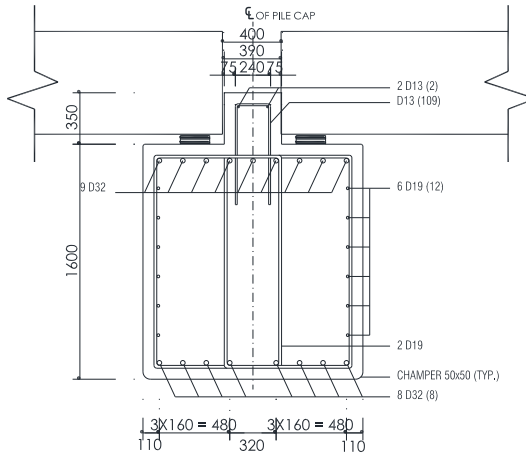
Dari hasil analisis struktur elemen pilecap trestle didapatkan besaran nilai gaya dalam momen dan geser yang disajikan dalam tabel 7.9 berikut.

Tabel 7.9 Hasil Gaya Dalam PileCap Trestle Row D, E, F

Kombinasi	PileCap	Mu^+_{max} (kN.m)	Mu^-_{max} (kN.m)	Vu_{max} (kN)
1,3D + 1,8UDL + 1,8L + 1,8T + 1,3W	Row D, E, F	1651,74	571,50	1049,20
1D + 0,5L ± EX (R=3)		759,86	892,73	701,88
1D + 0,5L ± EY (R=3)		1990,91	2341,15	1269,12

7.5.1 Perhitungan PileCap Trestle Dermaga

Berikut ini akan disajikan detail perhitungan kapasitas nominal pilecap trestle dermaga pada kondisi saat ini tahun 2018. Sedangkan untuk tipe pilecap lainnya dan kondisi 10 tahun mendatang akan disajikan dalam bentuk rekapitulasi tabel.



Gambar 7.17 Detail Tulangan Potongan Melintang PileCap Trestle Row D, E, F

a. Data Analisis

Berikut ini data analisis yang digunakan dalam perhitungan.

- Prosentase tulangan = 99,03%
- Mutu beton (f_c') = 33,20 MPa

- Mutu baja tulangan leleh (f_y) = 391,37 MPa
- Mutu baja tulangan putus (f_u) = 532,69 MPa
- Waktu korosi (T_p) = 17,95 Tahun
- Kecepatan korosi (i_{corr}) = 0,74 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
- Diameter tul. lentur (D_0)
 - Lapis atas = 9D32
 - Lapis bawah = 8D32
- Diameter tul. geser (D_0) = 4D19 – 500
- Diameter tul. Torsi (D_0) = 12D19
- Tebal plat (h_{plat}) = 300 mm
- Lebar balok girder (b_{balok}) = 500 mm
- Tinggi balok girder (h_{balok}) = 700 mm
- Lebar pilecap (b_{pcap}) = 1500 mm
- Tinggi pilecap (h_{pcap}) = 1600 mm
- Tebal selimut beton (d') = 65,90 mm
- Faktor distribusi beton (β_1) = 0,65
- Koef. Lengan momen (j) = 0,85
- Faktor reduksi lentur (ϕ) = 0,8
- Faktor reduksi geser (ϕ) = 0,75
- Faktor beton ringan (λ) = 1 (beton normal)

b. Kapasitas Lentur Penampang

Untuk contoh perhitungan kapasitas lentur pilecap trestle row A sebagai berikut.

- Diameter tulangan lentur tahun 2018:

$$D_M = D_0 - \lambda \cdot i_{corr} \cdot T_p = 32 - 0,023294 \cdot 0,74 \cdot 17,95$$

$$D_M = 31,7 \text{ mm}$$
- Diameter tulangan geser tahun 2018:

$$D_V = D_0 - \lambda \cdot i_{corr} \cdot T_p = 19 - 0,023294 \cdot 0,74 \cdot 17,95$$

$$D_V = 18,7 \text{ mm}$$

Pada gambar tulangan lentur terpasang 1 lapis tulangan untuk sisi atas yaitu 9D31,7 dan sisi bawah 8D31,7. Untuk mengetahui tinggi efektif balok maka terlebih dahulu mencari titik berat tulangan sebagai berikut.

-

- Tinggi efektif beton:

$$d = h_{pcap} - d' - D_V - D_M/2 = 1600 - 65,9 - 18,7 - 31,7/2$$

$$d = 1499,57 \text{ mm}$$

- Hitung momen nominal arah negatif pilecap $\phi Mn(-)$:

$$As_1 = 9D31,7 = 9 \cdot 0,07854 \cdot 31,7^2 = 7098,18 \text{ mm}^2$$

$$a_1 = \frac{As_1 \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{7098,18 \cdot 391,37}{0,85 \cdot 33,20 \cdot 1500} = 65,63 \text{ mm}$$

$$\phi Mn(-) = \phi \cdot As_1 \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$\phi Mn(-) = (0,8 \cdot 7098,18 \cdot 391,37 (1499,57 - 65,63/2)) / 10^6$$

$$\phi Mn(-) = 3259,70 \text{ kN.m}$$

- Hitung momen nominal arah positif pilecap $\phi Mn(+)$:

$$As_2 = 8D31,7 = 8 \cdot 0,07854 \cdot 31,7^2 = 6309,49 \text{ mm}^2$$

$$a_2 = \frac{As_2 \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{6309,49 \cdot 391,37}{0,85 \cdot 33,20 \cdot 1500} = 58,34 \text{ mm}$$

$$\phi Mn(+) = \phi \cdot As_2 \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$\phi Mn(+) = (0,8 \cdot 6309,49 \cdot 391,37 (1499,57 - 58,34/2)) / 10^6$$

$$\phi Mn(+) = 2904,71 \text{ kN.m}$$

- Pada perhitungan kapasitas elemen balok girder ini diambil nilai reduksi 9%:

$$\phi Mnr = \phi Mn \cdot (100\% - R) = 3259,70 \cdot (100\% - 9\%)$$

$$\phi Mnr = 2966,32 \text{ kN.m}$$

$$Mu_{(combEY)} = 2341,15 \text{ kN.m}$$

$$SF_{2018} = \frac{\phi Mnr}{Mu_{(combEY)}} = 2966,32 / 2341,15$$

$$SF_{2018} = 1,27$$

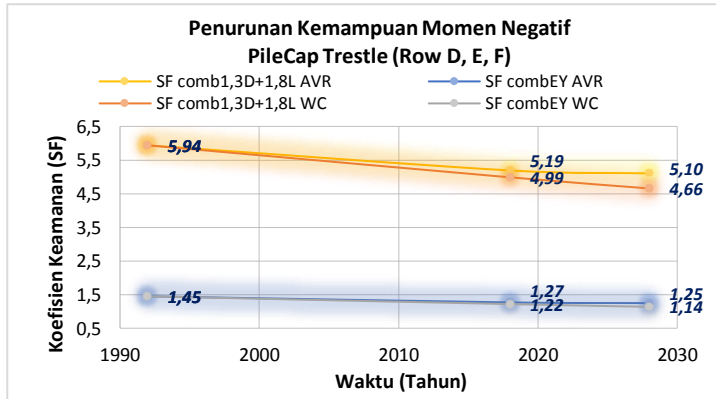
Untuk penurunan kemampuan lentur dan angka keamanan struktur pilecap trestle row D, E, F disajikan dalam bentuk rekapitulasi pada tabel 7.10-7.11 dan gambar grafik 7.18-7.19 mulai dari saat awal beroperasi sampai dengan 10 tahun kedepan. Dari hasil analisa menunjukkan tingkat penurunan kekuatan lentur pilecap trestle dengan anggapan kondisi rata-rata (*average*) dan terburuk (*worst case*).

Tabel 7.10 Penurunan Kemampuan Lentur Negatif PileCap Trestle Row D, E, F Kombinasi 1D + 0,5L ± 1E (R=3)

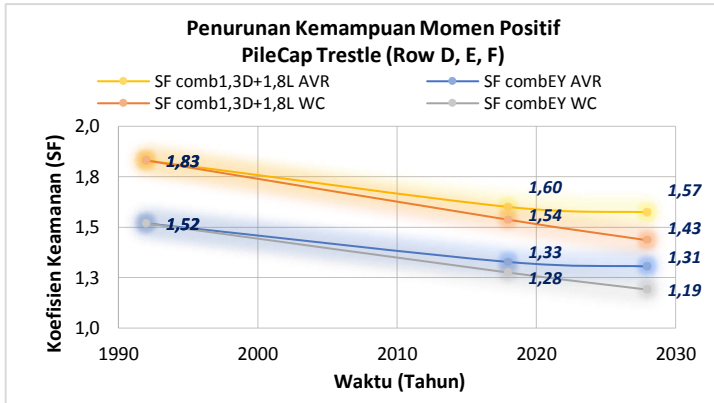
No.	Elemen Struktur	Tahun	Kondisi	ϕMn^- (kN.m)	Mu (kN.m)	Safety Factor (SF ₁)
1	PileCap Trestle Row D, E, F	1992	Average	3393,06	2341,15	1,45
2			W. Case	3393,06	2341,15	1,45
3		2018	Average	2966,32	2341,15	1,27
4			W. Case	2849,44	2341,15	1,22
5		2028	Average	2917,13	2341,15	1,25
6			W. Case	2660,90	2341,15	1,14

Tabel 7.11 Penurunan Kemampuan Lentur Positif PileCap Trestle Row D, E, F Kombinasi 1D + 0,5L ± 1E (R=3)

No.	Elemen Struktur	Tahun	Kondisi	ϕMn^+ (kN.m)	Mu (kN.m)	Safety Factor (SF ₂)
1	PileCap Trestle Row D, E, F	1992	Average	3023,88	1990,91	1,52
2			W. Case	3023,88	1990,91	1,52
3		2018	Average	2643,29	1990,91	1,33
4			W. Case	2538,50	1990,91	1,28
5		2028	Average	2599,34	1990,91	1,31
6			W. Case	2370,16	1990,91	1,19



Gambar 7.18 Grafik Penurunan Kemampuan Lentur Negatif PileCap Trestle Row D, E, F Kombinasi 1D + 0,5L ± 1E (R=3)



Gambar 7.19 Grafik Penurunan Kemampuan Lentur Positif PileCap Trestle Row D, E, F Kombinasi 1D + 0,5L ± 1E (R=3)

Dari tabel 7.10 – 7.11 dan gambar 7.18 – 7.19 tersebut maka dapat diketahui bahwa semua tipe pilecap trestle row D, E, F relative aman dari keruntuhan lentur sampai dengan tahun 2028 karena mempunyai angka keamanan diatas 1,0 sejak tahap awal beroperasi hingga tahun 2028 pada kondisi *average* dan *worst case*. Untuk rekapitulasi hasil analisis lentur pile cap disajikan pada *Lampiran 2.3 – 2.4*.

c. Kapasitas Geser Penampang

Untuk contoh perhitungan kapasitas geser pilecap trestle row D, E, F sebagai berikut.

- Tinggi efektif beton:

$$d = h_{pcap} - d' - D_V - D_M/2 = 1600 - 65,9 - 18,7 - 31,7/2$$

$$d = 1499,57 \text{ mm}$$

- Luas tulangan sengkang terpasang:

$$A_v = n \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot D_v^2 = 4 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 18,7^2 = 1097,28 \text{ mm}^2$$

- Kapasitas geser penampang oleh beton ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_{pcap} \cdot d$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{33,20} \cdot 1500 \cdot 1499,57 / 1000$$

$$\phi V_c = 1620,08 \text{ kN}$$

- Kapasitas geser penampang oleh baja tulangan ϕV_s :

$$\phi V_s = \phi \cdot A_v \cdot f_y \cdot d / S_{pasang}$$

$$\phi V_s = 0,75 \cdot 1097,28 \cdot 391,37 \cdot 1499,57 / 100.1000$$

$$\phi V_s = 966,95 \text{ kN}$$

- Kapasitas geser nominal ϕV_n :

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s = 1620,08 + 966,95 = 2586,03 \text{ kN}$$

- Pada perhitungan kapasitas elemen balok girder ini diambil nilai reduksi 6%:

$$\phi V_{nr} = \phi V_n \cdot (100\% - R) = 2586,03 \cdot (100\% - 9\%)$$

$$\phi V_{nr} = 2353,29 \text{ kN}$$

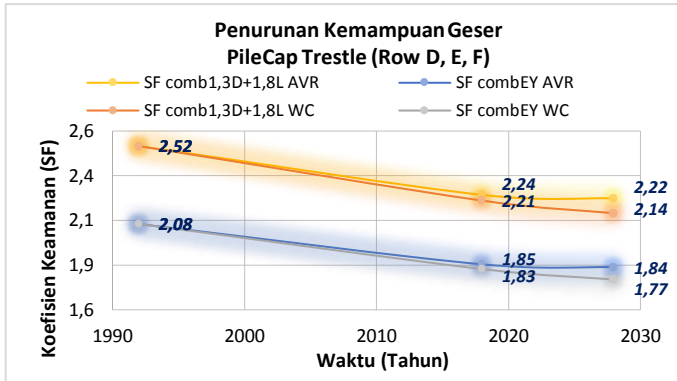
$$V_{u(\text{combERT})} = 1269,12 \text{ kN}$$

$$SF_{2018} = \phi V_{nr} / V_{u(\text{comb1})} = 2353,29 / 1269,12 = 1,85$$

Penurunan kemampuan geser dan angka keamanan struktur pilecap trestle row D, E, F disajikan dalam bentuk rekapitulasi pada tabel 7.12 dan gambar grafik 7.20 mulai dari saat awal beroperasi sampai dengan 10 tahun kedepan. Hasil analisa menunjukkan tingkat penurunan kekuatan lentur balok girder dengan anggapan kondisi rata-rata (*average*) dan kondisi terburuk (*worst case*).

Tabel 7.12 Penurunan Kemampuan Geser PileCap Trestle Row D, E, F Kombinasi 1D + 0,5L ± 1E (R=3)

No.	Elemen Struktur	Tahun	Kondisi	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	Safety Factor (SF ₁)
1	PileCap Trestle Row D, E, F	1992	Average	2639,67	1269,12	2,08
2			W. Case	2639,67	1269,12	2,08
3		2018	Average	2353,29	1269,12	1,85
4			W. Case	2319,60	1269,12	1,83
5		2028	Average	2332,64	1269,12	1,84
6			W. Case	2245,36	1269,12	1,77

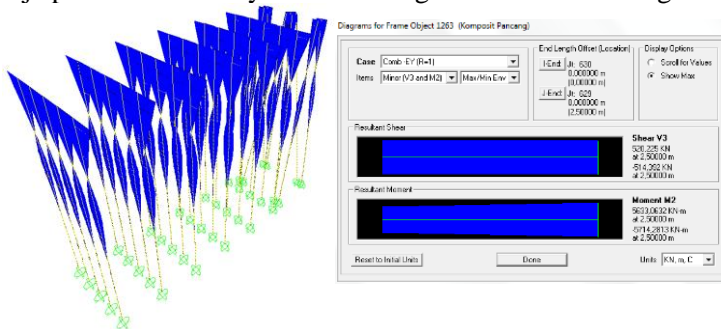


Gambar 7.20 Grafik Penurunan Kemampuan Geser PileCap Trestle Row D, E, F Kombinasi 1D + 0,5L ± 1E (R=3)

Dari tabel 7.12 dan gambar 7.20, maka dapat disimpulkan bahwa pilecap trestle row D, E, F relative aman atas keruntuhan gaya geser sampai dengan tahun 2028 karena mempunyai angka keamanan diatas 1,0 sejak tahap awal beroperasi hingga tahun 2028 pada kondisi *average* dan *worst case*. Untuk rekapitulasi hasil analisis geser pile cap disajikan pada *Lampiran 2.5*.

7.6 Analisa Elemen Struktur Tiang Pancang Trestle

Struktur tiang pancang baja dianalisa untuk mendapatkan gaya dalam yang bekerja. Dalam perhitungannya tiang pancang baja permodelan menyesuaikan dengan keadaan eksisting.



Gambar 7.21 Hasil Gaya Dalam Tiang Pancang Baja As A Trestle Akibat Kombinasi Pembebanan 1D + 0,5L + E (R=1)

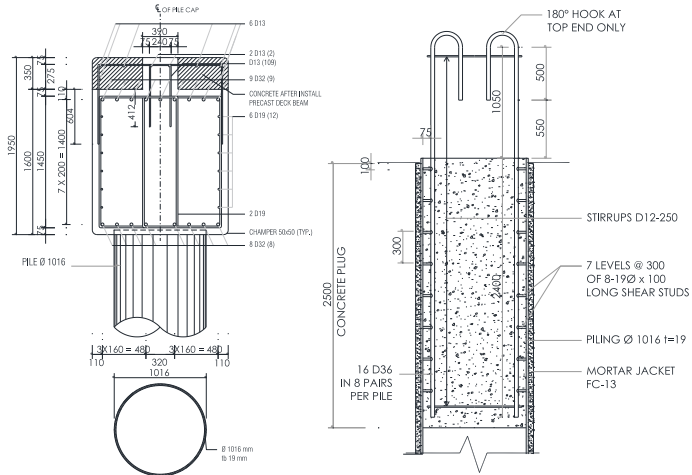
Dari hasil analisis struktur elemen pilecap trestle diperoleh besaran nilai gaya dalam momen dan geser yang disajikan dalam tabel 7.13 berikut.

Tabel 7.13 Hasil Gaya Dalam Tiang Pancang Trestle As A-C

Combination	Steel Pipe	Shear V2 (kN)	Moment M3 (kN.m)	Moment M2 (kN.m)	δh (mm)	Aksial Tekan Pu (kN)
Comb Ex (R=1)	As A	186.21	3632.44	591.09	1109.17	1288.59
Comb Ey (R=1)	Edge	67.78	623.06	5679.92	622.96	2213.12
Comb Ex (R=1)	As A	186.37	3632.59	590.83	1109.56	1000.69
Comb Ey (R=1)	Middle	60.78	216.57	5724.08	623.05	862.00
Comb Ex (R=1)	As B	181.20	3719.71	580.08	1180.78	1655.47
Comb Ey (R=1)	Edge	64.20	490.27	5587.19	610.13	2609.84
Comb Ex (R=1)	As B	180.98	3719.49	579.01	1134.54	1448.65
Comb Ey (R=1)	Middle	54.46	35.03	5679.65	658.85	1346.65
Comb Ex (R=1)	As C	193.95	3778.85	498.73	1152.97	1133.49
Comb Ey (R=1)	Edge	81.75	870.47	4777.78	522.85	1923.86
Comb Ex (R=1)	As C	193.67	3778.27	497.85	1152.77	954.23
Comb Ey (R=1)	Middle	64.48	220.94	4869.77	522.91	817.49

7.6.1 Perhitungan Kapasitas Tiang Pancang Baja Trestle

Berikut ini akan disajikan detail perhitungan kapasitas nominal dan ratio tiang pancang baja trestle dermaga pada kondisi saat awal operasional.



Gambar 7.22 Detail Tiang Pancang Baja

7.6.1.1 Elemen Komposit Tiang Pancang Baja Terisi Beton

a. Data Analisis Penampang Komposit Terisi Beton

Berikut ini data analisis yang digunakan dalam perhitungan.

- Diameter luar pipe (\emptyset), (D_l) = 1016 mm
- Diameter dalam pipe (\emptyset), (D_c) = 978 mm
- Tebal pancang, (t) = 19 mm
- Kecepatan korosi (v_{corr}) = 0,1524 mm/tahun
- Luas area pancang (A_g) = 59511 mm²
- Modulus inersia baja (I) = $\frac{\pi}{64} \cdot (D_l^4 - D_c^4)$
= 74.10⁸ mm⁴
- Modulus penampang (Z) = $\frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{D_l^4 - D_c^4}{D_l} \right)$
= 146.10⁵ mm³
- Modulus elastis (S) = $\frac{I}{D_l/2}$
= 14561058 mm³
- Panjang elemen terhitung (L) = 19,95 m
- Mutu baja leleh (f_y) = 310 MPa
- Mutu baja putus (f_u) = 455 MPa
- Modulus elastisitas baja (E_s) = 200000 MPa
- Mutu beton komposit (f_c') = 33,20 MPa
- Modulus elastisitas beton (E_c) = 4700 $\sqrt{f_c'}$
= 27081,14 MPa
- Luas area beton (A_c) = $\frac{\pi}{4} \cdot D_c^2$
= 751220,8 mm²
- Modulus inersia beton (I_c) = $\frac{\pi}{64} \cdot (D_c^4)$
= 449.10⁸ mm⁴
- Diameter tulangan (D_{sr}) = 16 D36
- Luas area tulangan (A_{sr}) = $n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{sr}^2$
= 16286,02 mm²
- Modulus inersia tulangan (I_{sr}) = $\frac{\pi}{64} \cdot (D_{sr}^4) \cdot n$
= 132.10⁵ mm⁴
- Mutu tulangan ($f_{y_{sr}}$) = 391,37 MPa
- Faktor modifikasi komposit (N) = $E_s / E_c = 7,39$

- Modulus inersia efektif (I_{eff}) = $I + I_{\text{sr}} + \left(\frac{1}{N^4} \cdot I_c\right)$
= $7,41 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$
- Koefisien kekakuan efektif (C_s) = $0,6 + 2 \frac{A_g}{A_g + A_c}$
= $0,75 < 0,9$ **OK**
- Modulus elastisitas efektif (E_{eff}) = $2E_s + (C_s \cdot E_c)$
= $420224,4 \text{ MPa}$
- Faktor reduksi tarik (ϕ) = $0,9$
- Faktor reduksi tekan (ϕ) = $0,9$
- Faktor reduksi lentur (ϕ) = $0,9$
- Jari-jari terluar pipa baja (r) = $D_1 / 2 = 508 \text{ mm}$
- Jari-jari dalam pipa baja (r_i) = $r - t = 489 \text{ mm}$
- Jari-jari pusat pipa baja (r_m) = $r - t/2 = 498,5 \text{ mm}$
- Tebal selimut beton (t_s) = 75 mm
- Jari-jari pusat tulangan (r_{bm}) = $r_i - t_s - D_{\text{sr}}/2 = 396 \text{ mm}$
- Luas 1 tulangan pada pipa (A_b) = $\pi/4 \cdot D_{\text{sr}}^2$
= $1017,9 \text{ mm}^2$

b. Kapasitas Tarik Nominal Penampang Komposit

- Kapasitas tarik dari penampang komposit terisi beton:

$$\phi P_{nt} = \phi \cdot (F_y \cdot A_g + f_{y_{\text{sr}}} \cdot A_{\text{sr}})$$

$$= 0,9 \cdot (310 \cdot 59511 + 391,37 \cdot 16286,02) / 1000$$

$$\phi P_{nt} = 22340,04 \text{ kN}$$

c. Kapasitas Tekan Nominal Penampang Komposit

- Menghitung klasifikasi penampang:

$$D/t = 1016/19 = 53,5$$

$$0,31 \cdot E/F_y = 0,31 \cdot 200000/310 = 200$$

$$D/t < 0,31 \cdot E/F_y \quad (\text{Tidak melebihi maksimum izin})$$

$$\lambda_p = 0,15 \cdot E/F_y = 0,15 \cdot 200000/310 = 96,77$$

$$\lambda_r = 0,19 \cdot E/F_y = 0,19 \cdot 200000/310 = 122,58$$

$$D/t < \lambda_p \quad (\text{Penampang Kompak})$$

- Kapasitas tekan dari penampang komposit terisi beton:

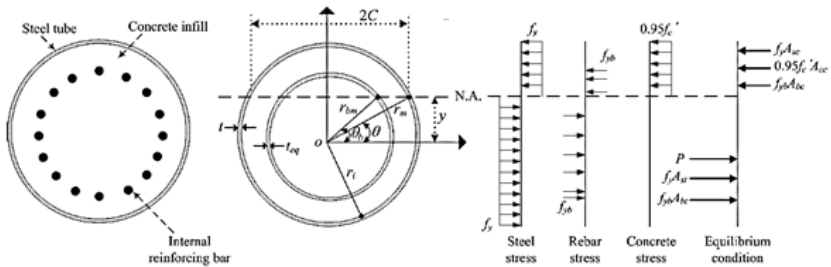
$$C_2 = 0,95 \text{ (untuk penampang bundar)}$$

$$\begin{aligned} \phi P_{nc} &= \phi \left[F_y \cdot A_g + C_2 \cdot f_c' \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right) \right] \\ &= 0,9 \left[310.59511 + 0,95 \cdot 33,20 (751220,8 + 16286,5,5) \right] \end{aligned}$$

$$\phi P_{nc} = 41341,92 \text{ kN}$$

d. Kapasitas Lentur Nominal Penampang Komposit

Untuk menghitung kapasitas lentur struktur komposit terisi beton bertulang dapat dikembangkan dengan menggunakan seperti gambar 7.23 berikut.



Gambar 7.23 Plastic Stress Distribution for Reinforced Concrete Fill Tubes

- Menghitung klasifikasi penampang komposit:

$$D/t = 1016/19 = 53,5$$

$$0,31 \cdot E/F_y = 0,31 \cdot 200000/310 = 200$$

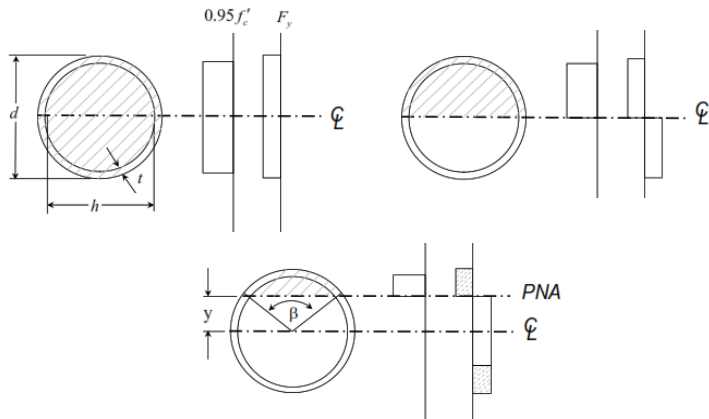
$$D/t < 0,31 \cdot E/F_y \quad \text{(Tidak melebihi maksimum izin)}$$

$$\lambda_p = 0,09 \cdot E/F_y = 0,09 \cdot 200000/310 = 58,06$$

$$\lambda_r = 0,31 \cdot E/F_y = 0,19 \cdot 200000/310 = 200$$

$$D/t < \lambda_p \quad \text{(Penampang Kompak)}$$

- Mencari *plastic neutral axis* (PNA):



Gambar 7.24 *Plastic neutral axis for RCFT*

$$K_c = f_c' \cdot h^2 = 33,20 \cdot 978^2 = 3,2 \cdot 10^7$$

$$K_s = F_y \left(\frac{d-t}{2} \right) t = 310 \left(\frac{1016-19}{2} \right) 19 = 2936165,0 = 2,9 \cdot 10^6$$

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{0,0260K_c - 2K_s}{0,0848K_c} + \frac{\sqrt{(0,0260K_c + 2K_s)^2 + 0,857K_cK_s}}{0,0848K_c} \\ &= \frac{0,0260 \cdot 3,2 \cdot 10^7 - 2 \cdot 2,9 \cdot 10^6}{0,0848 \cdot 3,2 \cdot 10^7} + \\ &\quad \frac{\sqrt{(0,0260 \cdot 3,2 \cdot 10^7 + 2 \cdot 2,9 \cdot 10^6)^2 + 0,857 \cdot 3,2 \cdot 10^7 \cdot 2,9 \cdot 10^6}}{0,0848 \cdot 3,2 \cdot 10^7} \end{aligned}$$

$$\beta = 2,274 \text{ radians} = 130,29^\circ$$

$$\vartheta = \frac{180 - \beta}{2} = \frac{180 - 130,29}{2} = 24,86^\circ$$

$$t_b = \frac{n \cdot A_b}{2\pi \cdot r_{bm}} = \frac{16 \cdot 1017,9}{2\pi \cdot 396} = 6,55 \text{ mm}$$

$$y = r_m \cdot \sin \vartheta = 498,5 \cdot 24,86^\circ = 209,55 \text{ mm}$$

$$\vartheta_b = \sin^{-1} \left(\frac{y}{r_{bm}} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{209,26}{396} \right) = 31,95^\circ$$

$$c_b = r_{bm} \cdot \cos \vartheta_b = 396 \cdot \cos 31,95^\circ = 336,01 \text{ mm}$$

$$c = r_m \cdot \cos \vartheta = 498,5 \cdot \cos 24,86^\circ = 452,32 \text{ mm}$$

- Kapasitas tekan dari penampang komposit terisi beton:

$$\begin{aligned}
 M_n(y) &= \left(c(r_i^2 - y^2) - \frac{c^3}{3} \right) \cdot 0,95 f_c' + 4ct \frac{r_m^2}{r_i} F_y \\
 &\quad + 4t_b r_{bm} c_b (F_{ysr} - 0,95 f_c') \\
 &= \left(452,32(489^2 - 209,55^2) - \frac{452,3^3}{3} \right) \cdot 0,95 \cdot 33,20 \\
 &\quad + 4 \cdot 452,32 \cdot 19 \cdot \frac{498,5^2}{489} \cdot 310 \\
 &\quad + 4 \cdot 6,55 \cdot 396 \cdot 336,01(391,4 - 0,95 \cdot 33,20)
 \end{aligned}$$

$$M_n(y) = 8481052262 \text{ N.mm}$$

$$\phi M_n(1991) = \phi \cdot M_n = 0,9 \cdot 8481052262 / 10^6$$

$$\phi M_n(1991) = 7632,95 \text{ kN.m}$$

Berikut ini disajikan rekapitulasi kapasitas penampang *reinforcement concrete filled tubes* (RCFT) dari tahun 1991 hingga 2028.

Tabel 6.21 Rekapitulasi kapasitas penampang RCFT

Tahun	Kapasitas Penampang		
	$\phi \cdot P_{nc}$ (kN)	$\phi \cdot P_{nt}$ (kN)	$\phi \cdot M_n$ (kN.m)
1991	41341,92	22340,04	7632,95
2018	38160,17	18797,90	6332,77
2028	36974,98	17478,47	5830,66

7.6.1.2 Elemen Tiang Pancang Baja

a. Data Analisis

Berikut ini data analisis yang digunakan dalam perhitungan.

- Diameter luar pipe (\emptyset), (D_l) = 1016 mm
- Diameter dalam pipe (\emptyset), (D_d) = 978 mm
- Tebal pancang, (t) = 19 mm
- Kecepatan korosi (v_{corr}) = 0,1016 mm/tahun
- Luas area pancang (A_g) = 59511 mm²
- Modulus inersia (I) = $\frac{\pi}{64} \cdot (D_l^4 - D_d^4)$
= 74.10⁸ mm⁴
- Modulus penampang (Z) = $\frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{D_l^4 - D_d^4}{D_l} \right)$
= 146.10⁵ mm³

- Modulus elastis (S) $= \frac{I}{D_1/2}$
 $= 14561058 \text{ mm}^3$
- Jari-jari girasi (r) $= 353 \text{ mm}$
- Panjang elemen terhitung (L) $= 19,95 \text{ m}$
- Faktor konvesi (jepit-sendi) (K) $= 1,2$
- Panjang efektif (KL) $= 1,2 \cdot 19,95 = 23,9 \text{ m}$
- Mutu baja leleh (f_y) $= 310 \text{ MPa}$
- Mutu baja putus (f_u) $= 455 \text{ MPa}$
- Faktor reduksi tarik (ϕ) $= 0,9$
- Faktor reduksi tekan (ϕ) $= 0,9$
- Faktor reduksi lentur (ϕ) $= 0,9$

b. Kapasitas Tarik Nominal Penampang

- Cek persyaratan 1:

$$L/r = 19950/353 = 56,52 < 300 \quad (\text{OK})$$

- Kapasitas tarik dari kriteri leleh penampang utuh:

$$\phi P_{nt} = \phi \cdot F_y \cdot A_g = 0,9 \cdot 310 \cdot 59511 / 1000$$

$$\phi P_{nt} = 16603,62 \text{ kN (perhitungan manual)}$$

$$\phi P_{nt} = 16603,62 \text{ kN (hasil SAP2000)}$$

c. Kapasitas Tekan Nominal Penampang

- Menghitung klasifikasi penampang:

$$D/t = 1016/19 = 53,5$$

$$0,11 \cdot E/F_y = 0,11 \cdot 200000/310 = 70,97$$

$$D/t < 0,11 \cdot E/F_y \quad (\text{Tidak Langsing})$$

- Fakor reduksi kelangsingan :

$$Q = 1 \text{ (untuk elemen tidak langsing)}$$

- Rasio kelangsingan:

$$KL/r_{min} = 23940/353 = 67,82$$

$$4,71 \sqrt{E/F_y} = 4,71 \sqrt{200000/310} = 119,63$$

$$KL/r_{min} < 4,71 \sqrt{E/F_y} \quad (\text{Tekuk Inelastis})$$

- Critical stress bending:

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{(KL/r_{min})^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{(67,82)^2} = 429,17 \text{ MPa}$$

- Inelastic critical stress:

$$F_{cr} = Q (0,658^{Q \cdot F_y / F_e}) F_y = 1 (0,658^{1 \cdot 310 / 429,17}) 310$$

$$F_{cr} = 229,12 \text{ MPa}$$

- Elastis critical stress:

$$F_{cr} = 0,877 F_e = 0,877 \cdot 429,17 = 376,38 \text{ MPa}$$

- Critical stress wear:

$$F_{cr} = 229,12 \text{ MPa} \quad (\text{Karena termasuk tekuk inelastis})$$

- Kapasitas tekan dari kriteri leleh penampang utuh:

$$\phi P_{nc} = \phi \cdot F_{cr} \cdot A_g = 0,9 \cdot 229,12 \cdot 59511 / 1000$$

$$\phi P_{nc} = 12271,66 \text{ kN} \quad (\text{perhitungan manual})$$

$$\phi P_{nc} = 15988,35 \text{ kN} \quad (\text{hasil SAP2000})$$

d. Kapasitas Lentur Nominal Penampang

- Determine parameter:

$$D/t = 1016/19 = 53,5$$

$$0,45 \cdot E/F_y = 0,45 \cdot 200000/310 = 290,32$$

$$D/t < 0,45 \cdot E/F_y \quad (\text{OK})$$

$$\lambda_p = 0,07 \cdot E/F_y = 0,07 \cdot 200000/310 = 45,16$$

$$\lambda_r = 0,31 \cdot E/F_y = 0,31 \cdot 200000/310 = 200,00$$

$$\lambda_p < D/t < \lambda_r \quad (\text{Tidak Kompak})$$

- Kapasitas lentur penampang tidak kompak:

$$\phi M_n = \phi \cdot \left[\left(\frac{0,021 \cdot E}{D/t} \right) + F_y \right] S$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot \left[\left(\frac{0,021 \cdot 200000}{53,5} \right) + 310 \right] 14561058 / 1000000$$

$$\phi M_n = 5091,84 \text{ kN.m} \quad (\text{perhitungan manual})$$

$$\phi M_n = 52660,50 \text{ kN.m} \quad (\text{hasil SAP2000})$$

Berikut ini disajikan rekapitulasi kapasitas penampang *steel pipe* dari tahun 1991 hingga 2028.

Tabel 6.22 Rekapitulasi kapasitas penampang *steel pipe*

Tahun	Kapasitas Penampang		
	$\phi \cdot P_{nc}$ (kN)	$\phi \cdot P_{nt}$ (kN)	$\phi \cdot M_n$ (kN.m)
1991	12262,34	16603,62	5091,84
2018	10520,78	14245,50	4264,12
2028	9873,29	13368,77	3965,05

7.6.1.3 Rasio Kombinasi Gaya Lentur dan Aksial

Pada contoh perhitungan mengambil frame 1263 pada SAP2000 untuk elemen komposit tiang pancang baja terisi beton. Struktur merupakan rangka begoyang, maka menggunakan faktor B2 untuk P- Δ .

- Perpindahan titik struktur yang ditinjau:
 $\delta h = 263,54$ mm (hasil output SAP2000)
- Gaya geser tingkat arah transisi yang ditinjau:
 $H = 520,23$ kN (hasil output SAP2000)
- Tinggi tingkat yang ditinjau:
 $L = 19950$ mm
- Drift antar tingkat hasil analisis elastis-linier:
 $\Delta h = \delta h / L = 263,54 / 19950 = 0,013$ mm/mm
- Gaya aksial ultimit:
 $P_u = 2406,73$ kN (hasil output SAP2000)
- Total beban vertikal di tingkat tersebut:
 $P_{story} = P_u = 2406,73$ kN
- Beban vertikal total pada kolom tingkat tersebut:
 $P_{mf} = P_{story} = 2406,73$ kN
- Faktor efek P- Δ :

$$R_M = 1 - 0,15 \left(\frac{P_{mf}}{P_{story}} \right)$$

$$R_M = 1 - 0,15 \left(\frac{2406,73}{2406,73} \right)$$

$$R_M = 0,85$$

- Kuat tekuk kritis elastis:

$$P_{e\ story} = R_M \left(H \cdot L / \Delta h \right) = 0,85 \left(520,23 \cdot 19950 / 0,013 \right)$$

$$P_{e\ story} = 667804595,04 \text{ kN}$$

- Faktor pengali momen:

$$\alpha = 1$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \alpha \frac{P_{story}}{P_{e story}}} = \frac{1}{1 - 1 \cdot \frac{2406,73}{667804595,04}} = 1,0000$$

- Gaya dan Pembesaran momen ultimit sumbu mayor:

$$M_{ux} = 985,97 \text{ kN.m}$$

$$M_{rx} = M_{ux} \cdot B_2 = 985,97 \cdot 1,0000 = 985,98 \text{ kN.m}$$

- Gaya dan Pembesaran momen ultimit sumbu minor:

$$M_{uy} = 5714,28 \text{ kN.m}$$

$$M_{ry} = M_{uy} \cdot B_2 = 5714,28 \cdot 1,0000 = 5714,30 \text{ kN.m}$$

- Pembesaran aksial:

$$P_r = P_u \cdot B_2 = 2213,13 \cdot 1,0000 = 2406,74 \text{ kN}$$

- Kapasitas nominal tekan:

$$P_c = \phi P_{nc} = 59357,66 \text{ kN}$$

- Kapasitas nominal lentur:

Karena elemen merupakan simetris maka kapasitas nominal lentur sumbu minor sama dengan sumbu mayor.

$$M_{cx} = \phi M_n = 7730,16 \text{ kN.m}$$

$$M_{cy} = \phi M_n = 7730,16 \text{ kN.m}$$

- Rasio analisis kombinasi lentur dan aksial:

$$P_r / P_c = 2406,74 / 59357,66 = 0,04$$

$$0,04 < 2 \quad (\text{menggunakan persamaan 2 berikut})$$

$$R = \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right)$$

$$R = \frac{2406,74}{2 \cdot 59357,66} + \left(\frac{985,98}{5714,30} + \frac{5714,30}{5714,30} \right) = 0,887$$

$$R = 0,887 \text{ (perhitungan manual)}$$

$$R = 0,887 \text{ (hasil output SAP2000)}$$

$$\Delta R = \frac{0,887 - 0,887}{0,887} \cdot 100\% = 0,0\%$$

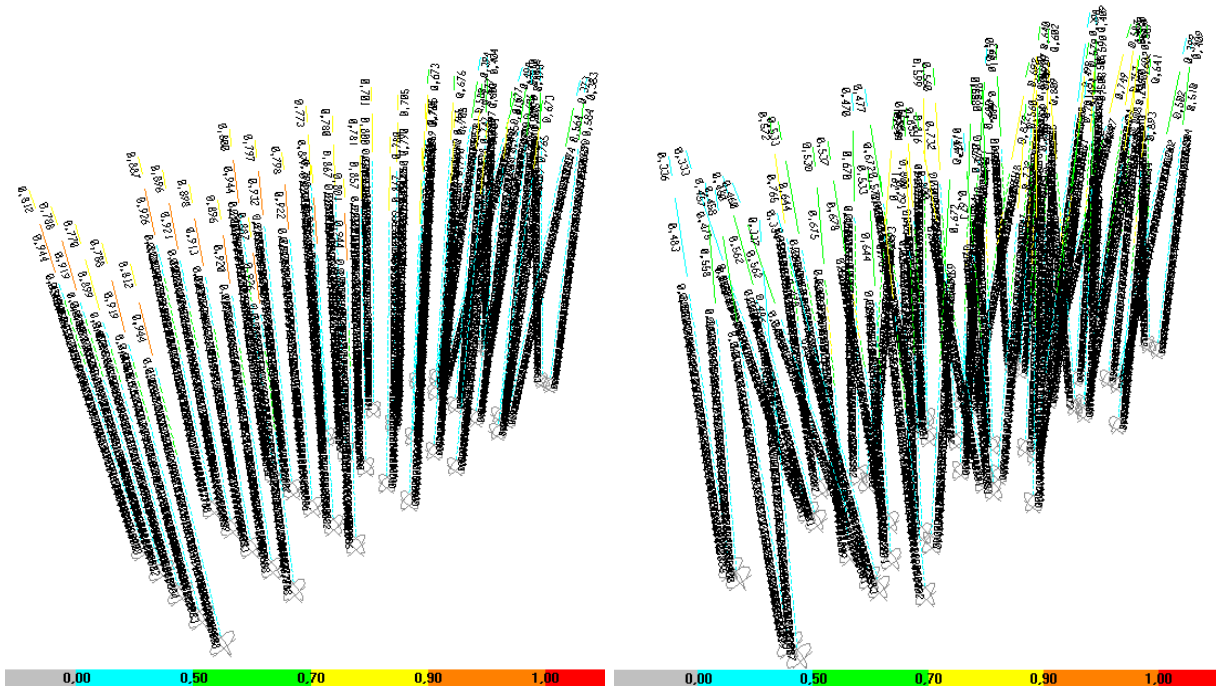
*) Dari hasil perhitungan manual dan SAP2000 terdapat selisih 0,0%. Oleh karena hasil mendekati maka hasil Output SAP2000 dapat di pertanggungjawabkan.

RISC-LRF093 STEEL SECTION CHECK										Units	KN, m, C											
Combo : Comb -EV (R-1)																						
Units : KN, m, C																						
<table border="0" style="width:100%"> <tr> <td>Frame : 1263</td> <td>Design Sect: Komposit Pancang</td> </tr> <tr> <td>X Mid : 18,000</td> <td>Design Type: Column</td> </tr> <tr> <td>Y Mid : 18,000</td> <td>Frame Type: Moment Resisting Frame</td> </tr> <tr> <td>Z Mid : 0,250</td> <td>Sect Class : Non-Compact</td> </tr> <tr> <td>Length : 2,500</td> <td>Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3</td> </tr> <tr> <td>Loc : 2,500</td> <td>RLF : 1,000</td> </tr> </table>											Frame : 1263	Design Sect: Komposit Pancang	X Mid : 18,000	Design Type: Column	Y Mid : 18,000	Frame Type: Moment Resisting Frame	Z Mid : 0,250	Sect Class : Non-Compact	Length : 2,500	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3	Loc : 2,500	RLF : 1,000
Frame : 1263	Design Sect: Komposit Pancang																					
X Mid : 18,000	Design Type: Column																					
Y Mid : 18,000	Frame Type: Moment Resisting Frame																					
Z Mid : 0,250	Sect Class : Non-Compact																					
Length : 2,500	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3																					
Loc : 2,500	RLF : 1,000																					
Area : 0,194	SHajor : 0,030	rHajor : 0,281	AUHajor : 0,170																			
THajor : 0,015	SHInor : 0,030	rHInor : 0,281	AUHInor : 0,170																			
HIInor : 0,015	ZHajor : 0,008	E : 200000000,00																				
Ixy : 0,000	ZHInor : 0,008	Fy : 310000,000																				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS																						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu																
2,500	-2406,733	-985,974	-5714,281	-112,591	-514,392	0,000																
PMI DEMAND/CAPACITY RATIO																						
Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MHajor Ratio	MHInor Ratio	Ratio Limit	Status Check																
(H1-Ib)	0,887	= 0,020	+ 0,128	+ 0,739	1,000	OK																
AXIAL FORCE DESIGN																						
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity																			
Axial	-2406,733	59357,660	22340,040																			
MOMENT DESIGN																						
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor														
Major Moment	-985,974	7730,160	0,886	1,000	1,000	1,000	1,000	1,129														
Minor Moment	-5714,281	7730,160	0,909	1,000	1,000	1,000	1,000															
SHEAR DESIGN																						
	Uu Force	phi*Un Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion																	
Major Shear	113,333	28482,012	0,004	OK	0,000																	
Minor Shear	520,225	28482,012	0,018	OK	0,000																	

Gambar 7.25 Steel Stress Check Data Output SAP2000
Elemen Tiang Pancang Komposit Terisi Beton

RISC-LRF093 STEEL SECTION CHECK										Units	KN, m, C											
Combo : Comb -EV (R-1)																						
Units : KN, m, C																						
<table border="0" style="width:100%"> <tr> <td>Frame : 1987</td> <td>Design Sect: Pancang (D-1,016n)</td> </tr> <tr> <td>X Mid : 0,000</td> <td>Design Type: Column</td> </tr> <tr> <td>Y Mid : 18,000</td> <td>Frame Type: Moment Resisting Frame</td> </tr> <tr> <td>Z Mid : -4,500</td> <td>Sect Class : Non-Compact</td> </tr> <tr> <td>Length : 7,000</td> <td>Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3</td> </tr> <tr> <td>Loc : 7,000</td> <td>RLF : 1,000</td> </tr> </table>											Frame : 1987	Design Sect: Pancang (D-1,016n)	X Mid : 0,000	Design Type: Column	Y Mid : 18,000	Frame Type: Moment Resisting Frame	Z Mid : -4,500	Sect Class : Non-Compact	Length : 7,000	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3	Loc : 7,000	RLF : 1,000
Frame : 1987	Design Sect: Pancang (D-1,016n)																					
X Mid : 0,000	Design Type: Column																					
Y Mid : 18,000	Frame Type: Moment Resisting Frame																					
Z Mid : -4,500	Sect Class : Non-Compact																					
Length : 7,000	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3																					
Loc : 7,000	RLF : 1,000																					
Area : 0,060	SHajor : 0,015	rHajor : 0,353	AUHajor : 0,030																			
THajor : 0,007	SHInor : 0,015	rHInor : 0,353	AUHInor : 0,030																			
HIInor : 0,007	ZHajor : 0,019	E : 200000000,00																				
Ixy : 0,000	ZHInor : 0,019	Fy : 310000,000																				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS																						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu																
7,000	-2204,913	347,948	-4336,542	-71,016	567,135	0,000																
PMI DEMAND/CAPACITY RATIO																						
Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MHajor Ratio	MHInor Ratio	Ratio Limit	Status Check																
(H1-Ib)	0,944	= 0,090	+ 0,068	+ 0,852	1,000	OK																
AXIAL FORCE DESIGN																						
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity																			
Axial	-2204,913	12262,948	16600,620																			
MOMENT DESIGN																						
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor														
Major Moment	347,948	5091,840	0,840	1,000	1,000	1,000	1,000	1,256														
Minor Moment	-4336,542	5091,840	0,634	1,000	1,000	1,000	1,000															
SHEAR DESIGN																						
	Uu Force	phi*Un Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion																	
Major Shear	71,016	4982,292	0,014	OK	0,000																	
Minor Shear	567,135	4982,292	0,114	OK	0,000																	

Gambar 7.26 Steel Stress Check Data Output SAP2000
Elemen Tiang Pancang Baja



Gambar 7.27 Ratio P-M output SAP2000 elemen tiang pancang

Untuk hasil stress rasio hingga tahun 2038 tidak ada yang memiliki rasio diatas 1,0 untuk beban gempa dengan R=1. Pada hasil analisis ini juga didapatkan rasio terbesar untuk tiang pancang komposit terisi beton (RCFT) ialah 0,896 dan untuk tiang pancang baja (*steel pipe*) ialah 0,944. Serta dari hasil analisis diketahui bahwa untuk tiang pancang miring memiliki ratio yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan tiang pancang tegak. Untuk rekapitulasi hasil analisis tiang pancang disajikan pada *Lampiran 2.6*.

7.6.1.4 Kontrol Kekuatan Tiang dalam Beton PileCap

a. Data Analisis

Berikut ini data analisis yang digunakan dalam perhitungan.

- Diameter luar pipe (\emptyset), (D_l) = 1016 mm
- Diameter dalam pipe (\emptyset), (D_c) = 978 mm
- Tebal pancang, (t) = 19 mm
- Luas area pancang (A_g) = 59511 mm²
- Mutu baja leleh (f_y) = 310 MPa
- Mutu baja putus (f_u) = 455 MPa
- Mutu beton (f_c') = 59,45 MPa
- Luas area beton (A_c) = $\frac{\pi}{4} \cdot D_c^2$
= 751220,8 mm²
- Diameter tulangan (D_{sr}) = 16 D36
- Luas area tulangan (A_{sr}) = $n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{sr}^2$
= 16286,02 mm²
- Mutu tulangan ($f_{y_{sr}}$) = 391,37 MPa
- Faktor reduksi (ϕ) = 0,7
- Luas 1 tulangan pada pipa (A_b) = $\frac{\pi}{4} \cdot D_{sr}^2$
= 1017,9 mm²
- Gaya cabut (P_u) = 3144,06 kN
(hasil output SAP2000 kombinasi 1D+0,5L±EY(R=1))

b. Kontrol Kekuatan Beton dalam Tiang

Gaya cabut akibat beban terjadi harus kurang dari tahanan friksi yang ada pada tiang yang tertanam pada beton. Berikut perhitungan kapasitas tahanan friksi.

$$P_{kerja} = A_c \cdot 0,85 \cdot \phi \cdot f_c'$$

$$= 751220,8 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 59,45 / 1000$$

$$P_{kerja} = 26573 \text{ kN}$$

$$P_{kerja} > P_u \quad (\text{Memenuhi})$$

c. Tulangan dari tiang ke pilecap

$$A_{sperlu} = \frac{P_u}{f_{ySR} \cdot \phi} = \frac{3144,1 \cdot 1000}{391,37 \cdot 0,7} = 11476,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{spasang} = 16286,0 \text{ mm}^2$$

$$A_{spasang} > A_{sperlu} \quad (\text{Memenuhi})$$

∴ Dari hasil perhitungan diatas untuk kontrol kekuatan dalam tiang dalam beton masih memenuhi dengan data sesuai as *build drawing* eksisting.

