



PROYEK AKHIR

EVALUASI STRUKTUR DERMAGA DOMESTIK PT. TERMINAL PETIKEMAS SURABAYA (TPS) TAHUN 2021

NAMA MAHASISWA

ROSELA ARDILA
NRP. 10111910015013

DOSEN PEMBIMBING 1

Ir. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS
NIP. 196000105 198603 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Dr.Eng. YUYUN TAJUNNISA ST., MT.
NIP. 19780201 200604 2 001

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA 2021



FINAL PROJECT

**STRUCTURE EVALUATION OF PT.
TERMINAL PETIKEMAS SURABAYA
(TPS) DOMESTIC QUAY IN 2021**

SCHOLAR'S NAME

ROSELA ARDILA
NRP. 10111910015013

1st SUPERVISOR LECTURERS

Ir. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS
NIP. 196000105 198603 1 003

2ND SUPERVISOR LECTURERS

Dr.Eng. YUYUN TAJUNNISA ST., MT.
NIP. 19780201 200604 2 001

STUDY PROGRAM OF MANAGEMENT AND MAINTENANCE
ENGINEERING OF CIVIL BUILDINGS

DEPARTMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING

FACULTY OF VOCATION

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA 2021

LEMBAR PENGESAHAN

“EVALUASI STRUKTUR DERMAGA DOMESTIK
PT. TERMINAL PETIKEMAS SURABAYA (TPS) TAHUN
2021”

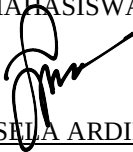
PROYEK AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Terapan Teknik Pada Program Studi Diploma Empat (IV)
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

SURABAYA, 22 AGUSTUS 2021

Disusun oleh:

MAHASISWA



ROSELLA ARDILA
NRP. 10111910015013

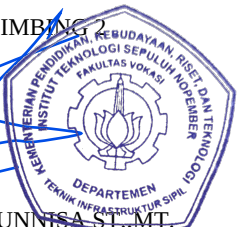
Disetujui oleh:

DOSEN PEMBIMBING 1




I. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS
NIP. 196000105 198603 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Dr.Eng. YUYUN TAJUNISSA ST.,MT.
NIP. 19780201 200604 2 001

“halaman ini sengaja dikosongkan”

EVALUASI STRUKTUR DERMAGA DOMESTIK PT. TERMINAL PETIKEMAS SURABAYA (TPS) TAHUN 2021

Nama Mahasiswa : Rosela Ardila
NRP : 10111910015013
Jurusan : Diploma IV
Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil -
Fakultas Vokasi - ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS
: 2. Dr.Eng. Yuyun Tajunnisa
ST., MT.

ABSTRAK

Penyusunan proyek akhir yang berjudul “Evaluasi Struktur Dermaga Domestik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) Tahun 2021” ini menggunakan PT. TPS sebagai objek evaluasi struktur. Evaluasi struktur pada laporan proyek akhir ini dibatasi untuk meninjau elemen struktur dermaga tanpa bagian trestle.

PT TPS selesai dibangun tahun 1996 dan mulai beroperasi pada tahun 1999. Pada tahun 2004, PT TPS memutuskan untuk mengecek kondisi struktur dermaga tersebut. Pengecekan kondisi struktur kembali dilakukan pada tahun 2011, karena adanya rencana penambahan alat untuk meningkatkan produktivitas pada tahun 2014. Saat dilakukan pengecekan, diketahui bahwa kondisi struktur bawah khususnya balok, telah mengalami korosi. Hal ini terjadi dikarenakan kondisi lingkungan dan minimnya perawatan pada struktur.

Evaluasi struktur yang diulas dalam laporan ini ialah evaluasi yang dikembangkan dari hasil pengecekan struktur pada tahun 2004 dan 2011, berupa hasil uji lapangan dan laboratorium elemen struktur saat itu. Dari data tersebut, kemudian dapat diketahui perkiraan kapasitas elemen struktur eksisting, lalu dapat dibandingkan dengan kapasitas yang dibutuhkan untuk menahan

beban yang akan ditambahkan. Kesimpulan akhirnya ialah dibutuhkan tidaknya perkuatan setelah penambahan beban pada struktur.

Kata kunci : Dermaga, Elemen Struktur, Assessment, Korosi, Kapasitas Penampang.

STRUCTURE EVALUATION OF PT. TERMINAL PETIKEMAS SURABAYA (TPS) DOMESTIC QUAY IN 2021

Student's name	: Rosela Ardila
NRP	: 10111910015013
Major	: Diploma IV
Department	: Civil Infrastructure Engineering – Faculty of Vocation - ITS
Supervisor	: 1. Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS : 2. Dr.Eng. Yuyun Tajunnisa ST., MT.

ABSTRACT

The final project, named “Structure Evaluation of PT Terminal Petikemas Surabaya (TPS) Domestic Quay in 2021” makes use of PT. TPS as the structure to be evaluated. The structure's evaluation in this report is confined to the pier's structural parts, without the trestle.

The construction of PT TPS was finished in 1996 and began its operations in 1999. In 2004, PT TPS decided to inspect the structure's condition. Due to plans to introduce equipment to boost production in 2014, structural condition assessments were carried out again in 2011. When the bottom structure was examined, it was discovered that it had corroded, particularly the beams. This occurs as a result of environmental conditions and a lack of structural upkeep.

The report's appraisal of the structure is based on the findings of structural inspections in 2004 and 2011, which were presented in the form of field and laboratory tests of structural elements at the time. The predicted capacity of existing structural elements can then be compared to the capacity required to bear the additional load using this information. Lastly, whether or not reinforcement is required after the structure has been loaded.

***Keywords : Pier/Quay, Structural Elements,
Assessment, Corrosion, Cross-sectional Capacity.***

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan segala puji syukur kehadiran Allah SWT Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya, penulis mampu menyelesaikan penyusunan proyek akhir yang berjudul “Evaluasi Struktur Dermaga Domestik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) Tahun 2021” ini.

Proyek akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan serta motivasi yang telah diberikan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa syukur dan ucapan terimakasih, kepada :

1. Allah SWT
2. Kedua orang tua, saudara, dan tunangan yang telah memberikan dukungan moril, materil serta doa yang senantiasa dipanjatkan kepada Allah SWT.
3. Bapak Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS dan Ibu Dr.Eng. Yuyun Tajunnisa ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dalam menyusun proyek akhir ini.
4. Bapak Nur Achmad Husin, ST., MT. dan Bapak Raden Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT. selaku dosen penguji yang telah memberi banyak kritik dan saran yang membangun.
5. Segenap dosen dan karyawan Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Surabaya.
6. Serta teman-teman yang selalu memberikan dukungan, doa, serta saran selama penyusunan proyek akhir ini.

Penulis mengharapkan adanya saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan proyek akhir ini. Akhir kata, penulis berharap proyek akhir ini dapat bermanfaat bagi semua.