7.7 Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang

Analisa daya dukung pondasi tiang pancang dilakukan guna mengetahui apakah dengan konfigurasi dan kedalaman tiang pancang eksisting masih dapat memenuhi untuk beban kerja saat ini. Pada perhitungan daya dukung tanah dilakukan sesuai dengan referensi *Naval Facilities Engineer Command* dalam buku *Foundation and Earth Structure*. Pada *asbuild drawing* diketahui ialah kedalaman tiang 40 m dari sea bed.

7.7.1 Kapasitas Axial Daya Dukung Satu Tiang

Secara umum kapasitas axial tiang pancang ultimate dapat dihitung dengan persamaan sederhana yang merupakan penjumlahan tahanan keliling dengan tahanan ujung tiang. Dimana untuk persamaan yang digunakan bergantung pada jenis tanah (tanah kohesif dan tanah non kohesif / berpasir). Untuk hasil pengujian N-SPT diketahui jenis tanah merupakan tanah kohesif, sehingga menggunakan persamaan berikut.

$$Q_s = \sum_{i=1}^n \alpha \cdot c_{u-i} \cdot l_i \cdot p$$

$$Q_p = 9 \cdot c_u \cdot A_p$$

$$Q_u = Q_s + Q_p$$

$$Q_i = Q_u / SF$$

Dimana,

Q_s = kapasitas geser selimut tiang ultimate (Ton)

Q_p = kapasitas tahanan ujung tiang ultimate (Ton)

Q_u = kapasitas tiang ultimate (Ton)

Q_i = kapasitas tiang ijin (Ton)

α = faktor adhesi antara selimut tiang pancang dan tanah
(gambar 2.29)

c_{u-i} = kohesi undrained tanah pada lapisan -i (T/m²)
= (2/3 · N-SPT_{corr})

l_i = panjang tiang pada lapisan -i (m)

p = keliling tiang (m)

A_p = luas penampang tiang (m²)

SF = faktor keamanan (SF = 3)

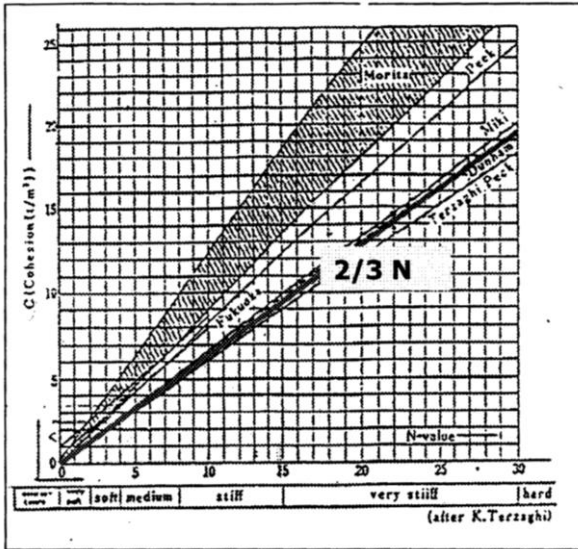
Penentuan nilai C_u dari hasil pengujian SPT di lapangan salah satunya dengan metode yang dikemukakan oleh Terzaghi. Metode tersebut dilakukan dengan bantuan grafik perbandingan antara nilai N-SPT_{corr} VS C_u .

Tabel 7.14 Koreksi Nilai N-SPT (Vesic, 1970)

Country	Hammer Type	Hammer Release	Estimated Rod Energy (%)	Correction Factor for 60% Rod Energy
Japan	Donut	Free Fall	78	78/60 = 1,30
	Donut	Rope and Pulley with special throw release	67	67/60 = 1,12
US	Safety	Rope and Pulley	60	60/60 = 1,00
	Donut	Rope and Pulley	45	45/60 = 0,75
Argentina	Donut	Rope and Pulley	45	45/60 = 0,75

Country	Hammer Type	Hammer Release	Estimated Rod Energy (%)	Correction Factor for 60% Rod Energy
	Donut	Free Fall	60	60/60 = 1,00
China	Donut	Rope and Pulley	50	50/60 = 0,83

Untuk gambar 7.28 dibawah, menunjukkan hubungan antara $N-SPT_{corr}$ dengan undrained shear strength menurut Terzaghi.



Gambar 7.28 Hubungan antara $N-SPT_{correction}$ dengan C_u
(Sumber: Terzaghi and Peck, 1967)

Dari gambar grafik hubungan nilai $N-SPT$ diatas diperoleh persamaan sederhana yang menunjukkan besaran *undrained shear strength*, sebagai berikut.

$$C_u = \frac{2}{3} \cdot N-SPT_{correction}$$

a. Data Analisis

Berikut ini data analisis yang digunakan dalam perhitungan.

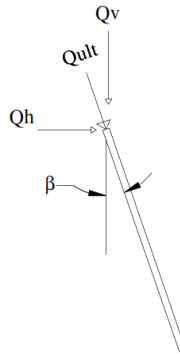
- Diameter luar pipe (\emptyset), (D_l) = 1016 mm
- Diameter dalam pipe (\emptyset), (D_c) = 978 mm
- Tebal pancang, (t) = 19 mm
- Luas area pancang (A_p) = 59511 mm²
- Keliling area pancang (P) = 3191,86 mm
- Faktor koresi N-SPT = 1,00
- *Safety factor* (SF) = 3

b. Perhitungan Kapasitas Axial Daya Dukung Tiang

Dalam perhitungan kapasitas menggunakan persamaan-persamaan di atas. Untuk hasil daya dukung disajikan dalam bentuk rekapitulasi tabel untuk setiap kedalaman tiang pancang. Dapat dilihat pada tabel 7.15 berikut. Pada pondasi miing, Q_{ult} terproyeksi ke arah vertikal dan horizontal seperti yang terlihat pada gambar 7.29 berikut. Sehingga daya dukung vertikal tiang (Q_v) dan daya dukung horizontal tiang (Q_h) adalah:

$$Q_v = Q_{ult} \cdot \cos(\beta)$$

$$Q_h = Q_{ult} \cdot \sin(\beta)$$



Gambar 7.29 Proyeksi Q_{ult} terhadap vertikal dan horizontal

Tabel 7.15 Rekapitulasi hasil perhitungan daya dukung axial tiang pancang

Depth (m)	Jenis Tanah	Tebal (di)	Nspt (Ni)	Nspt corr	Cu (T/m ²)	α	Qf (Ton)	Σ Qf (Ton)	Qp (Ton)	Qu /tiang (Ton)	Qi tekan /tiang (Ton)	Qi cabut /tiang (Ton)	Qi, /tiang (Ton) ($\beta=5,7^\circ$)	Qib /tiang (Ton) ($\beta=5,7^\circ$)	
0-18	Water Sea Level														
-19	Lempung Berlanau Abu-Abu	18	0	0	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	
-20			0	0	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
-21			0	0	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
-22			0	0	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
-23			1	1	0,67	1,00	2,13	2,13	0,36	2,48	0,83	0,71	0,82	0,08	
-24			2	2	1,33	1,00	4,26	6,38	0,71	7,10	2,37	2,13	2,35	0,24	
-25			3	3	2,00	1,00	6,38	12,77	1,07	13,84	4,61	4,26	4,59	0,46	
-26			4	4	2,67	0,99	8,40	21,17	1,43	22,60	7,53	7,06	7,50	0,75	
-27			5	5	3,33	0,91	9,73	30,90	1,79	32,68	10,89	10,30	10,84	1,08	
-28			8	8	5,33	0,70	11,86	42,75	2,86	45,61	15,20	14,25	15,13	1,51	
-29			10	10	6,67	0,55	11,73	54,48	3,57	58,05	19,35	18,16	19,25	1,93	
-30			11	11	7,33	0,50	11,70	66,18	3,93	70,11	23,37	22,06	23,25	2,33	
-31			12	12	8,00	0,50	12,77	78,95	4,28	83,24	27,75	26,32	27,61	2,76	
-32			13	13	8,67	0,50	13,83	92,78	4,64	97,43	32,48	30,93	32,31	3,23	
-33			15	15	10,00	0,50	15,96	108,74	5,36	114,10	38,03	36,25	37,84	3,78	
-34			20	20	13,33	0,50	21,28	130,02	7,14	137,16	45,72	43,34	45,49	4,55	
-35	26	26	17,33	0,50	27,66	157,68	9,28	166,97	55,66	52,56	55,38	5,54			
-36	30	30	20,00	0,50	31,92	189,60	10,71	200,32	66,77	63,20	66,44	6,64			

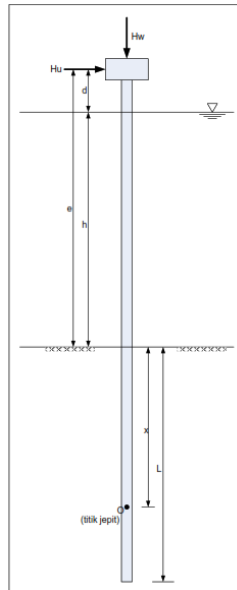
Depth (m)	Jenis Tanah	Tebal (di)	Nspt (Ni)	Nspt corr	Cu (T/m ²)	α	Qf (Ton)	Σ Qf (Ton)	Qp (Ton)	Qu /tiang (Ton)	Qi tekan /tiang (Ton)	Qi cabut /tiang (Ton)	Qi _v /tiang (Ton) ($\beta=5,7^\circ$)	Qi _h /tiang (Ton) ($\beta=5,7^\circ$)
-37	Lempung Berlanau Berpasir Abu-Abu	11	32	32	21,33	0,50	34,05	223,65	11,43	235,08	78,36	74,55	77,97	7,80
-38			35	35	23,33	0,50	37,24	260,89	12,50	273,39	91,13	86,96	90,68	9,07
-39			36	36	24,00	0,50	38,30	299,19	12,85	312,05	104,02	99,73	103,50	10,35
-40			38	38	25,33	0,50	40,43	339,62	13,57	353,19	117,73	113,21	117,15	11,71
-41			28	28	18,67	0,50	29,79	369,41	10,00	379,41	126,47	123,14	125,84	12,58
-42			17	17	11,33	0,50	18,09	387,50	6,07	393,57	131,19	129,17	130,54	13,05
-43			18	18	12,00	0,50	19,15	406,65	6,43	413,08	137,69	135,55	137,01	13,70
-44			30	30	20,00	0,50	31,92	438,57	10,71	449,28	149,76	146,19	149,02	14,90
-45			40	40	26,67	0,50	42,56	481,13	14,28	495,41	165,14	160,38	164,32	16,43
-46			40	40	26,67	0,50	42,56	523,68	14,28	537,97	179,32	174,56	178,43	17,84
-47	40	40	26,67	0,50	42,56	566,24	14,28	580,53	193,51	188,75	192,55	19,25		
-48	Lempung Berlanau Abu-Abu	13	38	38	25,33	0,50	40,43	606,67	13,57	620,24	206,75	202,22	205,72	20,57
-49			32	32	21,33	0,50	34,05	640,72	11,43	652,15	217,38	213,57	216,30	21,63
-50			27	27	18,00	0,50	28,73	669,45	9,64	679,09	226,36	223,15	225,24	22,52
-51			31	31	20,67	0,50	32,98	702,43	11,07	713,50	237,83	234,14	236,65	23,67
-52			36	36	24,00	0,50	38,30	740,73	12,85	753,59	251,20	246,91	249,95	24,99
-53			35	35	23,33	0,50	37,24	777,97	12,50	790,47	263,49	259,32	262,18	26,22
-54			32	32	21,33	0,50	34,05	812,02	11,43	823,44	274,48	270,67	273,12	27,31
-55			29	29	19,33	0,50	30,85	842,87	10,35	853,23	284,41	280,96	283,00	28,30
-56			41	41	27,33	0,50	43,62	886,49	14,64	901,13	300,38	295,50	298,89	29,89
-57			52	52	34,67	0,50	55,33	941,82	18,57	960,39	320,13	313,94	318,54	31,85
-58			60	60	40,00	0,50	63,84	1005,66	21,42	1027,08	342,36	335,22	340,66	34,07
-59			60	60	40,00	0,50	63,84	1069,49	21,42	1090,92	363,64	356,50	361,83	36,18
-60	60	60	40,00	0,50	63,84	1133,33	21,42	1154,75	384,92	377,78	383,01	38,30		

∴ Didapatkan daya dukung untuk tiang pancang baja dengan kedalaman 40 m dari seabed ialah:

- Q_i vertikal = 383,01 Ton
- Q_i horizontal = 38,30 Ton
- Q_i cabut = 377,78 Ton

7.7.2 Virtual Fixed Point (Z_r)

Fixity point merupakan kedalaman dimana tiang pancang telah berhenti berdeformasi secara lateral, sehingga pada titik di kedalaman tersebut tumpuan tiang pancang dikategorikan bersifat *fixed* seperti yang diilustrasikan pada gambar 7.30 berikut.



Gambar 7.30 Letak *fixity point* pada tiang pancang
 OCDI (2002) pasal 9.5.3 memberikan persamaan untuk menentukan besar kedalaman *fixed point* sebagai berikut.

$$Z_r = \frac{SF}{\sqrt[4]{\frac{k_h \cdot D}{4EI}}}$$

Dimana,

Z_r = allowable fixity point (m)

SF = safety factor (SF = 2)

k_h = koefisien reaksi *subgrade* horisontal (N/m³)
= $1,5 \cdot 10^6 \bar{N}$

\bar{N} = nilai N-SPT rata-rata pada tiap elevasi

D = diameter luar tiang pancang (m)

E = modulus elastisitas tiang pancang (N/m²)
= $2141106 \cdot 10^5$ N/m² (untuk tiang pancang baja)

I = momen inersia tiang (m⁴)

Dari hasil perhitungan kedalaman *allowable fixity point*, dilakukan pengecekan galatnya terhadap elevasi tanah. Nilai kedalaman *fixity point* dengan galat yang terkecil adalah nilai kedalaman *fixity point* yang digunakan.

a. Data Analisis

Berikut ini data analisis yang digunakan dalam perhitungan.

- Diameter luar pipe (\emptyset), (D) = 1,016 m
- Tebal pancang, (t) = 19 mm
- Luas area pancang (A_p) = 0,0595 m²
- Modulus elastisitas (E) = $2141106 \cdot 10^5$ N/m²
- Momen inersia (I) = 0,0074 m⁴
- Safety factor (SF) = 3

b. Perhitungan *Fixity Point*

Dalam perhitungan kapasitas menggunakan persamaan-persamaan diatas. Perhitungan *fixity point* disajikan pada tabel 7.1 berikut.

Tabel 7.16 Rekapitulasi hasil perhitungan *fixity point*

Depth from seabed (m)	N	\bar{N}	k_h (kg/cm ³)	Z_r (m)	Galat (m)
-1	1	1	0,150	16,06	15,06
-2	1	1	0,150	16,06	14,06
-3	1	1	0,150	16,06	13,06
-4	1	1	0,150	16,06	12,06
-5	2	1,111	0,167	15,64	10,64
-6	3	1,241	0,186	15,21	9,21
-7	4	1,377	0,207	14,82	7,82
-8	5	1,514	0,227	14,48	6,48

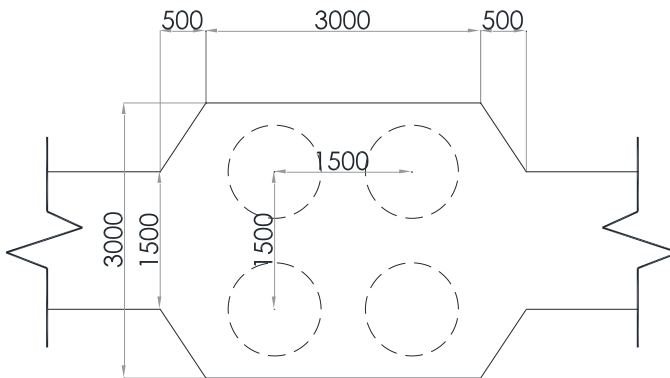
Depth from seabed (m)	N	\bar{N}	k_n (kg/cm ³)	Z_r (m)	Galat (m)
-9	8	1,664	0,250	14,14	5,14
-10	10	1,815	0,272	13,83	3,83
-11	11	1,965	0,295	13,56	2,56
-12	12	2,112	0,317	13,32	1,32
-13	13	2,257	0,339	13,10	0,10
-14	15	2,403	0,360	12,90	1,10
-15	20	2,553	0,383	12,70	2,30
-16	26	2,705	0,406	12,52	3,48
-17	30	2,858	0,429	12,35	4,65

∴ Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan nilai *fixity point* dengan galat terkecil yaitu 13,10 m yang dimana nilai *fixity point* diambil 13 m dibawah seabed.

7.7.3 Kapasitas Pondasi Kelompok

Kapasitas daya dukung tiang pancang kelompok dihitung berdasarkan faktor efisiensi. Serta distribusi beban aksial pada kelompok tiang pancang bekerja pada dua arah (x dan y), dipengaruhi oleh beban vertikal dan momen (x dan y) yang akan mempengaruhi kapasitas daya dukung tiang.

7.7.3.1 Perhitungan Pondasi ROW I, K, O Bagian Tengah



Gambar 7.31 Pondasi Row I, K, O Bagian Tengah

a. Gaya yang Terjadi pada Pondasi

Dari program bantu SAP2000 v.14, dapat diketahui gaya yang terjadi pada joint reaction yakni sebagai berikut:

Untuk panjang (d) dari panjang tiang pancang hingga titik jepit (*fixity point*) = $19 + 13,01 = 32,01$ m

- Akibat beban tetap (1DL + 1LL)
 - $P = 189,44$ Ton
 - $V_x = -0,15$ Ton
 - $V_y = 0,03$ Ton
 - $M_x = 0,38$ Ton.m
 - $M_y = -0,29$ Ton.m
 - $\Sigma M_x = M_x + V_y \cdot d = 0,38 + 0,03 \cdot 32,01$
= $1,37$ Ton.m
 - $\Sigma M_y = M_y + V_x \cdot d = -0,29 - 0,15 \cdot 32,01$
= $-5,04$ Ton.m
- Akibat beban sementara arah X (1DL + 1LL + 1EX)
 - $P = 189,28$ Ton
 - $V_x = -21,39$ Ton
 - $V_y = 10,67$ Ton
 - $M_x = 6,32$ Ton.m
 - $M_y = -48,36$ Ton.m
 - $\Sigma M_x = M_x + V_y \cdot d = 6,32 + 10,67 \cdot 32,01$
= $348,85$ Ton.m
 - $\Sigma M_y = M_y + V_x \cdot d = -48,36 - 21,39 \cdot 32,01$
= $-735,02$ Ton.m
- Akibat beban sementara arah Y (1DL + 1LL + 1EY)
 - $P = 189,07$ Ton
 - $V_x = -11,02$ Ton
 - $V_y = 20,49$ Ton
 - $M_x = 20,88$ Ton.m
 - $M_y = -14,70$ Ton.m
 - $\Sigma M_x = M_x + V_y \cdot d = 20,88 + 20,49 \cdot 32,01$
= $678,55$ Ton.m
 - $\Sigma M_y = M_y + V_x \cdot d = -14,70 - 11,02 \cdot 32,01$
= $-678,55$ Ton.m

b. Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Efisiensi

Perhitungan ini menggunakan Metode Converce-Labarre, dengan menggunakan data analisis berikut:

- Banyaknya tiang dalam kolom (m) = 2 buah
- Banyaknya tiang dalam baris (n) = 2 buah
- Diameter tiang pancang (D) = 1,016 m
- Jarak antar sumbu as tiang pancang (S) = 1,50 m

Sehingga faktor efisiensi tiang pancang kelompok ialah,

$$\eta = 1 - \arctan \frac{D}{S} \left[\frac{(n-1).m + (m-1).n}{90.m.n} \right]$$

$$= 1 - \arctan \frac{1,016}{1,5} \left[\frac{(2-1).2 + (2-1).2}{90.2.2} \right]$$

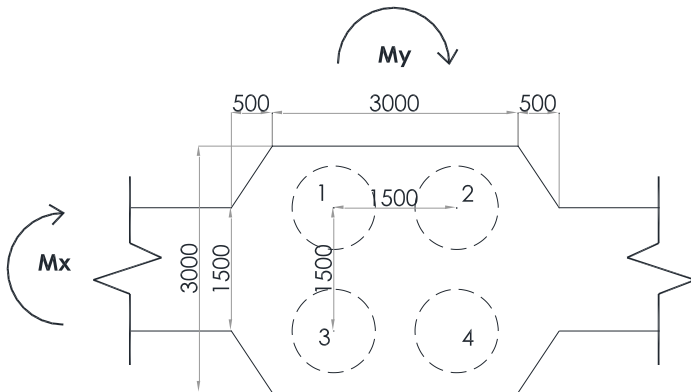
$$\eta = 0,62$$

$$P_{ik \text{ tekan}} = \eta \cdot Q_i \text{ vertikal} = 0,62 \cdot 383,01 = 237,84 \text{ Ton}$$

$$P_{ik \text{ cabut}} = \eta \cdot Q_i \text{ cabut} = 0,62 \cdot 377,78 = 234,60 \text{ Ton}$$

$$P_{ik \text{ lateral}} = \eta \cdot Q_i \text{ horizontal} = 0,62 \cdot 38,301 = 23,784 \text{ Ton}$$

c. Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok



Gambar 7.32 Gaya yang terjadi pada pilecap dan tiang pancang Row I, K, O bagian tengah

Maka untuk gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang adalah:

Tabel 7.17 Tabel perhitungan jarak tiang ke titik pusat

No	x	x ²	y	y ²
1	-1,5	2,25	-1,5	2,25
2	1,5	2,25	-1,5	2,25
3	-1,5	2,25	1,5	2,25
4	1,5	2,25	1,5	2,25
	Σx ² =	9	Σy ² =	9

▪ **Akibat Beban Tetap (1DL + 1LL)**

Perhitungan akibat beban tekan/cabut:

$$P = \frac{\sum P_{ijin}}{n} \pm \frac{\sum Mx \cdot y \max}{\sum y^2} \pm \frac{\sum My \cdot x \max}{\sum x^2}$$

- Tiang Pancang 1

$$P_1 = \frac{189,44}{4} + \frac{1,37 \cdot 1,5}{9} + \frac{5,04 \cdot 1,5}{9}$$

$$P_1 = 48,43 \text{ Ton} < P_{ik \text{ tekan}} = 237,84 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

- Tiang Pancang 2

$$P_2 = \frac{189,44}{4} + \frac{1,37 \cdot 1,5}{9} - \frac{5,04 \cdot 1,5}{9}$$

$$P_2 = 46,75 \text{ Ton} < P_{ik \text{ tekan}} = 237,84 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

- Tiang Pancang 3

$$P_3 = \frac{189,44}{4} - \frac{1,37 \cdot 1,5}{9} + \frac{5,04 \cdot 1,5}{9}$$

$$P_3 = 47,97 \text{ Ton} < P_{ik \text{ tekan}} = 237,84 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

- Tiang Pancang 4

$$P_4 = \frac{189,44}{4} - \frac{1,37 \cdot 1,5}{9} - \frac{5,04 \cdot 1,5}{9}$$

$$P_4 = 46,29 \text{ Ton} < P_{ik \text{ tekan}} = 237,84 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

Perhitungan akibat beban horizontal:

$$V_x = 0,21 \text{ Ton} < P_{ik \text{ lateral}} = 23,78 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

$$V_y = 0,05 \text{ Ton} < P_{ik \text{ lateral}} = 23,78 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

▪ **Akibat Beban Sementara (1DL + 1LL + 1EX)**

Perhitungan akibat beban tekan/cabut:

$$P = \frac{\sum P_{ijin}}{n} \pm \frac{\sum Mx \cdot y \max}{\sum y^2} \pm \frac{\sum My \cdot x \max}{\sum x^2}$$

- Tiang Pancang 1

$$P_1 = \frac{237,84}{4} + \frac{348,85 \cdot 1,5}{9} + \frac{735,02 \cdot 1,5}{9}$$

$$P_1 = 227,96 \text{ Ton} < P_{ik \text{ tekan}} = 237,84 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

- Tiang Pancang 2

$$P_2 = \frac{237,84}{4} + \frac{348,85 \cdot 1,5}{9} - \frac{735,02 \cdot 1,5}{9}$$

$$P_2 = -17,04 \text{ Ton} < P_{ik \text{ cabut}} = 234,60 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

- Tiang Pancang 3

$$P_3 = \frac{237,84}{4} - \frac{348,85 \cdot 1,5}{9} + \frac{735,02 \cdot 1,5}{9}$$

$$P_3 = 111,68 \text{ Ton} < P_{ik \text{ tekan}} = 237,84 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

- Tiang Pancang 4

$$P_4 = \frac{237,84}{4} - \frac{348,85 \cdot 1,5}{9} - \frac{735,02 \cdot 1,5}{9}$$

$$P_4 = -133,3 \text{ Ton} < P_{ik \text{ cabut}} = 234,60 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

Perhitungan akibat beban horizontal:

$$V_x = 0,15 \text{ Ton} < P_{ik \text{ lateral}} = 23,78 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

$$V_y = 0,03 \text{ Ton} < P_{ik \text{ lateral}} = 23,78 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

▪ **Akibat Beban Sementara (1DL + 1LL + 1EY)**

Perhitungan akibat beban tekan/cabut:

$$P = \frac{\sum P_{ijin}}{n} \pm \frac{\sum Mx \cdot y \max}{\sum y^2} \pm \frac{\sum My \cdot x \max}{\sum x^2}$$

- Tiang Pancang 1

$$P_1 = \frac{237,84}{4} + \frac{678,55 \cdot 1,5}{9} + \frac{368,52 \cdot 1,5}{9}$$

$$P_1 = 221,78 \text{ Ton} < P_{ik \text{ tekan}} = 237,84 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

- Tiang Pancang 2

$$P_2 = \frac{237,84}{4} + \frac{678,55 \cdot 1,5}{9} - \frac{368,52 \cdot 1,5}{9}$$

$$P_2 = 98,94 \text{ Ton} < P_{ik \text{ tekan}} = 237,84 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

- Tiang Pancang 3

$$P_3 = \frac{237,84}{4} - \frac{678,55 \cdot 1,5}{9} + \frac{368,52 \cdot 1,5}{9}$$

$$P_3 = -4,40 \text{ Ton} < P_{ik \text{ cabut}} = 234,60 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

- Tiang Pancang 4

$$P_4 = \frac{237,84}{4} - \frac{678,55 \cdot 1,5}{9} - \frac{368,52 \cdot 1,5}{9}$$

$$P_4 = -127,2 \text{ Ton} < P_{ik \text{ cabut}} = 234,60 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

Perhitungan akibat beban horizontal:

$$V_x = 11,02 \text{ Ton} < P_{ik \text{ lateral}} = 23,78 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

$$V_y = 20,49 \text{ Ton} < P_{ik \text{ lateral}} = 23,78 \text{ Ton (Memenuhi)}$$

∴ Dari hasil analisa kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang untuk beban tetap dan beban sementara dapat dengan kedalaman dan konfigurasi letak sesuai *as build drawing* masih memenuhi batas ijin.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VIII

METODE PERBAIKAN DAN RAB

8.1 Umum

Untuk menentukan metode perbaikan yang sesuai pada setiap elemen struktur yang mengalami kerusakan, maka perlu diidentifikasi jenis kerusakan yang terjadi. Kemudian menentukan beberapa alternatif metode perbaikan yang tepat untuk setiap jenis kerusakan yang terjadi.

8.1.1 Kriteria Keretakan

a. Kriteria 1 (Retak Ringan)

Retak digolongkan pada kriteria ini jika :

- Lebar retak berkisar antara 0,1 mm sampai 0,25 mm dan mencakup daerah kurang dari 30% dari luas elemen yang bersangkutan
- Kedalaman retakan belum mencapai tulangan
- Tidak terjadi rembesan atau adanya bocoran air
- Mutu beton lantai tidak kurang dari 22,5 MPa

b. Kriteria 2 (Retak Sedang)

Retak digolongkan pada kriteria ini jika :

- Lebar retak kurang dari 2 mm dan mencakup daerah kurang lebih 50% dari luas elemen yang bersangkutan
- Kedalaman retakan sudah mencapai tulangan
- Tidak terjadi rembesan atau adanya bocoran air
- Mutu beton tidak kurang dari 22,5 MPa

Dari hasil pengujian kedalaman dan lebar retak pada lampiran 1.7 didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 8.1 Rekapitulasi retak beton pada plat lantai

	Rata-Rata	Terbesar
Tebal Selimut Beton (mm)	49,24	64,30
Kedalaman Retak (mm)	56,10	117,74
Lebar retak (mm)	0,40	1,20

Dari hasil uji keretakan beton bertulang yang terjadi pada plat lantai trestle dikategorikan menjadi kategori 1 (retak ringan), dan kategori 2 (retak sedang). Perbaikan yang dilakukan sesuai dengan jenis kerusakan yang terjadi agar nantinya setelah dilakukan perbaikan struktur dapat mencegah kerusakan yang lainnya. Salah satunya untuk mencegah agar elemen struktur akibat kerusakan korosi, maka dari itu dilakukan pencegahan korosi seperti *corrosion inhibitor*. Dari hasil analisa dan survei kondisi kerusakan pada pembahasan sebelumnya, berikut adalah metode perbaikan yang akan dilaksanakan.

- a. Perbaikan kerusakan retak
- b. Pencegahan korosi beton bertulang
- c. Penggantian tulangan yang terkorosi
- d. Perbaikan kerusakan *concrete jacket* tiang baja



Gambar 8.1 Ilustrasi keseluruhan metode perbaikan pada trestle

8.2 Perbaikan Kerusakan pada Pelat Lantai Trestle

Dari hasil analisa pelat lantai trestle pada sub bab 7.3 bahwa plat lantai trestle relative aman sampai dengan tahun 2028, namun untuk analisa keretakan plat lantai sisi atas didapatkan hasil bahwa momen retak penampang melebihi momen kapasitas negatif sisi tekan.

Asumsi penulis keretakan kemungkinan terjadi akibat tidak adanya elemen diafragma pada trestle dermaga. Namun saat dilakukan permodelan trestle dengan menambahkan diafragma dengan jarak setiap 2m berjumlah 5 untuk bentang 10 m didapatkan hasil tidak terlalu signifikan, disajikan pada tabel 8.2 berikut.

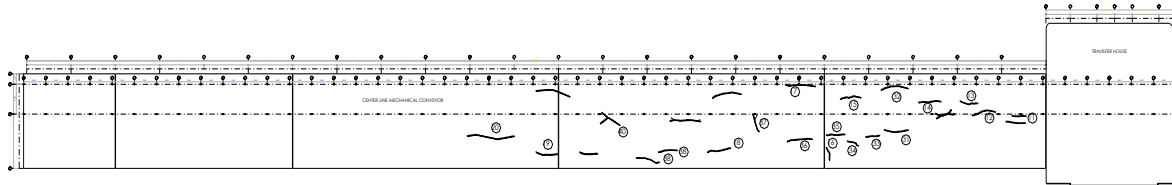
Tabel 8.2 Perbandingan tegangan ijin area plat lantai trestle

Kombinasi	S_{22} (top) (N/mm^2)	S_{22} (bottom) (N/mm^2)
1D + 1L + 1T (Eksisting)	-3,847	3,979
1D + 1L + 1T (Penambahan diafragma)	-3,272	3,421

Oleh karena itu untuk plat lantai sisi atas dilakukan perbaikan retak dengan sesuai klasifikasi kategori retak yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut akan dijelaskan metode perbaikan retakan untuk plat lantai trestle. Dari hasil survei lebar retak disajikan pada gambar 8.3 berikut.



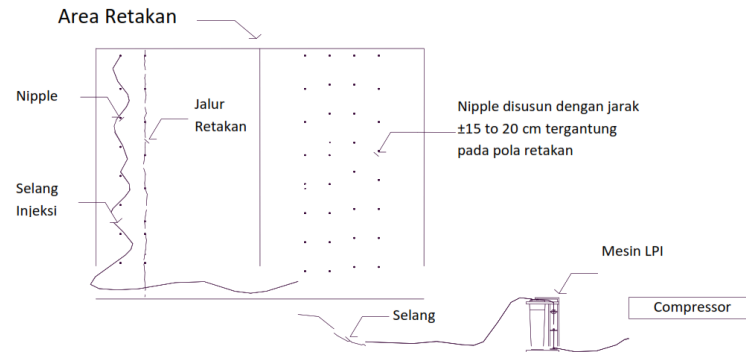
Gambar 8.2 Ilustrasi perbaikan kerusakan retak dengan *injection epoxy method*



Gambar 8.3 Pola retak pada lantai atas trestle

8.2.1 Metode Perbaikan Retak *Injection*

Berikut ini akan dijelaskan secara umum metode perbaikan retak dengan metode *injection*.



Gambar 8.4 Sketsa dan prinsip metode injeksi beton

a. Bahan dan Alat yang dipergunakan

- Spesifikasi teknis untuk injeksi beton yang digunakan dalam pekerjaan:

Produk	= Sikadur-752
Bahan dasar	= Epoxy resin viskositas rendah
Viskositas	= 180 ± 25 cps
Kuat tekan (7 hari)	= 62 MPa
Kuat tekan (28 hari)	= 64 MPa
Kuat lentur (28 hari)	= 40 MPa
Maksimum retak	= lebar 5,0 mm

- Spesifikasi teknis untuk *sealant* yang digunakan dalam pekerjaan:

Produk	= Sikadur 41 CF
Bahan dasar	= Epoxy resin
<i>Flowability</i>	= 10 – 12 detik
Kuat tekan (1 hari)	= 57 – 67 MPa
Kuat lentur (1 hari)	= 17 – 27 MPa

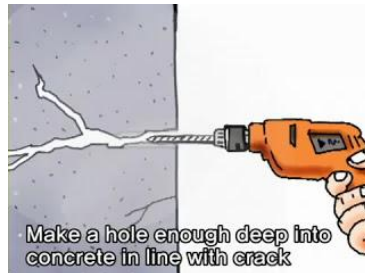
- *Nipple set* dan konektornya, dipasang tiap jarak 15-20 cm dan harus mampu berfungsi sebagai *in let* dan *out let*.
- Tabung injeksi, harus sesuai dengan daya tampung material injeksi. Tekanan yang diperlukan harus mampu mengalirkan material injeksi secara stabil
- Kompresor, berguna untuk mensuplai tekanan udara secara terus menerus dan stabil ke dalam tabung injeksi
- Mixer, berguna untuk membuat campuran bahan injeksi agar homogen
- Sikat besi, alat pendukung terkait pekerjaan injeksi

b. Urutan Langkah Pengerjaan Injeksi

- **Persiapan dan *Chipping***

Sikat permukaan retakan sampai bersih menggunakan sikat kawat dan dilanjutkan dengan *bistle brush* hingga bersih dari abu, oil, sehingga celah yang ada dapat terlihat jelas serta melakukan pengupasan permukaan beton dengan lebar lebih dari 2 in agar material penutup retak dapat menempel dengan sempurna.

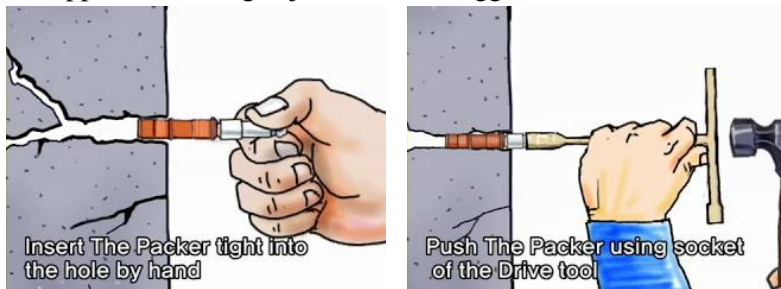
Bila pada saat membersihkan permukaan beton ditemui keretakan parah, maka harus dilakukan pengupasan permukaan beton tersebut hingga ke permukaan yang keras. Dan bila terlihat tulangan terkorosi, maka pengupasan harus dilanjutkan hingga tulangan terkorosi tersebut terlihat seluruh keliling permukaannya agar permukaan tulangan yang terkorosi tersebut dapat dibersihkan



Gambar 8.5 Ilustrasi pekerjaan *chipping*

- Pemasangan Nipple

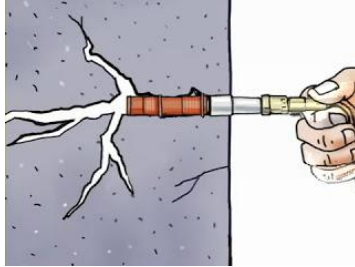
Sebelum nipple dipasang pada permukaan retakan beton, terlebih dahulu laburkan *sealant agent* (Nitobond Ec) pada dasar nipple agar nipple melekat dengan permukaan beton. Lalu susun nipple dengan menggunakan tongkat nipple. Pastikan bahwa posisi nipple selalu tegak lurus bidang retak, dan kemudian tekan hingga mencapai posisi yang stabil. Kemudian, tarik tongkat nipple keluar perlahan. Posisi tiap nipple diatur dengan jarak 15 cm hingga 20 cm



Gambar 8.6 Ilustrasi pemasangan nipple

- **Penutupan Retak**

Setelah lem pada nipple telah bekerja dengan baik (tidak bergerak lagi), segera buat penutup retakan sambil melihat kemungkinan retakan berada di sekitar retak yang akan diperbaiki.



Gambar 8.7 Ilustrasi penutupan retak

- **Penyambungan antar Kepala Nipple**

8 jam setelah kepala head setting, kemudian kepala nipple dihubungkan dengan kepala nipple lainnya dengan menggunakan selubung penghubung secara seri. Setiap seri terdiri dari 5 nipple, kemudian akan dihubungkan dengan seri tertutup dengan 2 atau 3 lainnya sehingga dalam satu seri menjadi 10 hingga 15 nipple

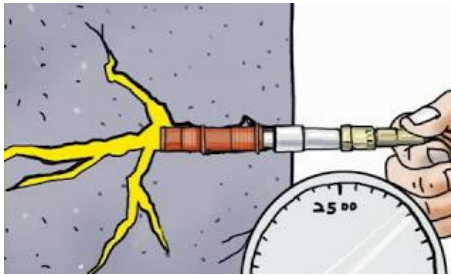


Gambar 8.8 Ilustrasi penyambungan antar kepala nipple

- **Pelaksanaan Injeksi Grouting**

Sebelum cairan epoksi diinjeksikan pada retakan, yang terbaik adalah membuat campuran cukup baik sehingga diperoleh campuran yang baik untuk injeksi. Selama proses injeksi, lakukan tiga kontrol :

- a) Kontrol sumber tekanan dari kompresor
- b) Kontrol cairan dalam tabung yang dapat mengakumulasi panas sebab cairan epoksi akan *setting*, dan siapkan bahan campuran jika cairan epoksi akan habis
- c) Kontrol nipple yang sedang diinjeksi dimana akan segera ditutup bila nipple penuh

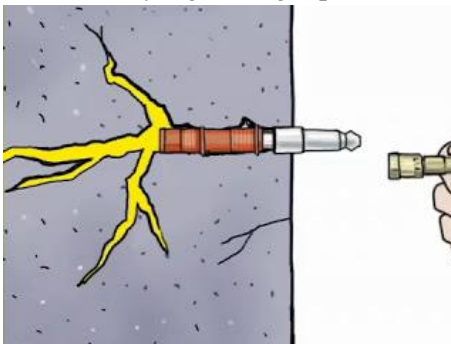


Gambar 8.9 Ilustrasi proses injeksi

- **Finishing**

Pekerjaan injeksi dianggap selesai jika terdapat ciri sebagai berikut:

- a) Kecepatan aliran cairan epoksi terlihat sangat pelan
- b) Cairan epoksi terlihat dari dasar nipple
- c) Campuran epoksi terlihat dari retakan lain yang jaraknya dekat dari retakan yang sedang diperbaiki



Gambar 8.10 Ilustrasi tahap akhir proses injeksi

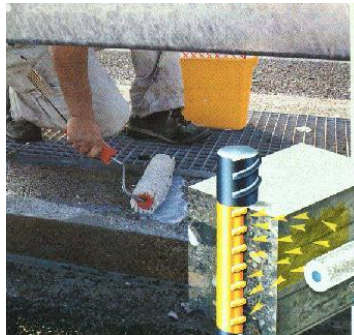
Setelah 2 hari, nipple dapat dipatahkan dan bekas patahan tersebut diratakan dengan gerindra



Gambar 8.11 Ilustrasi finishing akhir pelepasan nipple

8.2.2 Metode Perbaikan *Corrosion Inhibitor Coating*

Corrosion inhibitor coating merupakan suatu pekerjaan untuk melapisi permukaan beton bertujuan untuk melindungi baja tulangan dari korosi yang disebabkan karbonasi, klorida, dan berbagai kontaminan agresif lainnya.



Gambar 8.12 Ilustrasi proses impregnasi pada *corrosion inhibitor*

Corrosion inhibitor didesain untuk menembus material berbahan semen termasuk beton, mortar yang bekerja pada fase cairan dan uap (gas) menembus pori struktur, membentuk pelindung, lapisan molekul pada permukaan baja. Dengan ini dapat menunda timbulnya korosi dan laju korosi sangat berkurang tanpa mempengaruhi sifat beton.

Berikut ini akan dijelaskan secara umum metode perbaikan *corrosion inhibitor coating*.

a. Bahan dan Alat yang dipergunakan

- Spesifikasi teknis untuk *corrosion inhibitor coating* yang digunakan dalam pekerjaan:

Produk	= Sika FerroGard 903
Bahan dasar kimia	= Larutan alkohol amino dan garam alkohol amino
Viskositas	= 24 mPa.s
pH	= 10

b. Urutan Langkah Pekerjaan *Corrosion Inhibitor Coating*

- **Persiapan**

Bersihkan permukaan beton yang akan dikerjakan bebas dari debu, kotoran permukaan, minyak, noda karat, pertumbuhan biologis dan kontaminan permukaan lainnya. Dapat menggunakan penyemprotan air bertekanan tinggi dan tidak boleh menggunakan air panas.



Gambar 8.13 Ilustrasi pembersihan permukaan beton

- **Pengaplikasian *Corrosion Inhibitor***

- a) Cara pengaplikasian dapat menggunakan sprayer dengan tekanan rendah ataupun dapat dengan rol jenuh. Untuk peralatan semprot harus dilengkapi dengan gasket dan selang tahan pelarut

- b) Biarkan lapisan pertama mengering sekitar 2-8 jam sebelum menerapkan lapisan kedua. (Proses pelapisan dilakukan hingga 3-5 kali)
- c) Lindungi area dari hujan ataupun faktor lainnya minimal sehari setelah aplikasi pelapisan
- d) Sehari setelah aplikasi, permukaan yang dirawat harus dibersihkan dengan air bertekanan ± 10 MPa



Gambar 8.14 Ilustrasi pengolesan *corrosion inhibitor*

- **Finishing**

Masa impregnasi usai setelah 3x24 jam pasca pelapisan cairan berikutnya, setelah proses tersebut maka lanjut ke langkah berikutnya yaitu pekerjaan epoxy coating

8.2.3 Metode Perbaikan *Concrete Coating*

Pekerjaan ini merupakan lanjutan dari pekerjaan *corrosion inhibitor coating* bertujuan untuk melindungi beton dari penyerapan air, mengurangi penyerapan zat agresif atau bahan yang mudah larut dalam air (seperti pembekuan asam garam ataupun klorida dari lingkungan laut).

a. Bahan dan Alat yang dipergunakan

- Spesifikasi teknis untuk *corrosion inhibitor coating* yang digunakan dalam pekerjaan:

Produk	= Sikagard -705 L
Bahan dasar kimia	= Alkoxy silanes 99%
Viskositas	= 9 mm ² /s (saat 25°C)

b. Urutan Langkah Pekerjaan *Concrete Coating*

- **Persiapan**

Bersihkan permukaan beton yang akan dikerjakan bebas dari debu, kotoran permukaan, minyak, noda karat, pertumbuhan biologis dan kontaminan permukaan lainnya. Pembersihan disarankan menggunakan deterjen dan pengaliran air

- **Pengaplikasian *Concrete Coating***

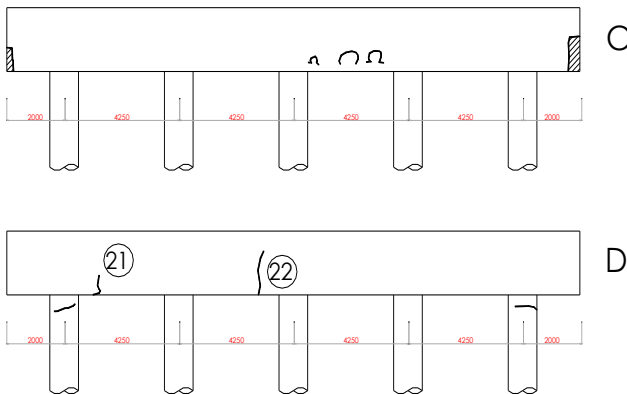
Untuk Sikagard – 705 L diterapkan menggunakan semprotan bertekanan rendah, atau dengan kuas / rol. Lalu oleskan lapisan berikutnya ketika “basah dengan basah” atau ketika permukaan benar-benar kering. Pengulangan pelapisan minimal sebanyak 2 kali

- **Finishing**

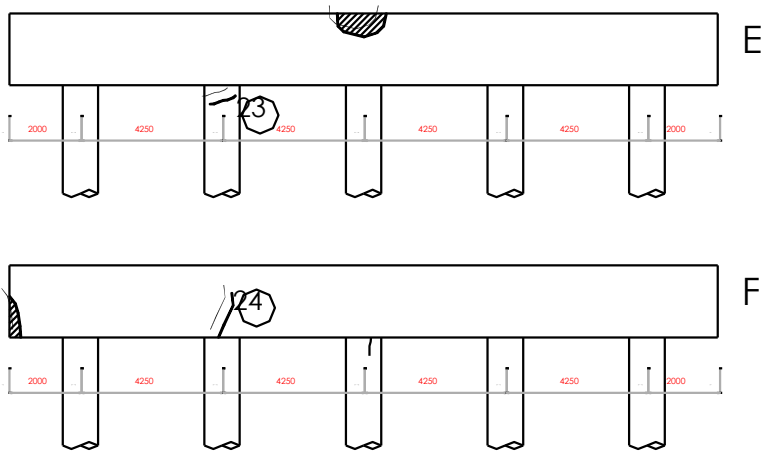
Bersihkan semua peralatan aplikasi menggunakan Colma (Thinner), jika bahan yang sudah mengeras hanya dapat dihilangkan dengan cara mekanis

8.3 Perbaikan Kerusakan pada PileCap Trestle

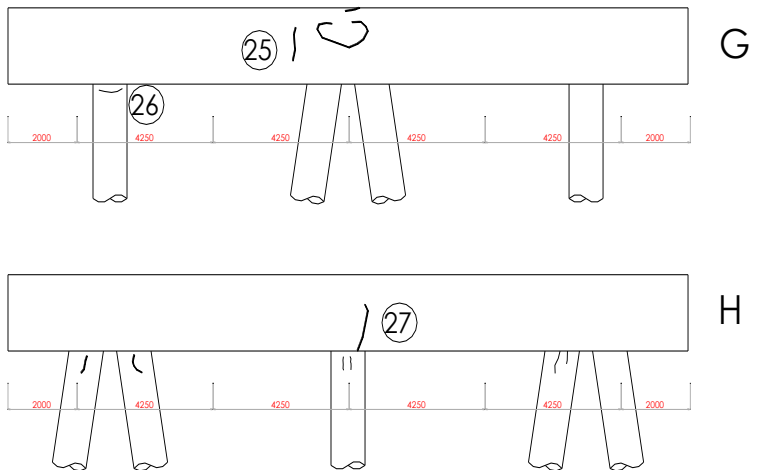
Dari hasil survei lebar retak disajikan pada gambar 8.15 – 8.23 berikut.



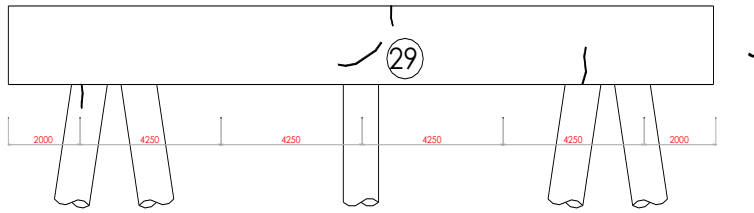
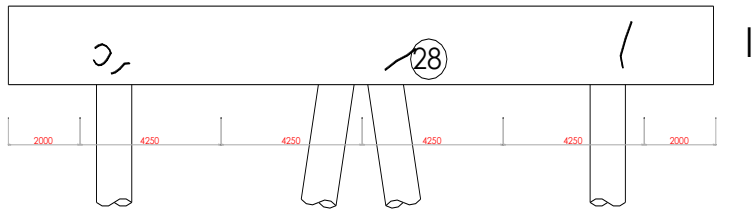
Gambar 8.15 Pola retak pada pilecap trestle as C dan D



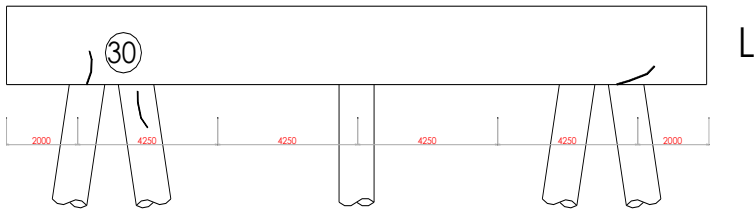
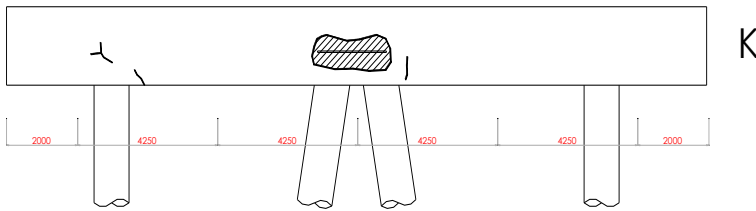
Gambar 8.16 Pola retak pada pilecap trestle as E dan F



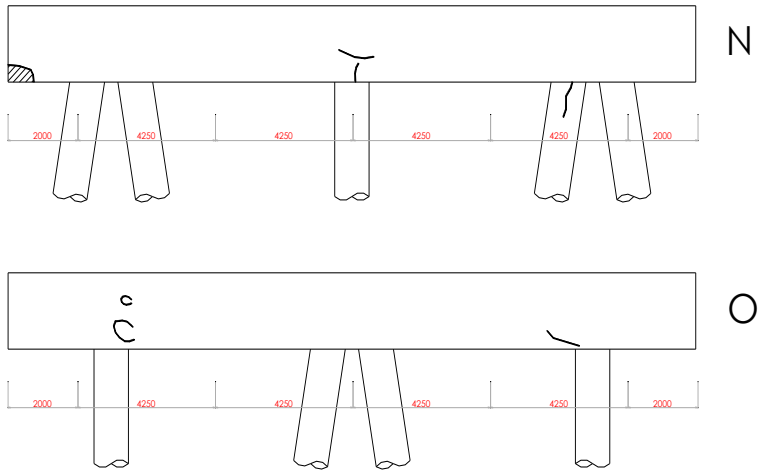
Gambar 8.17 Pola retak pada pilecap trestle as G dan H



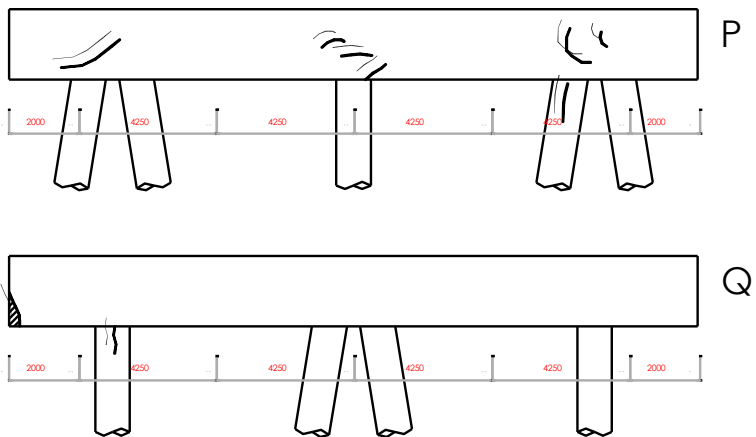
Gambar 8.18 Pola retak pada pilecap trestle I dan J



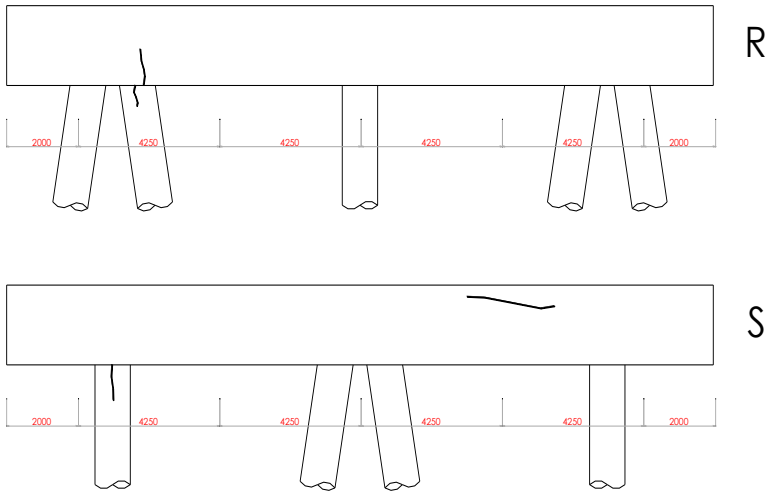
Gambar 8.19 Pola retak pada pilecap trestle as K dan L



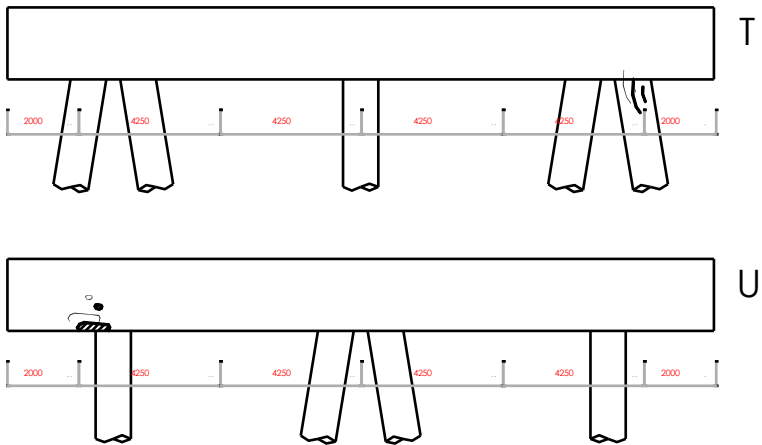
Gambar 8.20 Pola retak pada pilecap trestle as N dan O



Gambar 8.21 Pola retak pada pilecap trestle as P dan Q



Gambar 8.22 Pola retak pada pilecap trussle as R dan S



Gambar 8.23 Pola retak pada pilecap trussle as T dan U

Dari hasil analisa elemen pilecap trestle pada sub bab 7.5 bahwa pilecap trestle relative aman sampai dengan tahun 2028. Permasalahan yang dihadapi adalah terjadi pengelupasan selimut beton (*delaminating*) dan rompal-rompal pada permukaan beton (*spalling*) sehingga tulangan beton terbuka dan telah terkorosi. Dari hasil pemeriksaan ini diidentifikasi bahwa beton pilecap trestle masih *safe condition* untuk dioperasikan. Hasil uji karbonasi permukaan menunjukkan bahwa permukaan beton sebagian mengalami kerusakan terdegradasi dan terkarbonasi. Indikasi karbonasi atau korosi beton hanya terjadi sampai dengan kedalaman 1,5 – 2,5 cm. Selebihnya kondisi masih cukup baik dan tidak mengalami karbonasi. Hasil uji *hammer test* menunjukkan kuat tekan rata-rata 40,54 MPa yang mengindikasikan beton masih cukup baik.

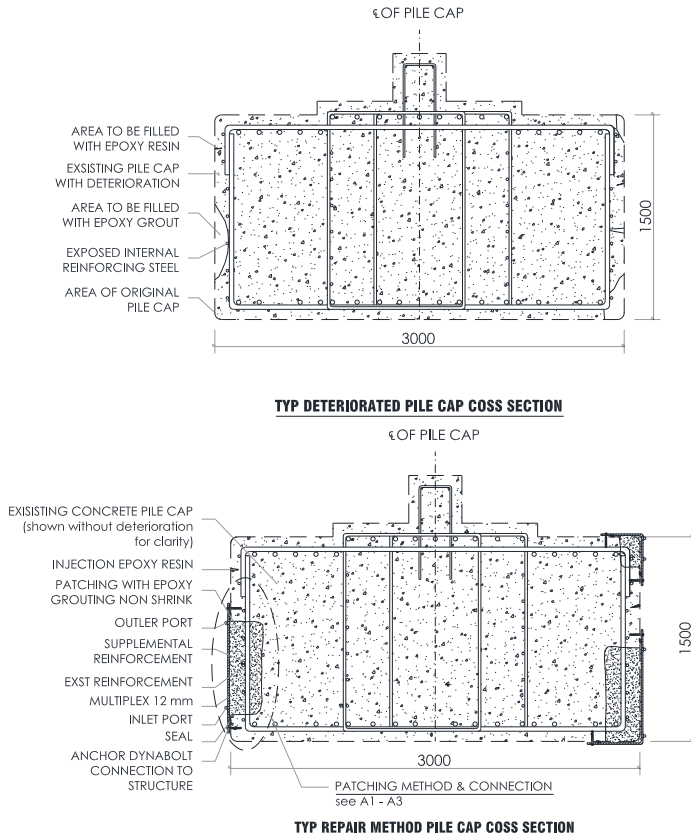


Gambar 8.24 Uji karbonasi dan spalling selimut beton

Untuk itu diperlukan tindakan perbaikan lebih lanjut dengan menggunakan spesifikasi material perbaikan yang cocok dan sesuai, dapat bonding dengan material beton eksisting sehingga dapat mengembalikan bentuk, dimensi dan konfigurasi beton pilecap trestle. Spesifikasi material yang dianggap sesuai ialah *non shrinkage, natural aggregate, fibre reinforced for marine environment structure, and concrete repair* dengan metode grouting. Penggunaan spesifikasi material *flowable micro concrete* yaitu beton menggunakan bahan agregat micro dan bersifat flowable metode grouting sehingga dapat menjangkau keseluruhan area.

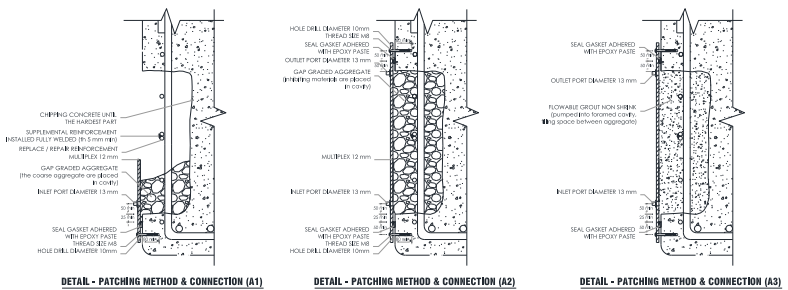
8.3.1 Metode Perbaikan *Grouting Flowable Micro Concrete*

Pekerjaan perbaikan *spalling* permukaan beton dengan metode ini pada prinsipnya untuk memperbaiki permukaan beton yang rusak agar kualitasnya baik kembali mendekati kondisi semula. Serta meningkatkan duktilitas (kekedapan) beton sehingga uap air atau udara lembab tidak masuk kedalam lingkungan internal beton. Metode ini juga efektif dimana tulangan beton dapat dikerjakan.



Gambar 8.25 Sketsa dan prinsip perbaikan dengan metode *grouting flowable micro concrete*

Selama proses perbaikan maka dibuat *scaffolding* dengan bertumpu pada struktur eksisting. Sebelum pelaksanaan perbaikan, beton yang terkelupas dilakukan *chipping* sekitar 5 cm sedangkan tulangan dibersihkan dari lapisan korosi. Tulangan baru dipasang pada tulangan eksisting dan diikat menggunakan tulangan konektor yang telah dicelupkan bahan *epoxy*. Pemasangan dan penggunaan *formwork* disesuaikan dengan dimensi plat dan memiliki struktur yang kokoh untuk menahan tekanan *micro concrete* yang mengembang.



Gambar 8.26 Ilustrasi perbaikan grouting pada pilecap

a. Bahan dan Alat yang dipergunakan

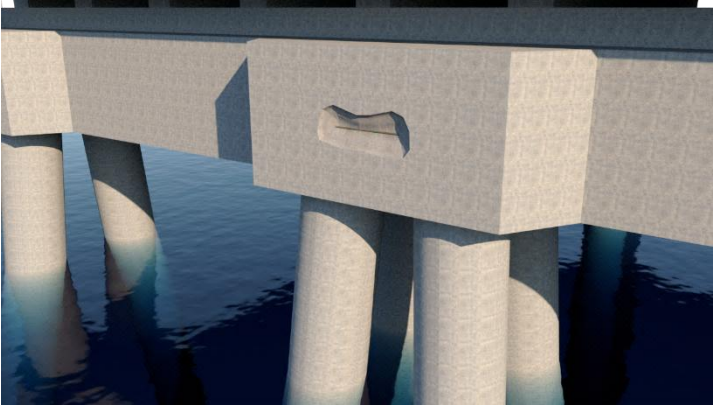
- Spesifikasi teknis untuk grouting beton yang digunakan dalam pekerjaan:

Produk	= SikaGrout 215 (new)
Bahan dasar	= cementitious non shrink
Flowability	= 240 – 280 mm (flow cone)
Kuat tekan (1 hari)	= 25 MPa
Kuat tekan (3 hari)	= 40 MPa
Kuat lentur (28 hari)	= > 6,0 MPa

- Tabung injeksi, harus sesuai dengan daya tampung material grouting. Tekanan yang diperlukan harus mampu mengalirkan material secara stabil
- Kompresor, berguna untuk mensuplai tekanan udara secara terus menerus dan stabil ke dalam tabung injeksi
- Mixer, berguna untuk membuat campuran agar homogen
- Sikat besi, alat pendukung terkait pekerjaan injeksi

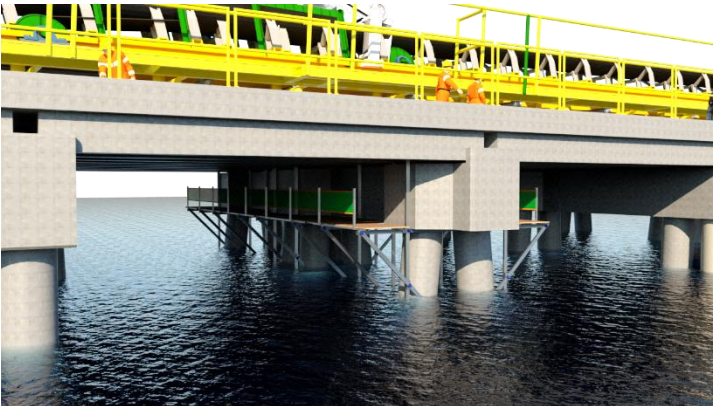
b. Urutan Langkah Pengerjaan Grouting**- Pekerjaan Marking Area**

- a) Pekerjaan ini dimaksudkan untuk mengetahui luasan dan volume *spalling* yang akan dikerjakan, sehingga mempermudah perhitungan volume material



Gambar 8.27 Ilustrasi Pekerjaan Marking Area Spalling

- b) Pemasangan scaffolding untuk mempermudah pekerjaan perbaikan



Gambar 8.28 Ilustrasi Pemasangan Scaffolding untuk Perbaikan Pile Cap

- **Pekerjaan Persiapan**

- a) Lakukan pekerjaan chipping sampai kedalaman 30-50 mm atau sampai dengan tulangan beton dapat dikerjakan dengan bentuk dan konfigurasi chipping yang benar hingga ke bagian beton yang masih utuh dan keras, dan pastikan permukaan beton yang akan direpair bebas kotoran, debu dan minyak



Gambar 8.29 Ilustrasi Pekerjaan *Chipping* Beton

- b) Tulangan yang telah mengalami korosi harus dibersihkan sampai bersih, baik dengan cara mekanis (memakai sikat besi, ataupun gerindra) maupun kimiawi

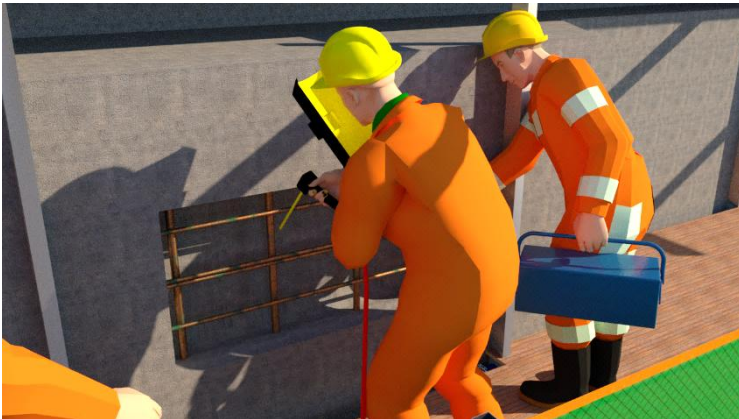


Gambar 8.30 Ilustrasi Pembersihan Baja Tulangan Terkorosi

- c) Pastikan bahwa tulangan beton yang rusak telah diganti dan disambung dengan benar, serta dilapisi dengan anti korosi dan jarak tulangan beton dengan *formwork* > 75 mm



Gambar 8.31 Ilustrasi Penambahan Baja Tulangan pada Tulangan yang Terkorosi



Gambar 8.32 Ilustrasi Pengelasan Baja Tulangan Baru pada Tulangan yang Terkorosi

- d) Pasang *formwork* yang digunakan dengan baik dan benar sesuai dengan bentuk, dimensi dan konfigurasi desain



Gambar 8.33 Ilustrasi Pemasangan *Formwork*

- e) Pastikan permukaan beton eksisting telah benar-benar bersih, telah dijenuhkan dengan air dan telah dilaburi dengan *bonding agent*. Lalu penempatan dan penataan agregat kasar yang telah dicuci dan dalam keadaan kering permukaan (*surface saturated dry*) kedalam rongga yang akan di *grouting*



Gambar 8.34 Ilustrasi *Pre-Placed Aggregate*

- **Pengaplikasian *Grouting Flowable Micro Concrete***

- a) Periksa kesiapan material *micro concrete grouting* yang digunakan sesuai dengan spesifikasi material yang digunakan untuk *repair*



Gambar 8.35 Ilustrasi pengecekan *formwork* dan material

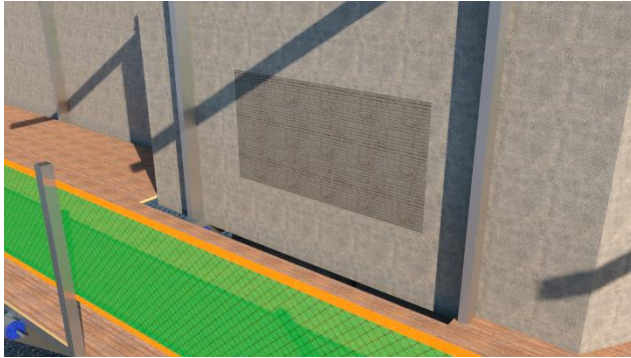
- b) Mixing campuran material *micro concrete* hingga homogen lalu dituang kedalam mesin grouting
 c) Periksa tekanan udara dari air compressor yang dihubungkan dengan ke mesin untuk dilakukan grouting ke lokasi yang akan diperbaiki



Gambar 8.36 Ilustrasi Proses *Injection Grouting Non-Shrink*

- d) Proses grouting berakhir/selesai jika material grouting mengalir melalui lubang kontrol grouting pada titik yang terjauh/ tertinggi

- e) Setelah pekerjaan grouting selesai *formwork* dilepas, bekas-bekasnya dibersihkan dan dilakukan curing/perawatan keras dengan menjaga beton tetap dalam kondisi lembab (*curing compound*)



Gambar 8.37 Ilustrasi Pelepasan *Formwork* pada pilecap

- **Finishing**

Masa pengerasan usai setelah 3x24 jam pasca pelapisan cairan berikutnya, setelah proses tersebut maka lanjut ke langkah berikutnya yaitu pekerjaan *corrosion inhibitor* yang telah dijelaskan pada pasal 8.2.2



Gambar 8.38 Ilustrasi hasil akhir perbaikan *grouting*

8.4 Perbaiki Kerusakan pada *Jacketing Mortar* Tiang Pancang

Dari hasil analisa elemen tiang pancang trestle pada sub bab 7.6 bahwa pilecap trestle relative aman sampai dengan tahun 2028. Permasalahan yang dihadapi adalah terjadinya kerusakan pondasi tiang pada daerah *splash zone* yaitu keretakan dan pengelupasan *jacketing mortar* sehingga baja tiang terbuka dan jika tidak segera dilakukan perbaikan sewaktu-waktu struktur dermaga dapat mengalami keruntuhan (*collapse*). Untuk daerah *underwater* kondisi tiang pancang masih dalam keadaan baik dengan hasil rata-rata ketebalan baja tiang sebesar 21,52 mm. Serta pengorbanan anoda pada sistem proteksi katodik yang telah dilakukan masih berfungsi secara baik.

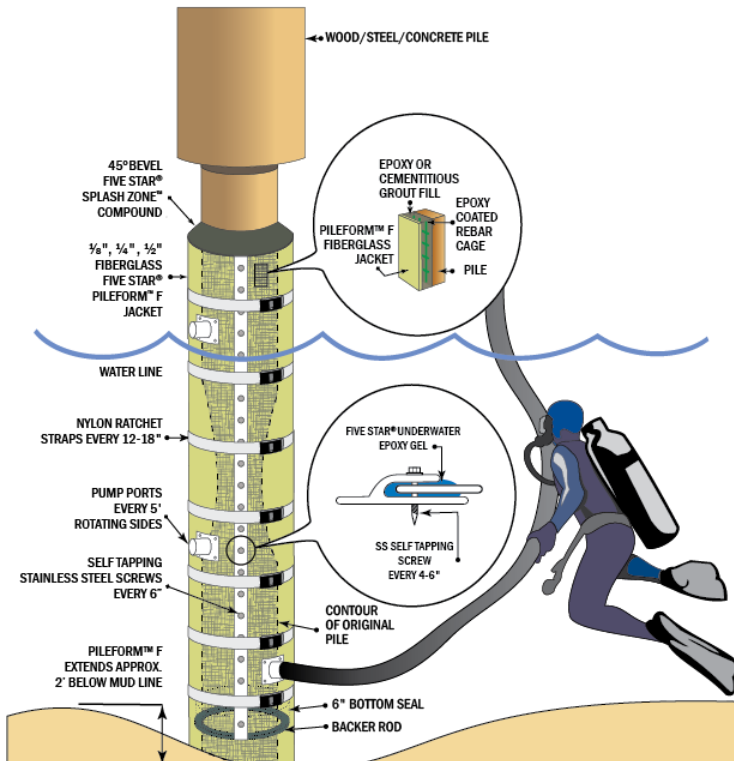


Gambar 8.39 Kondisi kerusakan *jacketing mortar* pancang



Gambar 8.40 Pemeriksaan tebal pancang dan *cathodic* bawah air laut

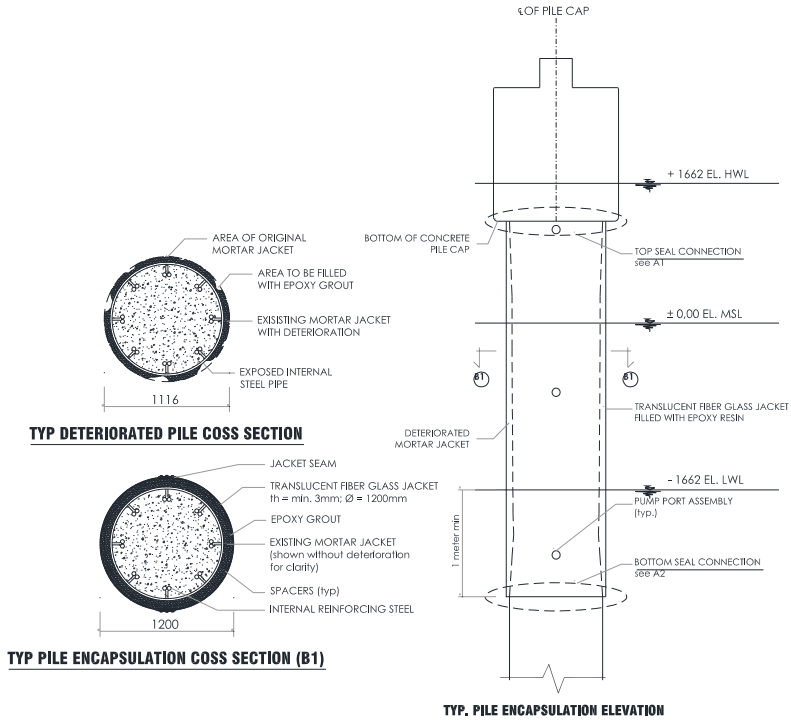
Faktor penyebabnya dari hasil analisa yang sudah dipaparkan pada bab-bab sebelumnya ialah spesifikasi material pondasi tiang dermaga yang tidak resistance terhadap sifat korosif air laut dan usia material terpasang yang telah > 20 tahun, tidak resistance terhadap abrasi gelombang dan pasang surut air laut, serta pertumbuhan *marine organism* yang merusak permukaan pondasi tiang. Dari faktor penyebab diatas serta faktor kesulitan metode kerja yang akan digunakan, maka untuk perbaikan yang paling efisien digunakan ialah *Pile Encapsulation System*.



Gambar 8.41 Detail pile encapsulation system

8.4.1 Metode Perbaikan *Pile Encapsulation System*

Pile encapsulation System ini terdiri dari *jacket seam*, *fiber glass jacket*, dan *epoxy grout* sebagai perlindungan terhadap air, udara penyebab korosi, dan pengaruh cuaca.



Gambar 8.42 Metode Perbaikan *Pile Encapsulation*

a. Bahan dan Alat yang dipergunakan

- Spesifikasi teknis FIBER GLASS *jacket* untuk *pile encapsulation* yang digunakan dalam pekerjaan:

Tebal	= 3 – 5 mm
Kuat tarik min.	= 110 MPa
Kuat lentur min.	= 170 MPa
M. Elastisitas	= 5500 MPa
Max water abs	= 1%

- Spesifikasi teknis untuk grouting beton yang digunakan dalam pekerjaan:

Produk	= SikaGrout 215 (new)
Bahan dasar	= cementitious non shrink
Flowability	= 240 – 280 mm (flow cone)
Kuat tekan (1 hari)	= 25 MPa
Kuat tekan (3 hari)	= 40 MPa
Kuat lentur (28 hari)	= > 6,0 MPa

b. Urutan Langkah Pemasangan *Pile Encapsulation System*

- **Persiapan Awal**
 - a) Persiapkan semua alat dan bahan yang digunakan dalam pemasangan yang nantinya akan dipindahkan menuju lokasi tiang pancang
 - b) Pengukuran panjang tiang pancang dari *bottom pilecap* hingga 1 meter dibawah air surut terendah sehingga saat tahap pemasangan *fiber glass jacket*, bisa langsung terpasang sempurna
 - c) Bersihkan tiang pancang mulai dari *bottom pilecap* sampai dengan 1 meter dibawah surut terendah dari biota laut, delaminasi beton dengan menggunakan alat bantu *scrap*



Gambar 8.43 Ilustrasi pembersihan permukaan tiang

- **Pengaplikasian *Pile Encapsulation System***

- a) Oleskan seal gasket dengan epoxy pasta hingga merata pada *fiber glass jacket*



Gambar 8.44 Ilustrasi pengolesan *seal gasket* dengan *epoxy pasta*

- b) Pembalutan tiang pancang dengan *fiber glass jacket* dengan jarak 10 – 15 mm antara *annulus fiber glass* dengan struktur tiang pancang



Gambar 8.45 Ilustrasi pemasangan *fiberglass jacket* terhadap struktur tiang pancang

- c) Pemasangan sistem penguat sementara (*temporary bracing*) sebagai penahan tekanan dan pengolesan *seal gasket epoxy pasta* pada bagian bawah jacket



Gambar 8.46 Ilustrasi pemasangan *temprrary bracing* pada *fiberglass jacket*

- d) Proses mixing material epoxy grout dengan pasir hingga homogen, selanjutnya material tersebut di injeksi kedalam *fiber glass Jacket* yang sudah terinstal sebelumnya di bagian bawah. Epoxy grout akan terpompa hingga *annulus* dan air didalam *fiber glass jacket* akan berpindah keluar melalui titik teratas *fiber glass jacket (top of jacket)*



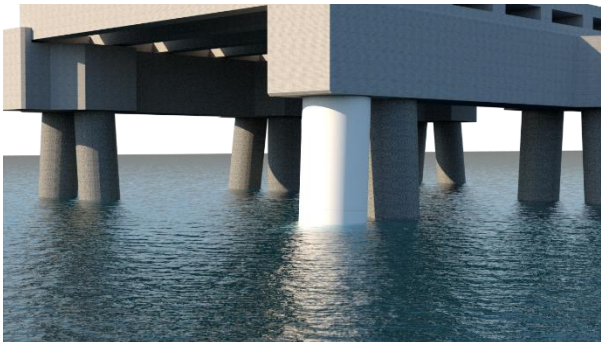
Gambar 8.47 Ilustrasi proses injeksi *epoxy grout*



Gambar 8.48 Ilustrasi injeksi *epoxy grout* hingga *topping off*

- **Finishing**

Tahap pengecekan akhir pelepasan bracing dan memastikan *pile encapsulation system* terpasang sempurna.



Gambar 8.49 Ilustrasi *finishing* pengecekan akhir *Pile Encapsulation System*

8.5 Rencana Anggaran Biaya

Setelah menentukan jenis dan metode perbaikan yang digunakan pada trestle dermaga, maka tahap selanjutnya ialah menghitung kebutuhan harga yang dibutuhkan dalam melaksanakan perbaikan yang telah direncanakan.

8.5.1 Perkiraan Volume Pekerjaan

Acuan dalam melakukan estimasi rencana anggaran biaya ialah volume pekerjaan. Berikut hasil perhitungan volume pekerjaan untuk tiap jenis metode perbaikan.

a. Pekerjaan *Injection Epoxy*

Pengukuran pekerjaan ini dihitung dengan satuan volume (liter), pendekatan dan asumsi terkait panjang, lebar, dan kedalaman retak. Berikut disajikan rekapitulasi perhitungan.

Tabel 8.3 Perhitungan Volume Pekerjaan Injection Plat Lantai

Jumlah panjang retak plat	139,11	m
Lebar retak	0,0012	m
Kedalaman retak	0,12	m
Perkiraan luas plat perbaikan	0,17	m ²
Perkiraan luas plat perbaikan + SF	0,83	m ²
Panjang plat	230,00	m
Lebar plat	19,00	m
Luat pelat	4370,00	m ²
Kedalaman pelat yang diinjection	0,10	m
Density	1,08	kg/L
Volume perbaikan	0,08	m³
Volume perbaikan	83,47	liter

b. Pekerjaan *Corrosion Inhibitor Coating dan Concrete Coating*

Pengukuran pekerjaan ini dihitung dengan satuan luas (m²). Berikut disajikan rekapitulasi perhitungan.

Tabel 8.4 Perhitungan Luas Pekerjaan Coating Plat Lantai

Safety Factor	2	
Panjang pelat	230	m
Lebar pelat	19	m
Luas pelat atas	4370,0	m ²
Luas pelat bawah	3533,3	m ²
Luas total	7903,3	m ²
Konsumsi	0,05	kg/m ²
Luas perbaikan	7903,30	m²

Tabel 8.5 Perhitungan Luas Pekerjaan Coating Balok Girder

Safety Factor	2	
Panjang girder	9,8	m
Lebar girder	0,5	m
Tinggi girder	0,7	m
Luas girder	18,6	m ²
Konsumsi	0,05	kg/m ²
Luas perbaikan	18,6	m²

c. Pekerjaan *Grouting Non Shrink dan Patching*

Pengukuran pekerjaan ini dihitung dengan satuan volume (m³), pendekatan dan asumsi terkait panjang, lebar, dan kedalaman spalling beton. Berikut disajikan rekapitulasi perhitungan.

Tabel 8.6 Perhitungan Volume Pekerjaan *Grouting* PileCap

Kedalaman pilecap yang digrouting	0,2	m
Luas keseluruhan pilecap	279,22	m ²
Asumsi prosentase grouting	2	%
Asumsi luas grouting pilecap	5,58	m ²
Volume perbaikan	1,1	m³

Tabel 8.7 Perhitungan Volume Pekerjaan *Patching* PileCap

Kedalaman pilecap yang dipatching	0,2	m
Luas keseluruhan pilecap	279,22	m ²
Asumsi prosentase grouting	5	%
Asumsi luas grouting pilecap	13,96101	m ²
Volume perbaikan	2,8	m³

d. Pekerjaan *Pile Encapsulation System*

Pengukuran pekerjaan ini dihitung dengan satuan luas (m^2), pendekatan dan asumsi terkait panjang, lebar, dan kedalaman muka pasang dan surut air. Berikut disajikan rekapitulasi perhitungan.

Tabel 8.8 Perhitungan Kebutuhan *Pile Encapsulation* per tiang

Panjang tiang yang diperbaiki	4,5	m
Keliling pancang	3,8	m
Diameter awal	1,116	m
Jarak spacers	0,020	m
Luas grout	0,035	m^2
Luas perbaikan <i>fiber glass jacket</i>	17,0	m^2 /tiang
Kebutuhan semen grout	0,16	m^3 /tiang
Konsumsi semen grout (brosur)	1940	kg/m^3
Kebutuhan Paste	308,82	kg /tiang

8.5.2 Daftar Harga Bahan

Berikut disajikan harga-harga bahan yang digunakan dalam perhitungan.

Tabel 8.9 Rekapitulasi Daftar Harga Bahan

No.	Bahan	Satuan	Harga (Rp)	Stok di pasaran	
1	Sikadur 752 (Injection)	Kg	Rp 247.500,00	10 kg	2.475.000,00
2	Sikadur 41 CF	Kg	Rp 43.818,18	11 kg	482.000,00
3	Sika FerroGard 903	Kg	Rp 60.869,57	230 kg	14.000.000,00
4	Sikagard 63 N	Kg	Rp 50.578,57	20 kg	3.540.500,00
5	SikaGrout 215 (new) (Grouting Non Shrink)	Kg	Rp 4.280,00	25 kg	107.000,00
6	Neaple	bh	Rp 5.000,00		
7	Material bantu (grouting)	liter	Rp 31.000,00		
8	Kawat bendrat	m ²	Rp 7.000,00		
9	Besi strip	Kg	Rp 15.000,00		
10	Alat Bantu	buah	Rp 10.000,00		
11	Air	liter	Rp 350,00		
12	Sika Epoxy Seal	kg	Rp 15.000,00	20 kg	300.000,00
13	Fiber Glass Jacket	m ²	Rp 800.000,00		
17	Locating Band	buah	Rp 30.000,00		
18	Nut SS 316	buah	Rp 17.500,00		

8.5.3 Daftar Analisa Harga Satuan

Berikut hasil rekapitulasi analisa harga satuan untuk setiap pekerjaan.

Tabel 8.10 Analisa Harga Satuan Pekerjaan *Epoxy Injection* (pembayaran dalam liter)

No	Komponen	Unit Kemampuan	Kuantitas	Harga Sat. Komponen (Rp)	Biaya (Rp)
i	Material				
	Epoxy Injection (Sikadur 752)	kg	0,20	Rp 247.500,00	Rp 49.500,00
	Material Sealent (Sikadur 41 CF)	kg	0,30	Rp 43.819,00	Rp 13.146,00
	Neaple	bh	5,00	Rp 5.000,00	Rp 25.000,00
	Material Bantu	LS	1,00	Rp 10.000,00	Rp 10.000,00
			Sub Total	Rp 97.646,00	
ii	Tenaga Kerja				
	Tenaga Ahli	jam	2,00	Rp 20.000,00	Rp 40.000,00
	Tukang	jam	4,00	Rp 15.000,00	Rp 60.000,00
	Pekerja Terampil	jam	8,00	Rp 15.000,00	Rp 120.000,00
	Operator	jam	8,00	Rp 15.000,00	Rp 120.000,00
			Sub Total	Rp 340.000,00	
iii	Peralatan				
	Mesin Bor dia 18 mm	jam	0,50	Rp 7.500,00	Rp 3.750,00
	Hand mixer	jam	1,00	Rp 2.500,00	Rp 2.500,00
	Kompresor	jam	1,00	Rp 2.000,00	Rp 2.000,00
	Gerinda	jam	1,00	Rp 1.400,00	Rp 1.400,00
	Alat bantu	LS	1,00	Rp 2.500,00	Rp 2.500,00
			Sub Total	Rp 9.650,00	
TOTAL HARGA SATUAN					Rp 447.296,00

Tabel 8.11 Analisa Harga Satuan Pekerjaan *Corrosion Inhibitor Coating* (pembayaran dalam m²)

No.	Komponen	Unit Kemampuan	Kuantitas	Harga Sat. Komponen (Rp)	Biaya (Rp)
i	Material				
	Corrosion Inhibitor (Sika FerroGard 903)	kg	0,05	Rp 60.869,57	Rp 3.043,48
	Material Bantu	LS	0,05	Rp 10.000,00	Rp 500,00
				Sub Total	Rp 3.543,48
ii	Tenaga Kerja				
	Tenaga Ahli	jam	0,02	Rp 20.000,00	Rp 333,33
	Tukang	jam	0,05	Rp 15.000,00	Rp 750,00
	Pekerja Terampil	jam	0,03	Rp 15.000,00	Rp 375,00
			Sub Total	Rp 1.458,33	
iii	Peralatan				
	Spray	jam	0,05	Rp 7.500,00	Rp 375,00
	Alat bantu	LS	0,05	Rp 2.500,00	Rp 125,00
			Sub Total	Rp 500,00	
TOTAL HARGA SATUAN					Rp 5.502,00

Tabel 8.12 Analisa Harga Satuan Pekerjaan *Concrete Coating* (pembayaran dalam m²)

No.	Komponen	Unit Kemampuan	Kuantitas	Harga Sat. Komponen (Rp)	Biaya (Rp)
i	Material				
	Coating (Sikagard 63 N)	kg	0,05	Rp 50.578,57	Rp 2.528,93
	Material Bantu	LS	0,05	Rp 10.000,00	Rp 500,00
				Sub Total	Rp 3.028,93
ii	Tenaga Kerja				
	Tenaga Ahli	jam	0,02	Rp 20.000,00	Rp 333,33
	Tukang	jam	0,05	Rp 15.000,00	Rp 750,00
	Pekerja Terampil	jam	0,03	Rp 15.000,00	Rp 375,00
			Sub Total	Rp 1.458,33	
iii	Peralatan				
	Spray	jam	0,05	Rp 7.500,00	Rp 375,00
	Alat bantu	LS	0,05	Rp 2.500,00	Rp 125,00
			Sub Total	Rp 500,00	
TOTAL HARGA SATUAN					Rp 4.987,26

Tabel 8.13 Analisa Harga Satuan Pekerjaan *Grouting Non Shrink* (pembayaran dalam m³)

No.	Komponen	Unit Kemampuan	Kuantitas	Harga Sat. Komponen (Rp)	Biaya (Rp)
i	Material				
	Grouting (SikaGrout 215 (new))	kg	161,00	Rp 4.280,00	Rp 689.080,00
	Besi Beton	kg	25,00	Rp 15.000,00	Rp 375.000,00
	Air	ltr	1,10	Rp 350,00	Rp 385,00
	Bekisting	m ²	20,00	Rp 125.000,00	Rp 2.500.000,00
	Las	bh	8,00	Rp 90.000,00	Rp 720.000,00
	Kawat Bendrat	m ²	1,20	Rp 7.000,00	Rp 8.400,00
	Material Bantu	LS	5,00	Rp 10.000,00	Rp 50.000,00
			Sub Total	Rp 4.342.865,00	
ii	Tenaga Kerja				
	Tenaga Ahli	jam	4,00	Rp 100.000,00	Rp 400.000,00
	Tukang	jam	8,00	Rp 80.000,00	Rp 640.000,00
	Pekerja Terampil	jam	8,00	Rp 80.000,00	Rp 640.000,00
	Operator	jam	5,00	Rp 90.000,00	Rp 450.000,00
			Sub Total	Rp 2.130.000,00	
iii	Peralatan				
	Mesin Bor dia 18 mm	jam	0,50	Rp 7.500,00	Rp 3.750,00
	Hand mixer	jam	1,00	Rp 2.500,00	Rp 2.500,00
	Kompresor	jam	1,00	Rp 2.000,00	Rp 2.000,00
	Gerinda	jam	1,00	Rp 1.400,00	Rp 1.400,00
	Alat bantu	LS	1,00	Rp 15.000,00	Rp 15.000,00
			Sub Total	Rp 24.650,00	
TOTAL HARGA SATUAN					Rp 6.497.515,00

Tabel 8.14 Analisa Harga Satuan Pekerjaan *Patching* (pembayaran dalam m³)

No.	Komponen	Unit Kemampuan	Kuantitas	Harga Sat. Komponen (Rp)	Biaya (Rp)
i	Material				
	Grouting (SikaGrout 215 (new))	kg	161,00	Rp 4.280,00	Rp 689.080,00
	Air	ltr	1,10	Rp 350,00	Rp 385,00
	Bekisting	m ²	20,00	Rp 125.000,00	Rp 2.500.000,00
	Material Bantu	LS	5,00	Rp 10.000,00	Rp 50.000,00
			Sub Total	Rp 3.239.465,00	
ii	Tenaga Kerja				
	Tenaga Ahli	jam	4,00	Rp 100.000,00	Rp 400.000,00
	Tukang	jam	8,00	Rp 80.000,00	Rp 640.000,00
	Pekerja Terampil	jam	8,00	Rp 80.000,00	Rp 640.000,00
	Operator	jam	5,00	Rp 90.000,00	Rp 450.000,00
			Sub Total	Rp 2.130.000,00	
iii	Peralatan				
	Mesin Bor dia 18 mm	jam	0,50	Rp 7.500,00	Rp 3.750,00
	Hand mixer	jam	1,00	Rp 2.500,00	Rp 2.500,00
	Kompresor	jam	1,00	Rp 2.000,00	Rp 2.000,00
	Gerinda	jam	1,00	Rp 1.400,00	Rp 1.400,00
	Alat bantu	LS	1,00	Rp 15.000,00	Rp 15.000,00
			Sub Total	Rp 24.650,00	
TOTAL HARGA SATUAN					Rp 5.394.115,00

Tabel 8.15 Analisa Harga Satuan Pekerjaan *Pile Encapsulation* (pembayaran dalam buah)

No.	Komponen	Unit Kemampuan	Kuantitas	Harga Sat. Komponen (Rp)	Biaya (Rp)
i	Material				
	Grouting non shrink (SikaGrout)	kg	308,82	Rp 4.280,00	Rp 1.321.740,70
	Air	ltr	1,10	Rp 350,00	Rp 385,00
	Fiber Glass Jacket (4 mm)	m ²	16,96	Rp 800.000,00	Rp 13.571.681,00
	Seal Epoxy Paste	kg	0,70	Rp 15.000,00	Rp 10.500,00
	Nut SS 316	bh	12,00	Rp 17.500,00	Rp 210.000,00
	Locating Band	bh	1,00	Rp 30.000,00	Rp 30.000,00
	Material Bantu	LS	1,00	Rp 10.000,00	Rp 10.000,00
			Sub Total	Rp 15.244.306,70	
ii	Tenaga Kerja				
	Tenaga Ahli	jam	3,00	Rp 50.000,00	Rp 150.000,00
	Tukang	jam	4,00	Rp 30.000,00	Rp 120.000,00
	Pekerja Terampil	jam	4,00	Rp 30.000,00	Rp 120.000,00
	Penyelam	jam	4,00	Rp 80.000,00	Rp 320.000,00
			Sub Total	Rp 710.000,00	
iii	Peralatan				
	Scrap	jam	1,00	Rp 7.500,00	Rp 7.500,00
	Alat bantu	LS	1,00	Rp 2.500,00	Rp 2.500,00
				Sub Total	Rp 7.500,00
TOTAL HARGA SATUAN					Rp 15.961.806,70

8.5.4 Analisa Rencana Anggaran Biaya

Dari hasil perhitungan volume serta analisa harga satuan, didapatkan rencana anggaran biaya untuk semua jenis pekerjaan. Berikut hasil rekapitulasi analisa rencana anggaran biaya.

Tabel 8.16 Analisa Keseluruhan Rencana Anggaran Biaya

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)	Total Harga (Rp)
<u>A PEKERJAAN PERSIAPAN</u>						16.700.000,00
1	Mobilisasi Tenaga dan Peralatan	LS	1,000	10.000.000,00	10.000.000,00	
2	Pembuatan Gambar Kerja (Shop Drawing)	LS	1,000	3.000.000,00	3.000.000,00	
3	Pembuatan Gambar Terlaksana	LS	1,000	3.500.000,00	3.500.000,00	
4	Pembuatan Laporan Progress Pekerjaan	Bulan	2,000	100.000,00	200.000,00	
<u>B PEKERJAAN INJECTION EPOXY PLAT LANTAI</u>						37.334.414,07
1	Pekerjaan Epoxi Injection Sikadu 752	lt	83,467	447.296,00	37.334.414,07	
<u>C PEKERJAAN CORROSION INHIBITOR PLAT LANTAI</u>						46.483.949,72
1	Pasang Scaffolding Gantung	LS	1,000	3.000.000,00	3.000.000,00	
2	Pekerjaan Corrosion Coating Sika FerroGard 903	m ²	7903,299	5.502,00	43.483.949,72	
<u>D PEKERJAAN CONCRETE COATING PLAT LANTAI</u>						42.415.820,78
1	Pasang Scaffolding Gantung	LS	1,000	3.000.000,00	3.000.000,00	
2	Pekerjaan Concrete Coating Sika Gard 63N	m ²	7903,299	4.987,26	39.415.820,78	

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)	Total Harga (Rp)
<u>E PEKERJAAN CORROSION INHIBITOR BALOK GIRDER</u>						3.102.447,24
1	Pasang Scaffolding Gantung	LS	1,000	3.000.000,00	3.000.000,00	
2	Pekerjaan Corrosion Coating Sika FerroGard 903	m ²	18,620	5.502,00	102.447,24	
<u>F PEKERJAAN CONCRETE COATING BALOK GIRDER</u>						3.092.862,82
1	Pasang Scaffolding Gantung	LS	1,000	3.000.000,00	3.000.000,00	
2	Pekerjaan Corrosion Coating Sika FerroGard 903	m ²	18,620	4.987,26	92.862,82	
<u>G PEKERJAAN PATCHING PILECAP</u>						23.061.459,01
1	Pekerjaan Pasang Scaffolding Gantung	LS	1,000	3.000.000,00	3.000.000,00	
2	Pekerjaan Chipping Beton	LS	1,000	5.000.000,00	5.000.000,00	
3	Pekerjaan Patching Sika Grout 215 (new)	m ³	2,792	5.394.115,00	15.061.459,01	
<u>H PEKERJAAN GROUTING NON SHRINK PILECAP</u>						15.256.949,91
1	Pekerjaan Pasang Scaffolding Gantung	LS	1,000	3.000.000,00	3.000.000,00	
2	Pekerjaan Chipping Beton	LS	1,000	5.000.000,00	5.000.000,00	
3	Pekerjaan Patching Sika Grout 215 (new)	m ³	1,117	6.497.515,00	7.256.949,91	
<u>I PEKERJAAN PILE ENCAPSULATION SYSTEM</u>						951.746.597,56
1	Pekerjaan Pembersihan Marine Grout	LS	1,000	10.000.000,00	10.000.000,00	
2	Pekerjaan Pemasangan Pile Encapsulation	bh	59	15.961.806,74	941.746.597,56	

Tabel 8.17 Rekapitulasi Total Rencana Anggaran Biaya Perbaikan Trestle

No	Jenis Pekerjaan	Harga (Rp)
I	PEKERJAAN PERSIAPAN	Rp 16.700.000,00
II	PEKERJAAN INJECTION EPOXY PLAT LANTAI	Rp 37.334.414,07
III	PEKERJAAN CORROSION INHIBITOR PLAT LANTAI	Rp 46.483.949,72
IV	PEKERJAAN CONCRETE COATING PLAT LANTAI	Rp 42.415.820,78
V	PEKERJAAN CORROSION INHIBITOR BALOK GIRDER	Rp 3.102.447,24
VI	PEKERJAAN CONCRETE COATING BALOK GIRDER	Rp 3.092.862,82
VII	PEKERJAAN PATCHING PILECAP	Rp 23.061.459,01
VIII	PEKERJAAN GROUTING NON SHRINK PILECAP	Rp 15.256.949,91
IX	PEKERJAAN PILE ENCAPSULATION SYSTEM	Rp 951.746.597,56
TOTAL JUMLAH		Rp 1.139.194.501,11
PPN 10%		Rp 113.919.450,11
JUMLAH SELURUHNYA		Rp 1.253.113.951,22
DIBULATKAN		Rp 1.253.113.000,00

∴ Hasil total rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk perbaikan trestle dermaga secara keseluruhan sebesar **Rp 1.253.113.000,00 (Satu Miliar Dua Ratus Lima Puluh Tiga Juta Seratus Tiga Belas Ribu Rupiah)**.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IX

KESIMPULAN DAN SARAN

9.1 Kesimpulan

Sesuai hasil analisa perhitungan dari bab-bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil pengamatan visual struktur dan pengujian material eksisting didapatkan hasil sebagai berikut:
 - a. Kandungan air laut disekitar trestle dermaga termasuk ke dalam kelas XA2 sesuai *European Standard EN 206-1* (“*Concrete part 1: Specification, performance, production, and conformity*”) dan S2 sesuai SNI 2847-2013, dimana pada paparan tersebut menyebutkan bahwa nilai maksimum w/c maks = 0,45 – 0,5 dan minimum kuat tekan beton $f'_{c\text{'min}} = 31 - 37$ MPa
 - b. Pada tahun 2018 mutu beton elemen struktur eksisting diperoleh hasil:
 - Pelat trestle, $f'_{c\text{-rata}} = 38,08$ MPa
 - Balok crane, $f'_{c\text{-rata}} = 41,07$ MPa
 - PileCap, $f'_{c\text{-rata}} = 59,45$ MPaDari hasil tersebut semua elemen masih memenuhi persyaratan paparan kandungan air laut ($f'_{cr} > f'_{c\text{-min}}$) dan ($w/c < w/c_{\text{maks}}$)
 - c. Dari hasil mutu beton dari uji tekan beton inti terkini disimpulkan kuat tekan beton terpasang masih memenuhi hasil yang tercantum pada *as build drawing* K400 atau setara dengan ($f'_{ck} = 33,20$ MPa)
 - d. Berdasarkan hasil uji karbonasi permukaan dengan *phenolptalin* untuk elemen plat lantai dan balok crane masih cukup bagus, namun untuk elemen pilecap menunjukkan indikasi korosi sampai kedalaman 1,5 – 2,5 cm. Selebihnya masih cukup baik dan tidak mengalami korosi

- e. Dari hasil uji tebal korosi lapangan diperoleh hasil tebal korosi 57,98 μm pada elemen plat lantai, dan 226,27 μm pada elemen pile cap. Dari hasil analisis diperoleh kecepatan korosi:
- Plat lantai = 0,0021 mm/tahun
 - Balok girder = 0,0129 mm/tahun
 - Pile Cap = 0,0086 mm/tahun
- f. Dari hasil pengujian retak diketahui kedalaman retak pada elemen plat 56,10 mm dengan pengujian UPV (*ultrasonic pulse velocity*), lebar retak 0,4 mm dengan foto pembesaran, serta tebal selimut 49,24 mm (sudah mencapai tulangan) dengan pengujian *bar locator*. Sedangkan untuk elemen pile cap banyak yang mengalami *delaminating* dan *spalling* sehingga tulangan beton terbuka dan telah terkorosi
- g. Dari hasil pengamatan tiang pancang terjadi pengelupasan *jacketing mortar* pada daerah *splash zone*, namun untuk daerah *underwater* kondisi tiang pancang dalam keadaan baik dengan hasil rata-rata ketebalan baja 21,53 mm dengan tebal awal 19 mm dari pengujian *ultrasonic thickness test* dan diketahui bahwa dinding elemen tiang pancang terdapat lapisan pelindung (*protective coating*). Serta pengorbanan anoda pada sistem proteksi katodik masih berfungsi secara baik
- h. Hasil analisa untuk *initial thickness* diasumsikan tiang pancang sebesar 23 mm, karena adanya penambahan tebal lapisan *coating* 4 mm. Dan hasil analisa diketahui laju korosi yang terjadi 0,0656 mm/tahun. Nilai ini masih lebih kecil dari persyaratan minimal, sehingga untuk laju korosi dalam memprediksi kapasitas menggunakan ketentuan minimum laju korosi sebesar 0,1016 mm/tahun untuk daerah tenggelam, dan 0,1524 mm/tahun untuk daerah percikan

2. Dari hasil permodelan dan analisa struktur didapatkan hasil berikut:
 - a. Akibat terjadinya korosi dan penurunan setelah masa operasi selama 26 tahun mengalami penurunan kapasitas:
 - Plat lantai = 10,18%
 - Balok girder = 16,11%
 - Pile Cap = 14,04%
 - RCFT = 23,61%
 - *Steel Pipe* = 22,13%
 - b. Untuk performa kapasitas struktur saat dilakukan *assessment* tahun 2018 masih cukup aman dalam memikul beban hingga 10 tahun kedepan untuk semua elemen struktur dengan dibuktikan tidak adanya angka keamanan (SF) dibawah 1,0
 - c. Untuk retak pada pelat lantai jembatan yang terjadi dibuktikan hasil tegangan plat terjadi melebihi tegangan ijin retak beton
 - d. Untuk retak pada pilecap terjadi karena faktor korosi tulangan, bukan retak struktural. Hal ini dibuktikan kapasitas pilecap $Mu < \phi Mn$
 - e. Dengan menggunakan kombinasi gempa serta modifikasi respon, $R = 1$ untuk pondasi tidak terjadi *overstressed* pada pondasi pipa baja
3. Perbaikan harus dilakukan guna mempertahankan kapasitas trestle dermaga dalam melayani operasionalnya. Untuk metode perbaikan struktur yang dilakukan ialah:
 - a. Perbaikan retak dengan metode *epoxy injection*
 - b. Pelapisan dengan *corrosion inhibitor* dan *concrete coating* pada permukaan elemen, guna melindungi elemen dari pengaruh korosi
 - c. Perbaikan *spalling* dan *delaminating* pada pilecap dengan metode *grouting non shrink* dan *patching*
 - d. Pelapisan pada *jacketing concrete* tiang pancang menggunakan *pile encapsulation system grouting*

Dengan total rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk diperbaiki trestle dermaga secara keseluruhan sebesar Rp 1.253.113.000,00 (Satu Miliar Dua Ratus Lima Puluh Tiga Juta Seratus Tiga Belas Ribu Rupiah).