Penulis

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Data Sekunder	4
1.6.1. Data Uji Lapangan dan Laboratorium	6
1.6.2. Data Struktur.....	13
1.6.3. Data Tanah.....	20
1.6.4. Data Beban	22
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	27
2.1 Tinjauan Umum.....	27
2.2 Peraturan Yang Digunakan.....	27
2.3 Inspeksi pada Elemen Struktur	28
2.3.1 <i>Hammer Test</i>	29

2.3.2	<i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i>	31
2.3.3	<i>Half Cell Potential</i>	33
2.3.4	<i>Rebar Detector/Bar Locator</i>	36
2.3.5	Uji Kuat Tekan Beton.....	36
2.3.6	Uji Kuat Tarik Baja	37
2.4	Kondisi Eksisting Struktur	39
2.4.1	Waktu Layan Selimut Beton	40
2.4.2	Kecepatan Korosi	41
2.4.3	Kedalaman Korosi	42
2.4.4	Prakiraan Sisa Luas Penampang Tulangan dalam Waktu T	42
2.4.5	Kapasitas Struktur Eksisting.....	43
2.5	Pembebanan Dermaga	45
2.5.1	Beban Vertikal Merata	45
2.5.2	Beban Vertikal Terpusat dan Bergerak	45
2.5.3	Beban Horizontal.....	47
2.5.4	Kombinasi Pembebanan untuk Dermaga	50
2.6	Evaluasi Struktur	51
2.7	<i>Safety Factor</i>	52
2.8	Rekomendasi Tindakan	53
2.8.1	Perkuatan menggunakan CFRP	53
2.8.2	Perbaikan Retak Kecil pada Pelat dan Elemen Balok Lain	55
2.8.3	Perbaikan Retak Berat dan Spalling	56

2.8.4 Perbaikan Pencegahan Korosi Lanjutan pada Baja Tulangan 58

BAB III METODOLOGI	61
3.1 Diagram Alir Penulisan	61
3.2 Penjelasan Diagram Alir Penulisan	62
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	65
3.1 Elemen Struktur Eksisting.....	65
3.1.1 Ekstrapolasi Data.....	65
3.1.2 Kondisi Eksisting Elemen Struktur	65
3.1.3 Kapasitas Elemen Struktur Tahun 1996	68
3.1.4 Kapasitas Elemen Struktur Tahun 2021	73
3.2 Pembebanan Dermaga	80
3.2.1 Pembebanan Awal (Tahun 1999)	80
3.2.2 Pembebanan <i>Assessment</i> 1 (Tahun 2011).....	96
3.2.3 Pembebanan <i>Assessment</i> 2 (Tahun 2021).....	97
3.3 Evaluasi Struktur	100
3.4 Safety Factor.....	102
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	104
5.1 Kesimpulan.....	104
5.2 Saran.....	106
JADWAL PELAKSANAAN PROYEK AKHIR.....	107
DAFTAR PUSTAKA.....	109
BIODATA PENULIS.....	111

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi Dermaga Domestik PT. TPS Surabaya	4
Gambar 1. 2 Kondisi Eksisting Dermaga	5
Gambar 1. 3 Kondisi Operasional Dermaga Domestik	5
Gambar 1. 4 Korelasi antara nilai pH dengan Potensial Tulangan dalam Diagram Pourbaix untuk Menentukan Tingkat Korosi.....	9
Gambar 1. 5 Korelasi Kandungan Klorida terhadap Probabilitas Korosi	10
Gambar 1. 6 Kadar Kandungan Klorida Beton pada Tahun 2004	12
Gambar 1. 7 Denah Struktur Dermaga Domestik TPS Surabaya	13
Gambar 1. 8 Denah Parsial 1 Struktur Dermaga Domestik TPS Surabaya	14
Gambar 1. 9 Dimensi dan Penulangan Balok <i>Crane</i> / Balok Memanjang Oranye	15
Gambar 1. 10 Dimensi dan Penulangan Balok Memanjang Hijau	16
Gambar 1. 11 Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Ungu.	17
Gambar 1. 12 Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Hijau.	18
Gambar 1. 13 Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Biru ..	19
Gambar 1. 14 Dimensi dan Penulangan Pelat Lantai	19
Gambar 1. 15 Data Tanah TPS Surabaya Kedalaman 0 – 40m...	20
Gambar 1. 16 Data Tanah TPS Surabaya Kedalaman 40 – 80m.	21
Gambar 1. 17 Ilustrasi <i>Container Crane</i>	22
Gambar 1. 18 Ilustrasi RTG <i>Crane</i>	22
Gambar 1. 19 Spesifikasi RTG <i>Crane</i>	24
Gambar 1. 20 Denah Roda <i>Multi-axle Vehicle</i> HDM.....	25
Gambar 1. 21 Ilustrasi Truk Petikemas	26
Gambar 2. 1 Silver Schmidt Hammer	30
Gambar 2. 2 Prinsip Kerja <i>Silver Schmidt Hammer</i>	31

Gambar 2. 3 Metode Pengujian Tes UPV (Sumber: <i>International Atomic Energy Agency</i> , 2002: 101 – 102).....	32
Gambar 2. 4 Alat Profometer 5 + <i>Rebar Detector</i>	36
Gambar 2. 5 Mesin Uji Tekan	37
Gambar 2. 6 Alat Uji Kuat Tarik Baja	38
Gambar 2. 7 Contoh grafik hasil uji kuat tarik baja	39
Gambar 2. 8 Grafik Waktu Layan untuk Berbagai-bagai Nilai Selimut Beton.....	41
Gambar 2. 9 Diagram tegangan regangan balok	44
Gambar 2. 10 Ilustrasi Truk	46
Gambar 2. 11 Ilustrasi Beban Pada Container Crane	46
Gambar 2. 12 Penempatan RTG Crane pada <i>Multi-axle Vehicle</i> HDM.....	47
Gambar 2. 13 Pola manuver perpindahan <i>Multi-axle Vehicle</i> HDM.....	47
Gambar 2. 14 Diagram <i>Eccentricity factor</i>	49
Gambar 2. 15 Pemodelan Struktur Dermaga.....	51
Gambar 2. 16 Pemasangan CFRP	55
Gambar 2. 17 Urutan Perbaikan Retak.....	56
Gambar 2. 18 Perbaikan untuk Retak Berat dan Spalling	58
Gambar 2. 19 Sistem pelapisan dengan <i>corrosion inhibitor</i>	59
Gambar 4. 1 <i>U-Shell</i> pada Potongan Balok.....	66
Gambar 4. 2 Ilustrasi Truk	81
Gambar 4. 3 Ilustrasi Pembebanan Truk.....	81
Gambar 4. 4 Ilustrasi Pembebanan Truk.....	82
Gambar 4. 5 Ilustrasi Beban Pada <i>Container Crane</i>	83
Gambar 4. 6 Ilustrasi Pembebanan <i>Container Crane</i>	83
Gambar 4. 7 Diagram <i>Eccentricity factor</i>	85
Gambar 4. 8 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) untuk S_s	90

Gambar 4. 9 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) untuk S_1	90
Gambar 4. 10 Peta transisi periode panjang T_L , wilayah Indonesia	93
Gambar 4. 11 Grafik Respon Spektrum berdasarkan hasil perhitungan	94
Gambar 4. 12 Grafik Respon Spektrum berdasarkan RSA Ciptakarya.....	95
Gambar 4. 13 Grafik Respon Spektrum berdasarkan SAP v20...	95
Gambar 4. 14 Konsep Mekanika Teknik.....	97
Gambar 4. 9 Penempatan RTG <i>Crane</i> pada <i>Multi-axle Vehicle</i> HDM.....	98
Gambar 4. 10 Pola manuver perpindahan <i>Multi-axle Vehicle</i> HDM.....	98
Gambar 4. 17 Distribusi beban terpusat HDM pada balok.....	99
Gambar 4. 18 Pemodelan Struktur Dermaga Domestik dengan SAP2000.....	100
Gambar 5. 1 Hasil Analisa Gempa pada Tiang Pancang Baja dengan Program Bantu SAP2000	105

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Hasil Uji Lapangan dan Laboratorium	6
Tabel 1. 2 Hasil Pengujian Nilai pH dalam Beton pada Tahun 2004.....	7
Tabel 1. 3 Hasil Pengujian Nilai pH dalam Beton pada Tahun 2011	8
Tabel 1. 3 Resume Nilai Potensial Tulangan dan Nilai pH.....	9
Tabel 1. 4 Batas Kandungan Klorida yang Masih Diperbolehkan	11
Tabel 2. 1 Klasifikasi Kecepatan Gelombang	33
Tabel 2. 2 Nilai Bacaan Half Cell Potential	35
Tabel 2. 3 Sifat Mekanis Baja Struktural	38
Tabel 2. 4 Gaya Tarik pada <i>Bollard</i> (TSPHF Japan '91)	49
Tabel 4. 1 Perkiraan Waktu Korosi pada Tulangan Terjadi (Tahap Pertama)	66
Tabel 4. 2 Diameter Tulangan Sebelum dan Sesudah Terkorosi	67
Tabel 4. 3 Rekap Kapasitas Pelat	69
Tabel 4. 4 Rekap Kapasitas Balok.....	73
Tabel 4. 5 Rekap Kapasitas Pelat Awal dan Eksisting (2021)	75
Tabel 4. 6 Rekap Kapasitas Momen Balok Awal dan Eksisting (2021)	79
Tabel 4. 7 Rekap Kapasitas Geser Balok Awal dan Eksisting (2021)	79
Tabel 4. 8 Rekap Kapasitas Torsi Balok Awal dan Eksisting (2021)	80
Tabel 4. 9 Gaya Tarik pada <i>Bollard</i> (TSPHF Japan '91)	85
Tabel 4. 10 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa (SNI 1726:2019 Tabel 3).....	86
Tabel 4. 11 Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726:2019 Tabel 4)	87
Tabel 4. 12 Tabel Perhitungan N SPT Rata-Rata.....	87

Tabel 4. 13 Tabel Klasifikasi Situs (SNI 1726:2019 Tabel 5)	89
Tabel 4. 14 Tabel Koefisien Situs Fa (SNI 1726:2019 Tabel 6) .	91
Tabel 4. 15 Tabel Koefisien Situs Fv (SNI 1726:2019 Tabel 7) .	91
Tabel 4. 16 Tabel Perhitungan Grafik Respon Spektrum.....	93
Tabel 4. 17 Tabel Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek (SNI 1726- 2019, tabel 8).....	96
Tabel 4. 18 Tabel Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik (SNI 1726- 2019, tabel 9).....	96
Tabel 4. 19 Perbandingan Kapasitas Momen pada Pelat dan Gaya Dalam yang Terjadi pada Pembebanan Tahun 2021	100
Tabel 4. 20 Perbandingan Kapasitas Momen pada Balok dan Gaya Dalam yang Terjadi pada Pembebanan Tahun 2021	101
Tabel 4. 21 Perbandingan Kapasitas Geser pada Balok dan Gaya Dalam yang Terjadi pada Pembebanan Tahun 2021	101
Tabel 4. 22 Perbandingan Kapasitas Torsi pada Balok dan Gaya Dalam yang Terjadi pada Pembebanan Tahun 2021	102
Tabel 4. 23 <i>Safety Factor</i> Pelat pada Pembebanan Tahun 2021	102
Tabel 4. 24 <i>Safety Factor</i> Momen Balok pada Pembebanan Tahun 2021	103
Tabel 4. 25 <i>Safety Factor</i> Geser Balok pada Pembebanan Tahun 2021	103
Tabel 5. 1 Prosentase Penurunan Kapasitas dan <i>Safety Factor</i> Plat pada Pembebanan Tahun 2021	104
Tabel 5. 2 Prosentase Penurunan Kapasitas dan <i>Safety Factor</i> Momen Balok pada Pembebanan Tahun 2021	104
Tabel 5. 3 Prosentase Penurunan Kapasitas dan <i>Safety Factor</i> Momen Balok pada Pembebanan Tahun 2021	105

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dermaga Domestik milik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) merupakan salah satu penunjang utama perekonomian di Indonesia Timur, karena dermaga ini sangat berperan sebagai jalur pengiriman barang antar pulau baik dari maupun ke Surabaya. Seiring berjalannya waktu, mulai muncul kembali tanda-tanda kerusakan khususnya pada bagian bawah struktur dermaga. Hal ini bila tidak dilakukan pemeriksaan dan perbaikan segera, dapat mengganggu fungsi pelayanan dermaga domestik. Sehingga perlu dilaksanakan suatu pekerjaan penelitian guna mengetahui kondisi kekuatan layan dermaga saat ini, mengevaluasi sifat-sifat fisik struktur, serta rekomendasi perbaikan yang perlu dilakukan.

Dalam Proyek Akhir ini, penulis akan melakukan evaluasi untuk mengontrol kondisi struktur tahun 2021, berdasarkan data sekunder yang diperoleh. Data sekunder yang diperoleh ialah data hasil uji lapangan dan laboratorium pada tahun 2004 dan 2011, yang berikutnya dikembangkan melalui ekstrapolasi linier. Perhitungan ini menyoroti kondisi tulangan pada struktur, yang sangat rentan terhadap kondisi lingkungan struktur berada. Tulangan sangat rentan mengalami korosi, dan umumnya luas penampang tulangan akan berkurang akibat korosi tersebut. Seperti kita ketahui, luas penampang tulangan mempengaruhi besar kapasitas sebuah struktur menanggung beban yang diterapkan. Dari evaluasi tersebut, dapat diketahui kondisi masing-masing elemen struktur. Langkah selanjutnya, yakni menghitung kapasitas struktur yang bebannya diasumsikan terdiri atas berat struktur sendiri, beban akibat kapal, beban truk, penambahan

container crane sejumlah 2 unit, dan penambahan *Rubber Tired Gantry Crane* sejumlah 1 unit, yang dipindahkan dari kapal ke area darat dengan *Multi-axle Vehicle* HDM. Didapatlah gaya dalam yang dapat kita bandingkan dengan *Safety Factor* (angka keamanan) untuk menyimpulkan bagian mana saja yang tidak aman. Dari kesimpulan tersebut, akan diulas rekomendasi perbaikan yang perlu dilakukan. Dalam *assessment* sesungguhnya, tidak diperbolehkan untuk mengevaluasi dengan hanya menggunakan perhitungan evaluasi seperti yang akan dibahas, terutama dengan rentang waktu lebih dari 5 tahun sejak *assessment* terakhir, karena terlalu beresiko dan keadaan masing-masing lingkungan struktur berbeda.

Dalam Proyek Akhir ini, penulis menggunakan berbagai literatur sebagai acuan dalam meneliti dan mengevaluasi struktur dermaga.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penyusunan Proyek Akhir Evaluasi Struktur Dermaga Domestik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) pada Tahun 2021 ini, terdapat beberapa rumusan masalah yang ditinjau, antara lain:

1. Bagaimana kondisi dan kapasitas elemen struktur Dermaga Domestik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) pada tahun 2021 berdasarkan data sekunder yang diperoleh?