9.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan demi kebaikan tugas akhir ini ialah:

1. Dalam awal tahap desain dermaga juga perlu ditambahkan ruang struktur pada bagian bawah yang difungsikan untuk pengecekan / pengambilan uji agar semua elemen struktur dermaga dapat terambil
2. Penurunan mutu beton diambil dari asumsi teoritis, oleh karenanya perlu dilakukan penilaian struktur secara berkala agar penurunan material dapat terpantau
3. Untuk mengurangi retak pada pelat lantai kendaraan mungkin bisa menggunakan perkuatan tambahan diafragma pada balok walaupun hasilnya tidak terlalu signifikan. Dimana semestinya dipasang balok melintang agar pelat tidak terjadi lendutan balik
4. Pada saat pengamatan visual struktur dan pengambilan uji harus memenuhi standar yang berlaku dan diperhatikan. Hal tersebut sangat penting agar analisa dan evaluasi struktur mampu merepresentasikan kondisi riil di lapangan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- 7, C. P. r., 2008. *Modelling of reinforcement corrosion in concrete-State of the art*, Oslo: SINTEF Building and Infrastructure.
- AISC 360-10, 2015. *Composite Column Design Manual*. 1st penyunt. United States of America: CSI ETABS 2016.
- Andrade, C., 2007. Chapter 6 Corrosion of steel reinforcement. Dalam: USA: WIT Press, p. vol 28.
- Anon., 2002. *Technical Standards and Commentaries for Port and harbour Facilities in Japan*. Japan: OCIDI.
- Anon., 2015. Substructure Design. *WSDOT Bridge Desing Manual*, VII(7), pp. 104-117.
- Azad, A. K., Ahmad, S. & Azher, S. A., 2007. Residual Strength of Corrosion-Damaged Reinforced Concrete Beams. *ACI Materials Journal*, pp. 40-46.
- Badan Standarisasi Nasional, 2004. *SNI T-12-2004 "Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan"*, Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013. *SNI 2847-2013 "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung"*, Jakarta: BSNI.
- Badan Standarisasi Nasional, 2015. *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*, Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2016. *SNI 1725-2016 "Pembebanan untuk Jembatan"*, Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2016. *SNI 2833-2016 "Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa"*, Jakarta: BSN.
- Catalog, M. I. B., t.thn. *Bollard Application Design Manual*, USA: s.n.

- Cui, Z., 2017. *Lifetime Performance Prediction of Reinforced Concrete Structures in Multi-Threat Areas*, Iowa: Iowa State University.
- Darmawan, S., 2006. Studi Pengaruh Korosi Terhadap Jembatan Beton Bertulang. pp. 3-5.
- Darmawan, S., Bayuaji, R. & Husin, N. A., 2013. *Pengaruh Korosi pada Beton Bertulang*. Surabaya: ITS Press.
- Girardi, F., 2009. Studies on Concrete Degradation in Aggressive Environment and Development of Protective System. Dalam: *Studies on Concrete Degradation in Aggressive Environment and Development of Protective System*. Trento: Departement of Material Engineering and Industrial Technologies, pp. 1-2.
- Hanjari, K. Z., Kettil, P. & Lundgren, K., 2011. Analysis of Mechanical Behavior of Corroded Reinforced Concrete Structures. *ACI Structural Journal*, pp. 532-539.
- Isneini, M., 2009. Kerusakan dan Perkuatan Struktur Beton Bertulang. pp. 7-11.
- Lee, M. & Kang, T. H., 2016. Flexural Strength of Circular Concrete-Filled Tubes. I(4), pp. 297-313.
- Port, P. o. L. B. T. G., 2015. *Port of Long Beach Wharf Design Criteria*, USA: s.n.
- Smit, P. D. Z., 2008. *Corrosion in concrete*. University of Ljubljana, s.n., pp. 1-16.
- Sosrodarsono, I. S. & Nakazawa, K., 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Tahershamsi, M., 2016. *Structural Effects of Reinforcement Corrosion in Concrete Structures*, Gothenburg: Chalmers University of Technology.
- Triatmojo, B., 2009. *Perencanaan Pelabuhan*. 1 penyunt. Yogyakarta: Beta Offsite Yogyakarta.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 10 Mei 1997, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Negeri Medokan Ayu II Surabaya, SMP Negeri 35 Surabaya, dan SMA Negeri 16 Surabaya. Penulis kemudian diterima di Jurusan DIV Teknik Infrastruktur Sipil pada tahun 2015 dan terdaftar. Penulis bernama lengkap Dio Agung Saputra ini juga pernah aktif di kegiatan Lembaga Dakwah Jurusan sebagai

Sekretaris Departemen Peringatan Hari Besar Islam Jama'ah Masjid Al-Azhar (JMAA) periode 2016-2017. Pada tahun 2017, penulis diangkat sebagai Sekretaris Umum (Wakil Ketua Umum) Jama'ah Masjid Al-Azhar (JMAA) periode 2017-2018. Penulis juga aktif dalam bidang keilmiahan dengan pernah mendapatkan Juara 3 pada Lomba Kompetisi Rancang Bangun Beton Ringan di Universitas Udayana, serta penulis juga mendapatkan Juara 1 pada Lomba *Innovation Concrete Competition* di Universitas Diponegoro. Selain itu penulis juga terpilih dalam mengikuti Program Magang Mahasiswa Bersertifikat (PMMB) batch 1 pada PT. Hutama Karya Proyek EPC Pembangunan PLTM di Pekalongan. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: dioagung120@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir Terapan ini saya mendapat bantuan, bimbingan, dan masukan dari berbagai pihak sehingga saya mampu untuk menyelesaikan Tugas Akhir Terapan ini dengan lancar. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang turut serta membantu selama proses penyusunan Tugas Akhir Terapan ini. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada:

1. Allah S.W.T, yang telah memberikan kesehatan, kemudahan, kelancaran, ilmu yang bermanfaat, dan segalanya yang telah diberikan selama ini khususnya dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan ini.
2. Kedua orang tua, Samsono dan Marsitun yang terus menerus memberikan doa, semangat, dan dukungan moril maupun materiil dari saya lahir sampai saat ini, hingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan ini dengan maksimal.
3. Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.Engsc., Ph.D. dan R. Buyung Anugraha A., ST., MT. selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dan memberikan ilmu yang sangat bermanfaat, bimbingan serta saran dalam berbagai hal khususnya dalam menyelesaikan Tugas Akhir Terapan ini. Selain itu, Beliau-Beliau juga berperan sebagai pemberi data yang digunakan untuk Tugas Akhir Terapan ini.
4. Alm. Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D. selaku dosen yang memberikan arahan dan saran dalam pemilihan topik Tugas Akhir Terapan ini.
5. Ir. Rahmat Basuki MS. selaku dosen wali yang memberikan arahan dan saran dari awal perkuliahan sampai saat ini.
6. Nurul Nur Alfiah, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan menenangkan dalam setiap kesulitan yang saya hadapi dengan sabar dan tanpa pamrih.
7. Rafa Dwi Atmaja saudara saya yang sedang mencari jati diri dan selalu saya suruh untuk membelikan makanan, minuman setiap kali saya mengerjakan Tugas Akhir Terapan.

8. Moh. Fadhlhan Rosyidi, Kohar Yudoprasetyo, Muh. Wildan Aziz, Yusuf Rahman, dan Dimas Sanda yang membantu dalam setiap kesulitan dan bersedia mengajari saya untuk materi-materi yang tidak saya pahami dengan sabar dan tanpa pamrih.
9. Muh. Yanuar Ishaq dan Adam Maulana Fathan yang selalu menemani saya mengerjakan Tugas Akhir Terapan ini di ruang dosen belakang.
10. Iqbal Firdaus dan Muh. Irfan Fathur yang meminjamkan laptopnya dalam mengerjakan Tugas Akhir Terapan ini.
11. Muh. Iqbal Muslim sebagai mentor yang selalu mengajarkan tentang arti kehidupan selama saya magang di Pekalongan
12. Ahmad Serwani yang selalu menemani saya selama 6 bulan magang di Pekalongan dengan sabar dan tanpa pamrih
13. Segenap Dosen dan seluruh Civitas Akademika Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ITS.
14. Teman-teman DS36 dan B15 serta teman-teman seperjuangan yang turut membantu dan mendukung saat proses penyelesaian Tugas Akhir Terapan.
15. Dan seluruh pihak-pihak lain yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Terima kasih atas doa dan dukungannya.

Saya berharap semoga amal kebaikan dari seluruh pihak yang terlibat mendapat Ridhlo dan balasan kebaikan serta selalu diberi kesehatan dari Allah S.W.T. Dan teruntuk Alm. Bapak Agung Budipriyanto semoga mendapat yang terbaik disisi Allah S.W.T. Saya menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir Terapan ini masih banyak kekurangan, untuk itu saya mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi sempurnanya penyusunan Tugas Akhir Terapan ini. Akhir kata saya berharap semoga Tugas Akhir Terapan ini bermanfaat bagi pembaca sekalian.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1
(Data Uji Eksiting)

LAMPIRAN 1.1 Data Uji *Schmidt Hammer*

No.	Elemen Struktur	Lokasi	Rebound											Tegangan (MPa)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	rata ²	
1	Plat Trestle	H 24	50,5	57,5	49,5	51,5	41,0	46,0	54,0	56,0	50,5	57,0	51,35	36,74
2	Plat Trestle	H 25	66,5	62,0	56,0	65,0	59,5	61,5	64,5	65,5	72,0	59,5	63,20	43,08
3	Plat Trestle	H 26	68,5	68,5	62,0	67,0	71,0	69,0	76,0	77,0	73,5	69,0	70,15	46,80
4	Plat Trestle	H 27	75,0	65,5	66,5	67,0	59,5	65,5	66,5	62,5	75,0	64,0	66,70	44,95
5	Plat Trestle	H 28	72,5	76,0	74,0	72,0	59,5	67,5	71,5	74,5	74,0	72,5	71,40	47,46
6	Plat Trestle	H 29	50,5	67,5	66,5	67,0	64,5	66,5	62,5	55,0	59,5	66,5	62,60	42,76
7	Plat Trestle	H 30	72,0	65,5	71,5	67,5	67,0	73,5	73,0	70,0	68,0	68,0	69,60	46,50
8	Plat Trestle	H 31	80,0	71,5	69,0	77,0	80,0	78,5	62,0	76,5	79,5	73,0	74,70	49,23
9	Plat Trestle	H 32	65,5	64,5	71,5	50,5	56,0	67,0	69,5	64,0	72,5	66,5	64,75	43,91
10	Plat Trestle	H 33	68,5	73,0	73,5	70,5	63,0	66,0	74,5	66,5	70,0	78,5	70,40	46,93
11	Pile Cap Trestle	H 34	80,0	75,0	80,0	79,5	80,5	73,5	77,0	78,0	77,5	81,0	78,20	51,10
12	Pile Cap Trestle	H 35	77,5	78,5	76,0	78,0	80,5	77,5	79,0	76,5	74,0	75,5	77,30	50,62
13	Pile Cap Trestle	H 36	79,0	71,0	79,0	78,5	75,0	72,0	76,0	78,0	77,0	73,0	75,85	49,84

LAMPIRAN 1.2 Data Uji *Ultrasonic Pulse Velocity*

No.	Elemen Struktur	Lokasi	Pembacaan Ultrasonic				Keep. rambat v (m/s)	Tegangan (MPa)
			No	l (m)	t (μs)	v (m/s)		
1	Plat Trestle	U 24	1	0.10	70.2	1430	1468	36.69
			2		71.0	1410		
			3		67.2	1490		
			4		68.2	1470		
			5		67.5	1480		
			6		65.2	1530		
2	Plat Trestle	U 25	1	0.10	69.2	1450	1950	44.30
			2		68.1	1470		
			3		25.1	3980		
			4		67.5	1480		
			5		69.0	1450		
			6		53.6	1870		
3	Plat Trestle	U 26	1	0.10	57.1	1750	1947	44.25
			2		35.2	2840		
			3		60.5	1650		
			4		53.6	1870		
			5		53.1	1880		
			6		59.3	1690		
4	Plat Trestle	U 27	1	0.10	49.5	2020	2102	46.70
			2		59.2	1690		
			3		33.2	3010		
			4		36.2	2760		
			5		65.0	1540		
			6		62.9	1590		
5	Plat Trestle	U 28	1	0.10	43.1	2320	1707	40.45
			2		57.1	1750		
			3		54.2	1850		
			4		65.1	1540		
			5		66.8	1500		
			6		78.1	1280		
6	Plat Trestle	U 29	1	0.10	60.2	1660	1755	41.22
			2		68.1	1470		
			3		63.1	1590		
			4		60.3	1660		
			5		38.1	2630		

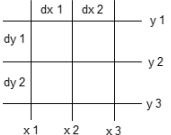
No.	Elemen Struktur	Lokasi	Pembacaan Ultrasonic				Kecepatan rambat v (m/s)	Tegangan (MPa)
			No	l (m)	t (μs)	v (m/s)		
			6		65.9	1520		
7	Plat Trestle	U 30	1	0.10	68.1	1470	1632	39.27
			2		65.0	1540		
			3		47.1	2120		
			4		61.2	1630		
			5		65.1	1540		
			6		67.2	1490		
8	Plat Trestle	U 31	1	0.10	69.2	1450	1555	38.06
			2		65.6	1520		
			3		63.0	1590		
			4		57.9	1730		
			5		68.5	1460		
			6		63.4	1580		
9	Plat Trestle	U 32	1	0.10	57.1	1750	1593	38.66
			2		67.7	1480		
			3		64.2	1560		
			4		63.5	1580		
			5		61.5	1630		
			6		64.1	1560		
10	Plat Trestle	U 33	1	0.10	62.5	1600	1610	38.93
			2		57.7	1730		
			3		65.8	1520		
			4		61.6	1620		
			5		60.6	1650		
			6		64.8	1540		
11	Pile Cap Trestle	U 34	1	0.10	32.6	3070	3662	71.34
			2		26.0	3850		
			3		27.3	3670		
			4		26.8	3730		
			5		25.1	3980		
			6		27.2	3670		
12	Pile Cap Trestle	U 35	1	0.10	32.0	3120	3412	67.39
			2		29.7	3370		
			3		26.9	3710		
			4		27.2	3670		
			5		29.5	3390		
			6		31.1	3210		

No.	Elemen Struktur	Lokasi	Pembacaan Ultrasonic				Keep. rambat v (m/s)	Tegangan (MPa)
			No	l (m)	t (μs)	v (m/s)		
13	Pile Cap Trestle	U 36	1	0.10	29.0	3450	3253	64.89
			2		33.6	2980		
			3		30.1	3320		
			4		26.7	3750		
			5		33.7	2970		
			6		32.7	3050		
14	Plat Dolphin	U 37	1	0.10	67.2	1490	1545	37.90
			2		68.4	1460		
			3		63.2	1580		
			4		67.0	1490		
			5		62.6	1600		
			6		60.7	1650		
15	Plat Dolphin	U 38	1	0.10	61.0	1640	1727	40.77
			2		61.2	1630		
			3		53.7	1860		
			4		61.7	1620		
			5		56.3	1780		
			6		54.6	1830		

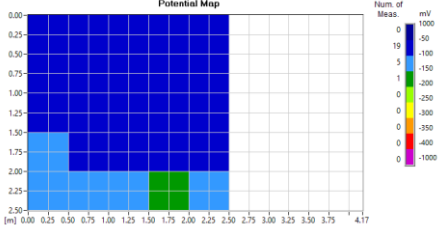
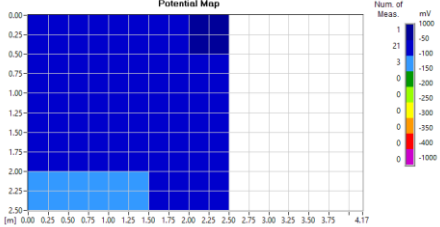
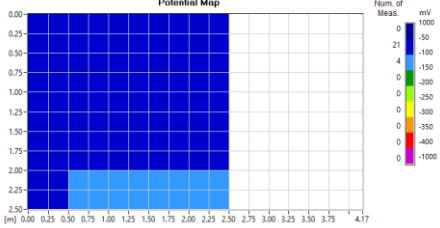
LAMPIRAN 1.3 Data Uji Bar Locator

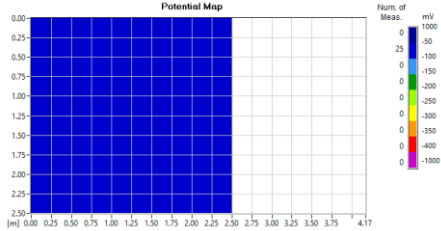
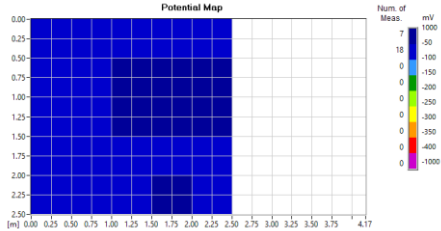
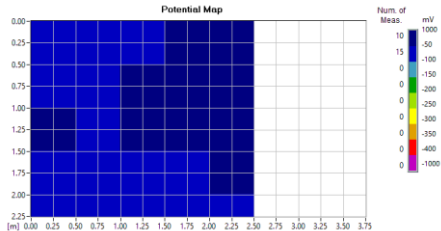
No	Elemen	Lokasi	Gambar	Rebar Detector			Tebal selimut			Ket.
				No	dx (mm)	dy (mm)	No	x (mm)	y (mm)	
1	Pelat	B 23		1	140	260	1	47	49	
				2	140	260	2	56	30	
				3	140	290	3	47	31	
				4	140	270	4	47	39	
							5	49	43	
				rata-rata					140	
2	Pelat	B 24		1	140	260	1	57	63	
				2	140	290	2	59	58	
				3	130	290	3	60	55	
				4	140	290	4	66	58	
							5	65	63	
				rata-rata					137.5	
3	Pelat	B 25		1	130	230	1	35	41	
				2	130	250	2	37	42	
				3	130	200	3	36	40	
				4	140	250	4	36	42	
							5	37	43	
				rata-rata					132.5	

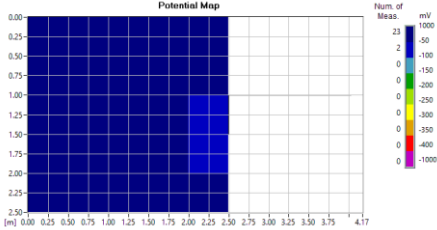
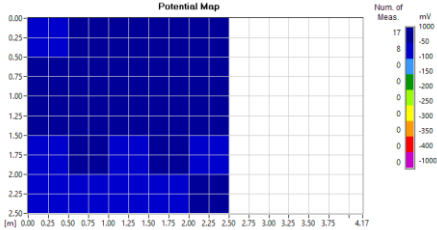
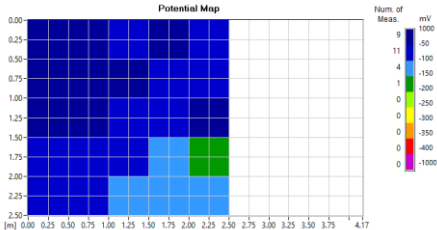
No	Elemen	Lokasi	Gambar	Rebar Detector			Tebal selimut			Ket.
				No	dx (mm)	dy (mm)	No	x (mm)	y (mm)	
10	Pelat	B 32		1	150	300	1	45	70	
				2	120	280	2	47	57	
				3	130	210	3	48	63	
				4	130	270	4	47	57	
							5	47	55	
		rata-rata		132.5	265		46.8	60.4		
11	Pelat	B 33		1	120	250	1	47	67	
				2	130	270	2	57	61	
				3	130	240	3	53	67	
				4	140	150	4	61	72	
							5	51	68	
		rata-rata		130	227.5		53.8	67		
Rata-rata Plat Trestle					132.0	256.8		54.3	56.1	
12	Pile Cap	B 34		1	130	90	1	21	57	
				2	135	120	2	61	64	
				3	150	130	3	63	68	
				4	110	140	4	70	63	
							5	68	63	
		rata-rata		131.25	120		56.6	63		

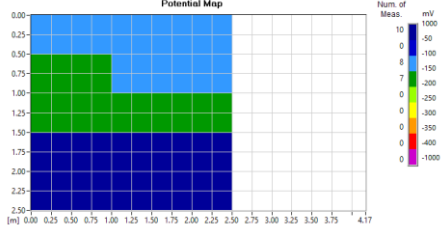
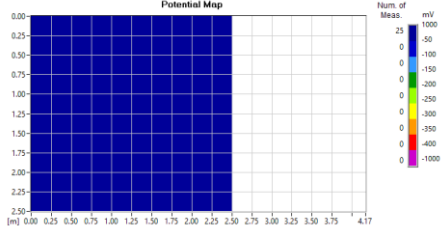
No	Elemen	Lokasi	Gambar	Rebar Detector			Tebal selimut			Ket.
				No	dx (mm)	dy (mm)	No	x (mm)	y (mm)	
13	Pile Cap	B 35		1	170	110	1	74	63	
				2	100	110	2	79	69	
				3	140	150	3	72	68	
				4	150	140	4	77	72	
							5	75	71	
rata-rata					140	127.5		75.4	68.6	
Rata-rata Plat Pile Cap Trestle					135.6	123.8		66.0	65.8	

LAMPIRAN 1.4 Data Uji *Half-Cell Potential*

No	Elemen	Lokasi	Hasil Uji
1.	Plat Trestle	Hc 27	 <p style="text-align: center;">Rata-rata = - 95 mV</p>
2.	Plat Trestle	Hc 28	 <p style="text-align: center;">Rata-rata = - 74 mV</p>
3.	Plat Trestle	Hc 29	 <p style="text-align: center;">Rata-rata = - 81 mV</p>

No	Elemen	Lokasi	Hasil Uji
4.	Plat Trestle	Hc 30	 <p style="text-align: center;">Rata-rata = - 80 mV</p>
6.	Plat Trestle	Hc 31	 <p style="text-align: center;">Rata-rata = - 63 mV</p>
7.	Plat Trestle	Hc 32	 <p style="text-align: center;">Rata-rata = - 69 mV</p>

No	Elemen	Lokasi	Hasil Uji
8.	Plat Trestle	Hc 33	 <p style="text-align: center;">Rata-rata = - 46 mV</p>
9.	Plat Trestle	Hc 34	 <p style="text-align: center;">Rata-rata = - 50 mV</p>
10.	Plat Trestle	Hc 35	 <p style="text-align: center;">Rata-rata = - 82 mV</p>

No	Elemen	Lokasi	Hasil Uji
11.	Pile Cap Trestle	Hc 36	<p style="text-align: center;">Potential Map</p>  <p style="text-align: center;">Rata-rata = - 109 mV</p>
12.	Pile Cap Trestle	Hc 37	<p style="text-align: center;">Potential Map</p>  <p style="text-align: center;">Rata-rata = - 50 mV</p>

LAMPIRAN 1.5 Data Uji Resistivity

No.	Elemen Struktur	Lokasi	Pembacaan Resistivity (k Ω cm)						Rata-rata	Keterangan
			1	2	3	4	5	6	(k Ω cm)	
1	Plat Trestle	R 24	264.0	232.0	221.0	240.0	326.0	350.0	272.17	Laju Korosi Rendah
2	Plat Trestle	R 25	233.0	221.0	256.0	313.0	230.0	440.0	282.17	Laju Korosi Rendah
3	Plat Trestle	R 26	432.0	419.0	366.0	255.0	350.0	322.0	357.33	Laju Korosi Rendah
4	Plat Trestle	R 27	401.0	397.0	446.0	301.0	278.0	316.0	356.50	Laju Korosi Rendah
5	Plat Trestle	R 28	359.0	264.0	378.0	312.0	385.0	360.0	343.00	Laju Korosi Rendah
6	Plat Trestle	R 29	442.0	401.0	420.0	429.0	391.0	390.0	412.17	Laju Korosi Rendah
7	Plat Trestle	R 30	320.0	336.0	349.0	390.0	483.0	458.0	389.33	Laju Korosi Rendah
8	Plat Trestle	R 31	450.0	490.0	438.0	305.0	408.0	396.0	414.50	Laju Korosi Rendah
9	Plat Trestle	R 32	434.0	315.0	439.0	386.0	394.0	438.0	401.00	Laju Korosi Rendah
10	Plat Trestle	R 33	347.0	366.0	367.0	238.0	407.0	326.0	341.83	Laju Korosi Rendah
11	Pile Cap Trestle	R 34	186.4	175.2	188.0	182.0	209.0	173.0	185.60	Laju Korosi Rendah
12	Pile Cap Trestle	R 35	265.0	281.0	195.0	187.6	273.0	283.0	247.43	Laju Korosi Rendah
13	Pile Cap Trestle	R 36	245.0	254.0	197.0	203.0	193.0	217.0	218.17	Laju Korosi Rendah
Total Rata-rata									313.92	

LAMPIRAN 1.6 Data Uji Permeability

No.	Elemen Struktur	Lokasi	ρ ($k\Omega\text{cm}$)	p_a (mbar)	t_{\max} (s)	Δp_{\max} (mbar)	KT (E-16 m^2)	L (mm)	Keterangan
1	Plat Jetty	P 21	300	999.6	720	1.2	0.001	2.6	Sangat Bagus
2	Plat Trestle	P 22	300	995.9	240	22.4	2.907	68.1	Jelek
3	Plat Trestle	P 23	300	1000.9	450	21.0	0.827	49.8	Cukup
4	Plat Trestle	P 24	300	1002.6	720	13.6	0.046	13.1	Baik
5	Plat Trestle	P 25	300	1000.4	240	23.1	3.040	69.8	Jelek
6	Plat Trestle	P 26	300	1008.3	480	20.9	0.729	48.5	Cukup
7	Plat Trestle	P 27	300	1006.2	270	21.0	1.968	59.7	Jelek
8	Plat Trestle	P 28	300	1002.7	330	20.9	1.364	54.8	Jelek
9	Plat Trestle	P 29	300	1008.0	720	12.0	0.035	10.7	Baik
10	Plat Trestle	P 30	300	1000.2	480	20.4	0.701	48.3	Cukup
11	Plat Trestle	P 31	300	1000.4	450	20.8	0.815	49.5	Cukup

LAMPIRAN 1.7 Data Uji Kedalaman dan Lebar Retak

No.	Element	Lokasi	Jarak (b)	Pembacaan Ultrasonic (m detik)		Kedalaman Retak	Tebal Selimut	Status	Lebar Retak	Ket.
			mm	t1	t2	mm	mm		mm	
1	Plat Trestle	Rt 11	100	89.0	139.2	103.65	48.90	Sudah mencapai tulangan	0.25	OK
2	Plat Trestle	Rt 12	100	114.4	209.0	53.23	48.90	Sudah mencapai tulangan	0.40	T.OK
3	Plat Trestle	Rt 13	100	103.7	155.8	117.74	48.90	Sudah mencapai tulangan	0.95	T.OK
4	Plat Trestle	Rt 14	100	119.0	229.0	33.14	48.90	Belum mencapai tulangan	0.45	T.OK
5	Plat Trestle	Rt 15	100	121.0	217.0	59.47	45.50	Sudah mencapai tulangan	0.40	T.OK
6	Plat Trestle	Rt 16	100	109.2	199.3	53.57	45.50	Sudah mencapai tulangan	1.20	T.OK
7	Plat Trestle	Rt 17	100	122.0	219.0	59.16	45.50	Sudah mencapai tulangan	0.20	OK
8	Plat Trestle	Rt 18	100	119.0	221.0	47.43	49.70	Belum mencapai tulangan	0.30	T.OK

No.	Element	Lokasi	Jarak (b)	Pembacaan Ultrasonic (m defik)		Kedalaman Retak	Tebal Selimut	Status	Lebar Retak	Ket.
			mm	t1	t2	mm	mm		mm	
9	Plat Trestle	Rt 19	100	93.3	141.7	113.84	64.30	Sudah mencapai tulangan	0.40	T.OK
10	Plat Trestle	Rt 20	100	104.9	204.0	28.00	64.30	Belum mencapai tulangan	0.25	OK
11	Plat Trestle	Rt 31	100	84.1	161.5	34.09	48.90	Belum mencapai tulangan	0.20	OK
12	Plat Trestle	Rt 32	100	92.1	177.3	32.97	48.90	Belum mencapai tulangan	0.15	OK
13	Plat Trestle	Rt33	100	81.2	160.7	16.90	45.50	Belum mencapai tulangan	0.15	OK
14	Plat Trestle	Rt 34	100	101.0	193.5	35.13	45.50	Belum mencapai tulangan	0.40	T.OK
15	Plat Trestle	Rt 35	100	74.4	142.3	35.86	49.70	Belum mencapai tulangan	0.35	T.OK
16	Plat Trestle	Rt 36	100	93.2	182.1	25.44	45.50	Belum mencapai tulangan	0.25	OK

No.	Element	Lokasi	Jarak (b)	Pembacaan Ultrasonic (m detik)		Kedalaman Retak	Tebal Selimut	Status	Lebar Retak	Ket.
			mm	t1	t2	mm	mm		mm	
17	Plat Trestle	Rt 37	100	103.2	198.3	33.81	45.50	Belum mencapai tulangan	0.60	T.OK
18	Plat Trestle	Rt 38	100	77.3	140.1	55.95	45.50	Sudah mencapai tulangan	0.30	T.OK
19	Plat Trestle	Rt 39	100	87.2	152.3	68.05	49.70	Sudah mencapai tulangan	0.55	T.OK
20	Plat Trestle	Rt 40	100	154.5	234.1	114.68	49.70	Sudah mencapai tulangan	0.25	OK

LAMPIRAN 1.8 Data Uji Kuat Tekan Beton *Core Drill*

No.	Uraian	Satuan	Core 13	Core 14	Core 15	Core 16	Core 17		
1	Kode		J 13	T 1	T 2	T 3	T 4		
2	Tanggal Test		10-Okt	10-Okt	10-Okt	10-Okt	10-Okt		
3	Diameter. Ø	mm	100	100	100	100	100		
4	Tinggi. L	mm	100	200	200	200	200		
5	Berat	gram							
6	Berat jenis	ton/m ³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
7	Beban Tekan Maksimum. P	ton	42.70	24.70	36.70	33.60	39.60		
8	Luas Penampang Beton. A	mm ²	7850.00	7850.00	7850.00	7850.00	7850.00		
9	f _c = P / A (silinder)	MPa	53.36	30.87	45.86	41.99	49.49		
10	Arah Pengambilan		vertikal	vertikal	vertikal	vertikal	horisontal		
11	Ratio L / Ø		1.00	2.00	2.00	2.00	2.00		
12	Tulangan Melintang $\frac{d}{h}$	mm		16	13	16	13	19	19
		mm		35	90	20	95	80	95
13	Faktor Koreksi terhadap Arah pengambilan (c ₀)		0.92	0.92	0.92	0.92	1.00		
14	Faktor Koreksi terhadap Ratio l/Ø (C ₁)		0.87	1.00	1.00	1.00	1.00		
15	Faktor Koreksi terhadap Tulangan (C ₂)		1.00	1.13	1.12	1.00	1.25		
16	f _{cc} (kuat tekan beton inti yang di koreksi)=f _c *C ₀ *C ₁ *C ₂	MPa	42.71	32.08	47.11	38.63	61.83		
Faktor Koreksi Silinder 15x30			1.04	1.04	1.04	1.04	1.04		
f _c (silinder 15x30)		MPa	41.07	30.85	45.30	37.14	59.45		
Setara K		kg/cm ²	504.38	378.88	556.38	456.19	730.16		

LAMPIRAN 1.9 Data Uji Kuat Tarik Baja Tulangan

No	Uraian	Satuan	Uji 12	Uji 13	Uji 14	Uji 15
1	Kode		JT 13	TR 1	TR 2	TR 4
2	Lokasi Pengujian		Pelat	Pelat	Pelat	PileCap
3	Diameter Asal		D25	D16	D16	D19
4	Diameter spesimen	mm	10.67	10.72	10.83	10.82
5	Luas Penampang	mm ²	89.45	90.29	92.16	91.99
6	Panjang Ukur	mm	60.00	60.00	60.00	60.00
Hasil Uji						
7	Beban Lumer	kN	39.00	39.00	41.00	36.00
8	Beban Maksimum	kN	53.00	50.00	51.00	49.00
9	Panjang Ukur setelah patah	mm	70.15	73.70	72.10	73.85
10	Yield strength	MPa	435.98	431.93	444.90	391.37
11	Tensile strength	MPa	592.49	553.75	553.41	532.69
12	Elongation	%	16.92	22.83	20.17	23.08

LAMPIRAN 1.10 Uji Ketebalan Pancang Baja

No.	Elemen Struktur	Lokasi	Hasil Pengukuran Tebal Baja (mm)				Rata-rata (mm)
			A	B	C	D	
268	Pancang	Trestle	21.79	21.35	21.35	21.90	21.50
269	Pancang	Trestle	21.98	21.69	21.69	21.67	21.76
270	Pancang	Trestle	21.68	21.46	21.46	21.34	21.49
271	Pancang	Trestle	21.77	21.29	21.29	21.34	21.42
272	Pancang	Trestle	21.61	21.34	21.34	21.28	21.39
273	Pancang	Trestle	21.57	21.77	21.77	21.64	21.69
274	Pancang	Trestle	21.22	21.11	21.11	21.47	21.23
275	Pancang	Trestle	21.56	21.18	21.18	21.48	21.35
276	Pancang	Trestle	21.19	21.48	21.48	21.47	21.41
277	Pancang	Trestle	21.22	21.53	21.53	21.24	21.38
278	Pancang	Trestle	21.84	21.29	21.29	21.58	21.50
279	Pancang	Trestle	21.44	21.64	21.64	21.74	21.62
280	Pancang	Trestle	21.55	21.68	21.68	21.34	21.56
281	Pancang	Trestle	21.34	21.54	21.54	21.86	21.57
282	Pancang	Trestle	21.38	21.68	21.68	21.59	21.58
283	Pancang	Trestle	21.51	21.22	21.22	21.68	21.41
284	Pancang	Trestle	21.59	21.91	21.91	21.98	21.85
285	Pancang	Trestle	21.18	21.58	21.58	21.49	21.34
286	Pancang	Trestle	21.13	21.65	21.65	21.42	21.46
287	Pancang	Trestle	21.32	21.53	21.53	21.53	21.48
288	Pancang	Trestle	21.57	21.44	21.36	21.79	21.54
289	Pancang	Trestle	21.85	21.76	21.71	21.52	21.69
290	Pancang	Trestle	21.38	21.35	21.11	21.65	21.37
291	Pancang	Trestle	21.71	21.71	21.57	21.8	21.70
292	Pancang	Trestle	21.34	21.79	21.54	21.57	21.56
293	Pancang	Trestle	21.54	21.17	21.34	21.63	21.42
294	Pancang	Trestle	21.58	21.84	21.57	21.56	21.64
295	Pancang	Trestle	21.64	21.53	21.14	21.34	21.41
296	Pancang	Trestle	21.74	21.98	21.54	21.56	21.71
297	Pancang	Trestle	21.56	21.22	21.58	21.64	21.50
298	Pancang	Trestle	21.68	21.54	21.79	21.28	21.57
299	Pancang	Trestle	21.98	21.26	21.35	21.57	21.54
300	Pancang	Trestle	21.57	21.44	21.99	21.19	21.55
301	Pancang	Trestle	21.79	21.13	21.74	21.29	21.49
302	Pancang	Trestle	21.68	21.17	21.28	21.55	21.42
303	Pancang	Trestle	21.88	21.67	21.56	21.67	21.70
304	Pancang	Trestle	21.89	21.38	21.48	21.25	21.50

No.	Elemen Struktur	Lokasi	Hasil Pengukuran Tebal Baja (mm)				Rata-rata (mm)
			A	B	C	D	
305	Pancang	Trestle	21.59	21.84	21.56	21.76	21.69
306	Pancang	Trestle	21.29	21.57	21.43	21.34	21.41
307	Pancang	Trestle	21.68	21.84	21.44	21.91	21.72
308	Pancang	Trestle	21.34	21.34	21.32	21.56	21.39
309	Pancang	Trestle	21.31	21.13	21.64	21.56	21.41
310	Pancang	Trestle	21.04	21.67	21.85	21.34	21.48
311	Pancang	Trestle	21.85	21.34	21.67	21.53	21.60
312	Pancang	Trestle	21.92	21.59	21.46	21.52	21.62
313	Pancang	Trestle	21.08	21.18	21.19	21.72	21.29
314	Pancang	Trestle	21.98	21.18	21.68	21.88	21.68
315	Pancang	Trestle	21.38	21.22	21.34	21.81	21.44
316	Pancang	Trestle	21.57	21.68	21.67	22.02	21.74
317	Pancang	Trestle	21.25	21.35	21.88	21.71	21.55
318	Pancang	Trestle	21.05	21.56	21.34	21.48	21.36
319	Pancang	Trestle	21.64	21.13	21.84	21.34	21.49
320	Pancang	Trestle	21.59	21.46	21.14	21.57	21.44
321	Pancang	Trestle	21.41	21.51	21.68	21.83	21.61
322	Pancang	Trestle	21.64	21.56	21.57	21.25	21.51
323	Pancang	Trestle	21.65	21.26	21.89	21.59	21.60
324	Pancang	Trestle	21.95	21.65	21.22	21.85	21.67
325	Pancang	Trestle	21.13	21.46	21.67	21.77	21.51
326	Pancang	Trestle	21.33	21.2	21.72	21.56	21.45
327	Pancang	Trestle	21.71	21.62	21.35	21.47	21.54
328	Pancang	Trestle	21.79	21.84	21.63	21.65	21.73
329	Pancang	Trestle	21.29	21.92	21.04	21.63	21.47
330	Pancang	Trestle	21.64	21.99	21.85	21.71	21.80
Rata-rata Total							21.52

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 2
(Rekapitulasi Perhitungan Struktur)

LAMPIRAN 2.1 Rekapitulasi Analisa Gaya Momen Pada Balok Girder Trestle Dermaga

No.	Elemen Struktur	Tahun	Kondisi	ϕMn (kN.m)	Kombinasi No.1		Kombinasi No.2		Kombinasi No.3		
					Mu comb no.1 (kN.m)	Safety Factor (SF ₁)	Mu comb no.2 (kN.m)	Safety Factor (SF ₂)	Mu comb no.3 (kN.m)	Safety Factor (SF ₃)	
1	Balok Trestle (1-7 Middle As A-C MAX)	1992	Average	1304,70	306,78	4,25	135,18	9,65	93,17	14,00	
2			W, Case	1304,70	306,78	4,25	135,18	9,65	93,17	14,00	
3		2018	Average	1069,44	306,78	3,49	135,18	7,91	93,17	11,48	
4			W, Case	1002,61	306,78	3,27	135,18	7,42	93,17	10,76	
5		2028	Average	993,32	306,78	3,24	135,18	7,35	93,17	10,66	
6			W, Case	922,39	306,78	3,01	135,18	6,82	93,17	9,90	
9	Balok Trestle (1-7 Edge As A-C MAX)	1992	Average	1304,70	214,31	6,09	85,94	15,18	88,23	14,79	
10			W, Case	1304,70	214,31	6,09	85,94	15,18	88,23	14,79	
11		2018	Average	1069,44	214,31	4,99	85,94	12,44	88,23	12,12	
12			W, Case	1002,61	214,31	4,68	85,94	11,67	88,23	11,36	
13		2028	Average	993,32	214,31	4,64	85,94	11,56	88,23	11,26	
14			W, Case	922,39	214,31	4,30	85,94	10,73	88,23	10,45	
17		Balok Trestle (1-5 Middle As C-X MAX)	1992	Average	1304,70	365,29	3,57	152,21	8,57	113,08	11,54
18				W, Case	1304,70	365,29	3,57	152,21	8,57	113,08	11,54
19			2018	Average	1069,44	365,29	2,93	152,21	7,03	113,08	9,46
20				W, Case	1002,61	365,29	2,74	152,21	6,59	113,08	8,87
21			2028	Average	993,32	365,29	2,72	152,21	6,53	113,08	8,78
22				W, Case	922,39	365,29	2,53	152,21	6,06	113,08	8,16
25	Balok Trestle (1-5 Edge As C-X MAX)		1992	Average	1304,70	229,59	5,68	77,10	16,92	101,78	12,82
26				W, Case	1304,70	229,59	5,68	77,10	16,92	101,78	12,82
27		2018	Average	1069,44	229,59	4,66	77,10	13,87	101,78	10,51	
28			W, Case	1002,61	229,59	4,37	77,10	13,00	101,78	9,85	
29		2028	Average	993,32	229,59	4,33	77,10	12,88	101,78	9,76	
30			W, Case	922,39	229,59	4,02	77,10	11,96	101,78	9,06	
33		Balok Trestle (6-10 Middle As C-X MAX)	1992	Average	1304,70	381,51	3,42	140,16	9,31	148,02	8,81
34				W, Case	1304,70	381,51	3,42	140,16	9,31	148,02	8,81
35			2018	Average	1069,44	381,51	2,80	140,16	7,63	148,02	7,22
36				W, Case	1002,61	381,51	2,63	140,16	7,15	148,02	6,77
37	2028		Average	993,32	381,51	2,60	140,16	7,09	148,02	6,71	
38			W, Case	922,39	381,51	2,42	140,16	6,58	148,02	6,23	

LAMPIRAN 2.2 Rekapitulasi Analisa Gaya Geser Pada Balok Girder Trestle Dermaga

No.	Elemen Struktur	Tahun	Kondisi	ϕVn (kN.m)	Kombinasi No.1		Kombinasi No.2		Kombinasi No.3	
					V_u comb no.1 (kN)	Safety Factor (SF ₁)	V_u comb no.2 (kN)	Safety Factor (SF ₂)	M_u comb no.3 (kN)	Safety Factor (SF ₃)
1	Balok Trestle (1-7 Middle As A-C MAX)	1992	Average	858,53	344,22	2,49	170,67	5,03	95,19	9,02
2			W, Case	858,53	344,22	2,49	170,67	5,03	95,19	9,02
3		2018	Average	694,70	344,22	2,02	170,67	4,07	95,19	7,30
4			W, Case	649,79	344,22	1,89	170,67	3,81	95,19	6,83
5		2028	Average	639,20	344,22	1,86	170,67	3,75	95,19	6,72
6			W, Case	568,42	344,22	1,65	170,67	3,33	95,19	5,97
9	Balok Trestle (1-7 Edge As A-C MAX)	1992	Average	858,53	200,47	4,28	79,84	10,75	88,46	9,71
10			W, Case	858,53	200,47	4,28	79,84	10,75	88,46	9,71
11		2018	Average	694,70	200,47	3,47	79,84	8,70	88,46	7,85
12			W, Case	649,79	200,47	3,24	79,84	8,14	88,46	7,35
13		2028	Average	639,20	200,47	3,19	79,84	8,01	88,46	7,23
14			W, Case	568,42	200,47	2,84	79,84	7,12	88,46	6,43
17	Balok Trestle (1-5 Middle As C-X MAX)	1992	Average	858,53	447,95	1,92	205,30	4,18	127,73	6,72
18			W, Case	858,53	447,95	1,92	205,30	4,18	127,73	6,72
19		2018	Average	694,70	447,95	1,55	205,30	3,38	127,73	5,44
20			W, Case	649,79	447,95	1,45	205,30	3,17	127,73	5,09
21		2028	Average	639,20	447,95	1,43	205,30	3,11	127,73	5,00
22			W, Case	568,42	447,95	1,27	205,30	2,77	127,73	4,45
25	Balok Trestle (1-5 Edge As C-X MAX)	1992	Average	858,53	229,22	3,75	78,22	10,98	105,19	8,16
26			W, Case	858,53	229,22	3,75	78,22	10,98	105,19	8,16
27		2018	Average	694,70	229,22	3,03	78,22	8,88	105,19	6,60
28			W, Case	649,79	229,22	2,83	78,22	8,31	105,19	6,18
29		2028	Average	639,20	229,22	2,79	78,22	8,17	105,19	6,08
30			W, Case	568,42	229,22	2,48	78,22	7,27	105,19	5,40
33	Balok Trestle (6-10 Middle As C-X MAX)	1992	Average	858,53	342,15	2,51	123,01	6,98	130,23	6,59
34			W, Case	858,53	342,15	2,51	123,01	6,98	130,23	6,59
35		2018	Average	694,70	342,15	2,03	123,01	5,65	130,23	5,33
36			W, Case	649,79	342,15	1,90	123,01	5,28	130,23	4,99
37		2028	Average	639,20	342,15	1,87	123,01	5,20	130,23	4,91
38			W, Case	568,42	342,15	1,66	123,01	4,62	130,23	4,36

LAMPIRAN 2.3 Rekapitulasi Analisa Gaya Momen Pada Pile Cap Trestle Dermaga (kondisi AVERAGE)