1.3 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dalam proses pengerjaan Proyek Akhir Evaluasi Struktur Dermaga Domestik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) pada Tahun 2021 ini adalah :

1. Proyek Akhir Evaluasi Struktur Dermaga Domestik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) pada Tahun 2021 ini hanya meninjau struktur, tidak meninjau biaya, ataupun manajemen konstruksinya.
2. Data Sekunder yang diolah ialah data pemeriksaan struktur (uji lapangan dan laboratorium) Dermaga Domestik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) yang dilakukan 2 kali, yakni data tahun 2004 dan 2011. Untuk kondisi struktur pada tahun 2021, hanya akan diperkirakan kondisinya dengan melakukan ekstrapolasi linier pada data, tanpa mengadakan pengecekan uji lapangan dan laboratorium kembali pada tahun tersebut.
3. Laju korosi diasumsikan memberi dampak pada seluruh tulangan balok, sebesar 0,3 mm/tahun. Laju korosi yang digunakan sesuai dengan standart NACE, tidak bisa diekstrapolasi karena tidak adanya data laju korosi pada tahun 2004.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penyusunan Proyek Akhir Evaluasi Struktur Dermaga Domestik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) pada Tahun 2021 ini antara lain adalah :

1. Melakukan evaluasi kapasitas momen, geser, dan torsi elemen struktur Dermaga Domestik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) pada tahun 2021 berdasarkan data sekunder yang diperoleh

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penulisan Proyek Akhir Evaluasi Struktur Dermaga Domestik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) pada Tahun 2021 ini yaitu :

1. Mahasiswa mampu meningkatkan kemampuan dalam bidang evaluasi struktur dermaga menggunakan beberapa referensi terkait.
2. Mahasiswa mampu mengaplikasikan ilmu yang didapat saat kuliah, berkaitan dengan studi evaluasi sstruktur, menggunakan data dermaga yang nyata.
3. Sebagai sarana melatih kemampuan dalam menghadapi dunia kerja.

1.6 Data Sekunder

Berikut adalah data yang diperlukan dalam penulisan Proyek Akhir Evaluasi Struktur Dermaga Domestik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) pada Tahun 2021 ini yaitu :



Gambar 1. 1 Lokasi Dermaga Domestik PT. TPS Surabaya



Gambar 1. 2 Kondisi Eksisting Dermaga



Gambar 1. 3 Kondisi Operasional Dermaga Domestik

1.6.1. Data Uji Lapangan dan Laboratorium

Tabel 1. 1 Hasil Uji Lapangan dan Laboratorium

Jenis	Data				Standart	
	2004		2011			
Fc'	rata-rata	366.22 kg/cm2	rata-rata	334.56 kg/cm2	K350	350.00 kg/cm2
	minimum	215.47 kg/cm2	minimum	274.25 kg/cm2		
Fy	rata-rata	547.40 MPa	rata-rata	510.83 MPa		400.00 MPa
	minimum	379.40 MPa	minimum	494.24 MPa		
Tebal Selimut Beton			rata-rata	51.00 mm		75.00 mm
			minimum	7.00 mm		75.00 mm
pH dalam Beton	kedalaman (cm)		kedalaman (cm)			
	1.25	12.75	3	8.95		
Kandungan Klorin	kedalaman (cm)	% dari berat beton	kedalaman (cm)	% dari berat beton	0.15	%berat semen
	1.25	0.065	3	0.18598	0.025	%berat beton
Laju Korosi			maksimum	1.00 mm/tahun	NACE	0.3
			rata-rata	0.06 mm/tahun	Splash zone	
Tebal Tiang Pancang Baja			rata-rata	11.87 mm	NACE	0.3
			minimum	10.34 mm	Tidal zone	

Adapun beberapa data lainnya yakni:

1. Data awal yakni $F_c' = 350 \text{ kg/cm}^2$; $F_y = 400 \text{ Mpa}$, dan faktor air semen (FAS) diketahui sebesar 0,5
2. Berdasarkan hasil pengukuran nilai *half cell potential*, diketahui bahwa 37.85% dari total pengukuran memiliki nilai sebesar - 200 mV s/d – 350 mV sehingga tergolong dalam kondisi tulangan dengan korosi tidak menentu ($\pm 50\%$). Dan 12.15% memiliki nilai < -350 mV sehingga tergolong dalam tulangan yang memiliki tingkat korosi mencapai 90%. Adapun nilai minimum *half cell potential* adalah sebesar -640 mV pada elemen Balok Crane.
3. Berdasarkan hasil pengukuran nilai pH dalam beton pada tahun 2011, diketahui terjadi penurunan nilai pH dengan nilai pH terkecil sebesar 8.95 pada elemen balok crane. Adapun secara umum kondisi beton relatif masih cukup bagus ($\text{pH} > 7$).
Sedangkan, hasil pengukuran nilai pH tahun 2004 dapat dilihat pada Tabel 2.3. Dari hasil tersebut dapat dilihat

bahwa pH beton pada tahun 2011 lebih asam daripada kondisi beton pada tahun 2004.

Tabel 1. 2 Hasil Pengujian Nilai pH dalam Beton pada Tahun 2004

Kode contoh dan Kedalaman, cm		Hasil analisa	
		Karbonase	PH
1	CD-P7 No.1 (1.25cm)	Positiv(terjadi karbonase)	12.75
2	CD-P7 No.2 (3.00cm)	Positiv(terjadi karbonase)	12.83
3	CD-P7 No.3 (5.50cm)	Positiv(terjadi karbonase)	12.88
4	CD-B1 N0.1 (1.75cm)	Positiv(terjadi karbonase)	12.85
5	CD-B1 N0.2 (5.50cm)	Positiv(terjadi karbonase)	12.85
6	CD-B1 N0.3 (9.75cm)	Positiv(terjadi karbonase)	12.88

Tabel 1. 3 Hasil Pengujian Nilai pH dalam Beton pada Tahun 2011

No	Kode	Jarak	Hasil Analisa pH
1	D - 1	3	11.69
		5	11.72
		7	11.88
2	D - 2	3	11.38
		5	11.59
		7	11.68
3	D - 3	3	11.27
		5	11.37
		7	11.57
4	D - 4	3	10.10
		5	10.50
		7	10.97
5	D - 5	3	11.67
		5	11.70
		7	11.72
6	D - 6	3	11.58
		5	11.60
		7	11.61
7	D - 7	3	11.54
		5	11.61
		7	11.63
8	D - 8	3	11.52
		5	11.55
		7	11.58
Metode Analisis		pH meter	

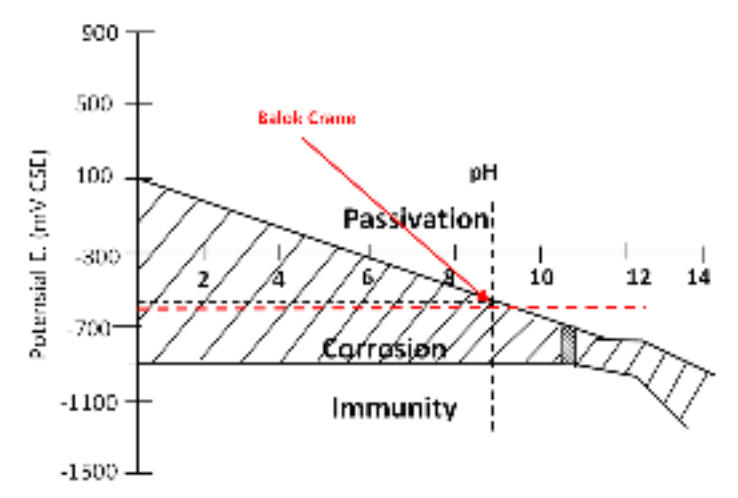
No	Kode	Jarak	Hasil Analisa pH
9	D - 9	3	11.20
		5	11.78
		7	11.80
10	D - 10	3	10.67
		5	10.90
		7	11.20
11	D - 11	3	8.95
		5	9.54
		7	9.90
12	D - 12	3	9.54
		5	10.10
		7	10.88
13	D - 13	3	10.75
		5	11.20
		7	11.81
14	D - 14	3	9.90
		5	10.50
		7	10.61
15	D - 15	3	10.54
		5	10.98
		7	11.57
Metode Analisis		pH meter	

4. Dengan menggunakan diagram Pourbaix, tingkat korosi tulangan baja bisa diprediksi menggunakan nilai potensial tulangan dan besarnya nilai pH dalam beton. Dari data korelasi pada Tabel 1.3 dan diagram pada Gambar 1.1, maka dapat dikatakan bahwa baja tulangan pada Dermaga Domestik sudah mengalami korosi pada beberapa bagian,

khususnya bagian bawah dan samping balok crane sebagaimana kondisi di lapangan.

Tabel 1. 4 Resume Nilai Potensial Tulangan dan Nilai pH

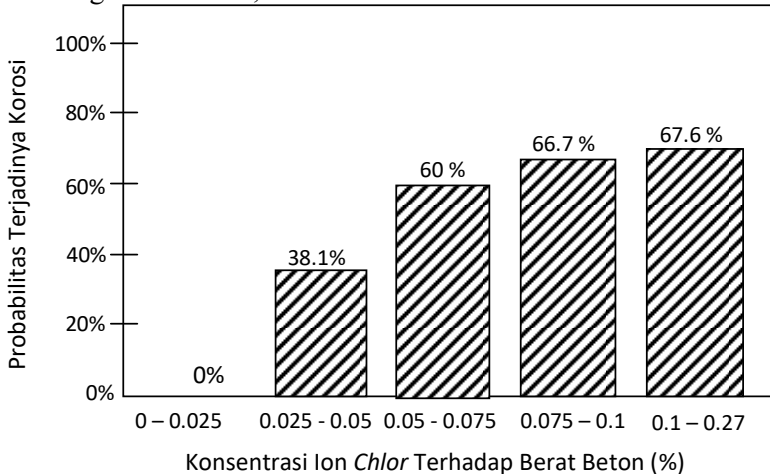
Struktur	Elemen/Lokasi	Nilai Potensial Tulangan (mV)	Nilai pH terkecil
Dermaga Domestik	Balok Crane	- 640	8.95



Gambar 1. 4 Korelasi antara nilai pH dengan Potensial Tulangan dalam Diagram Pourbaix untuk Menentukan Tingkat Korosi

5. Dari hasil evaluasi kandungan klorida tahun 2011, terlihat bahwa kandungan klorida tertinggi terletak di permukaan beton dan makin ke dalam, konsentrasi klorida tersebut semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa penetrasi klorida telah terjadi pada beton. Adapun kandungan klorida tertinggi terdapat pada Sampel D – 1 sebesar 0.18598 %. Sehingga bila dikaitkan dengan korelasi Ziad

G. Matta dalam grafik pada Gambar 1.5 maka dapat dikatakan bahwa prosentase kemungkinan korosi pada tulangan adalah 67,6%.



Ziad G. Matta (1992)

Gambar 1.5 Korelasi Kandungan Klorida terhadap Probabilitas Korosi

Dan dengan memperhatikan usia struktur Dermaga Domestik adalah 14 tahun sejak selesai dibangun tahun 1996 sampai dengan tahun 2011, serta berdasarkan konsentrasi klorida tertinggi 0.18598 % pada jarak 3 cm dari permukaan, maka peningkatan kandungan Klorida adalah 0.0124 % per tahun dengan kecepatan penetrasi 2 mm per tahun (= 0.2 cm/tahun).

Dan juga dapat disimpulkan bahwa sebagian besar elemen pada dermaga domestik memiliki kandungan klorida yang melebihi ambang batas baik menurut SNI 03-2847-2002 maupun peraturan-peraturan Domestik lainnya sebagaimana Tabel 1.4 berikut.

Tabel 1. 5 Batas Kandungan Klorida yang Masih Diperbolehkan

Peraturan	Batas Kandungan Klorida Dalam Beton yang Masih Diperbolehkan	
	Dalam (%) Berat Semen	Dalam (%) Berat Beton
SNI 03-2847-2019	0.15	0.0250
ACI Committee 222	0.20	0.0334
CIRIA'S Code	0.30	0.0501
ENV 206	0.40	0.0668
Norwegian Code	0.60	0.1002
AFNOR P18-011	0.65	0.1085

Nilai kandungan klorida tahun 2004 berkisar setengah dari hasil pengujian tahun 2011. Atau dengan kata lain pada tahun 2011 telah terjadi peningkatan kandungan klorida sebesar hampir dua kali lipat dari pengujian tahun 2004.

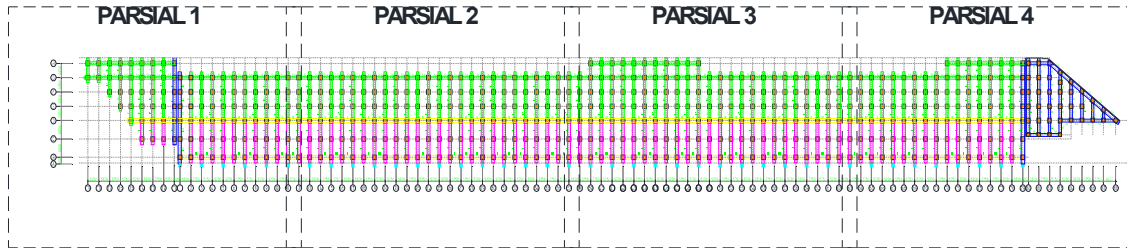


Gambar 1. 6 Kadar Kandungan Klorida Beton pada Tahun 2004

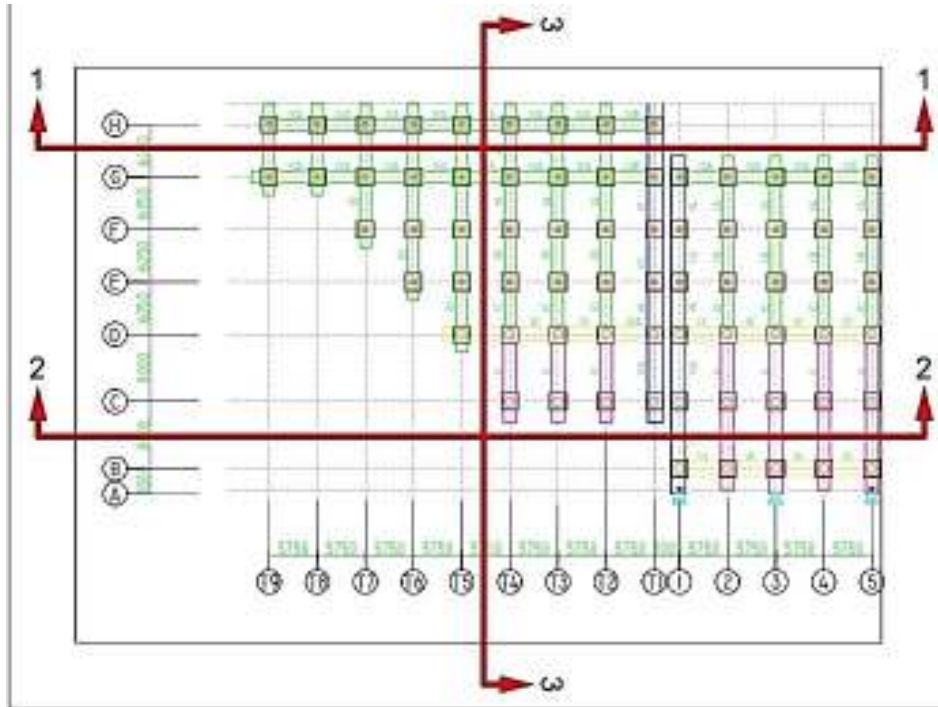
6. Adapun berdasarkan hasil pengukuran ketebalan korosi pada sampel baja tulangan dermaga domestik, diketahui bahwa korosi permukaan eksisting telah terjadi dengan kedalaman korosi maksimum adalah sebesar 0.500 mm.

Lalu, dapat disimpulkan bahwa hasil evaluasi mutu beton dan baja eksisting memenuhi standart. Akan tetapi yang perlu diperhatikan ialah semakin rendahnya nilai pH dan semakin tingginya kandungan Klorida yang dapat berakibat pada meningkatnya laju korosi pada baja tulangan.