No.	Elemen Struktur	Tahun	Posisi	Momen	ϕMn (kN.m)	Kombinasi EX		Kombinasi EY	
						Mu comb EX (kN.m)	Safety Factor (SF _{EX})	Mu comb EY (kN.m)	Safety Factor (SF _{EY})
1	PileCap Trestle Row A "AVERAGE"	1992	-	Negatif	2012,23	527,30	3,82	1482,05	1,36
2				Positif	1611,91	462,14	3,49	1225,28	1,32
3		2018		Negatif	1673,39	527,30	3,17	1482,05	1,13
4				Positif	1340,54	462,14	2,90	1225,28	1,09
5		2028		Negatif	1644,67	527,30	3,12	1482,05	1,11
6				Positif	1317,59	462,14	2,85	1225,28	1,08
9	PileCap Trestle Row D, E, F "AVERAGE"	1992	-	Negatif	3602,93	892,73	4,04	2341,15	1,54
10				Positif	3206,84	759,86	4,22	1990,91	1,61
11		2018		Negatif	2995,63	892,73	3,36	2341,15	1,28
12				Positif	2930,15	759,86	3,86	1990,91	1,47
13		2028		Negatif	2943,75	892,73	3,30	2341,15	1,26
14				Positif	2879,52	759,86	3,79	1990,91	1,45
17	PileCap Trestle Row G, M, S "AVERAGE"	1992	Tepi Kecil	Negatif	3602,93	587,82	6,13	1004,45	3,59
18				Positif	3206,84	661,54	4,85	1230,33	2,61
19			Tepi Besar	Negatif	6708,51	709,64	9,45	1496,07	4,48
20				Positif	6318,13	0,00	-	1101,39	5,74
21			Tengah	Negatif	6708,51	1425,61	4,71	2730,54	2,46
22				Positif	6318,13	0,00	-	1002,45	6,30
23		2018	Tepi Kecil	Negatif	2995,63	587,82	5,10	1004,45	2,98
24				Positif	2666,44	661,54	4,03	1230,33	2,17
25			Tepi Besar	Negatif	5612,64	709,64	7,91	1496,07	3,75
26				Positif	5286,14	0,00	-	1101,39	4,80
27			Tengah	Negatif	5612,64	1425,61	3,94	2730,54	2,06
28				Positif	5808,95	0,00	-	1002,45	5,79
29		2028	Tepi Kecil	Negatif	2943,75	587,82	5,01	1004,45	2,93
30				Positif	2620,37	661,54	3,96	1230,33	2,13
31			Tepi Besar	Negatif	5515,54	709,64	7,77	1496,07	3,69
32				Positif	5194,80	0,00	-	1101,39	4,72
33			Tengah	Negatif	5515,54	1425,61	3,87	2730,54	2,02
34				Positif	5194,80	0,00	-	1002,45	5,18
41	PileCap Trestle Row H, J, L "AVERAGE"	1992	Tepi	Negatif	3602,93	0,00	-	1967,50	1,83
42				Positif	3206,84	1736,28	1,85	2096,74	1,53
43			Tengah	Negatif	6708,51	716,15	9,37	1503,91	4,46
44				Positif	6318,13	750,58	8,42	1401,24	4,51
45		2018	Tepi	Negatif	2995,63	0,00	-	1967,50	1,52
46				Positif	2666,44	1736,28	1,54	2096,74	1,27
47			Tengah	Negatif	5612,64	716,15	7,84	1503,91	3,73
48				Positif	5286,14	750,58	7,04	1401,24	3,77
49		2028	Tepi	Negatif	2943,75	0,00	-	1967,50	1,50
50				Positif	2620,37	1736,28	1,51	2096,74	1,25

No.	Elemen Struktur	Tahun	Posisi	Momen	ϕMn (kN.m)	Kombinasi EX		Kombinasi EY		
						Mu comb EX (kN.m)	Safety Factor (SF _{EX})	Mu comb EY (kN.m)	Safety Factor (SF _{EY})	
51	PileCap Trestle Row I, K, O "AVERAGE"		Tengah	Negatif	5515,54	716,15	7,70	1503,91	3,67	
52				Positif	5194,80	750,58	6,92	1401,24	3,71	
53		1992	Tepi Kecil	Negatif	3602,93	991,36	3,63	1776,72	2,03	
54				Positif	3206,84	1135,82	2,82	2133,51	1,50	
55			Tepi Besar	Negatif	6708,51	1212,32	5,53	2604,93	2,58	
56				Positif	6318,13	611,24	10,34	1946,65	3,25	
57			Tengah	Negatif	6708,51	2370,31	2,83	4676,03	1,43	
58				Positif	6318,13	0,00	-	1914,73	3,30	
59		2018	Tepi Kecil	Negatif	2995,63	991,36	3,02	1776,72	1,69	
60				Positif	2666,44	1135,82	2,35	2133,51	1,25	
61			Tepi Besar	Negatif	5612,64	1212,32	4,63	2604,93	2,15	
62				Positif	5286,14	611,24	8,65	1946,65	2,72	
63		Tengah	Negatif	5612,64	2370,31	2,37	4676,03	1,20		
64			Positif	5808,95	0,00	-	1914,73	3,03		
65		2028	Tepi Kecil	Negatif	2943,75	991,36	2,97	1776,72	1,66	
66				Positif	2620,37	1135,82	2,31	2133,51	1,23	
67			Tepi Besar	Negatif	5515,54	1212,32	4,55	2604,93	2,12	
68				Positif	5194,80	611,24	8,50	1946,65	2,67	
69			Tengah	Negatif	5515,54	2370,31	2,33	4676,03	1,18	
70				Positif	5194,80	0,00	-	1914,73	2,71	
71		PileCap Trestle Row X "AVERAGE"	1992	Tepi	Negatif	3602,93	0,00	-	1319,54	2,73
72					Positif	3206,84	1087,46	2,95	1343,09	2,39
73				Tengah	Negatif	6708,51	467,20	14,36	1137,00	5,90
74					Positif	6318,13	565,08	11,18	1124,21	5,62
75			2018	Tepi	Negatif	2995,63	0,00	-	1319,54	2,27
76					Positif	2666,44	1087,46	2,45	1343,09	1,99
77				Tengah	Negatif	5612,64	467,20	12,01	1137,00	4,94
78					Positif	5286,14	565,08	9,35	1124,21	4,70
79			2028	Tepi	Negatif	2943,75	0,00	-	1319,54	2,23
80					Positif	2620,37	1087,46	2,41	1343,09	1,95
81				Tengah	Negatif	5515,54	467,20	11,81	1137,00	4,85
82					Positif	5194,80	565,08	9,19	1124,21	4,62

LAMPIRAN 2.4 Rekapitulasi Analisa Gaya Momen Pada Pile Cap Trestle Dermaga (kondisi *WORST CASE*)

No.	Elemen Struktur	Tahun	Posisi	Momen	ϕMn (kN.m)	Kombinasi EX		Kombinasi EY	
						Mu comb EX (kN.m)	Safety Factor (SF _{EX})	Mu comb EY (kN.m)	Safety Factor (SF _{EY})
1	PileCap Trestle Row A "WORST CASE"	1992	-	Negatif	2012,23	527,30	3,82	1482,05	1,36
2				Positif	1611,91	462,14	3,49	1225,28	1,32
3		2018		Negatif	1603,09	527,30	3,04	1482,05	1,08
4				Positif	1284,36	462,14	2,78	1225,28	1,05
5		2028		Negatif	1493,49	527,30	2,83	1482,05	1,01
6				Positif	1196,78	462,14	2,59	1225,28	0,98
9	PileCap Trestle Row D, E, F "WORST CASE"	1992	-	Negatif	3602,93	892,73	4,04	2341,15	1,54
10				Positif	3206,84	759,86	4,22	1990,91	1,61
11		2018		Negatif	2868,59	892,73	3,21	2341,15	1,23
12				Positif	2553,63	759,86	3,36	1990,91	1,28
13		2028		Negatif	2670,33	892,73	2,99	2341,15	1,14
14				Positif	2377,62	759,86	3,13	1990,91	1,19
17	PileCap Trestle Row G, M, S "WORST CASE"	1992	Tepi Kecil	Negatif	3602,93	587,82	6,13	1004,45	3,59
18				Positif	3206,84	661,54	4,85	1230,33	2,61
19			Tepi Besar	Negatif	6708,51	709,64	9,45	1496,07	4,48
20				Positif	6318,13	0,00	-	1101,39	5,74
21			Tengah	Negatif	6708,51	1425,61	4,71	2730,54	2,46
22				Positif	6318,13	0,00	-	1002,45	6,30
23		2018	Tepi Kecil	Negatif	2868,59	587,82	4,88	1004,45	2,86
24				Positif	2553,63	661,54	3,86	1230,33	2,08
25			Tepi Besar	Negatif	5376,30	709,64	7,58	1496,07	3,59
26				Positif	5063,82	0,00	-	1101,39	4,60
27			Tengah	Negatif	5376,30	1425,61	3,77	2730,54	1,97
28				Positif	5564,63	0,00	-	1002,45	5,55
29		2028	Tepi Kecil	Negatif	2670,33	587,82	4,54	1004,45	2,66
30				Positif	2377,62	661,54	3,59	1230,33	1,93
31			Tepi Besar	Negatif	5005,18	709,64	7,05	1496,07	3,35
32				Positif	4714,74	0,00	-	1101,39	4,28
33			Tengah	Negatif	5005,18	1425,61	3,51	2730,54	1,83
34				Positif	4714,74	0,00	-	1002,45	4,70
41	PileCap Trestle Row H, J, L "WORST CASE"	1992	Tepi	Negatif	3602,93	0,00	-	1967,50	1,83
42				Positif	3206,84	1736,28	1,85	2096,74	1,53
43			Tengah	Negatif	6708,51	716,15	9,37	1503,91	4,46
44				Positif	6318,13	750,58	8,42	1401,24	4,51
45		2018	Tepi	Negatif	2868,59	0,00	-	1967,50	1,46
46				Positif	2553,63	1736,28	1,47	2096,74	1,22
47			Tengah	Negatif	5376,30	716,15	7,51	1503,91	3,57
48				Positif	5063,82	750,58	6,75	1401,24	3,61
49		2028	Tepi	Negatif	2670,33	0,00	-	1967,50	1,36
50				Positif	2377,62	1736,28	1,37	2096,74	1,13

No.	Elemen Struktur	Tahun	Posisi	Momen	ϕMn (kN.m)	Kombinasi EX		Kombinasi EY	
						Mu comb EX (kN.m)	$Safety$ Factor (SF_{EX})	Mu comb EY (kN.m)	$Safety$ Factor (SF_{EY})
51			Tengah	Negatif	5005,18	716,15	6,99	1503,91	3,33
52				Positif	4714,74	750,58	6,28	1401,24	3,36
17	PileCap Trestle Row I, K, O "WORST CASE"	1992	Tepi Kecil	Negatif	3602,93	991,36	3,63	1776,72	2,03
18				Positif	3206,84	1135,82	2,82	2133,51	1,50
19			Tepi Besar	Negatif	6708,51	1212,32	5,53	2604,93	2,58
20				Positif	6318,13	611,24	10,34	1946,65	3,25
21			Tengah	Negatif	6708,51	2370,31	2,83	4676,03	1,43
22				Positif	6318,13	0,00	-	1914,73	3,30
23		2018	Tepi Kecil	Negatif	2868,59	991,36	2,89	1776,72	1,61
24				Positif	2553,63	1135,82	2,25	2133,51	1,20
25			Tepi Besar	Negatif	5376,30	1212,32	4,43	2604,93	2,06
26				Positif	5063,82	611,24	8,28	1946,65	2,60
27			Tengah	Negatif	5376,30	2370,31	2,27	4676,03	1,15
28				Positif	5564,63	0,00	-	1914,73	2,91
29		2028	Tepi Kecil	Negatif	2670,33	991,36	2,69	1776,72	1,50
30				Positif	2377,62	1135,82	2,09	2133,51	1,11
31			Tepi Besar	Negatif	5005,18	1212,32	4,13	2604,93	1,92
32				Positif	4714,74	611,24	7,71	1946,65	2,42
33			Tengah	Negatif	5005,18	2370,31	2,11	4676,03	1,07
34				Positif	4714,74	0,00	-	1914,73	2,46
41	PileCap Trestle Row X "WORST CASE"	1992	Tepi	Negatif	3602,93	0,00	-	1319,54	2,73
42				Positif	3206,84	1087,46	2,95	1343,09	2,39
43			Tengah	Negatif	6708,51	467,20	14,36	1137,00	5,90
44				Positif	6318,13	565,08	11,18	1124,21	5,62
45		2018	Tepi	Negatif	2868,59	0,00	-	1319,54	2,17
46				Positif	2553,63	1087,46	2,35	1343,09	1,90
47			Tengah	Negatif	5376,30	467,20	11,51	1137,00	4,73
48				Positif	5063,82	565,08	8,96	1124,21	4,50
49		2028	Tepi	Negatif	2670,33	0,00	-	1319,54	2,02
50				Positif	2377,62	1087,46	2,19	1343,09	1,77
51			Tengah	Negatif	5005,18	467,20	10,71	1137,00	4,40
52				Positif	4714,74	565,08	8,34	1124,21	4,19

LAMPIRAN 2.5 Rekapitulasi Analisa Gaya Geser Pada Pile Cap Trestle Dermaga

No.	Elemen Struktur	Tahun	Posisi	Momen	ϕV_n (kN)	Kombinasi Ert	
						V_u comb ERT (kN)	Safety Factor (SF_{ERT})
1	PileCap Trestle Row A	1992	-	Average	3380,23	999,86	3,38
2				W.Case	3380,23	999,86	3,38
3		2018		Average	2851,85	999,86	2,85
4				W.Case	2662,07	999,86	2,66
5		2028		Average	2786,17	999,86	2,79
6				W.Case	2413,82	999,86	2,41
9	PileCap Trestle Row D, E, F	1992	-	Average	3380,23	1269,12	2,66
10				W.Case	3380,23	1269,12	2,66
11		2018		Average	2851,85	1269,12	2,25
12				W.Case	2662,07	1269,12	2,10
13		2028		Average	2786,17	1269,12	2,20
14				W.Case	2413,82	1269,12	1,90
17	PileCap Trestle Row G, M, S	1992	Tepi Kecil	Average	4094,29	594,81	6,88
18				W.Case	4094,29	594,81	6,88
19			Tepi Besar	Average	8803,56	772,01	11,40
20				W.Case	8803,56	772,01	11,40
21			Tengah	Average	8803,56	2573,20	3,42
22				W.Case	8803,56	2573,20	3,42
23		2018	Tepi Kecil	Average	3437,86	594,81	5,78
24				W.Case	3195,08	594,81	5,37
25			Tepi Besar	Average	7451,55	772,01	9,65
26				W.Case	7016,74	772,01	9,09
27			Tengah	Average	7451,55	2573,20	2,90
28				W.Case	7016,74	2573,20	2,73
29		2028	Tepi Kecil	Average	3358,26	594,81	5,65
30				W.Case	2896,77	594,81	4,87
31			Tepi Besar	Average	7292,82	772,01	9,45
32				W.Case	6414,24	772,01	8,31
33			Tengah	Average	7292,82	2573,20	2,83
34				W.Case	6414,24	2573,20	2,49
41	PileCap Trestle Row H, J, L	1992	Tepi	Average	4094,29	1953,36	2,10
42				W.Case	4094,29	1953,36	2,10
43			Tengah	Average	8803,56	1434,80	6,14
44				W.Case	8803,56	1434,80	6,14
45		2018	Tepi	Average	3437,86	1953,36	1,76
46				W.Case	3195,08	1953,36	1,64
47			Tengah	Average	7451,55	1434,80	5,19
48				W.Case	7016,74	1434,80	4,89
49		2028	Tepi	Average	3358,26	1953,36	1,72
50				W.Case	2896,77	1953,36	1,48
51			Tengah	Average	7292,82	1434,80	5,08
52				W.Case	6414,24	1434,80	4,47

No.	Elemen Struktur	Tahun	Posisi	Momen	ϕV_n (kN)	Kombinasi Ert	
						Vu comb ERT (kN)	Safety Factor (SF _{ERT})
17	PileCap Trestle Row I, K, O	1992	Tepi	Average	4094,29	594,81	6,88
18			Kecil	W.Case	4094,29	594,81	6,88
19			Tepi	Average	8803,56	772,01	11,40
20			Besar	W.Case	8803,56	772,01	11,40
21			Tengah	Average	8803,56	2573,20	3,42
22				W.Case	8803,56	2573,20	3,42
23		2018	Tepi	Average	3437,86	594,81	5,78
24				Kecil	W.Case	3195,08	594,81
25			Tepi	Average	7451,55	772,01	9,65
26				Besar	W.Case	7016,74	772,01
27			Tengah	Average	7451,55	2573,20	2,90
28				W.Case	7016,74	2573,20	2,73
29		2028	Tepi	Average	3358,26	594,81	5,65
30				Kecil	W.Case	2896,77	594,81
31			Tepi	Average	7292,82	772,01	9,45
32				Besar	W.Case	6414,24	772,01
33	Tengah		Average	7292,82	2573,20	2,83	
34			W.Case	6414,24	2573,20	2,49	
41	PileCap Trestle Row X	1992	Tepi	Average	4094,29	1953,36	2,10
42				W.Case	4094,29	1953,36	2,10
43			Tengah	Average	8803,56	1434,80	6,14
44				W.Case	8803,56	1434,80	6,14
45		2018	Tepi	Average	3437,86	1953,36	1,76
46				W.Case	3195,08	1953,36	1,64
47			Tengah	Average	7451,55	1434,80	5,19
48				W.Case	7016,74	1434,80	4,89
49		2028	Tepi	Average	3358,26	1953,36	1,72
50				W.Case	2896,77	1953,36	1,48
51			Tengah	Average	7292,82	1434,80	5,08
52				W.Case	6414,24	1434,80	4,47

LAMPIRAN 2.6 Rekapitulasi Stress Ratio Pada Tiang Pancang Trestle Dermaga

As Pancang	Section	Pu (kN)	Mu Major (kN.m)	Mu Minor (kN.m)	Total Ratio
31	RCFT	491,31	-493,92	1947,44	0,333
32	RCFT	498,15	-497,13	-1946,91	0,334
33	RCFT	611,65	-537,61	-1906,66	0,336
34	RCFT	2337,06	-1583,74	572,83	0,337
35	RCFT	594,20	-494,33	-2424,71	0,398
36	RCFT	599,91	-497,00	2424,29	0,399
37	RCFT	549,16	-539,29	2464,23	0,409
38	RCFT	554,20	-542,58	-2463,55	0,409
39	RCFT	2452,70	-1561,38	1489,64	0,457
40	RCFT	2452,59	-1560,13	-1491,47	0,458
41	RCFT	2427,78	-1531,23	-1545,36	0,460
42	RCFT	2425,27	-1531,37	1546,05	0,460
43	RCFT	766,32	-705,45	-2729,21	0,470
44	RCFT	773,07	-708,05	2730,58	0,471
45	RCFT	-1765,41	-707,94	2791,42	0,477
46	RCFT	-1763,22	-709,96	-2792,97	0,477
47	RCFT	784,80	-706,57	-2900,76	0,493
48	RCFT	792,66	-708,74	2902,29	0,494
49	RCFT	-1742,35	-704,78	2982,63	0,501
50	RCFT	-1741,27	-707,48	-2983,95	0,502
51	RCFT	-2066,71	-498,14	3387,55	0,530
52	RCFT	1132,00	3417,24	427,21	0,533
53	RCFT	1137,87	3418,39	-426,71	0,533
54	RCFT	-2078,37	-500,93	-3435,59	0,537
55	RCFT	-2015,04	-487,93	3539,20	0,548
56	RCFT	-2016,48	-488,04	-3611,54	0,558
57	RCFT	1405,92	3586,56	416,54	0,560
58	RCFT	1412,14	3588,35	-416,66	0,560
59	RCFT	2220,43	-3444,86	-511,81	0,572
60	RCFT	2228,17	-3446,02	510,96	0,572
61	RCFT	-2028,67	-482,17	3777,89	0,579
62	RCFT	3709,97	-1934,43	1886,85	0,587

As Pancang	Section	Pu (kN)	Mu Major (kN.m)	Mu Minor (kN.m)	Total Ratio
63	RCFT	3708,76	-1934,99	-1887,04	0,587
64	RCFT	-2017,45	-479,52	-3864,47	0,590
65	RCFT	2504,41	-3616,20	-495,64	0,599
66	RCFT	2511,40	-3618,01	495,80	0,599
67	RCFT	3732,34	-1965,16	-1942,11	0,599
68	RCFT	3733,80	-1964,54	1943,16	0,599
69	RCFT	1780,33	3847,20	-410,69	0,602
70	RCFT	1785,58	3847,89	410,31	0,602
71	RCFT	2897,15	-3878,93	484,07	0,640
72	RCFT	2905,14	-3879,63	-483,38	0,641
73	RCFT	3431,14	-2190,29	-2105,52	0,644
74	RCFT	3429,59	-2190,52	2107,14	0,644
75	RCFT	3426,53	-2190,97	-2192,56	0,655
76	RCFT	3428,26	-2192,47	2191,19	0,655
77	RCFT	4009,93	-2334,40	2232,26	0,692
78	RCFT	4009,22	-2334,87	-2231,92	0,692
79	RCFT	4012,25	-2332,82	2344,36	0,707
80	RCFT	4013,06	-2333,77	-2344,93	0,707
31	Steel Pipe	-3012,11	1228,07	472,30	0,475
32	Steel Pipe	-3027,09	1238,67	-471,90	0,478
33	Steel Pipe	-3066,09	-1250,68	-462,42	0,483
34	Steel Pipe	-3079,79	-1261,29	461,85	0,486
35	Steel Pipe	-3057,31	1300,42	-600,50	0,499
36	Steel Pipe	-3069,90	1308,79	600,16	0,502
37	Steel Pipe	-3097,47	-1328,84	610,66	0,508
38	Steel Pipe	-3110,03	-1337,23	-610,13	0,510
39	Steel Pipe	-3132,56	-1244,19	-1206,55	0,558
40	Steel Pipe	-3135,49	-1245,16	1205,10	0,558
41	Steel Pipe	-3149,92	-1220,01	-1250,42	0,562
42	Steel Pipe	-3150,23	-1220,13	1250,93	0,562
43	Steel Pipe	-2425,43	2757,84	-312,63	0,644
44	Steel Pipe	-2431,65	2756,85	313,01	0,644
45	Steel Pipe	-5024,26	-1212,10	865,28	0,670
46	Steel Pipe	-4278,43	-1720,43	-658,00	0,670

As Pancang	Section	Pu (kN)	Mu Major (kN.m)	Mu Minor (kN.m)	Total Ratio
47	Steel Pipe	-4280,54	-1722,12	673,35	0,672
48	Steel Pipe	-5028,70	-1212,19	-883,28	0,672
49	Steel Pipe	-4283,87	-1726,62	659,12	0,672
50	Steel Pipe	-4286,75	-1727,86	-674,60	0,673
51	Steel Pipe	-5151,99	-1209,90	818,05	0,675
52	Steel Pipe	-5174,13	-1211,87	-829,93	0,678
53	Steel Pipe	-4285,71	-1753,08	-707,94	0,680
54	Steel Pipe	-4281,25	-1751,34	728,53	0,680
55	Steel Pipe	-4292,54	-1759,24	709,18	0,681
56	Steel Pipe	-4288,62	-1757,93	-729,62	0,682
57	Steel Pipe	-2084,80	-372,30	3112,94	0,701
58	Steel Pipe	-2073,58	-370,33	-3185,64	0,714
59	Steel Pipe	-2666,31	2929,95	-314,46	0,732
60	Steel Pipe	-2673,02	2928,47	314,37	0,732
61	Steel Pipe	-4433,68	-1580,20	1560,34	0,749
62	Steel Pipe	-4435,66	-1580,65	-1560,48	0,749
63	Steel Pipe	-4416,25	-1605,70	1608,26	0,757
64	Steel Pipe	-4417,97	-1606,20	-1607,40	0,757
65	Steel Pipe	-3392,19	-2767,77	386,50	0,764
66	Steel Pipe	-3400,25	-2766,77	-387,18	0,765
67	Steel Pipe	-4492,30	-1746,34	-1695,24	0,791
68	Steel Pipe	-4490,69	-1746,55	1696,53	0,791
69	Steel Pipe	-4494,01	-1746,86	-1767,09	0,800
70	Steel Pipe	-4495,70	-1748,08	1765,96	0,800
71	Steel Pipe	-3073,04	3178,85	318,11	0,808
72	Steel Pipe	-3079,24	3178,24	-318,40	0,809
73	Steel Pipe	-3648,24	-2941,35	383,89	0,815
74	Steel Pipe	-3654,74	-2939,85	-383,77	0,816
75	Steel Pipe	-5077,06	-1885,73	-1819,44	0,871
76	Steel Pipe	-5077,64	-1885,34	1819,74	0,872
77	Steel Pipe	-5074,23	-1884,08	1913,46	0,883
78	Steel Pipe	-5075,17	-1884,86	-1913,93	0,883
79	Steel Pipe	-4069,26	-3191,73	-382,29	0,893
80	Steel Pipe	-4076,23	-3191,12	382,85	0,893

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 3
(Brosur Material)

PRODUCT DATA SHEET

Sikadur[®]-752

LOW VISCOSITY EPOXY RESIN INJECTION

DESCRIPTION

A solvent-free, 2-component super low viscosity-liquid, based on high strength epoxy resins. Specially for injecting into cavities and cracks in concrete.

USES

To fill and seal cavities and crack in structural concrete such as columns, beams, foundations, decks and water-retaining structures.

CHARACTERISTICS / ADVANTAGES

- Tenacious crack sealing grout.
- Super – low viscosity.
- Suitable in both, dry and damp conditions.
- High mechanical and adhesive strength.
- Hard, but not brittle.
- No shrinkage

PRODUCT INFORMATION

Packaging	10 kg set
Colour	Yellowish
Shelf life	24 months from date of production
Storage conditions	Store in original, unopened, sealed and undamaged packaging in dry conditions at temperatures between +15 °C and +30 °C. Protect from direct sunlight.
Density	~1.08 kg/L
Viscosity	180 ± 25 cps

TECHNICAL INFORMATION

Compressive Strength	7 days	~62 N/mm ²	(ASTM D-695)
	28 days	~64 N/mm ²	
Modulus of Elasticity in Compression	~1 060 N/mm ²		
Tensile Strength in Flexure	28 days	~40 N/mm ²	(ASTM D-790)

Tensile Adhesion Strength	28 days	~2.0 N/mm ² (Concrete failure, over mechanically prepared concrete surface)
	28 days	~9.0 N/mm ² (Steel surface blast cleaning to SA 2 ½)
Coefficient of Thermal Expansion	89 x 10 ⁻⁶ per °C (-20 °C to +40 °C)	

APPLICATION INFORMATION

Mixing Ratio	Comp. A : B = 2 : 1 by weight/volume
Yield	Theoretical yield is 9.25 L / 10 kg set
Pot Life	35 min (at +30 °C)

APPLICATION INSTRUCTIONS

SUBSTRATE PREPARATION

Surface must be clean and sound. It may be dry or damp, but free of standing water.

MIXING

Pre-mix each component. Proportion 2 part Component A to 1 part Component B into a clean pail. Mix thoroughly for 3 minutes with a paddle on low - speed (400-600 rpm) drill until uniformly blended. Mix only quantity that can be used within its pot life.

APPLICATION METHOD / TOOLS

To gravity feed crack – pour Sikadur®-752 into vee-notched crack until completely filled. To pressure inject cracks – use automatic injection equipment or manual method. Seal parts and cracks with Sikadur®-31 CF, after cured inject Sikadur®-752 with steady pressure.

IMPORTANT CONSIDERATIONS

Maximum crack : width 5.0 mm
Minimum age of concrete must be 28 days prior to application

BASIS OF PRODUCT DATA

All technical data stated in this Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

LOCAL RESTRICTIONS

Note that as a result of specific local regulations the declared data and recommended uses for this product may vary from country to country. Consult the local Product Data Sheet for the exact product data and uses.

ECOLOGY, HEALTH AND SAFETY

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Safety Data Sheet (SDS) containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

LEGAL NOTES

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

PT. Sika Indonesia Head Office and

Jl. Raya Cibinong-Bekasi Km.20

Limusununggal-Cileungsi

Bogor 16820-Indonesia

Tel. +62 21 8230025, Fax +62 21 8230026

Web: idn.sika.com

Email: sikacare@id.sika.com



Product Data Sheet

Sikadur®-752

December 2018, Version 02.01

020707030010000037

Sikadur-752-en-ID (12-2018)-2-1.pdf

BUILDING TRUST



PRODUCT DATA SHEET

Sikadur[®]-41 CF Normal

3-COMPONENT THIXOTROPIC EPOXY PATCHING MORTAR

DESCRIPTION

Sikadur[®]-41 CF Normal is a thixotropic, 3-component patching and repair mortar, based on a combination of epoxy resins and special fillers, designed for use at temperatures between +10 °C and +30 °C.

USES

As a repair and bonding mortar for:

- Concrete elements
- Hard natural stone
- Ceramics, fibre cement
- Mortar, Bricks, Masonry
- Steel, Iron, Aluminium
- Wood
- Polyester, Epoxy
- Glass

As a repair mortar:

- Filling of cavities and voids
- Vertical and overhead use
- Corners and edges

As an abrasion and impact resistant wearing course:

- Joint filling and crack sealing
- Joint and crack arris / edge repair

CHARACTERISTICS / ADVANTAGES

Sikadur[®]-41 CF Normal has the following advantages:

- Easy to mix and apply
- Very good adhesion to most construction materials
- High strength
- Thixotropic: Non-sag in vertical and overhead applications
- Hardens without shrinkage
- Different coloured components (for mixing control)
- No primer needed
- High initial and ultimate mechanical strength
- Good abrasion resistance
- Good chemical resistance

PRODUCT INFORMATION

Composition	Epoxy resin
Packaging	11 kg (A+B+C)
Colour	Component A: white Component B: dark grey Component C: sand Components A+B+C mixed: concrete grey
Shelf life	24 months from date of production
Storage conditions	Store in original, unopened, sealed and undamaged packaging in dry conditions at temperatures between +15 °C and +30 °C. Protect from direct sunlight.

Density

1.98 ± 0.1 kg/L (component A+B+C mixed) (at +21 °C)

TECHNICAL INFORMATION

Compressive Strength	Curing time	Curing temperature			(DIN EN 196)
		+10 °C	+23 °C	+30 °C	
	1 day	~ 13 - 23 N/mm ²	~ 57 - 67 N/mm ²	~ 67 - 77 N/mm ²	
	3 days	~ 45 - 55 N/mm ²	~ 74 - 84 N/mm ²	~ 76 - 86 N/mm ²	
7 days	~ 59 - 69 N/mm ²	~ 77 - 87 N/mm ²	~ 77 - 87 N/mm ²		
Modulus of Elasticity in Compression	14 days (at +23 °C)	~ 9,000 N/mm ²		(ASTM D 695)	
Tensile Strength in Flexure	Curing time	Curing temperature			(DIN EN 196)
		+10 °C	+23 °C	+30 °C	
	1 day	~ 6 - 12 N/mm ²	~ 17 - 27 N/mm ²	~ 20 - 30 N/mm ²	
	3 days	~ 14 - 24 N/mm ²	~ 21 - 31 N/mm ²	~ 25 - 35 N/mm ²	
7 days	~ 26 - 36 N/mm ²	~ 33 - 43 N/mm ²	~ 33 - 43 N/mm ²		
Tensile Strength	Curing time	Curing temperature			(ISO 527)
		+25 °C	+35 °C	+45 °C	
	1 day	~ 2 - 6 N/mm ²	~ 11 - 19 N/mm ²	~ 12 - 22 N/mm ²	
	3 days	~ 12 - 18 N/mm ²	~ 13 - 21 N/mm ²	~ 14 - 24 N/mm ²	
7 days	~ 13 - 19 N/mm ²	~ 14 - 22 N/mm ²	~ 16 - 26 N/mm ²		
Modulus of Elasticity in Tension	14 days (at +23 °C)	~ 4,000 N/mm ²		(ISO 527)	
Elongation at Break	7 days (at +23 °C)	0.2 ± 0.1 %		(ISO 527)	
Tensile Adhesion Strength	Curing time	Substrate	Curing temperature	Adhesion strength	(EN ISO 4624, EN 1542, EN 12188)
	7 days	Concrete dry	+30 °C	> 2 N/mm ² *	
	7 days	Concrete moist	+10 °C	> 2 N/mm ² *	
	7 days	Steel	+10 °C	~4 N/mm ²	
	7 days	Steel	+23 °C	~13 N/mm ²	
*100% concrete failure					
Shrinkage	Hardens without shrinkage.				
Coefficient of Thermal Expansion	3.5 x 10 ⁻⁵ 1/K (Temp. range +23 °C – +60 °C)				(EN 1770)
Heat Deflection Temperature	Curing time	Curing temperature - HDT			(ISO 75)
		ure	+23 °C	+49 °C	
(thickness 10 mm)					

APPLICATION INFORMATION

Mixing Ratio	Component A : B : C = 2 : 1 : 2.5 by weight Component A : B : C = 2 : 1 : 3.4 by volume
---------------------	--

Consumption	The consumption of Sikadur®-41 CF Normal is ~ 2.0 kg/m ² per mm of thickness.		
Layer Thickness	60 mm max. When using multiple units, use one after the other. Do not mix the following unit until the previous one has been used in order to avoid a reduction in handling time.		
Sag Flow	On vertical surfaces it is non-sag up to 20 mm thickness. (EN 1799)		
Product Temperature	Sikadur®-41 CF Normal must be applied at a temperatures between +10 °C and +30 °C.		
Ambient Air Temperature	+10 °C min. / +30 °C max.		
Dew Point	Beware of condensation. Substrate temperature during application must be at least 3 °C above dew point.		
Substrate Temperature	+10 °C min. / +30 °C max.		
Substrate Moisture Content	Substrate must be dry or mat damp (no standing water) Brush the adhesive well into the substrate		
Pot Life	Temperature	Pot life*	Open time (EN ISO 9514)
	+10 °C	~ 180 minutes	
	+23 °C	~ 60 minutes	
	+30 °C	~ 40 minutes	~ 50 minutes
*200 g The pot life begins when the resin and hardener are mixed. It is shorter at high temperatures and longer at low temperatures. The larger the quantity mixed, the shorter the pot life. To obtain longer workability at high temperatures, the mixed adhesive may be divided into portions. Another method is to chill components A+B before mixing them (not below +5 °C).			

APPLICATION INSTRUCTIONS

SUBSTRATE QUALITY

Mortar and concrete must be older than 28 days (depends on minimal requirement of strengths).
Verify the substrate strength (concrete, masonry, natural stone).

The substrate surface (all types) must be clean, dry or mat damp (no standing water) and free from contaminants such as dirt, oil, grease, existing surface treatments and coatings etc.

Steel substrates must be de-rusted similar to Sa 2.5
The substrate must be sound and all loose particles must be removed.

SUBSTRATE PREPARATION

Concrete, mortar, stone, bricks:

Substrates must be sound, dry or mat damp (no standing water), clean and free from laitance, ice, grease, oils, old surface treatments or coatings and all loose or friable particles must be removed to achieve a laitance and contaminant free, open textured surface.

Steel:

Must be cleaned and prepared thoroughly to an acceptable quality i.e. by blast-cleaning and vacuum.
Avoid dew point conditions.

MIXING

Pre-batched units:

Mix components A+B together for at least 3 minutes with a mixing spindle attached to a slow speed electric drill (max. 300 rpm) until the material becomes smooth in consistency and a uniform grey colour. Then add part C and continue until mixture is homogeneous. Avoid aeration while mixing. Then, pour the whole mix into a clean container and stir again for approx. 1 more minute at low speed to keep air entrapment at a minimum. Mix only that quantity which can be used within its pot life.

APPLICATION METHOD / TOOLS

Brush the adhesive well into the substrate. Sikadur®-31 CF can be used as primer to improve the bond.

When using a thin layer adhesive, apply the mixed adhesive to the prepared surface with a spatula, trowel, notched trowel, (or with hands protected by gloves).
When applying as a repair mortar, use some form-work.

When using for bonding metal profiles onto vertical surfaces, support and press uniformly using props for at least 12 hours, depending on the thickness applied (not more than 5 mm) and the room temperature.
Once hardened check the adhesion by tapping with a hammer.

CLEANING OF EQUIPMENT

Clean all tools and application equipment with Sika® Colma Cleaner immediately after use. Hardened / cured material can only be removed mechanically.

IMPORTANT CONSIDERATIONS

Sikadur® resins are formulated to have low creep under permanent loading. However due to the creep behaviour of all polymer materials under load, the long term structural design load must account for creep. Generally the long term structural design load must be lower than 20 – 25 % of the failure load.

BASIS OF PRODUCT DATA

All technical data stated in this Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

LOCAL RESTRICTIONS

Note that as a result of specific local regulations the declared data and recommended uses for this product may vary from country to country. Consult the local Product Data Sheet for the exact product data and uses.

ECOLOGY, HEALTH AND SAFETY

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Safety Data Sheet (SDS) containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

LEGAL NOTES

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

PT. Sika Indonesia Head Office and

Jl. Raya Cibinong-Bekasi Km.20

Limusunggal-Cileungsi

Bogor 16820-Indonesia

Tel. +62 21 8230025, Fax +62 21 8230026

Web: idn.sika.com

Email: sikacare@id.sika.com



Product Data Sheet
Sikadur®-41 CF Normal
December 2018, Version 01.02
020204030010000040

Sikadur-41CFNormal-en-ID (12-2018)-1-2.pdf

BUILDING TRUST



PRODUCT DATA SHEET

Sika® FerroGard®-903+

CORROSION INHIBITING IMPREGNATION (IMPROVED FORMULATION)

DESCRIPTION

Sika® FerroGard®-903+ is a surface applied mixed corrosion inhibitor, designed for use as an impregnation of steel reinforced concrete.

Sika® FerroGard®-903+ is based on organic compounds. Sika® FerroGard®-903+ penetrates the concrete and forms a protective monomolecular layer on the surface of the reinforcing steel.

Protection with Sika® FerroGard®-903+ both delays the start of corrosion and reduces the corrosion rate. Corrosion protection with Sika® FerroGard®-903+ increases the service and maintenance life cycles by up to 15 years when used as a part of a complete Sika Concrete Repair and Protection System.

USES

- For the corrosion protection of steel reinforced concrete structures above and below the ground
- As a corrosion control treatment for undamaged reinforced concrete where reinforcing steel is corroding, or is at risk from corrosion due to the effects of carbonated or chloride contaminated concrete
- Sika® FerroGard®-903+ is especially suitable for extending the service life of aesthetically valuable fair-faced concrete surfaces such as historic structures

CHARACTERISTICS / ADVANTAGES

- Does not change the appearance of the concrete structure
- Does not alter the water vapour diffusion properties of concrete
- Long term protection and durability

- Can be applied to the surface of existing repairs and to surrounding areas to prevent the development of incipient anodes
- Protects both, cathodic (principle 9) and anodic (principle 11) zones of reinforcing steel
- Can be applied where other repair/prevention options are not viable
- Economic extension of the service life of reinforced concrete structures
- Easy, economical application, renewable
- Can be used as part of a simple yet effective concrete repair and protection system

APPROVALS / STANDARDS

BRE, The use of surface applied FerroGard 903+ corrosion inhibitor to delay the onset of chloride induced corrosion in hardened concrete, BRE Client Report No. 224-346, 2005

Mott MacDonald, Evaluation of Sika FerroGard 901 and 903+ Corrosion Inhibitors, Ref. 26'063/001 Rev A, April 1996

SAMARIS (Sustainable and Advanced Materials for Road Infrastructure) - Final Report, Deliverables D17a, D17b, D21 & D25a, Copenhagen, 2006

Mulheron, M., Nwaubani, S.O., Corrosion Inhibitors for High Performance Reinforced Concrete Structures, University of Surrey, 1999

C-Probe Systems Ltd., Performance of Corrosion Inhibitors in Practice, 2000

Complies to principle 11 of EN 1504-9 method 11.3 (applying inhibitor to the concrete)

PRODUCT INFORMATION

Chemical base	Aqueous solution of amino alcohols & salts of amino alcohols.
Packaging	23 kg pail 230 kg drum
Appearance / Colour	Transparent liquid
Shelf life	24 months from date of production if stored properly in undamaged and unopened, original sealed packaging
Storage conditions	Store in a cool environment. In case of - frost (< -5 °C), - reversible crystallisation may occur. If this happens, let the product warm up at room temperature (+15 °C to +25 °C), then stir well to re-dissolve the crystals.
Density	~1.04 (at +20 °C)
pH-Value	~10
Viscosity	~24 mPa.s

TECHNICAL INFORMATION

Penetration Depth	<p>Site surveys and experimental tests have shown that Sika® FerroGard®-903+ can penetrate through concrete at a rate of a few millimetres per day and to a depth of approximately 25 to 40 mm in 1 month. This penetration rate can be faster or slower dependent on the porosity of the concrete. Sika® FerroGard®-903+ penetrates through both liquid and vapour phase diffusion mechanisms.</p> <p>Note: If after application of Sika® FerroGard®-903+, the concrete surface is coated with protective coatings (cement based, acrylic or impregnation) or hydrophobic impregnation, the rate of diffusion of the inhibitor is reduced but not stopped as the mechanism of diffusion liaises then only on the vapour phase.</p>
--------------------------	---

SYSTEM INFORMATION

System Structure	Sika® FerroGard®-903+ is part of the Sika® Concrete Repair & Protection Systems:
Repair system	Sika MonoTop®, Sika® Icoment® or SikaTop®
Reinforcement corrosion control	Sika® FerroGard®-903+
Concrete protection	Sikagard® Coatings and or Sikagard® Hydrophobic Impregnations

APPLICATION INFORMATION

Consumption	Generally ~0.50 kg/m ² (~480 ml/m ²). For very dense concrete with low permeability, the rate of application of Sika® FerroGard®-903+ can be reduced but must not be lower than 0.300 kg/m ² (290 ml/m ²).
Ambient Air Temperature	+5 °C min. / +40 °C max.
Substrate Temperature	+5 °C min. / +40 °C max.
Curing Time	Sika® FerroGard®-903+ does not require any special curing but must be protected from rain for at least 4 hours

APPLICATION INSTRUCTIONS

SUBSTRATE QUALITY / PRE-TREATMENT

The concrete shall be free from dust, loose material, surface contamination, existing renders, laitance, coatings, oil and other materials which reduce or prevent penetration.

If the substrate is to be overcoated, the surface profile shall be sufficient to provide the required adhesion

Delaminated, weak, damaged and deteriorated concrete shall be repaired using Sika® MonoTop®, SikaTop® or Sika® Icoment® mortars.

For fair-faced concrete or concrete to be further overcoated by coatings or hydrophobic impregnation, water blast the concrete surface with pressure (up to 18 MPa – 180 bars)

For concrete surface to be further overcoated by cementitious material, roughen the surface using suitable abrasive blast cleaning techniques or high pressure water-blasting (up to 60 MPa – 600 bars).

Do not use hot water.

For optimum penetration the substrate shall be allowed to dry out prior to the application of Sika® FerroGard®-903+.

MIXING

Sika® FerroGard®-903+ is supplied ready for use and must not be diluted. Do not shake the material prior to use.

APPLICATION

Sika® FerroGard®-903+ shall be applied to saturation by brush, roller, low pressure or airless spray equipment.

After the application of the last coat, as soon as the surface become mat, do a low pressure water cleaning (water hose).

The day after application, the treated surfaces shall be cleaned by pressure washing (~10 MPa – 100 bars).

Number of coats:

This is dependent on the porosity and moisture content of the substrate and the weather conditions.

Vertical surfaces:

Normally, 2 to 3 coats are necessary to achieve the required consumption. In case of dense concrete, additional coats may be required.

Horizontal Surfaces:

Saturate surface by 1-2 coats, take care to avoid ponding.

Waiting time between coats:

This is dependent on the porosity of the concrete and the weather conditions, normally 1-6 hours. Allow the surface to dry out between coats to a matt damp appearance.

OVERCOATING:

If the application is carried out as described above, no further treatment is required before over-coating with Sikagard® hydrophobic impregnations, Sikagard® breathable coatings or Sikafloor® products (Refer to appropriate Product Data Sheet for application details)

If non Sika coatings are to be applied, please contact the manufacturers technical department for confirmation of compatibility with Sika® FerroGard®-903+ or undertake compatibility and adhesion site trials.

When Sika® FerroGard®-903+ is used within a patch repair or before a cementitious overlay, Sika repair or overlay system can then be used. Standard preparation (pre-wetting) shall then be applied.

When using a smoothing coat/pore filler over surface treated with Sika® FerroGard®-903+, products such as SikaTop®-121, Sikagard®-720 EpoCem® or Sika® MonoTop®-107, SikaTop®-Seal 107, Sika® MonoTop®-G20, etc can be used. Cementitious levelling mortars shall only be used if there is a well prepared open textured surface that is completely cleaned of residue.

If other Sika products are to be used, site trials are recommended to confirm preparation and suitability

If non Sika products are to be used, please contact the manufacturer technical department for confirmation of compatibility with Sika® FerroGard®-903+ or undertake compatibility and adhesion site trials.

CLEANING OF TOOLS

Use water to clean application equipment

LIMITATIONS

Do not apply when rain or frost is expected.
The following construction materials have to be protected from splashes of Sika® FerroGard®-903+ during application:

- aluminium
- copper
- galvanized steel
- marble and other similar natural stone

Visible concrete defects (spalling, cracks etc) must be repaired using conventional repair methods (removal of delaminating or loose concrete, treatment of reinforcement, reprofiling etc.)

Alternatively to the method described above, Sika® FerroGard®-903+ can be applied after repair works (but not overlay) has been carried out (after hardening of the repair material) – freshly repaired area might not be treated with the inhibitor. If this is nevertheless done, lower diffusion is then expected at the zones that were repaired.

Typical maximum chloride content at rebar level is 1% by weight of cement of free chloride ions (corresponding to 1.7 % of sodium chloride). Above this limit, according to site conditions and level of corrosion activities, increased consumption of Sika® FerroGard®-903+ can be considered. Trials and corrosion rate monitoring to confirm consumption and effectiveness shall be carried out.

To provide efficient protection, concentration of Sika® FerroGard®-903+ at rebar level shall be minimum 100ppm when measured by chromatography ionic – detailed method available upon request.

Do not apply in tidal zones or to substrates saturated with water.

Avoid application in direct sun and/or strong wind and/or rain.

Do not apply to concrete in direct contact with drinking water.

Depending on substrate conditions, the application of Sika® FerroGard®-903+ may lead to a slight darkening of the surface. Proceed with preliminary testing.

All surface treatments are to be carried out using cold potable water.

BASIS OF PRODUCT DATA

All technical data stated in this Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

LOCAL RESTRICTIONS

Please note that as a result of specific local regulations the declared data and recommended uses for this product may vary from country to country. Please consult the local Product Data Sheet for the exact product data and uses.

ECOLOGY, HEALTH AND SAFETY

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Safety Data Sheet (SDS) containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

LEGAL NOTES

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

PT. Sika Indonesia

Jl. Raya Cibinong-Bekasi km.20.

Cileungsi, Bogor 16820 - Indonesia

Tel. +62 21 8230025

Fax. +62 21 8230026

Website: idn.sika.com

email: sikacare@id.sika.com



PRODUCT DATA SHEET
Sika® FerroGard®-903+
April 2017
020303040010000008

PRODUCT DATA SHEET

Sikagard®-63 N

2-PART EPOXY PROTECTIVE COATING

DESCRIPTION

Sikagard®-63 N is a two part, rigid, total solid, coloured epoxy resin based protective coating.

USES

Sikagard®-63 N may only be used by experienced professionals.

- Chemical resistant protective layer on concrete, stone, cementitious mortars and renderings, epoxy cement, epoxy resin based products and steel
- Lining in storage tanks and silos
- Anti-corrosion coating on steel in food processing plants, sewage works, farms, agricultural enterprises, chemical and pharmaceutical facilities and beverage industry

CHARACTERISTICS / ADVANTAGES

- Solvent free
- Good mechanical and chemical resistance
- High build
- Impervious to liquids
- Easy to mix and to apply

SUSTAINABILITY

Conformity with LEED v2009 IEQc 4.2: Low-Emitting Materials - Paints and Coatings

APPROVALS / CERTIFICATES

Coating for concrete protection according the requirements of EN 1504-2/2004

PRODUCT INFORMATION

Chemical base	Epoxy resin	
Packaging	Part A	8.70 kg can
	Part B	1.3 kg can
Appearance / Colour	Resin - Part A: Hardener - Part B:	Coloured, liquid Transparent, liquid
	Pebble grey (~ RAL 7032). Additional colour shades on request. Under sun radiation it may come to discolouration and colour deviation; this has no influence to the function of the coating.	
Shelf life	12 month from date of production	
Storage conditions	The packaging must be stored properly in original, unopened and undamaged sealed packaging, in dry conditions at temperatures between +5 °C and +30 °C. Protected from direct sunlight.	
Density	Mixed resin ~ 1.35 kg/L Density values determined at +23 °C	(EN ISO 2811-1)
Solid content	~100 %	

TECHNICAL INFORMATION

Tensile Adhesion Strength	~1.5 N/mm ² to concrete	(ISO 4624)
Chemical Resistance	For further information please contact Sika Technical Service.	
Thermal Resistance	Exposure Permanent max. 3 days	Dry heat +40 °C +60 °C
Diffusion Resistance to Water Vapour	μH ₂ O ~ 100 000	(EN ISO 7783-1)

APPLICATION INFORMATION

Mixing Ratio	Part A : Part B = 83 : 17 by weight			
Consumption	~0.15 kg/m ² per layer (min. recommendation is two layer depend consumption required)			
Layer Thickness	~0.1 mm per layer (min. recommendation is two layer depend thickness required)			
Ambient Air Temperature	+10 °C min. / +30 °C max.			
Relative Air Humidity	< 80 %			
Substrate Temperature	+10 °C min. / +40 °C max. Minimum 3 °C above dew point, beware of condensation			
Pot Life	Temperature +10 °C +20 °C +30 °C	Time ~30 min ~20 min ~10 min		
Waiting Time / Overcoating	Temperature	Min.	Max.	Full Cure
	+10 °C	~9 h	~3 d	~14 d
	+20 °C	~5 h	~2 d	~9 d
	+30 °C	~4 h	~1 d	~5 d

APPLICATION INSTRUCTIONS

SUBSTRATE QUALITY

The concrete substrate must be sound and of sufficient compressive strength (~25 N/mm²) with a minimum pull off strength of 1.0 N/mm². The substrate must be sound, clean, dry, free from contaminants such as dirt, grease, oil, old coatings, release agents, laitance and other adhesion preventing or influencing substances. On high absorbent, non-sound, contaminated, not cement based substrates precautions have to be taken and a suitable primer has to be used.

SUBSTRATE PREPARATION

Concrete Substrates

Concrete substrate must be prepared mechanically to achieve an open textured surface. Weak areas in the substrate must be removed and surface defects such as blowholes and voids must be fully exposed. All dust, loose and friable material must be completely removed from all surfaces before application of the product, preferably by brush and/or vacuum. Open voids and blowholes need to be closed with a

suitable Sika® pore filling mortar. The roughness of the substrate needs to be levelled with a suitable Sika® rendering and levelling mortar.

Steel Surface

Steel surface must be prepared mechanically using abrasive blast cleaning. The level SSPC-SP 10 "near white metal blast cleaned" or level Sa 2 ½ according to ISO EN 12944-4 has to be achieved. Welds and joints have to be prepared according to EN 14879, part 1. After blast cleaning remove all dust dirt and blasting material. In order to maintain the surface conditions after blast cleaning air-conditioning is recommended.

MIXING

Prior to mixing stir part A mechanically. When all of part B has been added to part A mix continuously for 3 minutes until an uniform mixed has been achieved. Use a low speed electrical stirrer (300 - 400 rpm) to avoid air entrapment. To ensure proper mixing pour material into a clean container and stir again.

APPLICATION

Apply by brush, short piled roller or airless spray.

CLEANING OF TOOLS

Clean all tools with Thinner C immediately after use. Hardened and/or cured material can only be removed mechanically.

LIMITATIONS

- This product may only be used by experienced professionals.
- Do not apply Sikagard®-63 N on moist substrates.
- Sag resistance on vertical surface is < 100 µm.
- Sikagard®-63 N cannot be used to produce glass fibre reinforced linings.
- Freshly applied Sikagard®-63 N must be protected from rain, condensation and water for at least 24 hours.
- For exact colour matching ensure using material from the same control batch numbers.

BASIS OF PRODUCT DATA

All technical data stated in this Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

LOCAL RESTRICTIONS

Note that as a result of specific local regulations the declared data and recommended uses for this product may vary from country to country. Consult the local Product Data Sheet for the exact product data and uses.

ECOLOGY, HEALTH AND SAFETY

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Safety Data Sheet (SDS) containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

DIRECTIVE 2004/42/CE - LIMITATION OF EMISSIONS OF VOC

According to the EU-Directive 2004/42, the maximum allowed content of VOC (Product category IIA / j type sb) is 500 g/l (Limits 2010) for the ready to use product. The maximum content of Sikagard®-63 N is <500 g/l VOC for the ready to use product.

PT. Sika Indonesia Head Office and

Jl. Raya Cibinong-Bekasi Km.20

Limusunggal-Cileungsi

Bogor 16820-Indonesia

Tel. +62 21 8230025, Fax +62 21 8230026

Web: idn.sika.com

Email: sikacare@id.sika.com



Product Data Sheet

Sikagard®-63 N

March 2018, Version 02.01

020606010030000001

LEGAL NOTES

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

Sikagard-63N-en-ID-(03-2018)-2-1.pdf

PRODUCT DATA SHEET

SikaGrout® 215 (new)

HIGH PRECISION, GENERAL PURPOSE, NON-SHRINK CEMENTITIOUS GROUT

DESCRIPTION

A non-shrink, cementitious premixed grout with extended working time to suit local ambient temperatures.

USES

For grouting over a wide range of applications:

- Anchor bolts
- Machine bedding/base plates
- Supporting bridge bearing pads
- Pre-cast concrete section
- Dry pack applications
- Cavities, gaps and recesses
- For grouting method of concrete repair
- Marine structure

CHARACTERISTICS / ADVANTAGES

- Easy to use, just add water
- Good flow characteristic
- Adjustable consistency
- Rapid strength development
- Shrinkage compensated
- High final strength
- Non-Corrosive
- Non-Toxic

PRODUCT INFORMATION

Packaging	25 kg
Appearance / Colour	Powder / Grey
Shelf life	9 months from the date production if stored in undamage and unopened original sealed bags
Storage conditions	Stored in dry condition between +10 °C - +30 °C
Density	~2.26 kg/L

TECHNICAL INFORMATION

Compressive Strength	1 day	~25.0 N/mm ²	(ASTM C-109)
	3 days	~40.0 N/mm ²	
	7 days	~52.0 N/mm ²	
	28 days	~65.0 N/mm ²	
Tensile Strength in Flexure	28 days	> 6.0 N/mm ²	(ASTM C-348)

Tensile Adhesion Strength	28 days	>1.5 N/mm ² Concrete failure, over roughened concrete surface
	28 days	>2.5 N/mm ² Over mechanically roughened old grout surface
Expansion	1 - 3 h (at +27 °C)	0.30 - 1.40 % (ASTM C-940)

APPLICATION INFORMATION

Mixing Ratio	4.0 L per 25 kg bag (water per powder = 16 % by weight)	
Consumption	~1 940 kg/m ³ of mortar	
Yield	~12.80 L per 25 kg bag	
Layer Thickness	Recommended thickness is 20 - 100 mm	
Flowability	Flow cone (mm)	240 - 280 mm (ASTM C230/230M)
Product Temperature	< +30 °C	
Ambient Air Temperature	+10 °C - +35 °C	
Substrate Temperature	+10 °C - +35 °C	
Pot Life	25 min	
Setting Time	4 - 8 h	

APPLICATION INSTRUCTIONS

SUBSTRATE QUALITY / PRE-TREATMENT

SURFACE PREPARATION

- Remove dirt, oil, grease, loose material and other bond-inhibiting materials.
- Anchor bolts to be grouted must be degreased with suitable solvent.
- Concrete must be sound and roughened to promote mechanical adhesion.
- Prior to pouring, surface must be wetted to saturated surface dry.

FORMING

For pourable grout, construct forms to retain grout without leakage. Forms should be lined or coated with bond-breaker for easy removal. Forms should be sufficiently high to accommodate head of grout. Where grout tight form is difficult to achieve, use SikaSet Accelerator as water plug (refer to PDS SikaSet Accelerator).

MIXING

Put measured quantity of water (depend on the required consistency) into a mixing vessel. Add slowly the total contents of SikaGrout® 215 (new) while mixing. Mix continuously for 3 minutes to achieve even consistency. Use a mechanically low speed drill (400 - 600 rpm) with mixing paddle or appropriately sized mortar mixer.

APPLICATION

Within 25 minutes after mixing, place grout into forms from one side to avoid air entrapment. Do not vibrate. Use a suitable head box of 150-200 mm and maintain the grout head at all times to ensure a continuous flow. Gentle tapping or pulling loops of wire from one side may assist the flow of the mortar under difficult working conditions.

CURING TREATMENT

Wet cure for a minimum 3 days with wet hessian, plastic sheet or apply a curing compound (Antisol)

CLEANING OF EQUIPMENT

Clean all tools and application equipment with water immediately after use. Hardened and / or cured material can only be remove mechanically.

IMPORTANT CONSIDERATIONS

- Minimum application thickness : 10 mm
- Recommended thickness of SikaGrout® 215 (new) in one pour is 20 mm to 100mm.
- If the thickness exceeds 100 mm, special procedure must be taken to anticipate temperature rise. Iced water, add coarse aggregate to the mix (max. 40% by powder weight), or both of them may be used to eliminate temperature rise.
- Variations in cement could cause shade differences in colour of the mortar.

BASIS OF PRODUCT DATA

All technical data stated in this Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

LOCAL RESTRICTIONS

Note that as a result of specific local regulations the declared data and recommended uses for this product may vary from country to country. Consult the local Product Data Sheet for the exact product data and uses.

ECOLOGY, HEALTH AND SAFETY

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Safety Data Sheet (SDS) containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

LEGAL NOTES

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

PT. Sika Indonesia Head Office and

Jl. Raya Cibinong-Bekasi Km.20

Limusunggal-Cileungsi

Bogor 16820-Indonesia

Tel. +62 21 8230025, Fax +62 21 8230026

Web: idn.sika.com

Email: sikacare@id.sika.com



Product Data Sheet
SikaGrout® 215 (new)
December 2018, Version 04.01
020201010010000128

SikaGrout215new-en-ID-(12-2018)-4-1.pdf



PRODUCT DATA SHEET

Sika® Injection-101 RC

FLEXIBLE PUR-INJECTION FOAM FOR TEMPORARY WATERSTOPPING

DESCRIPTION

Sika® Injection-101 RC is a low viscous, fast foaming and solvent-free water-reactive polyurethane injection foam resin, which cures to a dense flexible foam with a fine cellular structure.

USES

Sika® Injection-101 RC may only be used by experienced professionals.

- Sika® Injection-101 RC is used for the temporary waterstopping of high water intrusions in cracks, joints and cavities in concrete, brickwork and natural stonework.
- To achieve permanent watertight crack sealing, Sika® Injection-201 CE should be injected subsequently.

CHARACTERISTICS / ADVANTAGES

- No reaction takes place unless it is in direct contact with water.
- Sika® Injection-101 RC can be injected as a single component system.
- The free foaming expansion in contact with water is up to 40 times.
- The reaction speed (foam formation) is influenced by the temperatures of the mixed material, the structure and the contact water, plus the hydrodynamic conditions.
- In cold temperatures (< + 10°C) Sika® Injection-101 RC can be accelerated using Sika® Injection-AC10.

APPROVALS / STANDARDS

German KTW drinking water certificate
 German ZTV-ING chapter 3, part 5 (RISS) tested (BAST listed)

PRODUCT INFORMATION

Chemical base	Water reactive 2-part polyurethane resin, solvent and CFC free		
Packaging	Part A	10 kg	
	Part B	12.5 kg	
Colour	Part A	Colourless	
	Part B	Brown	
Shelf life	24 months shelf life from date of production if stored properly in undamaged, unopened, original sealed packaging.		
Storage conditions	Dry storage at temperatures from +5 °C up to +35 °C. Protect from direct sunlight and humidity.		
Density	Part A	~1.0 kg/L	(ISO 2811)
	Part B	~1.25 kg/L	
	at +20 °C		

Viscosity	Part A	~140 mPa·s	(ISO 3219)
	Part B	~155 mPa·s	
	at +20 °C		

TECHNICAL INFORMATION

Expansion	Expansion start	~15 s after contact with water	(EN 1406)
	Expansion end	~67 s	
at +20 °C			

APPLICATION INFORMATION

Mixing ratio	Part A:part B = 1:1 by volume		
	Reaction time table Sika® Injection-101 RC [PM 10081-11]		
0 % Sika® Injection-AC10¹			
Material temperature	Expansion start	Expansion end	
+5 °C	~19 sec	~79 sec	
+10 °C	~17 sec	~88 sec	
+20 °C	~16 sec	~70 sec	
5 % Sika® Injection-AC10¹			
Material temperature	Expansion start	Expansion end	
+5 °C	~12 s	~57 s	
+10 °C	~11 s	~49 s	
+20 °C	~10 s	~39 s	
10 % Sika® Injection-AC10¹			
Material temperature	Expansion start	Expansion end	
+5 °C	~9 s	~41 s	
+10 °C	~8 s	~37 s	
+20 °C	~7 s	~35 s	
1 Dosage of Sika® Injection-AC10 in % by weight of Sika® Injection-101 RC (comp. A+B) The given data are laboratory parameters and may deviate depending on the object and conditions on site.			

Ambient Air Temperature	+5 °C min. / +35 °C max.	
Substrate Temperature	+5 °C min. / +35 °C max.	
Pot Life	~2 hours (at +20 °C) remove skin from the surface (do not mix in!)	(ISO 9514)

APPLICATION INSTRUCTIONS

MIXING

Empty parts A and B into a mixing vessel and mix slowly and thoroughly for at least 3 min (max. 250 rpm) until homogeneous, thereby observing the safety precautions. The containers are supplied according to the required mixing ratio of 1 : 1 parts by volume. Partial quantities can be measured out in separate vessels. After mixing, pour the material into the pump's feed container, stir briefly and apply within the pot life.

After mixing, pour the material into the pump's feed container, stir briefly and use within the pot life. If the substrate and/or ambient temperatures are < +10 °C, Sika® Injection-AC10 can be added to Sika® Injection-101 RC to accelerate the start of expansion.

APPLICATION METHOD / TOOLS

Use injection pumps suitable for single part injection products.

CLEANING OF TOOLS

Clean all tools and application equipment according to the Product Data Sheet for the Sika® Injection Cleaning System.

LIMITATIONS

Sika® Injection-101 RC is generally used for the temporary stopping of high water infiltration. To achieve permanent watertight crack sealing, the subsequent injection of Sika® Injection-201 CE is recommended.

BASIS OF PRODUCT DATA

All technical data stated in this Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

LOCAL RESTRICTIONS

Please note that as a result of specific local regulations the declared data and recommended uses for this product may vary from country to country. Please consult the local Product Data Sheet for the exact product data and uses.

ECOLOGY, HEALTH AND SAFETY

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Safety Data Sheet (SDS) containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

LEGAL NOTES

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

PT. Sika Indonesia
Jl. Raya Cibinong-Bekasi km.20.
Cileungsi, Bogor 16820 - Indonesia
Tel. +62 21 8230025
Fax. +62 21 8230026
Website: idn.sika.com
email: sikacare@id.sika.com



Sikalnjection-101RC_en_ID_[01-2017]_1_1.pdf

Product Data Sheet
Sika® Injection-101 RC
January 2017, Version 01.01
020707010010000001

SeaShield Fibre-Form Jacket

Custom fabricated fibreglass form for the encasement of concrete or epoxy grout

Composition

SeaShield Fibre-Form Jackets are fabricated from high-quality Fibreglass Reinforced Plastic (FRP) and polyester resins.

Uses

SeaShield Fibre-Form Jacket is used as a form for structural restoration of concrete, timber and steel piles.

Characteristics

SeaShield Fibre-Form Jackets are:

- Lightweight
- Easy to install
- Abrasion resistant,
- Impact resistant, and
- Resistant to UV radiation.

Typical properties

	Test method	Typical Results
Thickness		3-5 mm
Colour		Translucent or as required
Minimum ultimate tensile strength	ASTM D638	110 MPa
Minimum ultimate flexural strength	ASTM D790	170 MPa
Flexural modulus of elasticity	ASTM D790	5500 MPa
Barcol Hardness	ASTM D2583	40
IZOD Impact (notched)	ASTM D256	10 J/cm
Maximum water absorption	ASTM D570	1%

Application

see *Instructions for Use* for further details

The SeaShield Fibre-Form Jacket is positioned around a suitably cleaned pile using spacers to ensure correct annular space. The jacket is then filled with the SeaShield Grout specified for that project, at a consistent rate within pressure limits.

Availability

SeaShield Fibre-Form Jackets are manufactured to project requirements.

SeaShield International pursue a policy to develop and continually improve all of our products and therefore the information given in this data sheet is intended as a general guide and does not constitute a warranty of specification. However, our sales personnel are committed to assist the user in establishing the suitability of the product for its intended purpose and additional specific information is available on request. SeaShield products are sourced from a company complying with BS EN ISO 9001 Quality Management System.

Revision date: 20/06/2016

SeaShield International
33-35 Chapel Road,
London SE27 0TR, United Kingdom



Tel: +44 (0) 20 8670 7511
Fax: +44 (0) 20 8761 2456
Email: mail@seashield.com
Web: www.seashield.com



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

LAMPIRAN

EVALUASI STRUKTUR TRESTLE DERMAGA DI PROBOLINGGO
SETELAH BERUMUR 26 TAHUN PADA TAHUN 2018 DENGAN
MENINJAU METODE PERBAIKAN DAN PERKUATAN

Mahasiswa

DIO AGUNG SAPUTRA
NRP. 1011151000057

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. M. SIGIT DARMAWAN, M.EngSc., Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003

Dosen Pembimbing II
R. Buyung Anugraha A., ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002

PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

LAMPIRAN

EVALUASI STRUKTUR TRESTLE DERMAGA DI PROBOLINGGO
SETELAH BERUMUR 26 TAHUN PADA TAHUN 2018 DENGAN
MENINJAU METODE PERBAIKAN DAN PERKUATAN

Mahasiswa

DIO AGUNG SAPUTRA
NRP. 1011151000057

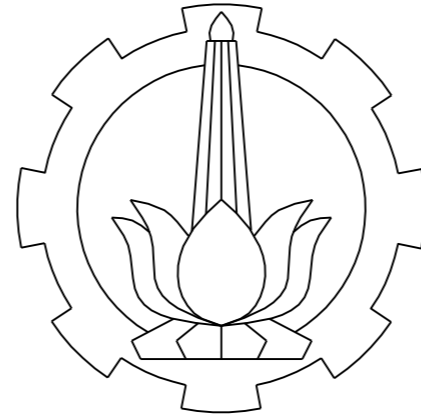
Dosen Pembimbing I

Prof. Ir. M. SIGIT DARMAWAN, M.EngSc., Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003

Dosen Pembimbing II

R. Buyung Anugraha A., ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002

PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

AS-BUILT DRAWING DAN GAMBAR METODE PERBAIKAN

TUGAS AKHIR TERAPAN

EVALUASI STRUKTUR TRESTLE DERMAGA DI PROBOLINGGO SETELAH
BERUMUR 26 TAHUN PADA TAHUN 2018 DENGAN MENINJAU
METODE PERBAIKAN DAN PERKUATAN

OLEH : Dio Agung Saputa
NRP. 10111510000057

DOSEN PEMBIMBING:

Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha A., ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002

DAFTAR GAMBAR

KODE GAMBAR	NAMA GAMBAR	NOMOR GAMBAR
AS-BUILT DRAWING		
ASB	POTONGAN MEMANJANG DAN MELINTANG TRESTLE	1
ASB	DENAH LOKASI TIANG PANCANG TRESTLE	2
ASB	DENAH PILE CAP TRESTLE	3
ASB	DETAIL PILE CAP TRESTLE ROW A	4
ASB	DETAIL PILE CAP TRESTLE ROW D, E, F	5
ASB	DETAIL PILE CAP TRESTLE ROW H, J, L, N, P, R, T, V (I)	6
ASB	DETAIL PILE CAP TRESTLE ROW H, J, L, N, P, R, T, V (II)	7
ASB	DETAIL PILE CAP TRESTLE ROW G, M, S (I)	8
ASB	DETAIL PILE CAP TRESTLE ROW G, M, S (II)	9
ASB	DETAIL PILE CAP TRESTLE ROW I, K, O, Q, U, W (I)	10
ASB	DETAIL PILE CAP TRESTLE ROW I, K, O, Q, U, W (II)	11
ASB	DETAIL PILE CAP TRESTLE ROW X (I)	12
ASB	DETAIL PILE CAP TRESTLE ROW X (II)	13
ASB	CROSS SECTION SLAB FOR ACCES BRIDGE	14
ASB	PRECAST DECK BEAM FOR ACCES BRIDGE	15
REPAIR METHOD		
RPR	OBSERVATION OF TRESTLE PIER DAMAGE (I)	16
RPR	OBSERVATION OF TRESTLE PIER DAMAGE (II)	17
RPR	CRACK REPAIR METHOD ON SLAB ACCES BRIDGE	18
RPR	PILE CAP REPAIR METHOD (I)	19
RPR	PILE CAP REPAIR METHOD (II)	20
RPR	PILE CAP REPAIR METHOD (III)	21
RPR	DETAILING LAP SPLICES (SNI 2834-2013) (I)	22
RPR	DETAILING LAP SPLICES (SNI 2834-2013) (II)	23
RPR	SPALLING REPAIR METHOD ON PILE CAP (I)	24
RPR	SPALLING REPAIR METHOD ON PILE CAP (II)	25
RPR	SPALLING REPAIR METHOD ON PILE CAP (III)	26
RPR	PILE ENCAPSULAION REPAIR METHOD (I)	27
RPR	PILE ENCAPSULAION REPAIR METHOD (II)	28
RPR	PILE ENCAPSULAION REPAIR METHOD (III)	29
RPR	PILE ENCAPSULAION REPAIR METHOD (IV)	30
RPR	PILE ENCAPSULAION REPAIR METHOD (V)	31

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Potongan Memanjang dan Melintang
Trestle

KETERANGAN

- ⊙ Raked Pile 1:6
- Vertikal Pile
- ⊙ Raked Pile 1:10
- ⊙ Raked Pile 1:20
- Test Pile
- Diameter All Pile 1016 mm
- Unit in millimeter (mm)

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

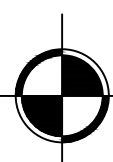
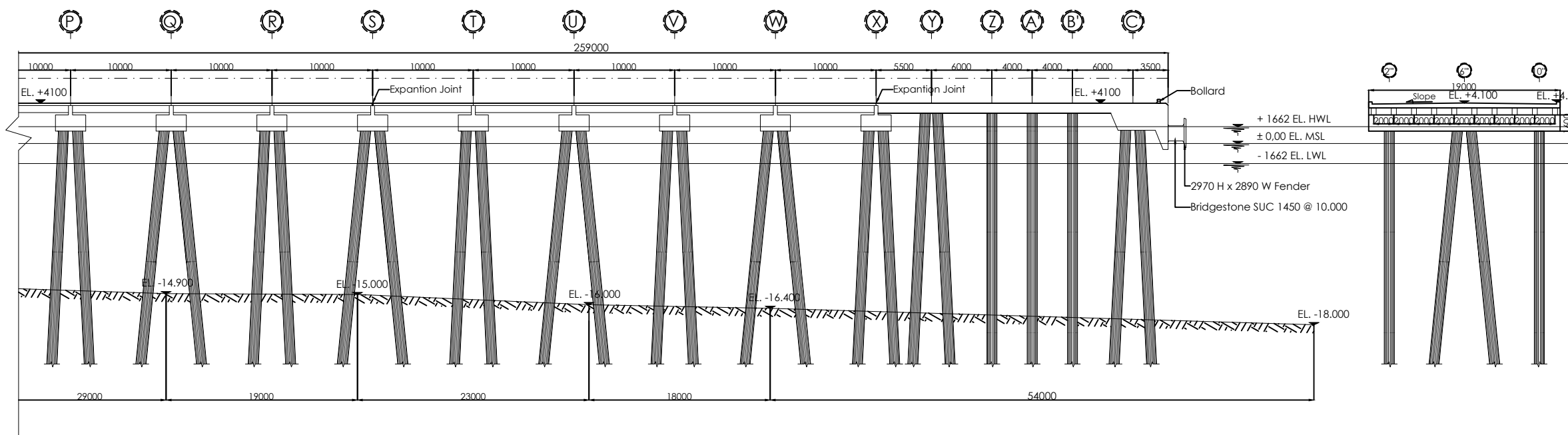
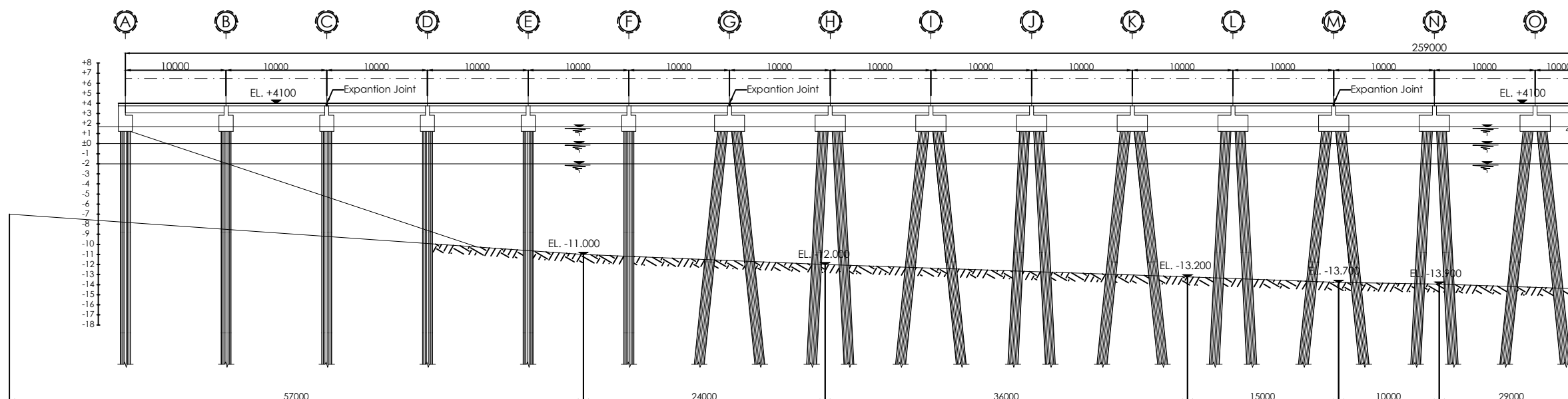
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

01

31



Potongan Memanjang dan Melintang Trestle

Skala 1:500

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Denah Lokasi
Tiang Pancang Trestle

KETERANGAN

- Raked Pile 1:6
- Vertikal Pile
- ⊙ Raked Pile 1:10
- ⊘ Raked Pile 1:20
- ⦿ Test Pile
- Diameter All Pile 1016 mm
- Unit in millimeter (mm)

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

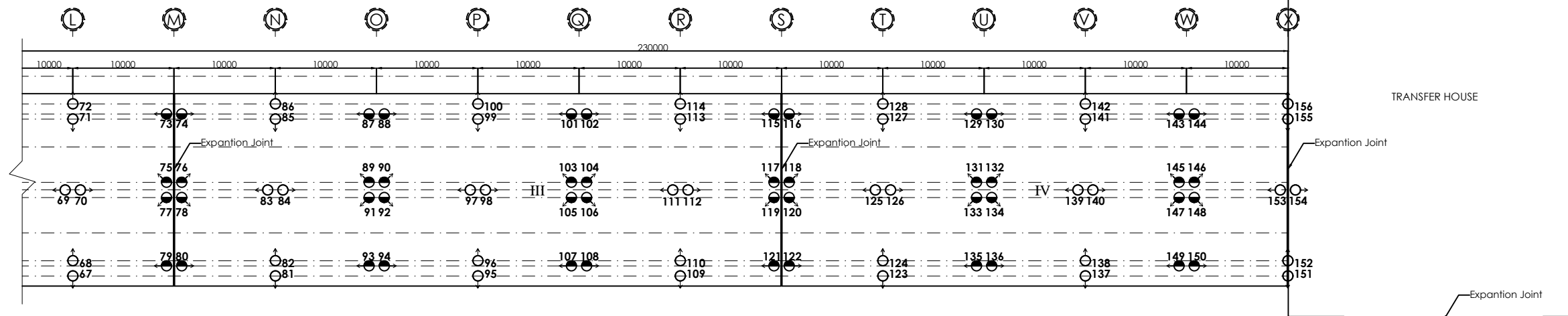
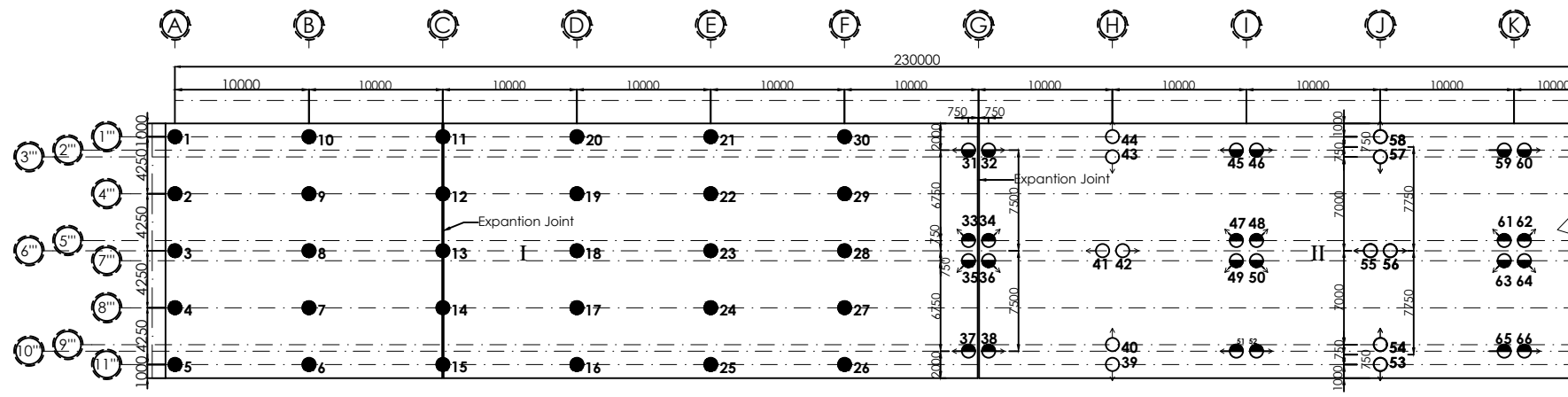
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

02

31



Denah Lokasi Tiang Pancang Trestle
Skala 1:500

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Denah PileCap
Trestle

KETERANGAN

- ⊘ Raked Pile 1:6
 - Vertikal Pile
 - ⊘ Raked Pile 1:10
 - ⊘ Raked Pile 1:20
 - Test Pile
- Diameter All Pile 1016 mm
- Unit in millimeter (mm)

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

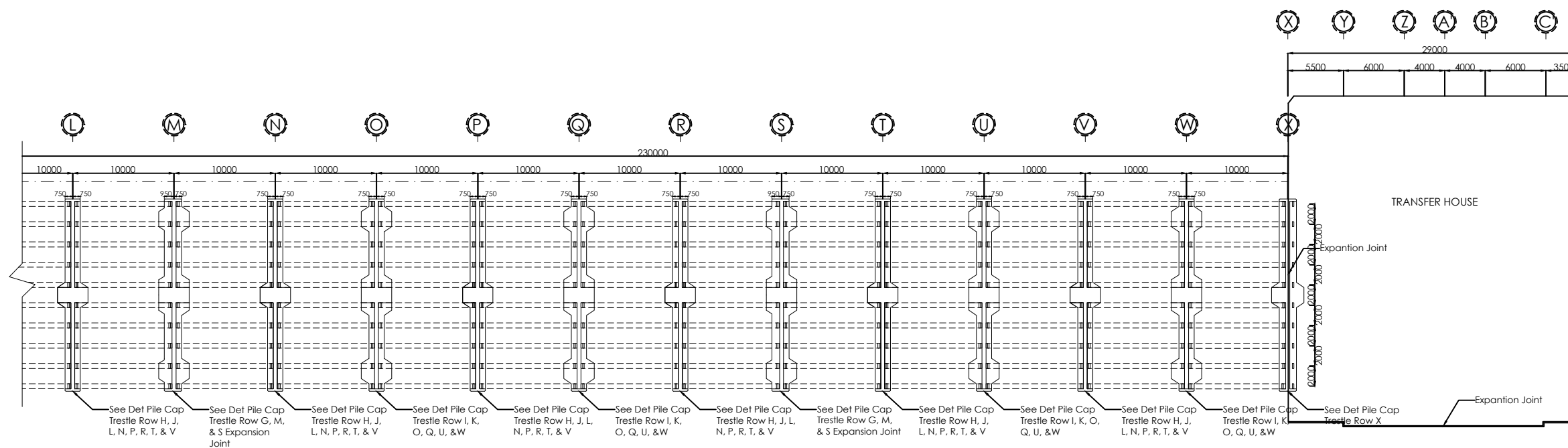
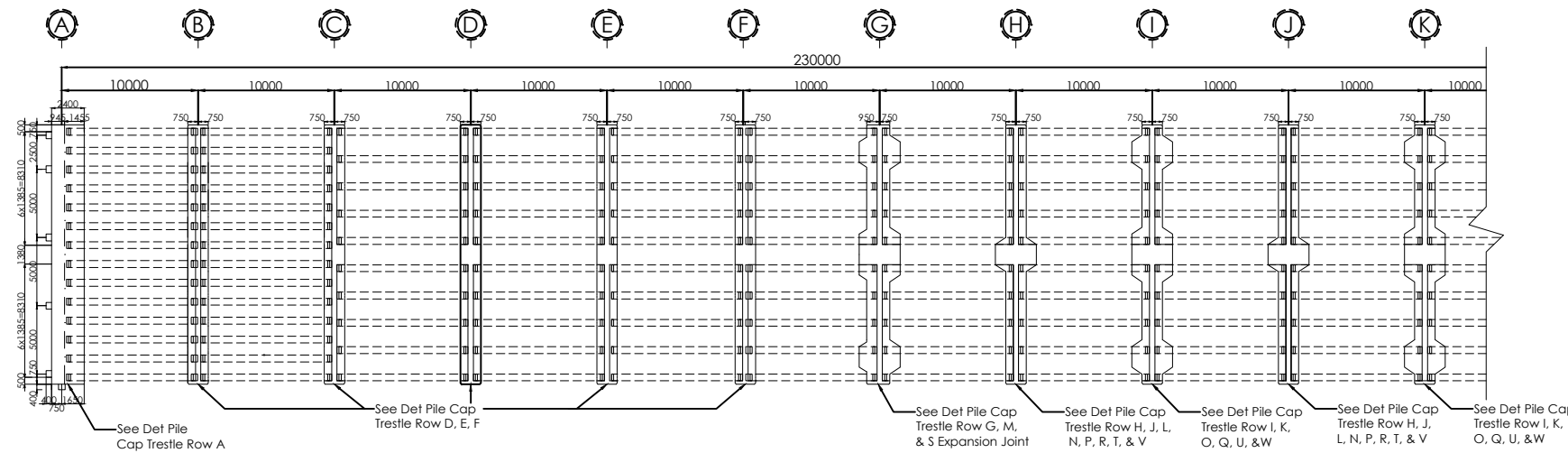
NAMA MAHASISWA

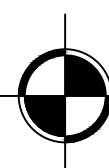
Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar : Jml. Gambar

03

31



 Denah PileCap Trestle
Skala 1:500

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Detail PileCap Trestle
Row D, E, F

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

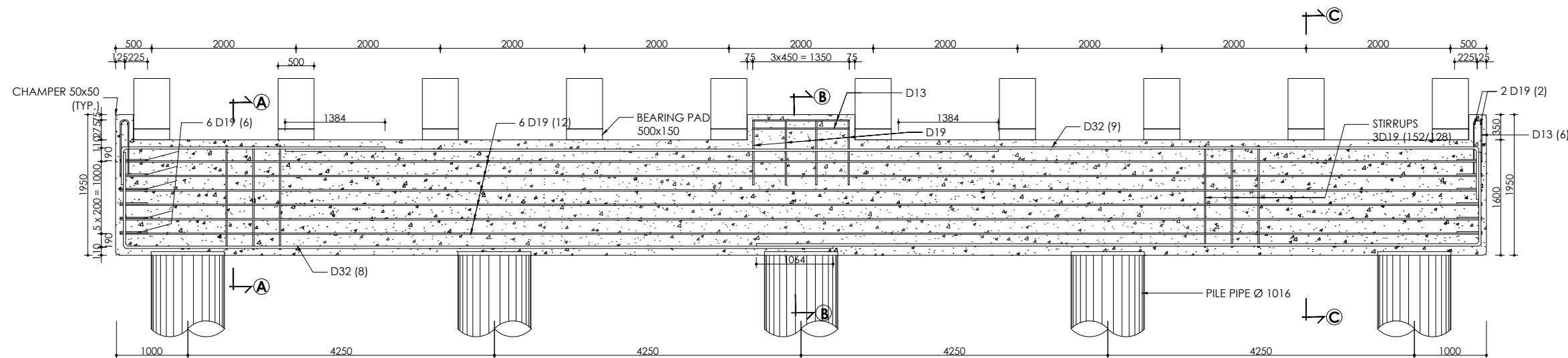
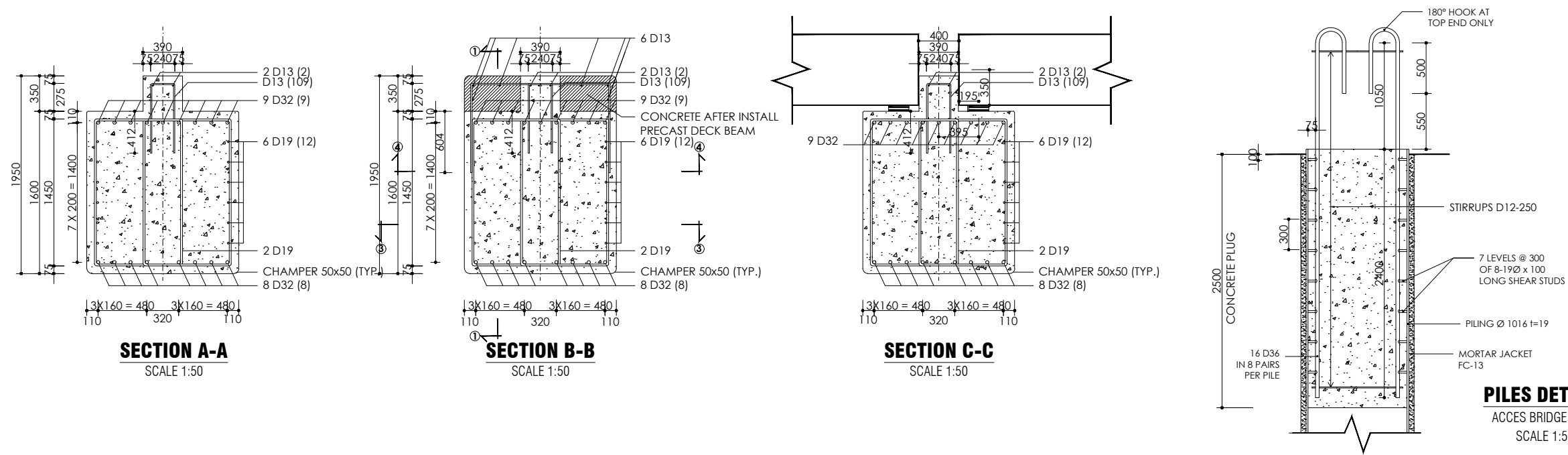
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

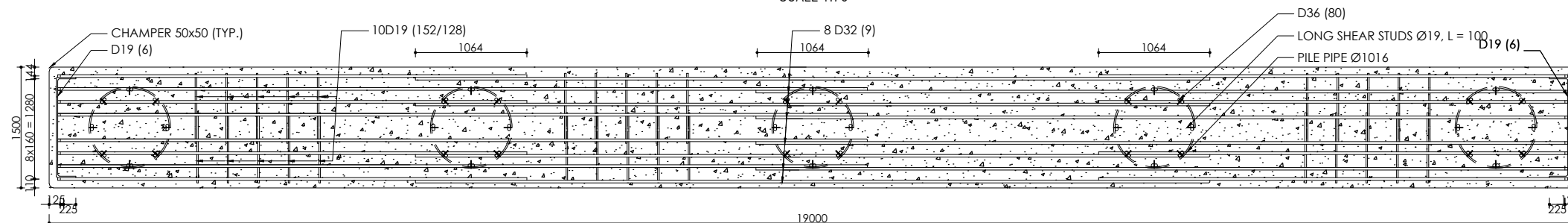
No. Gambar Jml. Gambar

05

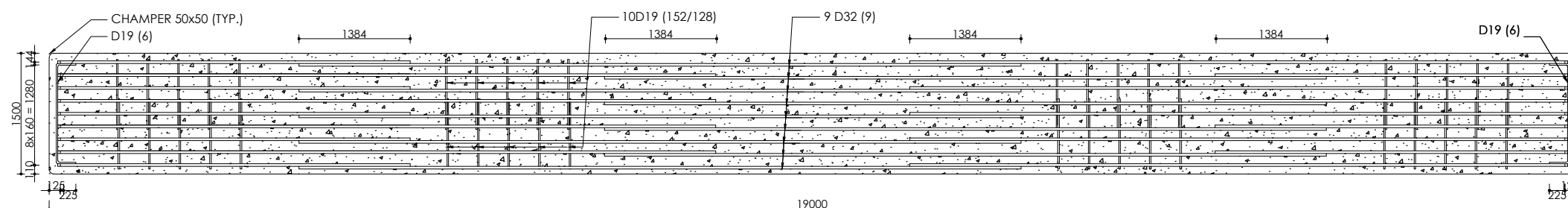
31



SECTION 1-1
SCALE 1:70



SECTION 3-3
SCALE 1:70



SECTION 4-4
SCALE 1:70

Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Detail PileCap Trestle
Row H, J, L, N, P, R, T, V

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

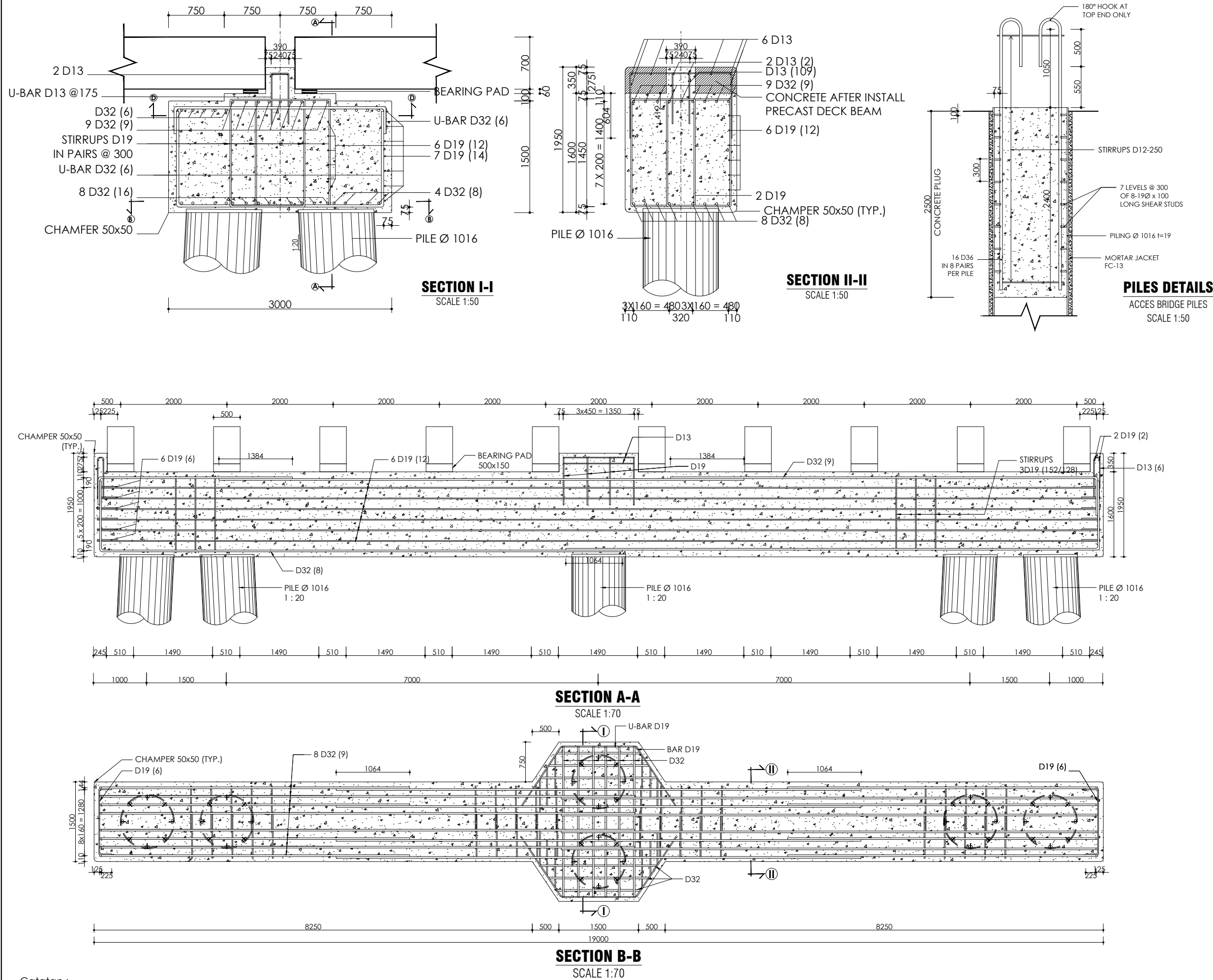
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

06

31



Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Detail PileCap Trestle
Row H, J, L, N, P, R, T, V

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

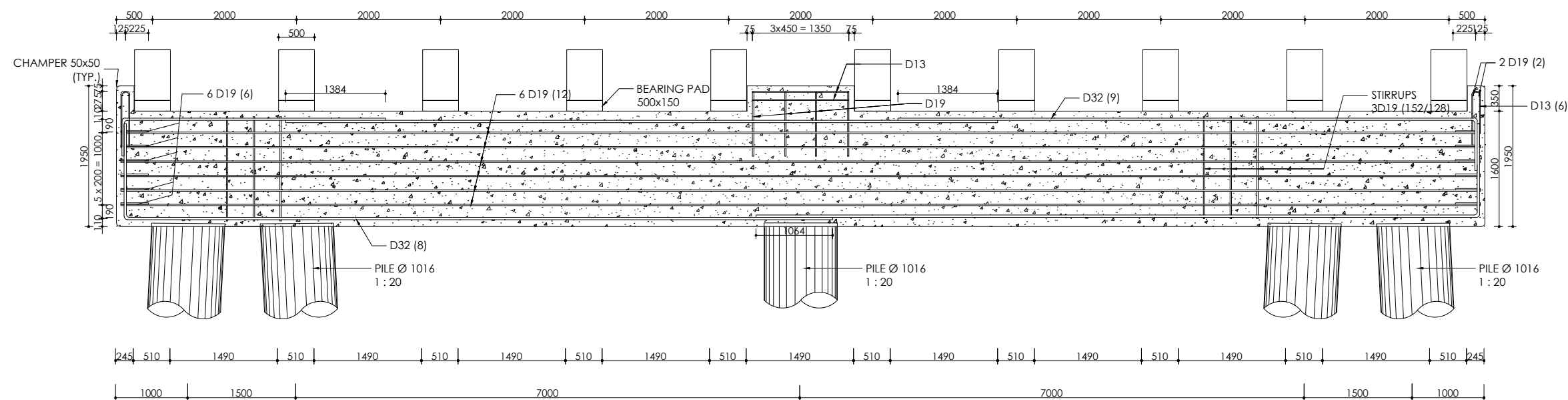
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

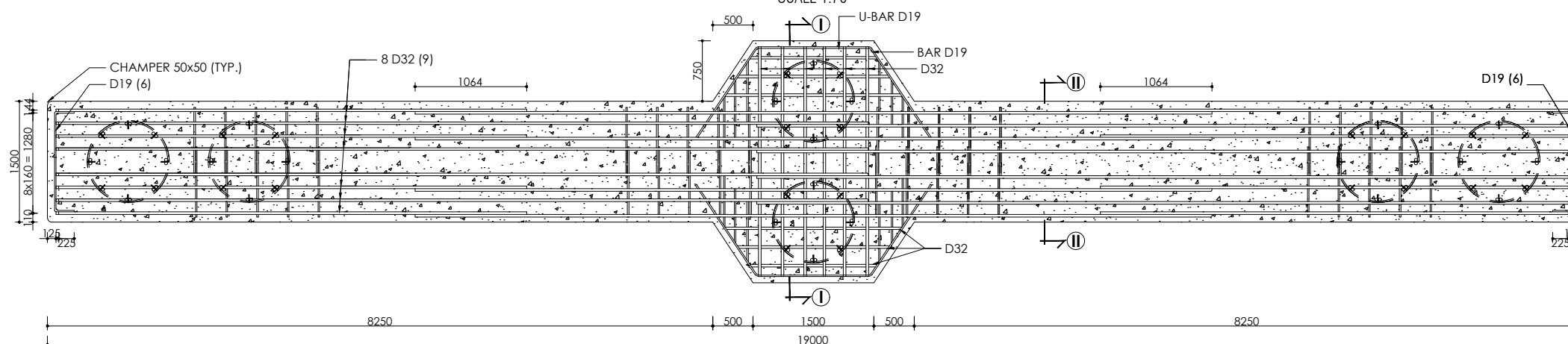
07

31



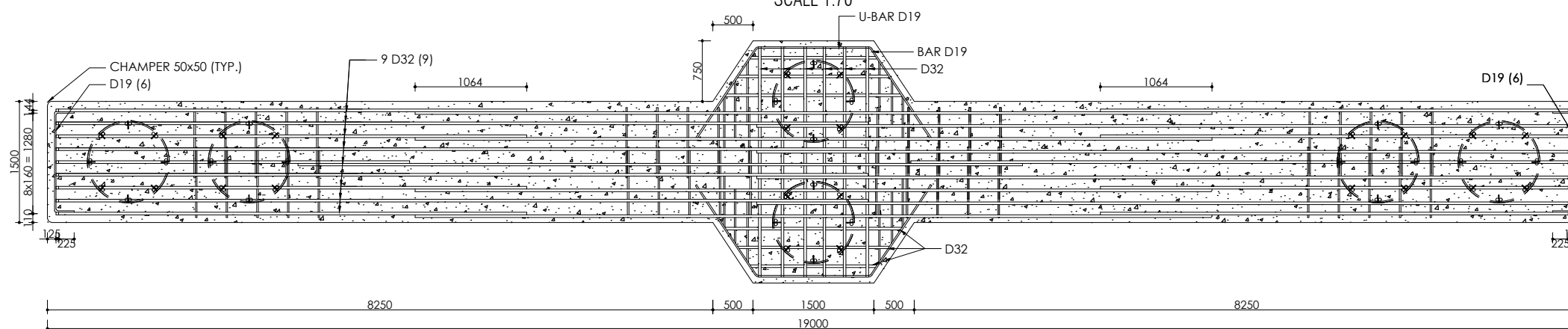
SECTION A-A

SCALE 1:70



SECTION B-B

SCALE 1:70



SECTION D-D

SCALE 1:70

Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Detail PileCap Trestle
Row G, M, S