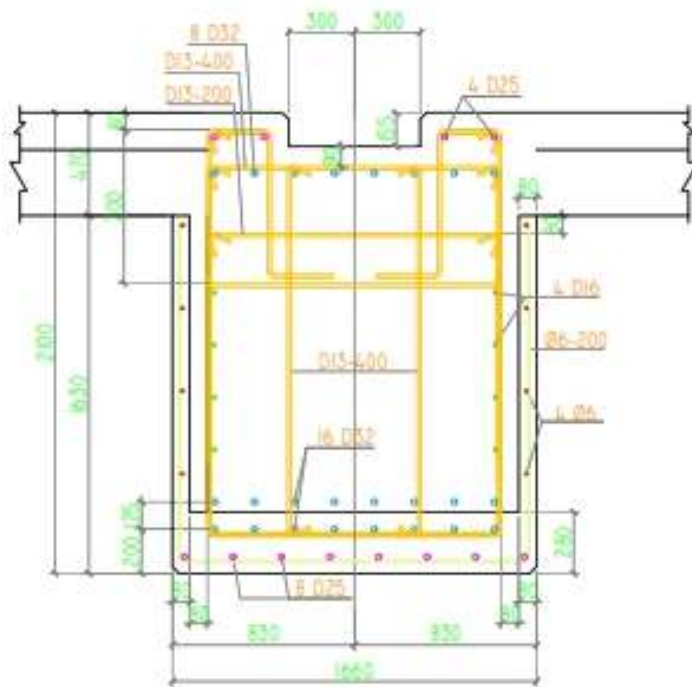
1.6.2. Data Struktur



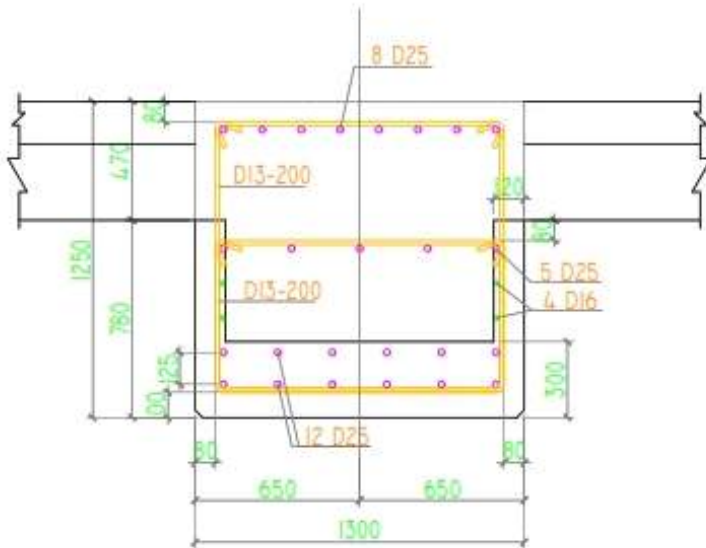
Gambar 1. 7 Denah Struktur Dermaga Domestik TPS Surabaya



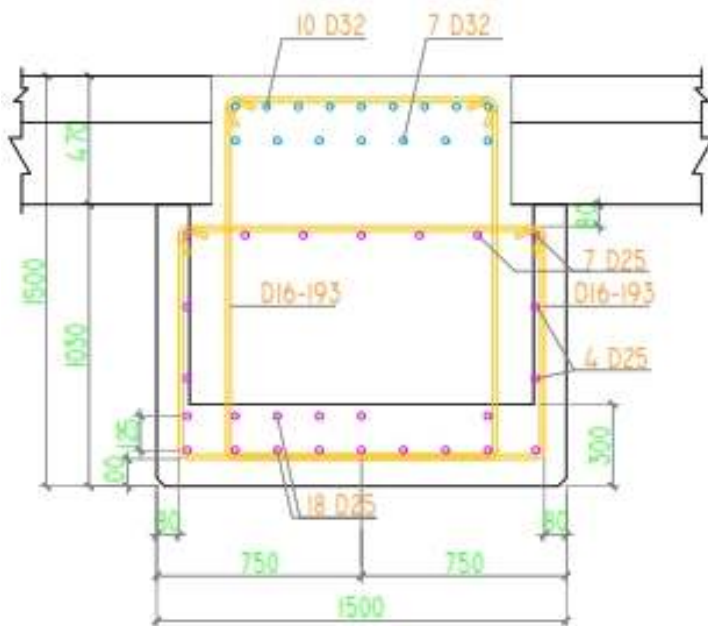
Gambar 1.8 Denah Parsial 1 Struktur Dermaga Domestik TPS Surabaya



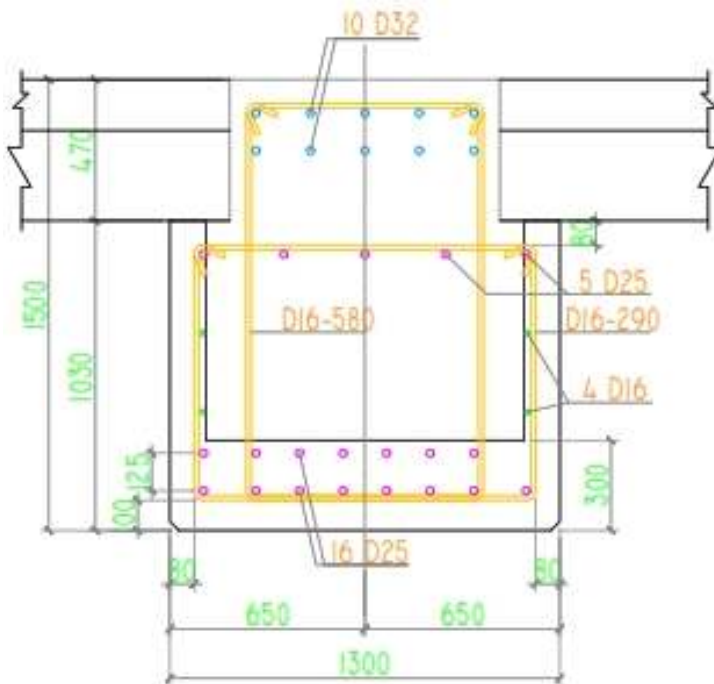
Gambar 1. 9 Dimensi dan Penulangan Balok *Crane* / Balok Memanjang Oranye



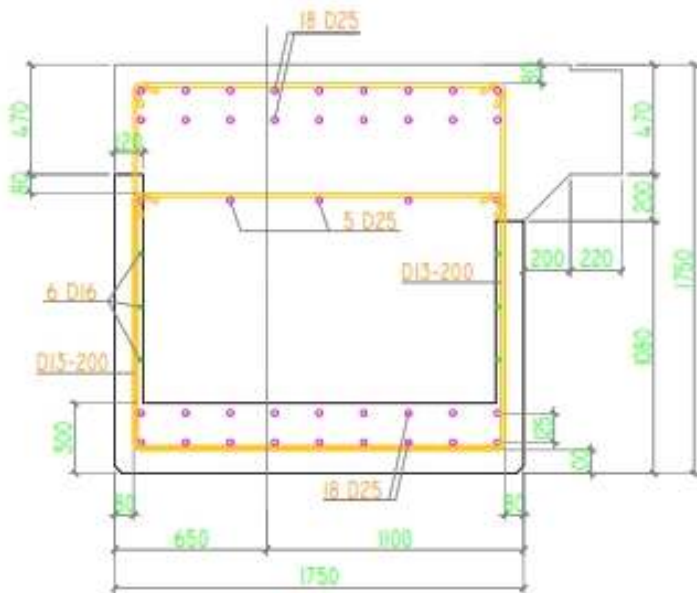
Gambar 1. 10 Dimensi dan Penulangan Balok Memanjang Hijau



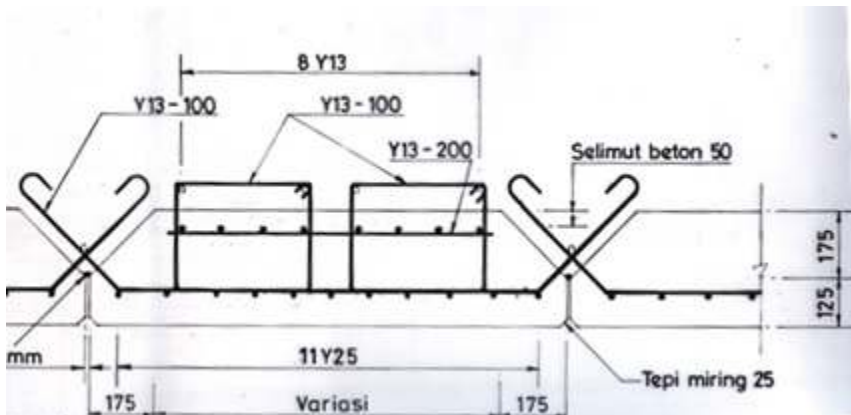
Gambar 1. 11 Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Ungu



Gambar 1. 12 Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Hijau



Gambar 1. 13 Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Biru



Gambar 1. 14 Dimensi dan Penulangan Pelat Lantai

1.6.4. Data Beban

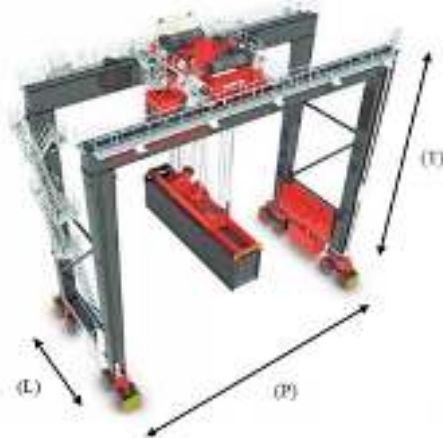
a. *Container Crane*

Rail Span = 16 meter
 Beban = 34 ton/roda x 32
 = 1088 t/cc
 Jarak terdekat antar CC = 3 m



Gambar 1. 17 Ilustrasi *Container Crane*

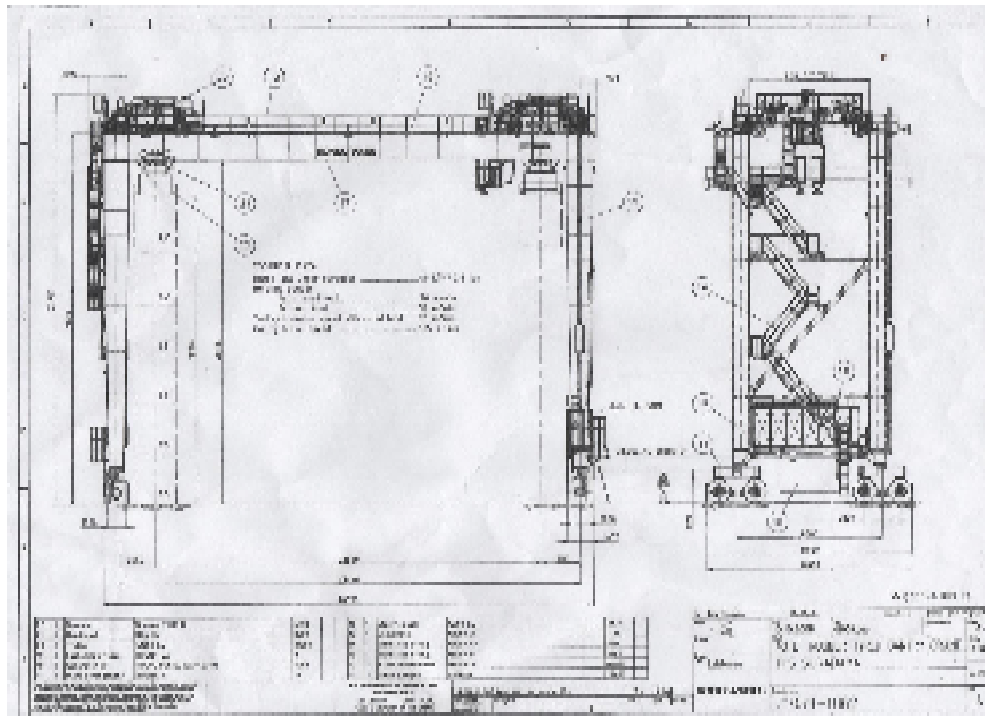
b. *RTG Crane (Rubber Tired Gantry)*



Gambar 1. 18 Ilustrasi *RTG Crane*

Data RTG *Crane* :

- Berat : 134 ton
- Panjang (P) : 27,06 m
- Lebar (L) : 8,5 m
- Tinggi (T) : 21,66 m



Gambar 1. 19 Spesifikasi RTG Crane

c. **Data Multi-axle Vehicle HDM (Heavy-Duty Module)**

Multi-axle vehicle menggunakan produk HDM dari perusahaan Goldhofer dengan tipe THP/SL *Original*. Dengan spesifikasi berikut :



Gambar 1. 20 Denah Roda *Multi-axle Vehicle* HDM

Data *Heavy-Duty Module* (HDM) :

- Berat : 13,85 ton
- Panjang : 6 m
- Lebar : 3 m
- Tinggi : 1,175 m

d. **Kapal**

Data – data kapal untuk pembebanan horizontal adalah sebagai berikut :

- *Deat Weight Tonnage* = 10.000 DWT
- *Loaded Displacement Tonnage* = 13.333 T
- LOA = 220 m
- *Draft* (tinggi lunas) = 8,5 m
- Desain Kedalaman = 10,5 m
- *Berthing velocity* = 0,15 m/dt

e. Fender

Pada *assessment* tahun 2011, digunakan *Dyna Arch Fender Type* DA-A750H-L2500, dan memakai ME defleksi 52.5 % dengan kapasitas :

$$E_f = 12.36 \text{ Ton.m/m (defleksi 52.5 \%)}$$

$$R = 70,4 \text{ Ton (defleksi 52.5 \%)}$$

f. Truk

Truk Petikemas (berat total maks 42 ton):



Gambar 1. 21 Ilustrasi Truk Petikemas

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Dermaga adalah sebuah bangunan tempat sandar dan bongkar muat kapal. Dermaga juga merupakan suatu struktur yang dibuat untuk menghubungkan bagian darat dan laut. Konstruksi dermaga diperlukan untuk menahan gaya-gaya akibat tumbukkan kapal dan beban selama bongkar muat. Dimensi dermaga didasarkan pada jenis dan ukuran kapal yang akan merapat dan bertambat pada dermaga tersebut.

Dermaga yang sudah beroperasi bertahun-tahun, umumnya akan mengalami penurunan kualitas pada strukturnya. Hal ini tentunya memberi dampak pada kegiatan operasional dermaga tersebut. Kegiatan operasional yang terhambat, mempengaruhi kinerja lainnya, dan tentunya memberi dampak buruk pada pelayanannya. Oleh sebab itu, diperlukan pengecekan dan perawatan berkala, dan apabila dibutuhkan dan memungkinkan, dilakukan perkuatan pada struktur tersebut.