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

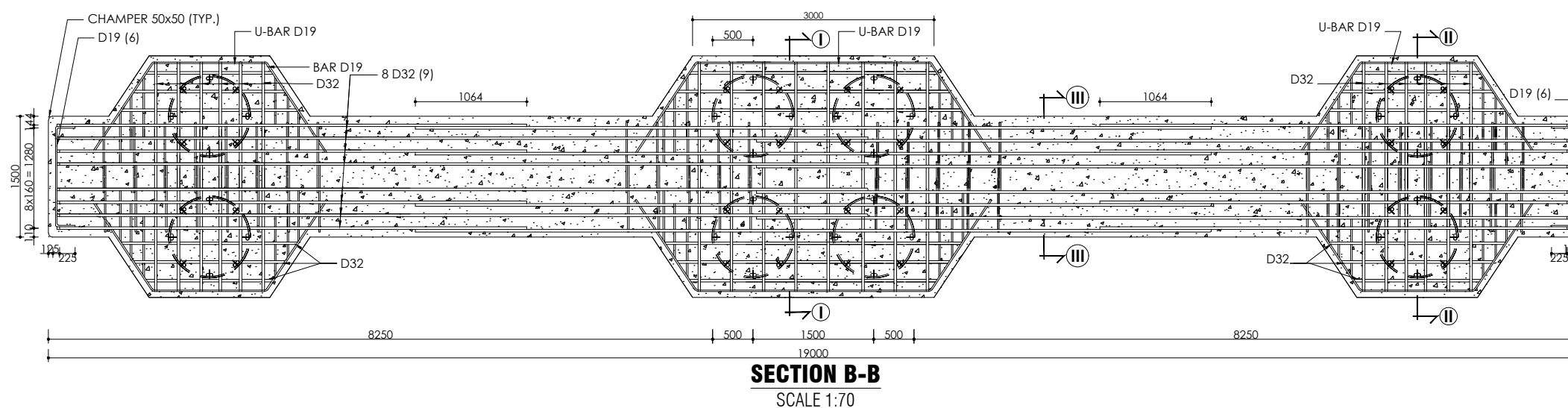
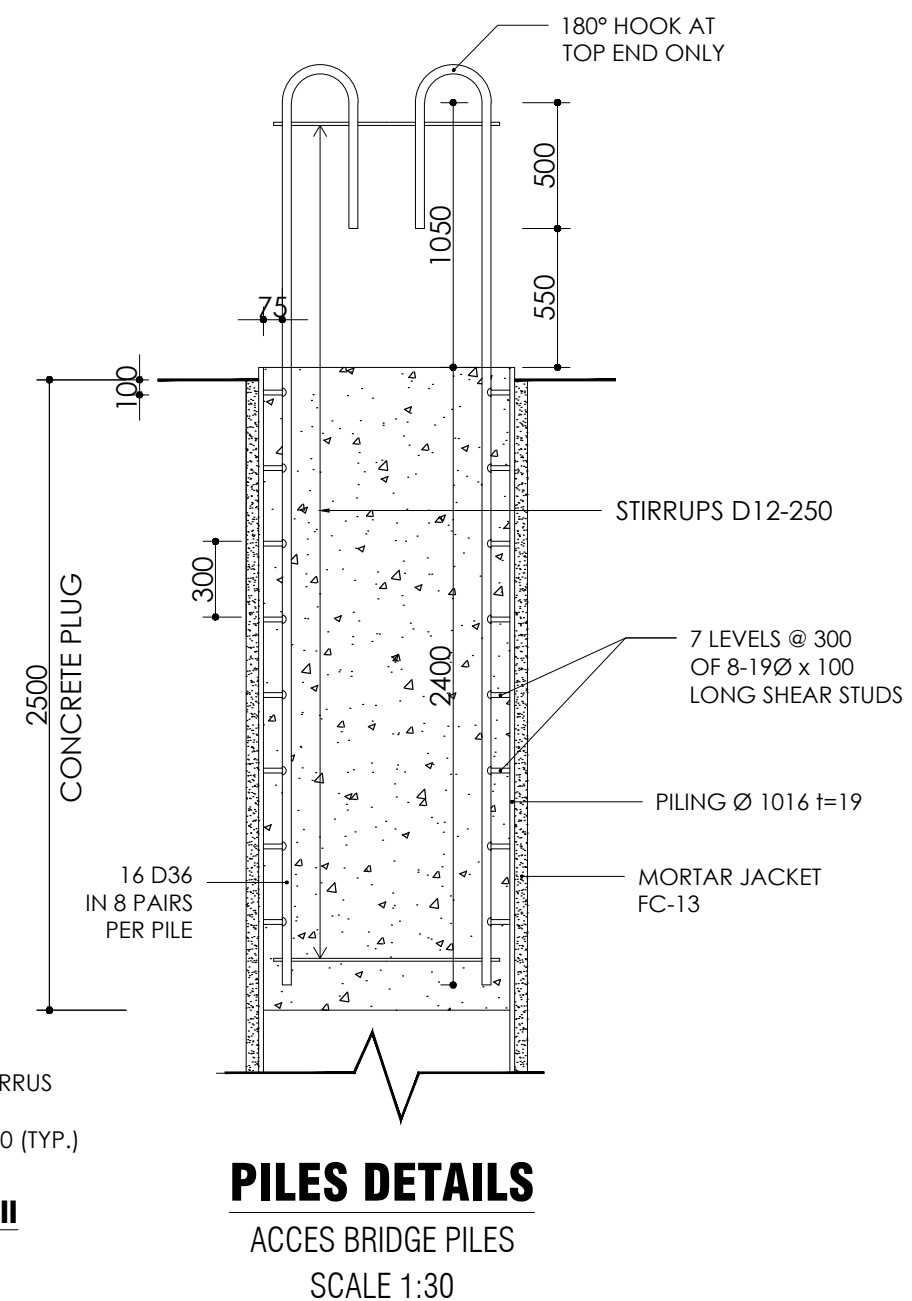
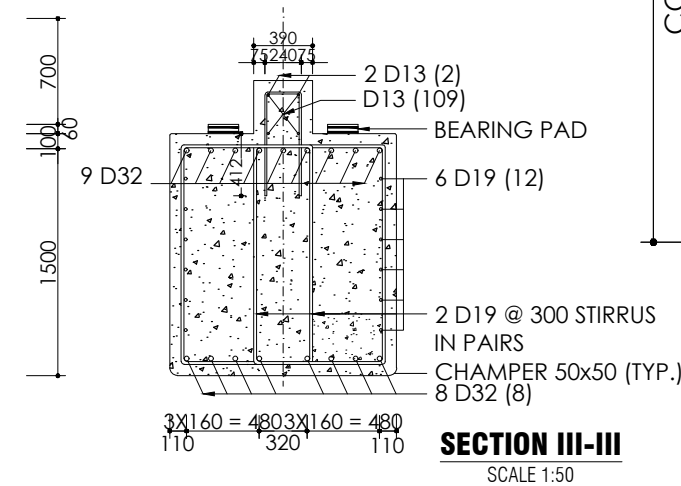
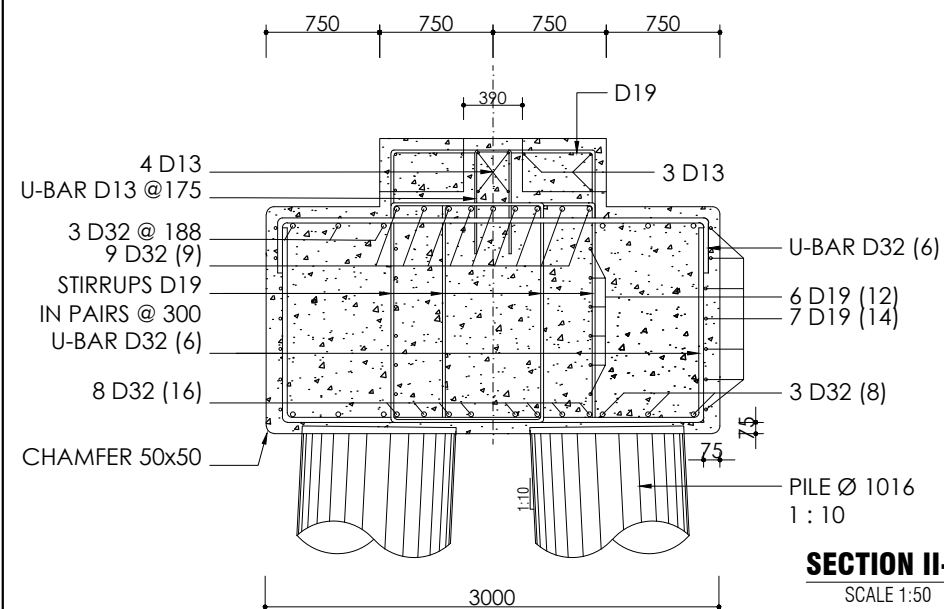
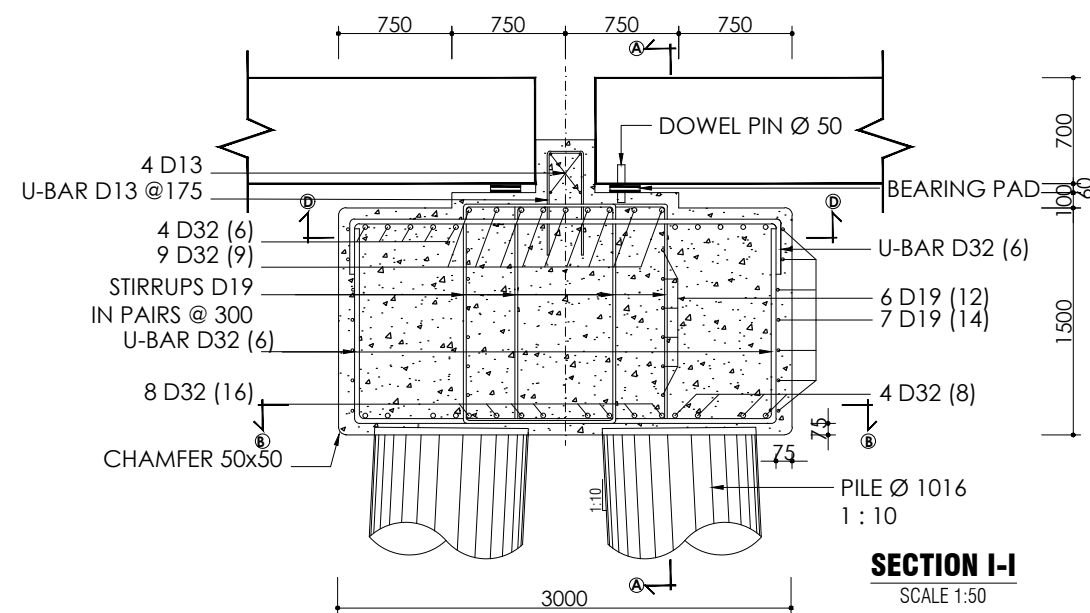
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

08

31



Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Detail PileCap Trestle
Row G, M, S

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

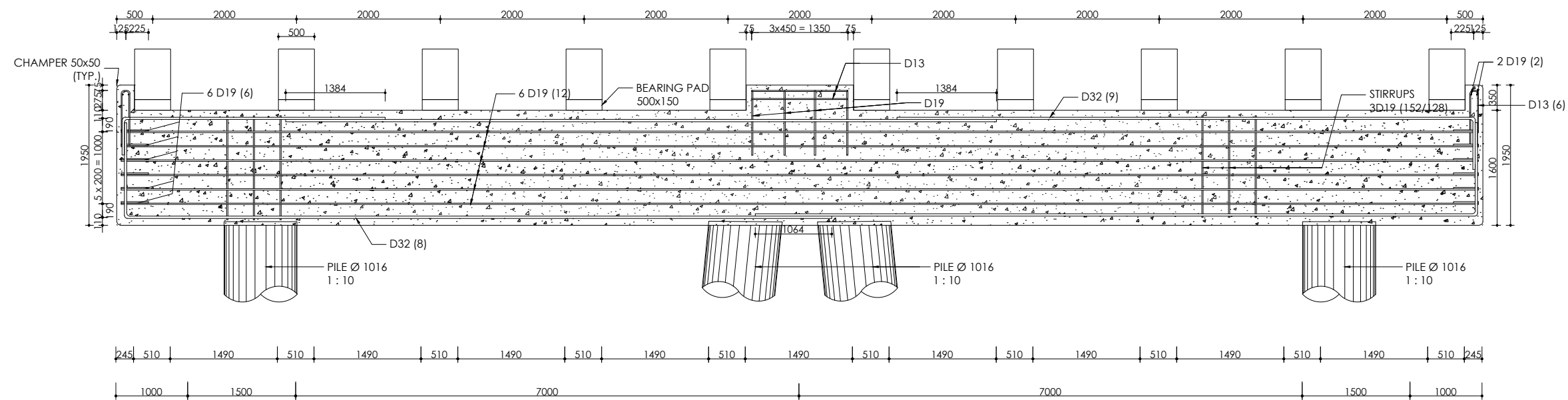
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

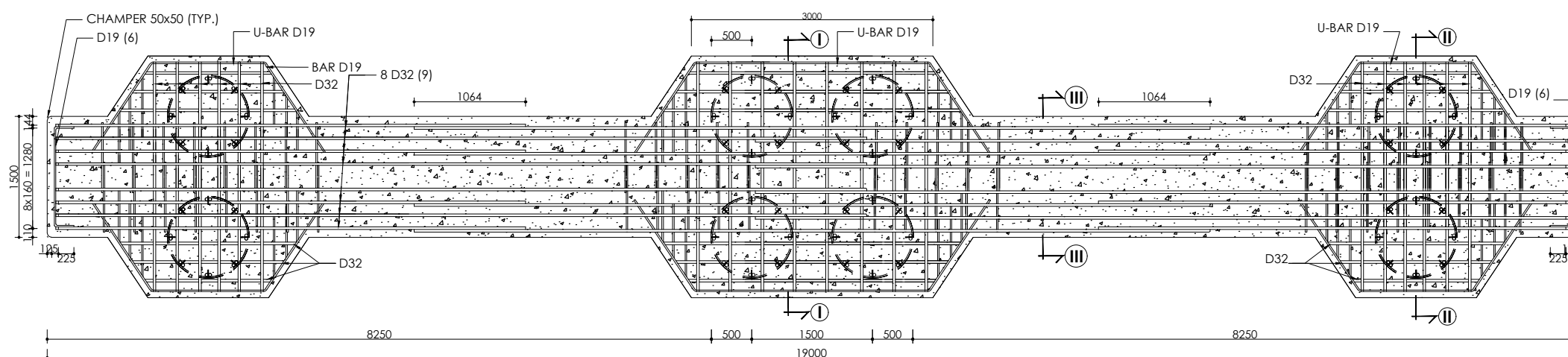
No. Gambar Jml. Gambar

09

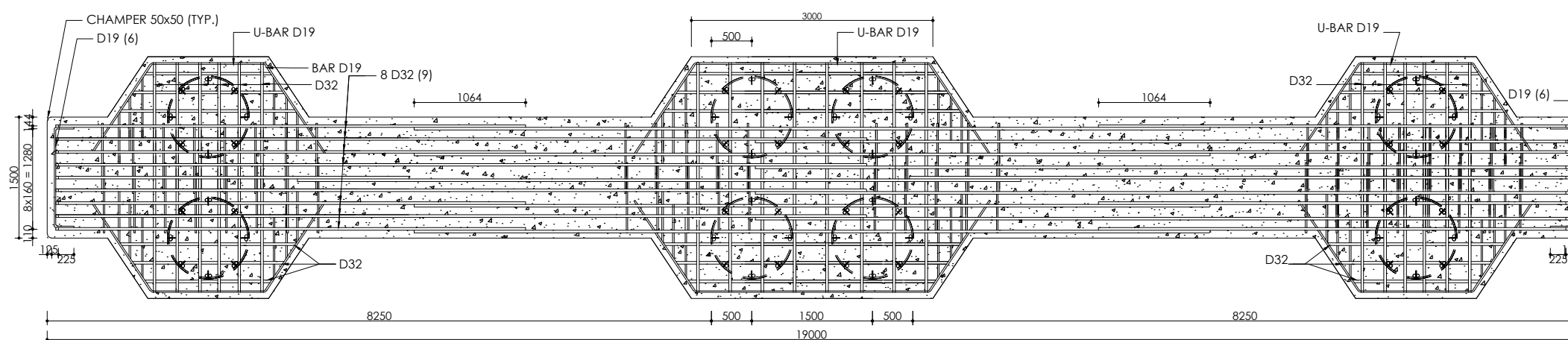
31



SECTION A-A
SCALE 1:70



SECTION B-B
SCALE 1:70



SECTION D-D
SCALE 1:70

Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Detail PileCap Trestle
Row I, K, O, Q, U, W

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

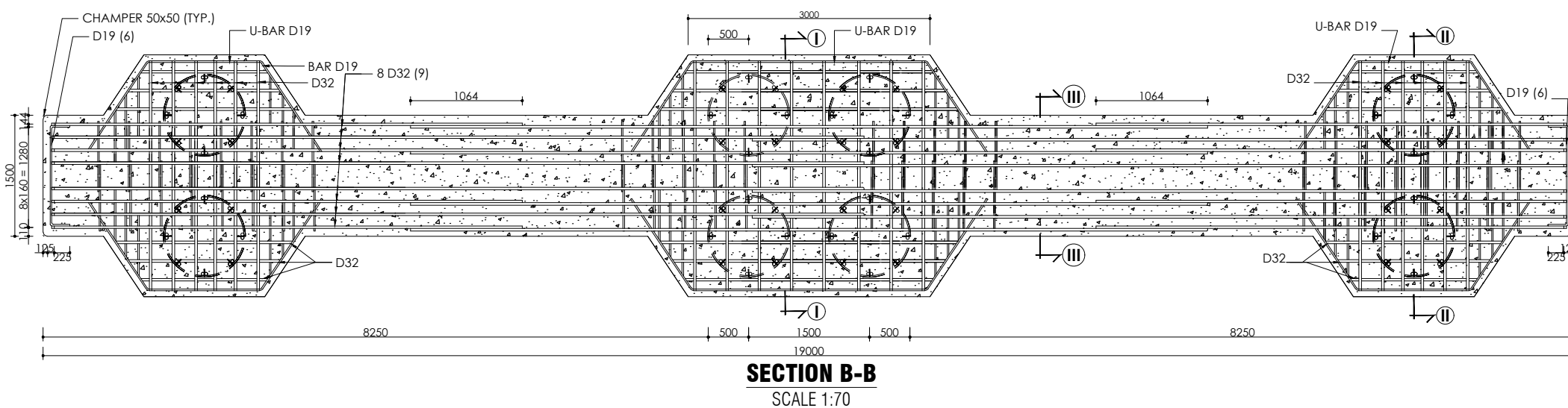
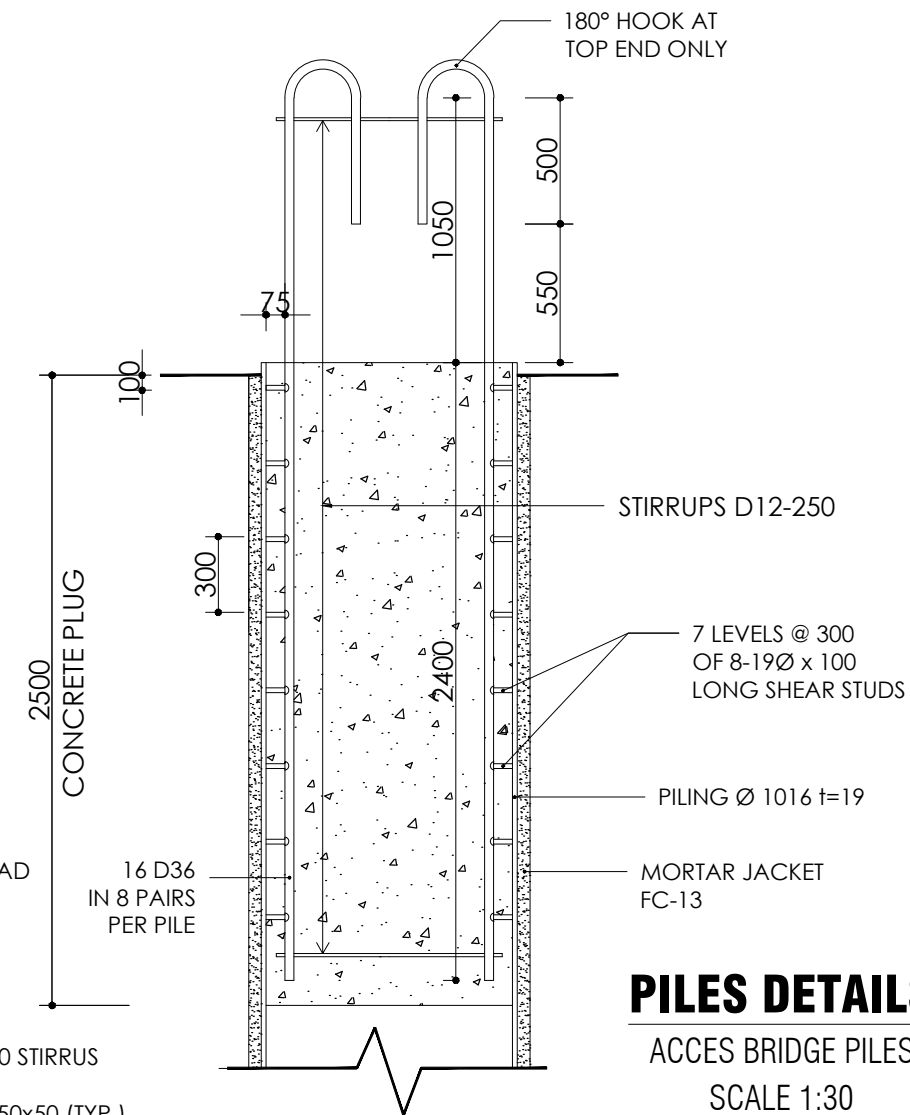
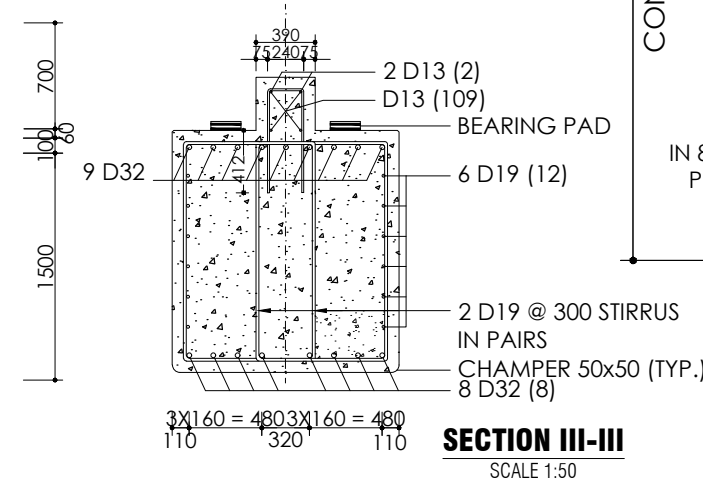
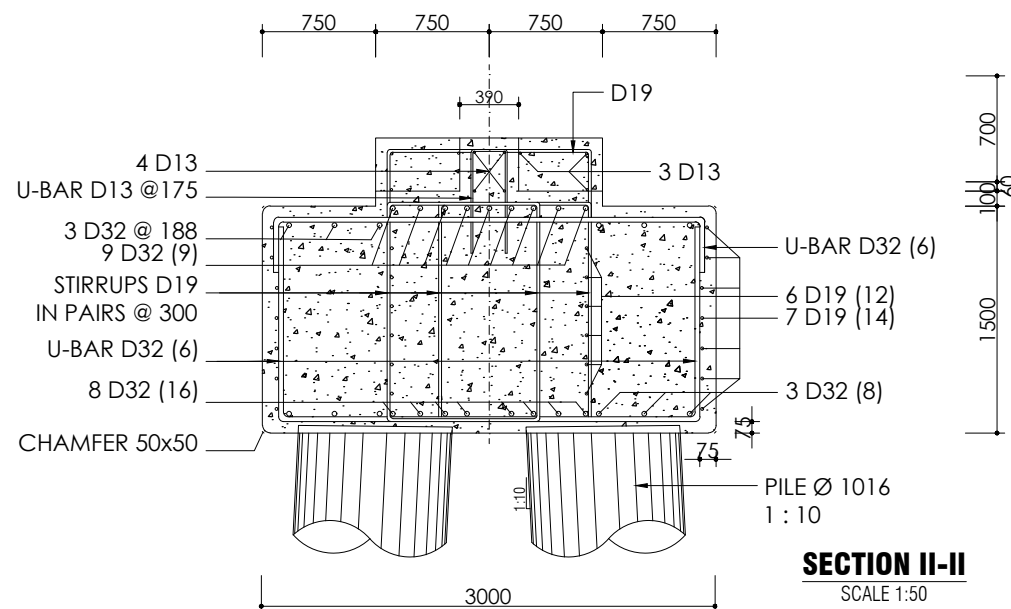
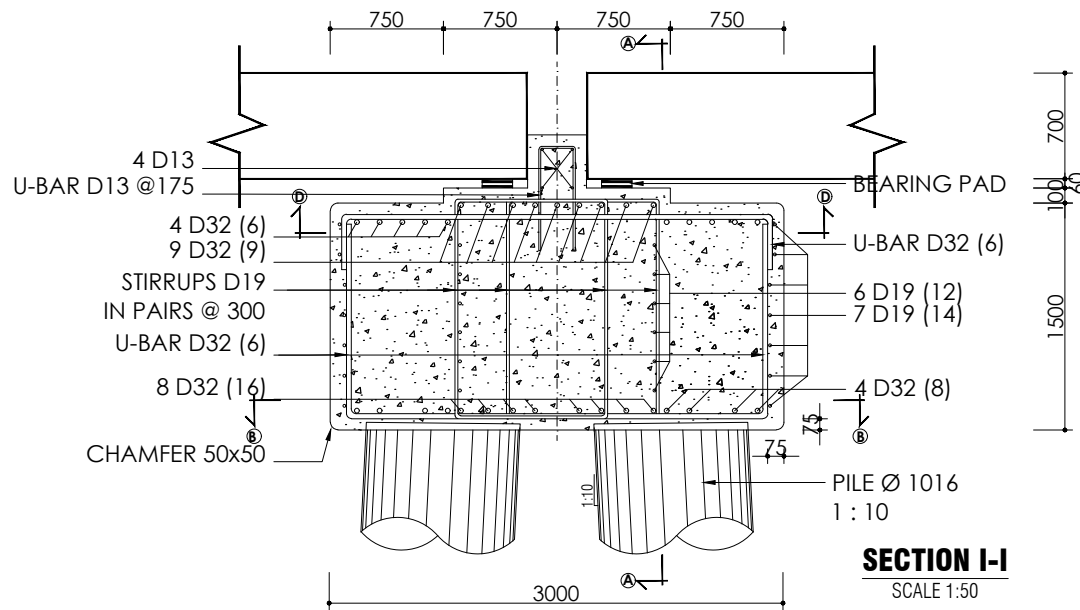
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

10

31



Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Detail PileCap Trestle
Row X

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

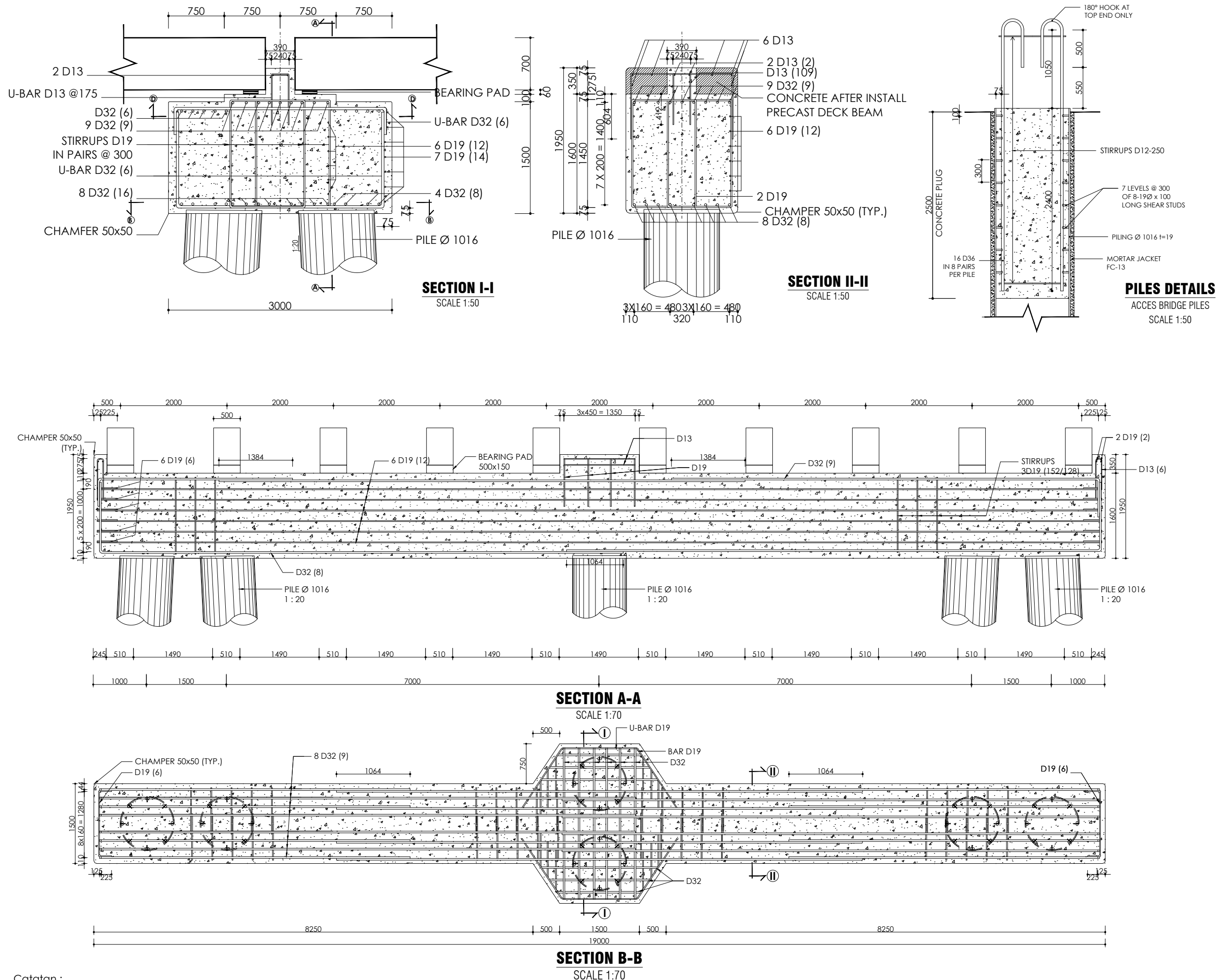
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

12

31



Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Detail PileCap Trestle
Row X

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

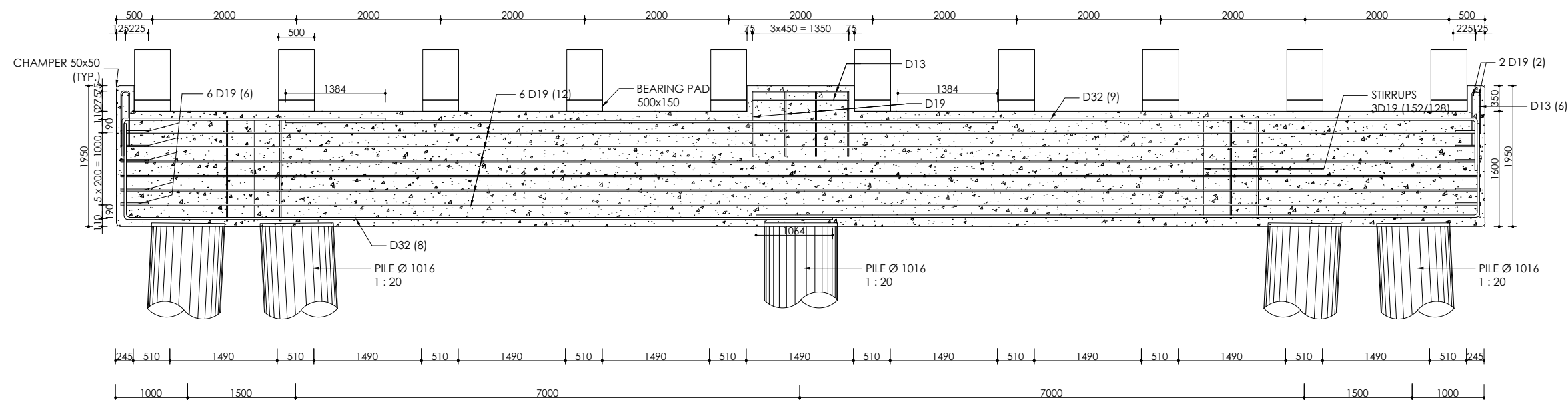
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

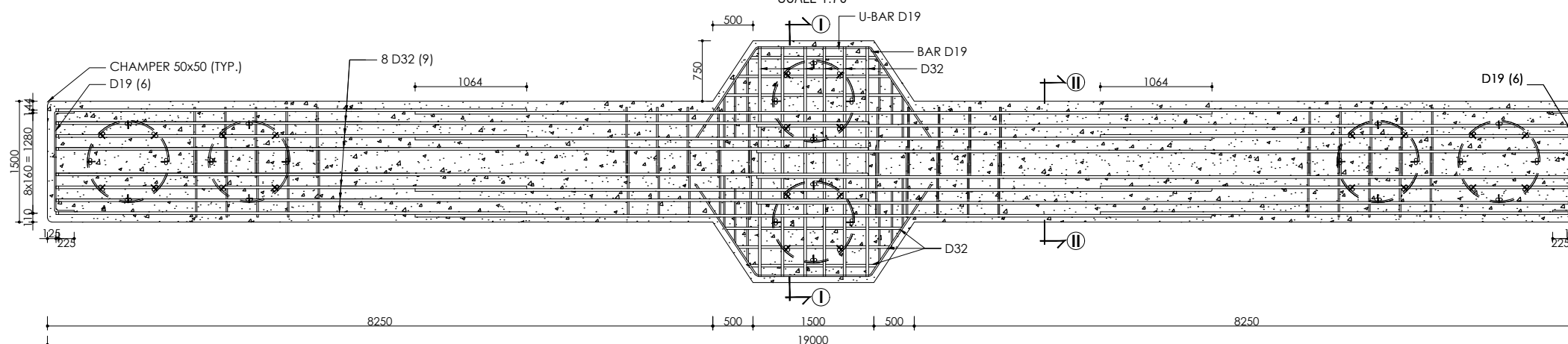
No. Gambar Jml. Gambar

13

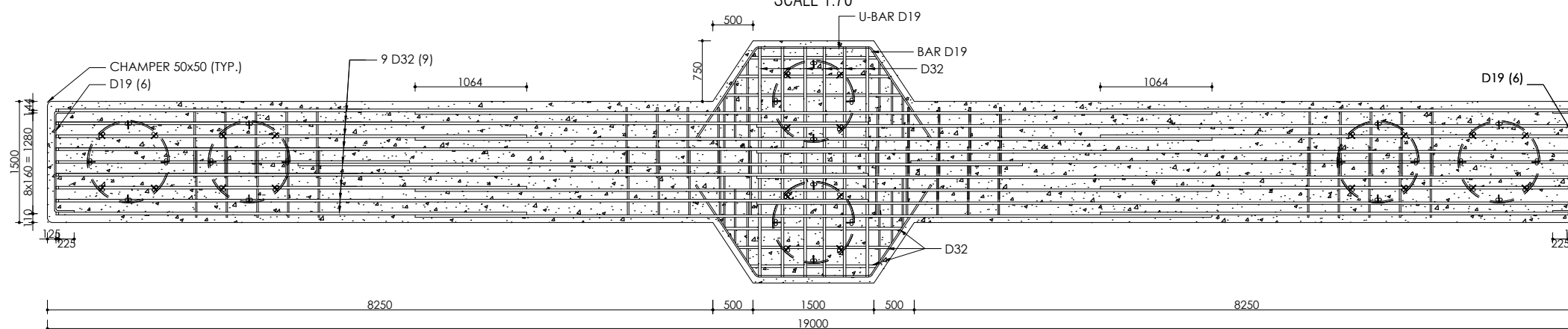
31



SECTION A-A
SCALE 1:70



SECTION B-B
SCALE 1:70



SECTION D-D
SCALE 1:70

Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Precast Deck Beam
For Acces Bridge

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

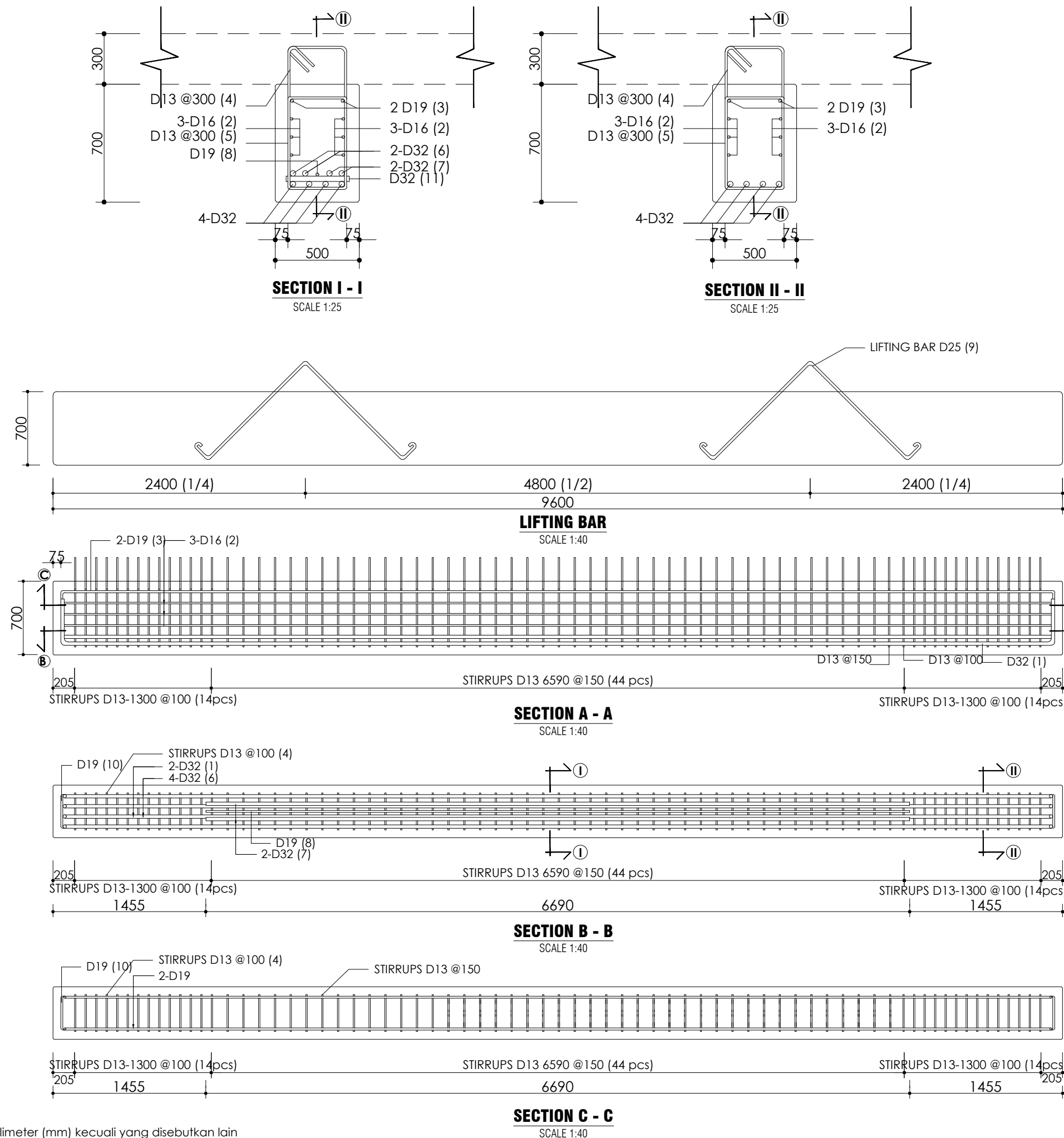
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

15

31



Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Observation of
Trestle Pier Damage (I)

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

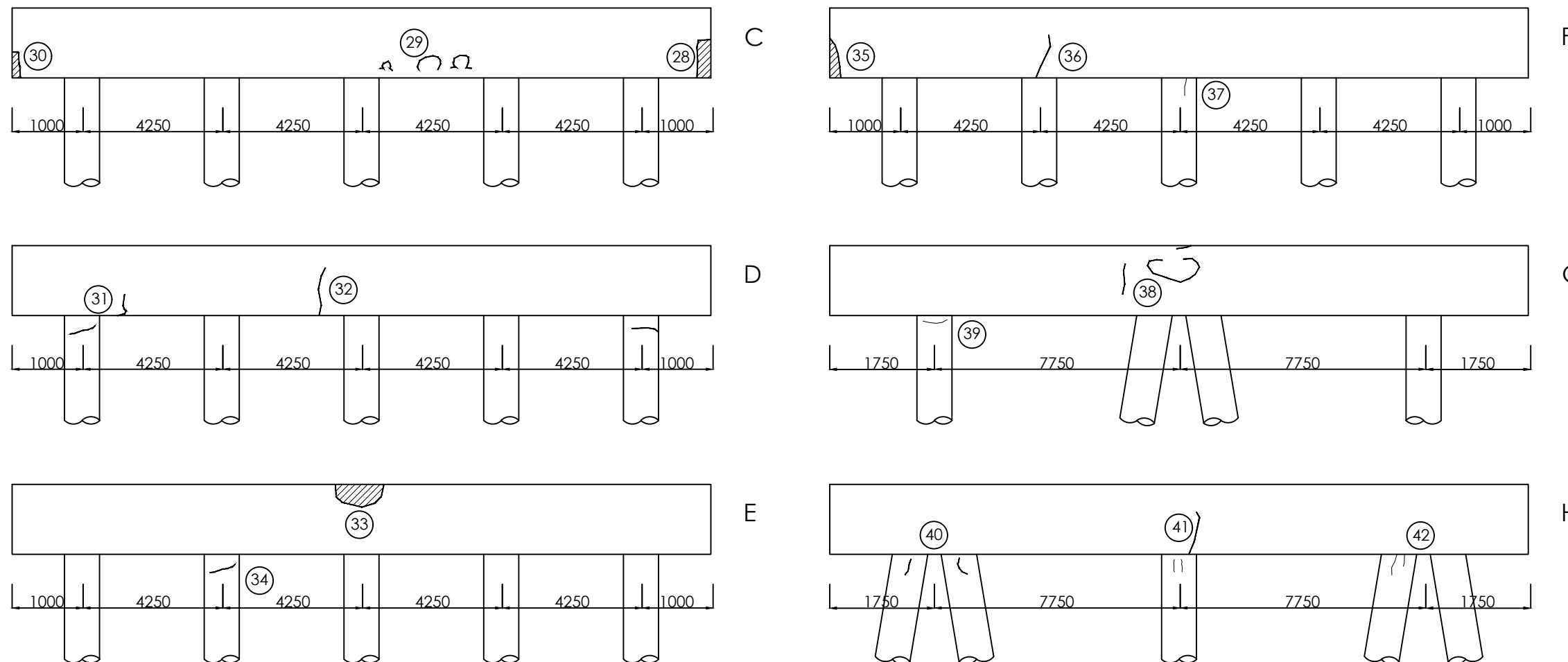
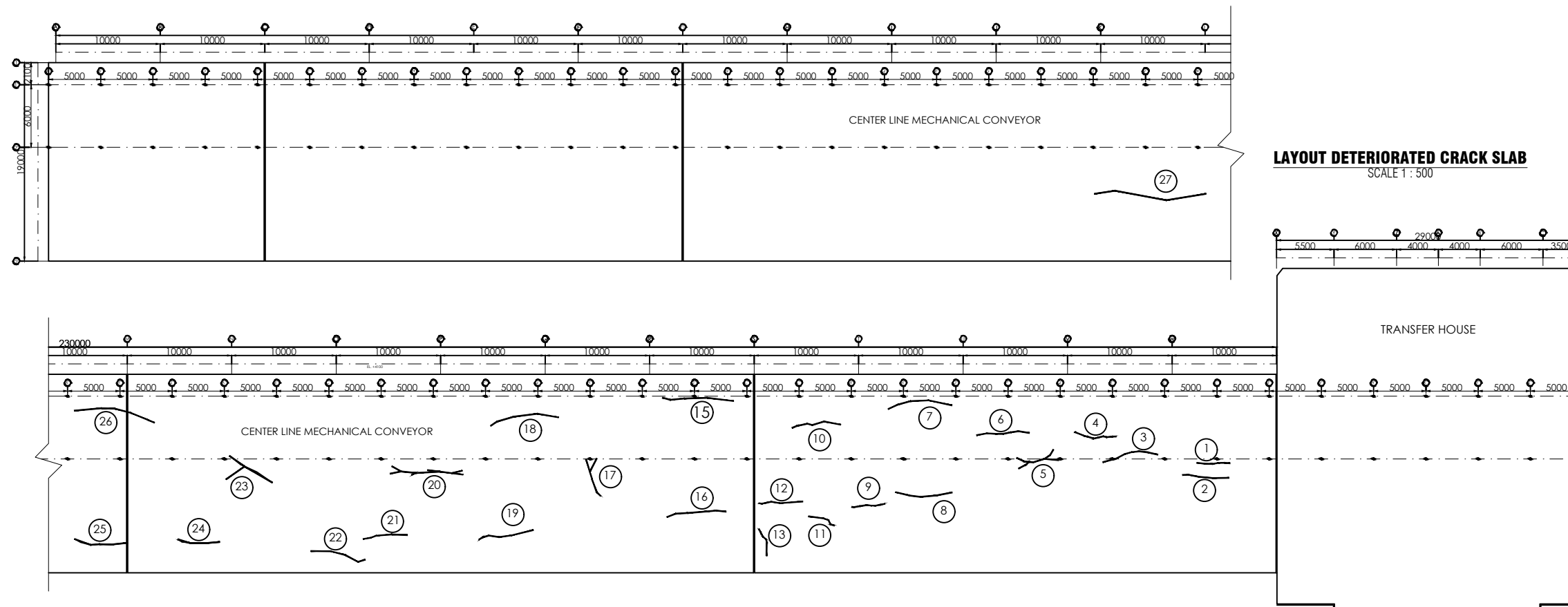
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

16

31



Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Observation of
Trestle Pier Damage

NO.	ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

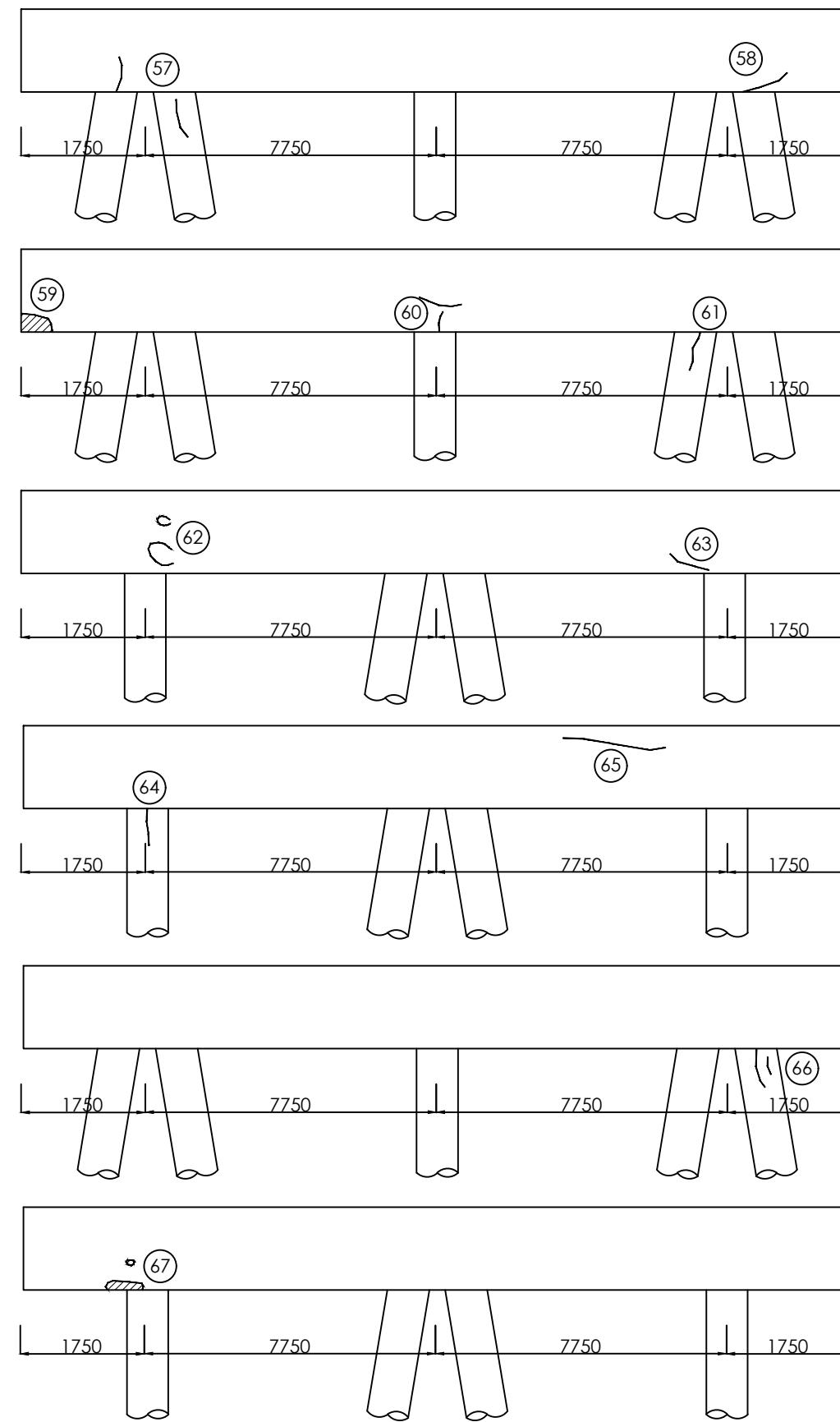
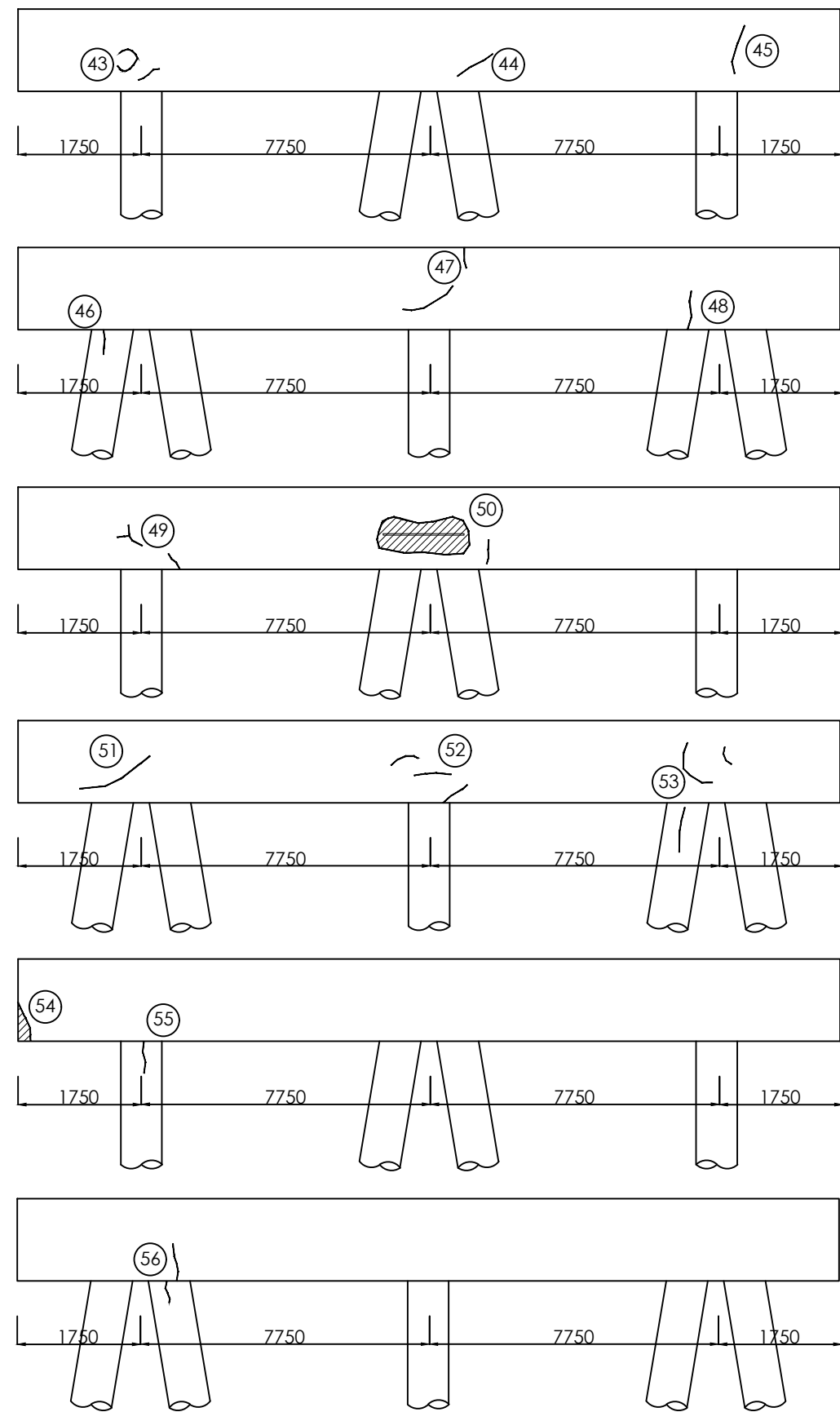
Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

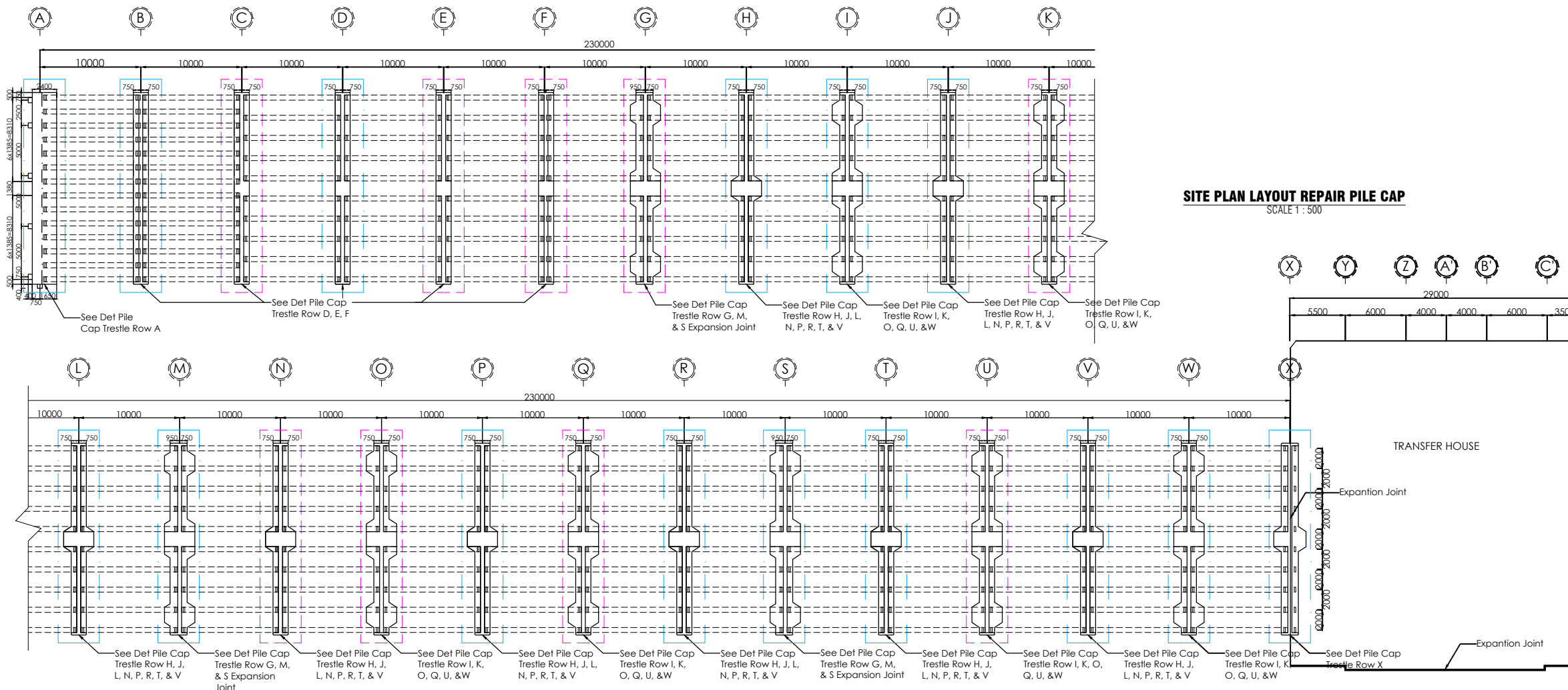
No. Gambar	Jml. Gambar
17	31



DETERIORATED PILE CAP

SCALE 1 : 150

Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain



CATATAN

Fungsi Bangunan :Dermaga Curah Kering
Lokasi :Situbondo

JENIS GAMBAR

Pile Cap
Repair Method (I)

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

19 31

Indicates Location of
Grouting and Patching
Repair

Indicates Location of
Epoxy Injeciton
Repair

TYPICAL BENT LAYOUT

Repair Method	Pile Cap
Grouting and Patching	As C, As E, As F, As G, As K, As N, As O, As Q, As U
Epoxy Injection	As A, As B, As D, As H, As I, As J, As L, As M, As P, As R, As S, As T, As V, As W, As X

Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Pile Cap
Repair Method (II)

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

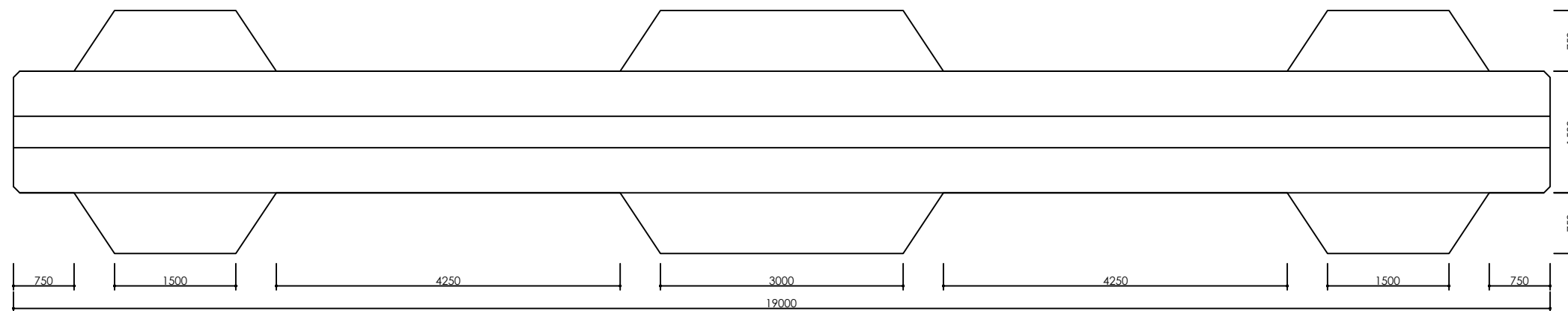
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

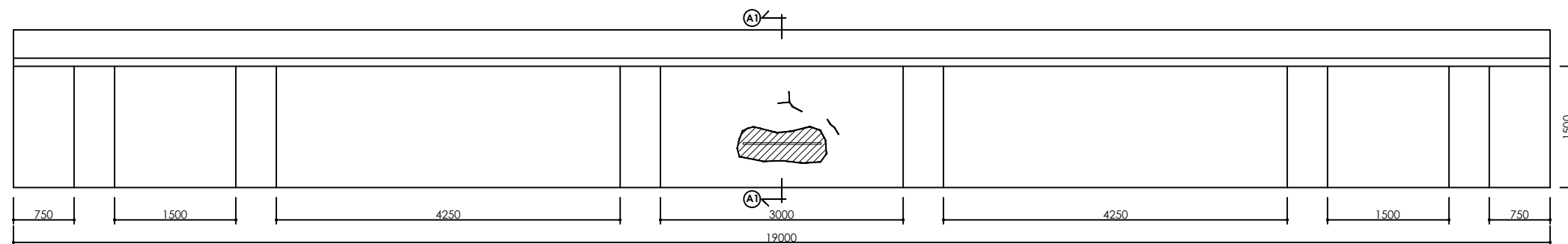
No. Gambar Jml. Gambar

20

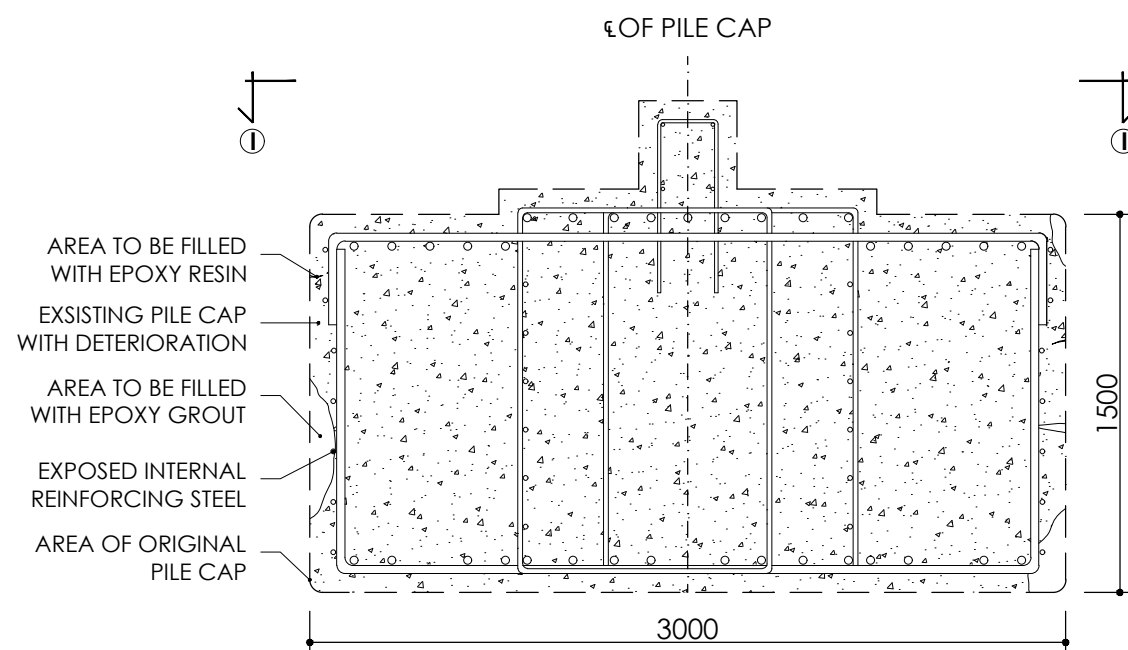
31



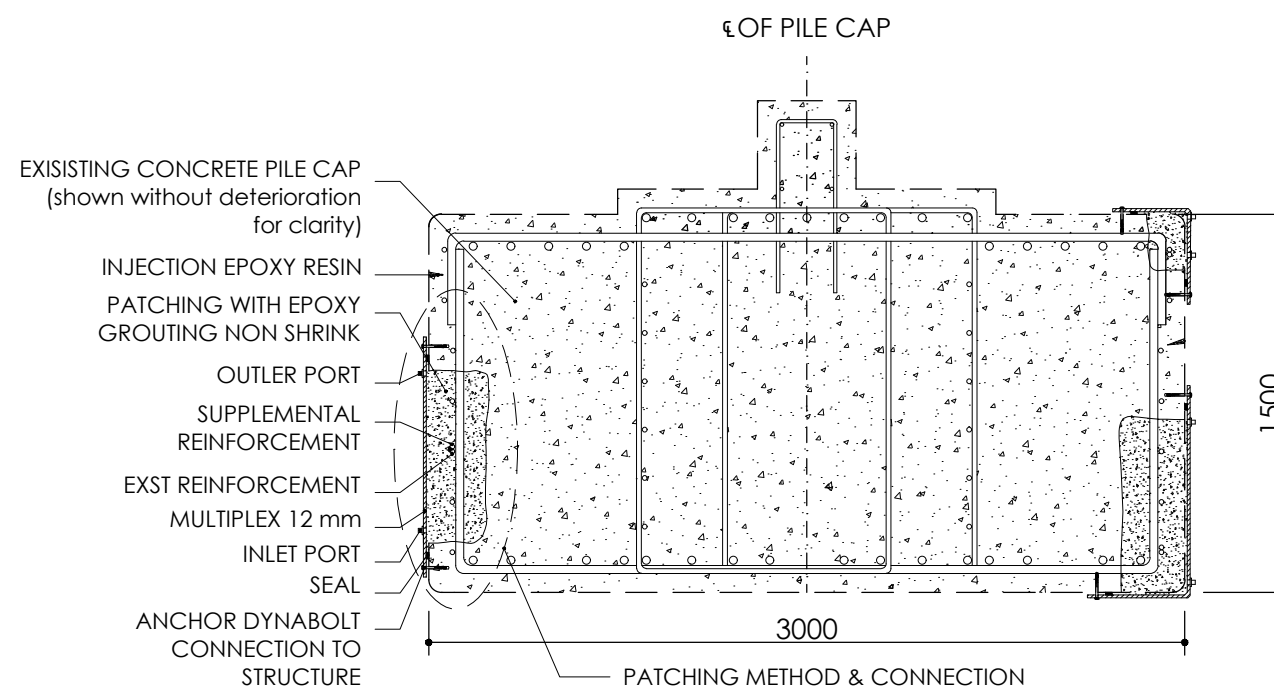
TYP. PILE CAP DETERIORATION (I)
SCALE 1:50



TYP. PILE CAP DETERIORATION (II)
SCALE 1:50



TYP DETERIORATED PILE CAP COSS SECTION (A1)
SCALE 1:30



TYP REPAIR METHOD PILE CAP COSS SECTION (A2)
SCALE 1:30

Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Pile Cap
Repair Method (III)

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

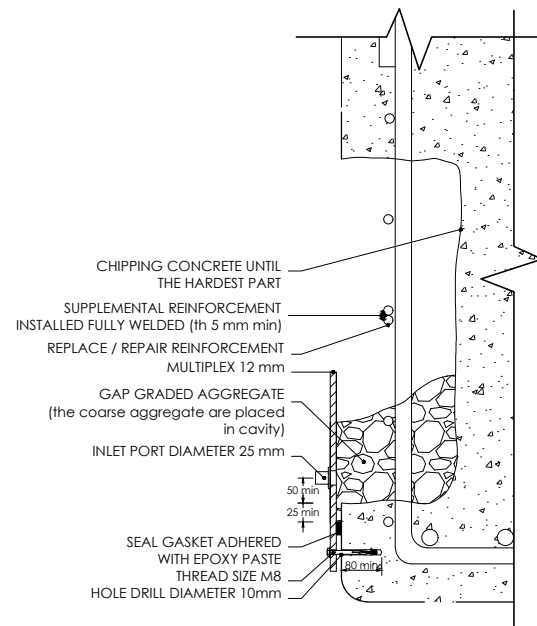
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

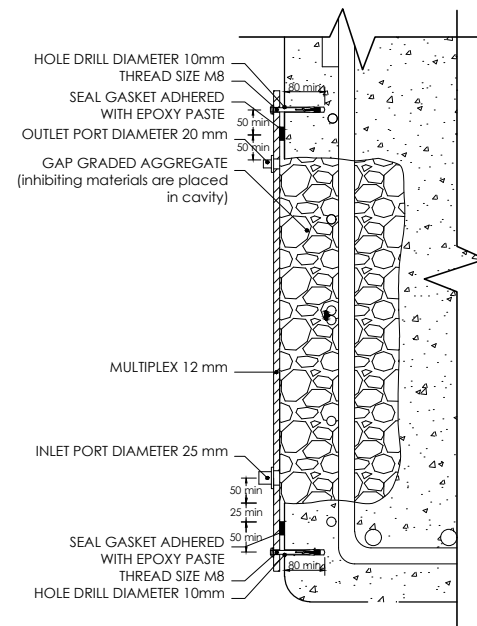
No. Gambar Jml. Gambar

21

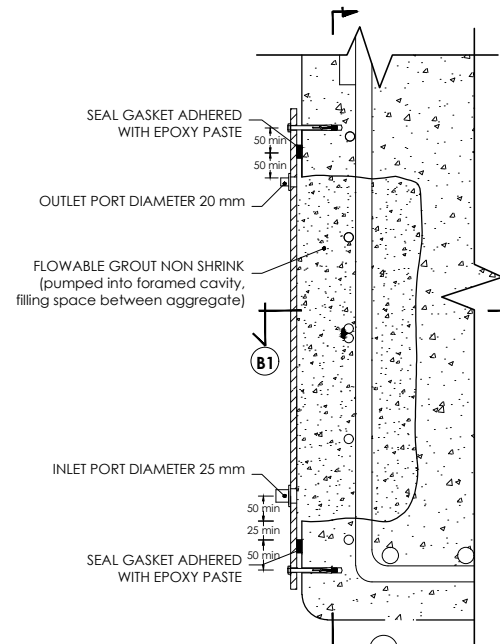
31



DETAIL - PATCHING METHOD & CONNECTION (A1)
SCALE 1:15

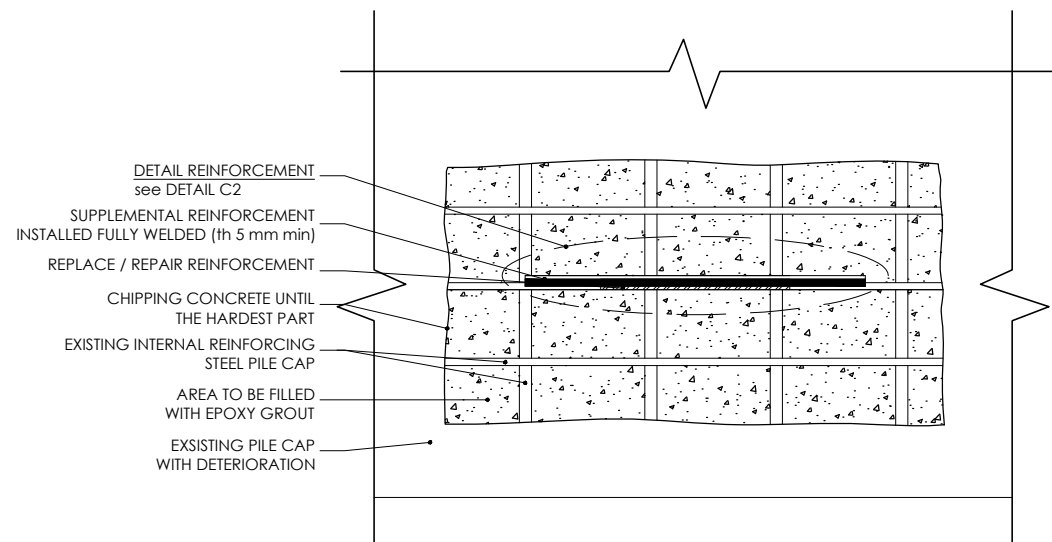


DETAIL - PATCHING METHOD & CONNECTION (A2)
SCALE 1:15

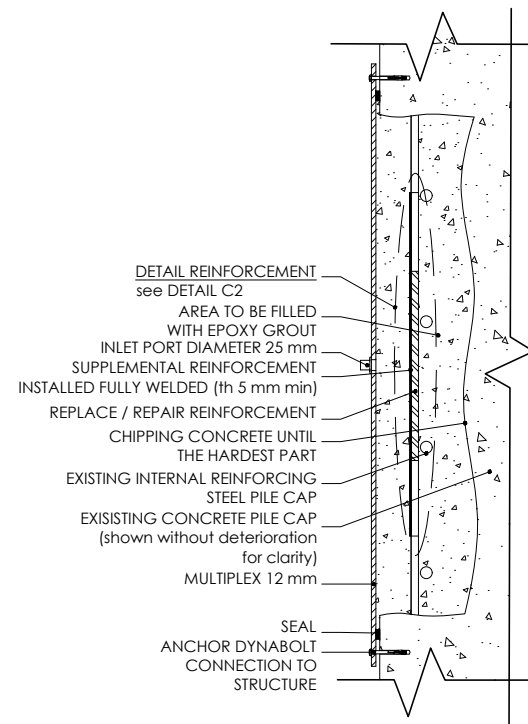


DETAIL - PATCHING METHOD & CONNECTION (A3)
SCALE 1:15

NOTES:



DETAIL - PATCHING METHOD & CONNECTION (B2)
SCALE 1:20



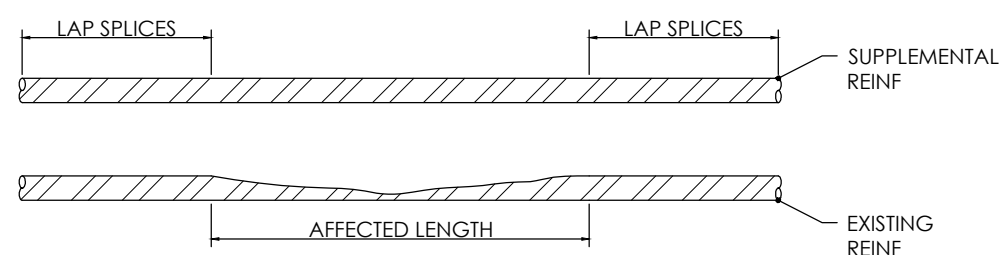
DETAIL - PATCHING METHOD & CONNECTION (B1)
SCALE 1:20

NOTES:

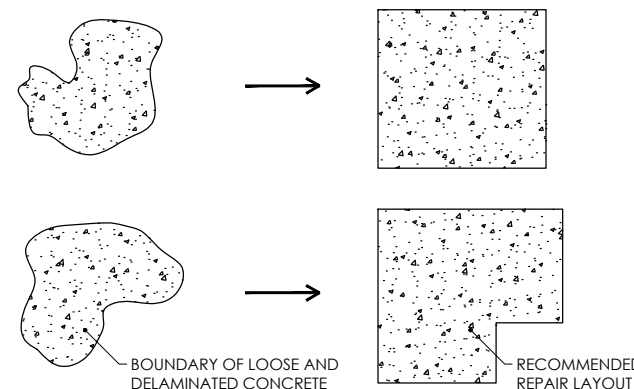
1. Completely remove all loose, delaminated and weak concrete, oil, grease, laitance, marine growth and other contaminants
2. All exposed reinforcing steel that has lost bond with the concrete or has more than one-half of its circumference exposed should be undercut by at least (12mm)
3. If more than 25% of the diameter of a reinforcing bar has been deteriorated, the bar may require replacement or need to be spliced
4. All exposed reinforcing steel shall be free of all loose scale, rust, oxidation and other contaminants
5. The coarse aggregate is washed to remove all fines and screened just prior to placement
6. Grout is then injected through forms to provide the cementing matrix, grouting is begun at the bottom of the pre-placed aggregates
7. Protect the grout from temperatures for 24 hours or until required minimum compressive strength is achieved

NOTES:

1. Configure area of repair to simplify and to eliminate multiple re-entrant corners. Square corners preferred
2. Add supplemental reinforcing steel over affected section. Supplemental reinforcing to have cross section elevation sectional area equal to original cross section of existing reinforcing steel. The bar may require replacement or need to be spliced (spliced see sheet "STANDART DETAILING LAP SPLICES (SNI 2834-2013)")



DETAIL - REINFORCEMENT (C2)
SCALE ---



DETAIL - REPAIR LAYOUT
SCALE ---

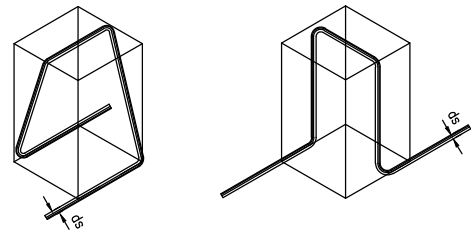
Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

STANDART DETAILING LAP SPLICES (SNI 2834-2013)

1.1. DAFTAR NOTASI

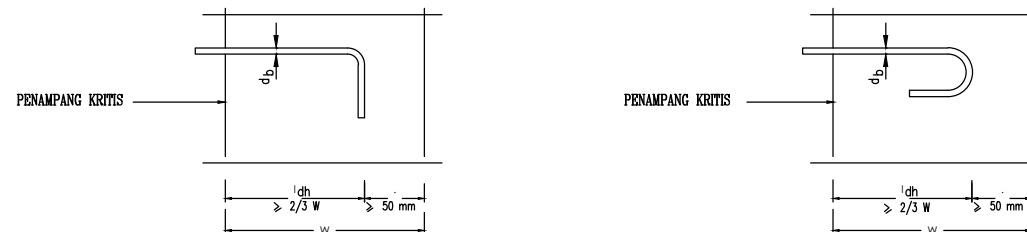
D	=	DIAMETER BENGKOKAN MINIMUM	hb	=	TINGGI BALOK
dw	=	DIAMETER TULANGAN WIREMESH	hc	=	DIMENSI TERBESAR PENAMPANG KOLOM
db	=	DIAMETER TULANGAN UTAMA	bc	=	DIMENSI TERKECIL PENAMPANG KOLOM
ds	=	DIAMETER TULANGAN SENGGANG	ltb	=	PANJANG KAIT STANDAR UNTUK TULANGAN UTAMA
ld	=	PANJANG PENJANGKARAN TULANGAN BIASA TANPA KAIT	lts	=	PANJANG KAIT STANDAR UNTUK SENGGANG
ldh	=	PANJANG PENJANGKARAN TULANGAN BIASA DENGAN KAIT	P	=	BENTANG PANJANG PONDASI DANGKAL
ldw	=	PANJANG PENJANGKARAN TULANGAN WIREMESH	L	=	BENTANG PENDEK PONDASI DANGKAL
ls	=	PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN TULANGAN BIASA	K-x	=	MUTU BETON : x Kg/cm ²
lw	=	PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN TULANGAN WIREMESH	BJTP x	=	MUTU BAJA TULANGAN POLOS : x Kg/mm ²
lnx	=	BENTANG BERSIH ARAH PENDEK PELAT	BJTD x	=	MUTU BAJA TULANGAN DEFORM : x Kg/mm ²
lny	=	BENTANG BERSIH ARAH PANJANG PELAT	∅ x	=	TULANGAN POLOS DIAMETER x mm
ln	=	BENTANG BERSIH BALOK	D x	=	TULANGAN DEFORM DIAMETER x mm

1.2. PENYANGGA TULANGAN



TULANGAN YG DITUMPU	TULANGAN PENUMPU ds (mm)	JARAK PENUMPU (mm)
< ∅10 ATAU D10	∅8	600
∅10 ATAU D10	∅8	700
	∅10 ATAU D10	800
∅12 ATAU D12	∅10 ATAU D10	750
	∅12 ATAU D12	900
D13	∅10 ATAU D10	800
	D13	1000
D16	D13	1250
	D16	1500
D19	D16	1500
	D19	1750
D22	D19	1750
	D22	2000
D25	D25	2000
	D32	2000

1.3. PANJANG PENJANGKARAN MINIMUM TULANGAN BIASA DENGAN KAIT



MUTU BAJA	db (mm)	PANJANG PENJANGKARAN ldh (mm)					
		MUTU BETON					
		K - 225	K - 250	K - 300	K - 350	K - 400	K - 450
BJTP - 24	8	150	150	150	150	150	150
	10	150	150	150	150	150	150
	12	170	160	150	150	150	150
BJTD - 40	8	190	180	160	150	150	150
	10	230	220	200	190	180	170
	12	280	270	240	220	210	200
	13	300	290	260	240	230	220
	16	370	350	320	300	280	260
	19	440	420	380	350	330	310
	22	510	490	440	410	380	360
	25	580	550	500	460	430	410
	29	670	640	580	530	500	470
	32	740	700	640	590	550	520
36	830	790	720	660	620	590	



TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Detailing Lap Splices
(SNI 2834-2013) (I)

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

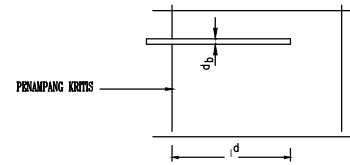
22

31

Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

STANDART DETAILING LAP SPLICES (SNI 2834-2013)

1.4. PANJANG PENJANGKARAN MINIMUM TULANGAN BIASA TANPA KAIT



MUTU BAJA	d _b (mm)	PANJANG PENJANGKARAN l _{dh} (mm)					
		MUTU BETON					
		K - 225	K - 250	K - 300	K - 350	K - 400	K - 450
BJTP-24	8	300	300	300	300	300	300
	10	300	300	300	300	300	300
	12	300	300	300	300	300	300
BJTD-40	8	300	300	300	300	300	300
	10	300	300	300	300	300	300
	12	300	300	300	300	300	300
	13	320	320	320	320	320	320
	16	430	460	420	390	390	390
	19	680	650	590	540	510	430
	22	910	870	800	730	680	650
	25	1180	1120	1030	940	880	830
	29	1580	1500	1380	1260	1180	1120
	32	1920	1830	1680	1530	1440	1360
	36	2430	2310	2120	1940	1820	1720



TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Detailing Lap Splices
(SNI 2834-2013) (II)

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

23

31

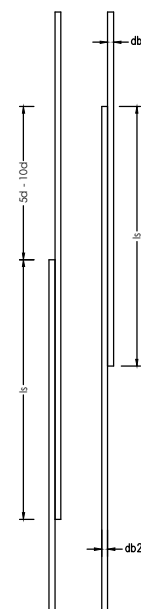
1.5. PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN TULANGAN BIASA

HORIZONTAL



$$l_s = 0.5 l \pm 50 \text{ mm}$$

VERTIKAL



KETERANGAN :

- BILA d_{b1} = d_{b2} MAKA PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN DITETAPKAN BERDASARKAN DIAMETER TERKECIL
- PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN DALAM TABEL DI BAWAH INI:

MUTU BAJA	d _b (mm)	PANJANG SAMBUNGAN LEWATAN l _s (mm)					
		MUTU BETON					
		K - 225	K - 250	K - 300	K - 350	K - 400	K - 450
BJTP-24	8	300	300	300	300	300	300
	10	300	300	300	300	300	300
	12	300	300	300	300	300	300
BJTD-40	8	300	300	300	300	300	300
	10	320	310	300	300	300	300
	12	480	440	400	370	350	330
	13	540	520	470	430	410	390
	16	820	780	720	650	610	560
	19	1150	1100	1010	920	860	820
	22	1550	1470	1350	1230	1160	1090
	25	2000	1900	1740	1590	1490	1410
	29	2680	2550	2340	2140	2010	1900
	32	3270	3110	2850	2600	2440	2310
	36	4130	3930	3600	3290	3090	2920

CATATAN UNTUK SAMBUNGAN LEWATAN :

- SAMBUNGAN TIDAK BOLEH DITEMPATKAN PADA DAERAH TEGANGAN MAKSIMUM
- UNTUK TULANGAN DIAMETER > 32 mm, HARUS DIGUNAKAN SAMBUNGAN MEKANIK

CATATAN

Fungsi Bangunan : Dermaga Curah Kering
Lokasi : Situbondo

JENIS GAMBAR

Pile Encapsulation
Repair Method (I)

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

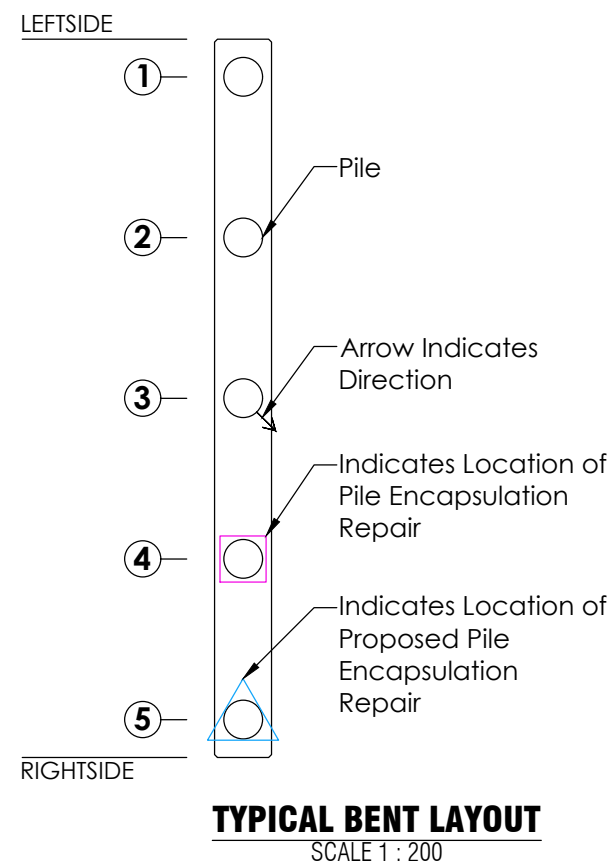
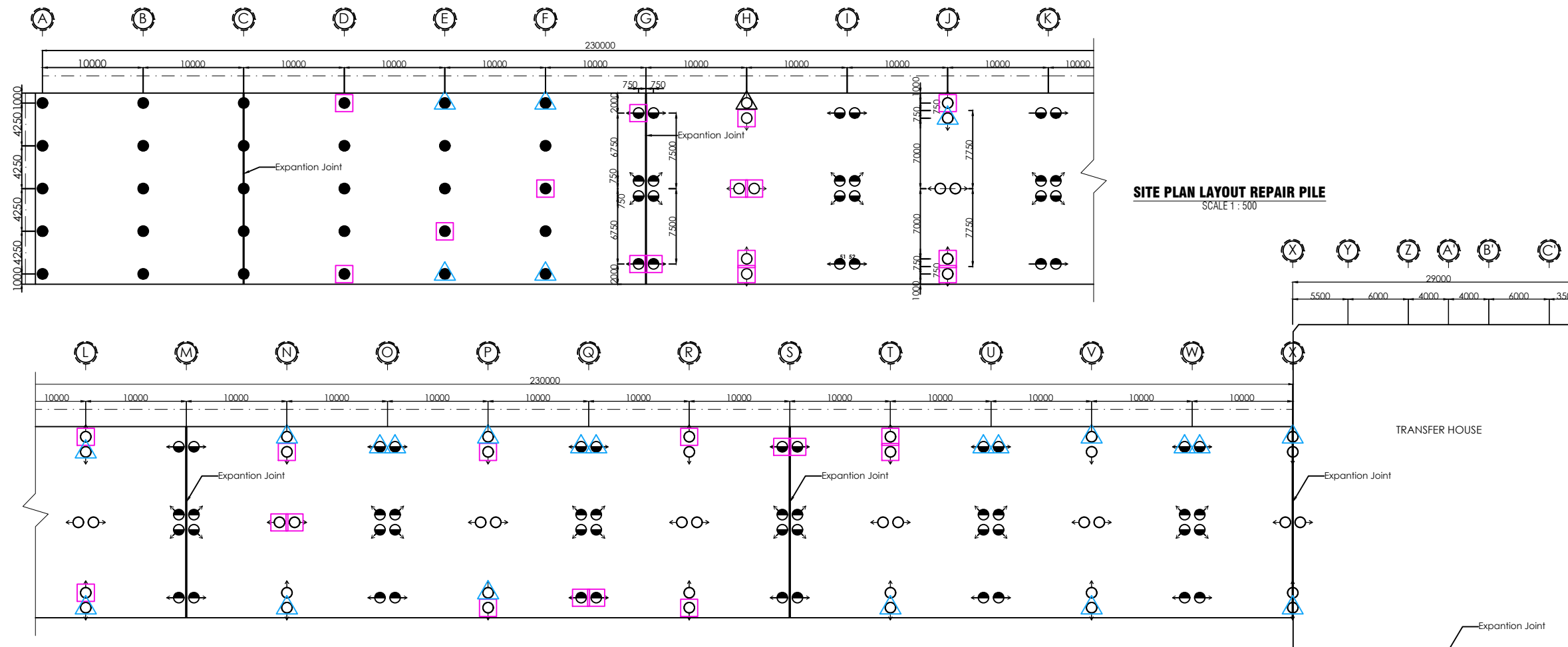
NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

27

31



Pile Number	Jacket Length (m)
16	4,3
20	4,3
21	4,3
24	4,3
25	4,3
26	4,3
28	4,3
30	4,3
31	4,5
32	4,5

Pile Number	Jacket Length (m)
37	4,5
38	4,5
39	4,4
40	4,4
41	4,4
42	4,4
43	4,4
44	4,4
53	4,4
54	4,4

Pile Number	Jacket Length (m)
57	4,4
58	4,4
67	4,4
68	4,4
71	4,4
72	4,4
81	4,4
82	4,4
83	4,4
84	4,4

Pile Number	Jacket Length (m)
85	4,4
86	4,4
87	4,5
88	4,5
95	4,4
96	4,4
99	4,4
100	4,4
101	4,5
102	4,5

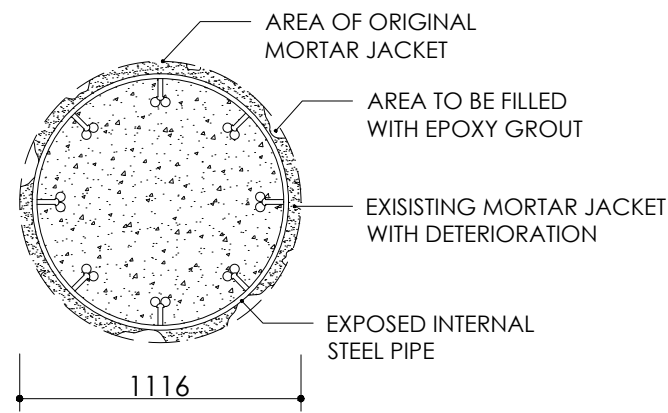
Pile Number	Jacket Length (m)
107	4,5
108	4,5
109	4,4
110	4,4
113	4,4
114	4,4
115	4,5
116	4,5
123	4,4
127	4,4

Pile Number	Jacket Length (m)
128	4,4
129	4,5
130	4,5
137	4,4
142	4,4
143	4,5
144	4,5
151	4,4
156	4,4

NOTES:

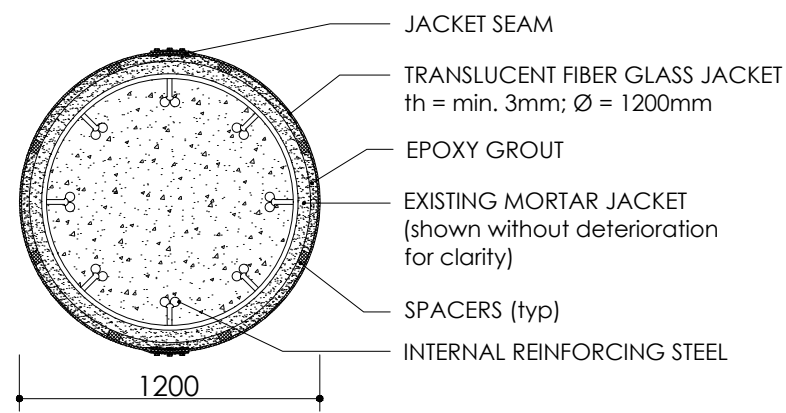
- ⊕ Raked Pile 1:6
- Vertikal Pile
- ⊕ Raked Pile 1:10
- ⊕ Raked Pile 1:20
- Test Pile
- Diameter All Pile 1016 mm

Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain



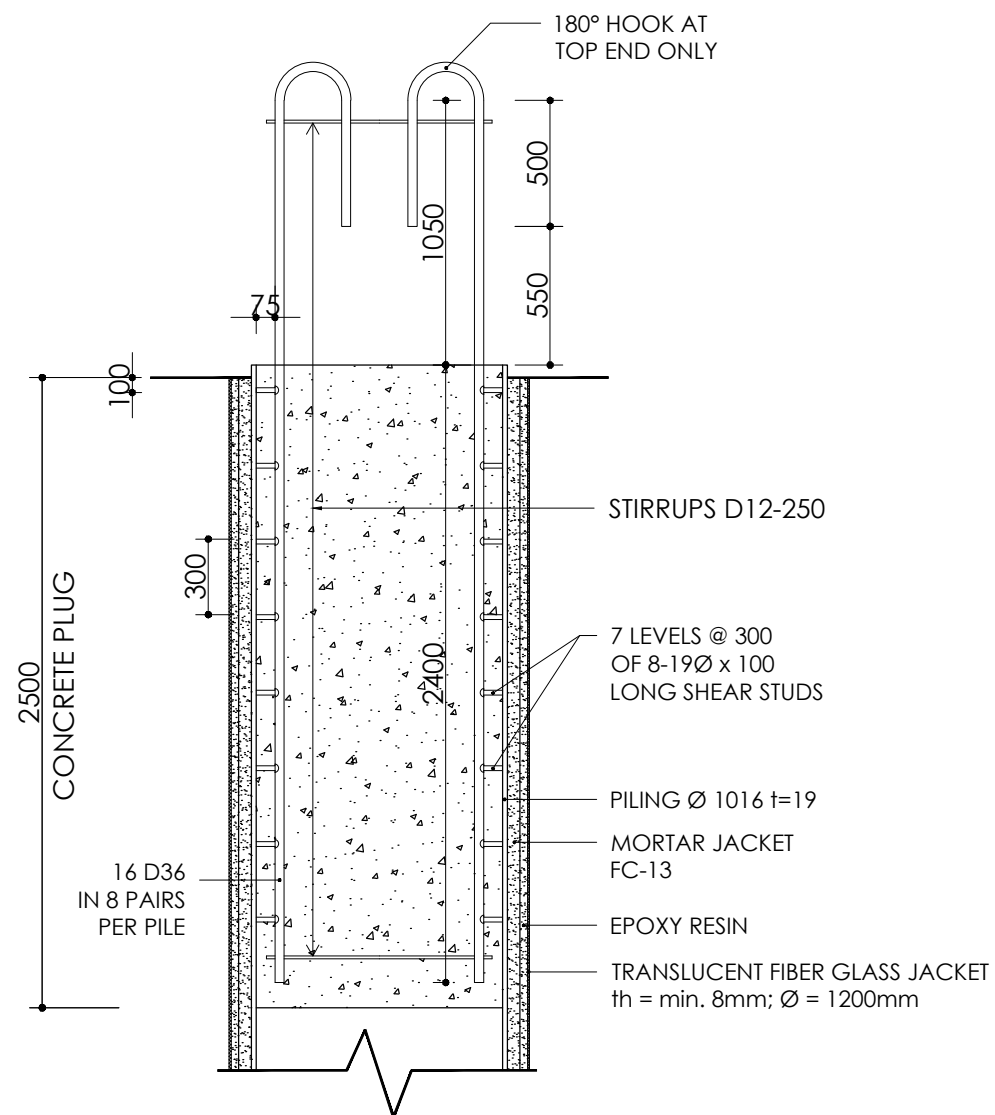
TYP DETERIORATED PILE COSS SECTION

SCALE 1:30



TYP PILE ENCAPSULATION COSS SECTION (B1)

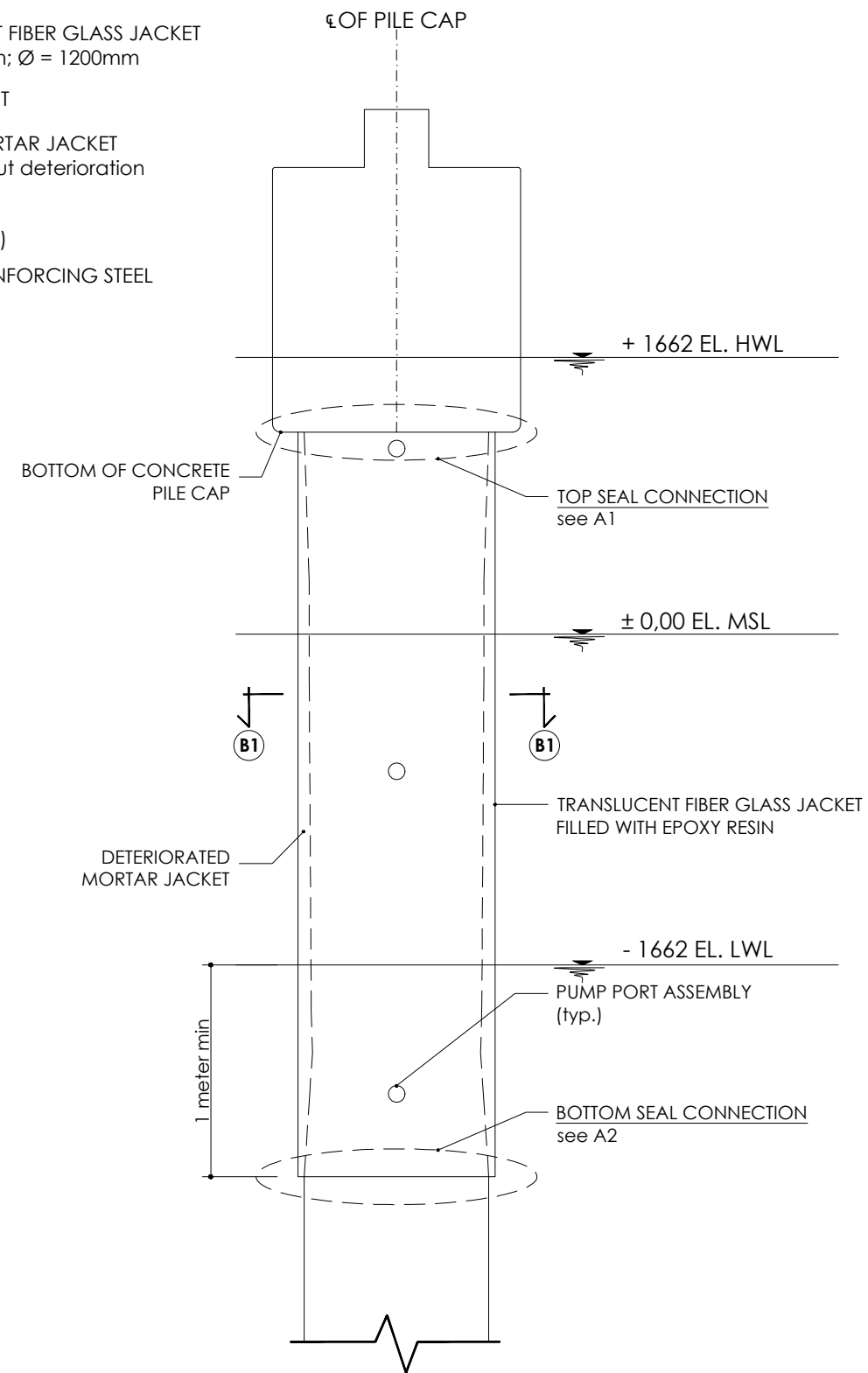
SCALE 1:30



PILES ENCAPSULATION DETAILS

ACCES BRIDGE PILES

SCALE 1:30



TYP. PILE ENCAPSULATION ELEVATION

SCALE 1:40

CATATAN

Fungsi Bangunan :Dermaga Curah Kering
Lokasi :Situbondo

JENIS GAMBAR

Pile Encapsulation
Repair Method (II)

NO. ASISTENSI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. M. Sigit D, MEngSc PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

R. Buyung Anugraha., ST., MT
NIP. 19704023 200212 1 002

NAMA MAHASISWA

Dio Agung Saputra
10111510000057

No. Gambar Jml. Gambar

28

31

Catatan :
1. Semua satuan dalam milimeter (mm) kecuali yang disebutkan lain