2.2 Peraturan Yang Digunakan

Pedoman atau literatur yang digunakan dalam Proyek Akhir Evaluasi Struktur Dermaga Domestik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) Tahun 2021 ini secara umum terdapat dari buku- buku sebagai berikut:

- a. *Standard Design Criteria For Ports In Indonesia*, 1984.
- b. Peraturan Muatan Indonesia 1970 (PMI 70 – NI 18).
- c. *PIANC Guidelines for the Design of Fenders System*.

- d. *Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan.*
- e. *American Standard Testing Methode* (ASTM) untuk standard pengujian.
- f. SNI 2847 - 2019
- g. SNI 1729 - 2019
- h. SNI 2833 - 2016
- i. Standard-standard lain sejauh tidak bertentangan dengan ketentuan yang berlaku.

2.3 Inspeksi pada Elemen Struktur

Untuk mengetahui kondisi suatu struktur bangunan, diperlukan beberapa metode inspeksi, antara lain:

1. *Visual Inspection*

Atau pengamatan kondisi struktur. Metode inspeksi ini berfokus pada pemetaan retak dan pemetaan korosi. Hasil inspeksi berupa foto, *crack mapping*, tingkat kerusakannya, dan rekomendasi tindakannya.

2. *Non Destructive Test* (NDT)

Apabila rekomendasi tindakan dari inspeksi visual ialah NDT, maka macam-macam tes yang perlu dilakukan ialah *Hammer Test*, *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPV), *Half Cell Potential*, dan *Rebar Detector*. Masing-masing tes ini sebagian besar mengindikasikan kualitas beton, dan tidak se-akurat *destructive test*, sehingga hasil uji NDT tidak bisa dijadikan bahan pertimbangan kondisi struktur sebenarnya. Maka, NDT hampir selalu dilanjutkan dengan DT.

3. *Destructive Test* (DT)

Inspeksi DT memerlukan sampel beton dan tulangan dari masing-masing elemen struktur. Sampel beton dan tulangan ini diujikan di laboratorium, dan digunakan untuk uji kuat tekan beton, dan uji kuat tarik baja. Dari uji DT, akan diketahui kondisi elemen struktur tersebut, dan dapat diolah untuk menghitung kapasitas strukturnya. Hasil selanjutnya, akan diketahui elemen struktur mana saja yang memerlukan perkuatan.

Untuk bangunan yang memiliki umur layan kurang dari 10 tahun, metode inspeksi dilakukan tiap tahunan (untuk *visual inspection*), tiap 5 tahun (untuk *visual inspection*, dan NDT), dan tiap 10 tahun (untuk *visual inspection*, NDT, dan DT).

Sedangkan bangunan yang memiliki umur layan lebih dari 20 tahun, metode inspeksi dilakukan tiap tahunan (untuk *visual inspection*), tiap 2 tahun (untuk *visual inspection*, dan NDT), dan tiap 4 tahun (untuk *visual inspection*, NDT, dan DT).

2.3.1 Hammer Test

Hammer Test adalah suatu pengujian permukaan mutu beton tanpa merusak beton. Metode pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban *impact* (beban hentakan yang terdapat pada *hammer*) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan energi yang besarnya tertentu. Jarak pantulan yang timbul dari massa yang diberikan pada saat terjadi tumbukan dengan permukaan beton benda uji dapat memberikan indikasi kekerasan. Alat yang digunakan untuk melakukan *hammer test* adalah *Silver Schmidt Hammer*.

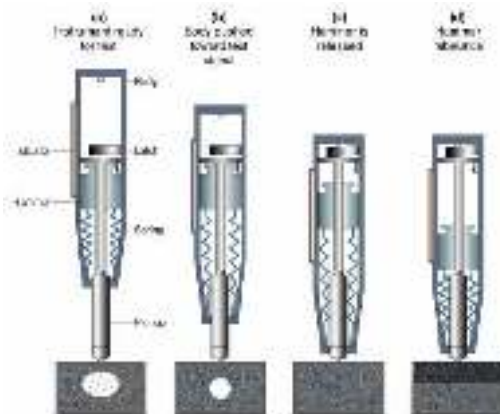


Gambar 2. 1 Silver Schmidt Hammer

Keterangan :

- | | |
|--|------------------------|
| 1. Tombol pilih (<i>select button</i>) | 4. <i>Plunger</i> |
| 2. <i>USB port</i> | 5. <i>Guide sleeve</i> |
| 3. Layar LCD | 6. Letak mesin |

Prinsip kerja alat hammer ini adalah dengan memberikan beban tumbukan pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan energi yang besarnya tertentu. Karena timbul tumbukan antara massa tersebut dengan permukaan beton, massa tersebut akan dipantulkan kembali. Jarak pantulan massa yang terukur memberikan indikasi kekerasan permukaan beton. Kekerasan beton dapat memberikan indikasi kuat tekannya.



Gambar 2. 2 Prinsip Kerja *Silver Schmidt Hammer*

Referensi yang digunakan dalam pengujian kuat tekan dengan alat palu beton (*Hammer Test*) adalah sebagai berikut:

- **ASTM C805-2** (Tata cara pengujian untuk mengukur tegangan karakteristik beton dengan alat *Schmidt Hammer Test*).
- **ACI 214-77 1989** (Nilai Deviasi Standar lapangan berdasarkan hasil pengujian lapangan).

2.3.2 *Ultrasonic Pulse Velocity Test*

Ultrasonic Pulse Velocity Test (Tes UPV) adalah tes yang dapat memperkirakan kekerasan beton berdasarkan pada hubungan cepat-rambat gelombang melalui media beton dengan kekuatan tekan beton itu (*International Atomic Energy Agency*, Vienna, 2002). Pengujian dilakukan dengan mengukur kecepatan perambatan gelombang elektronik longitudinal yang melalui media beton.

Ultrasonic Pulse Velocity Test dapat dilakukan dengan beberapa metode berikut:



Gambar 2.3 Metode Pengujian Tes UPV
(Sumber: *International Atomic Energy Agency*,
2002: 101 – 102)

Cara kerja alat UPV, dengan memberi getaran gelombang longitudinal lewat transduser elektro–akustik, melalui cairan perangkai yang berwujud gemuk ataupun sejenis pasta selulose (Stempad) yang dioleskan pada permukaan beton sebelum tes dimulai. Waktu tempuh T yang dibutuhkan untuk merambatkan gelombang pada lintasan beton sepanjang L dapat diketahui, sehingga kecepatan gelombang dapat dicari dengan persamaan (1) (Lawson, 2011).

$$v = L / T$$

Keterangan :

v = Kecepatan gelombang longitudinal
(km/detik atau m/detik)

L = Panjang lintasan beton yang dilewati
(km, m)

T = Waktu tempuh gelombang longitudinal ultrasonik pada lintasan L (detik)

Lalu, klasifikasi kualitas beton berdasarkan kecepatan gelombangnya yakni:

Tabel 2. 1 Klasifikasi Kecepatan Gelombang

Cepat Rambat gelombang longitudinal		Kualitas
km/detik	ft/detik	
> 4,5	> 15	Sangat Baik
3,5 - 4,5	12 - 15	Baik
3,0 - 3,5	10 - 12	Diragukan
2,0 - 3,0	7 -10	Jelek
< 2,0	< 7	Sangat Jelek

(Sumber: *International Atomic Energy Agency*,
Vienna, 2002: 110)

Referensi yang digunakan dalam pengujian UPV adalah sebagai berikut:

- **ASTM C805-85** (*Test for Rebound Number of Hardened Concrete*)
- **ASTM C597** (*Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*)
- **BS 1881-203** (*British Standards, Recommendations for the Measurement of Velocity of Ultrasonic Pulses in Concrete*)

2.3.3 *Half Cell Potential*

Half-cell adalah sebuah struktur kimia yang mengandung elektroda konduktif dan elektrolit konduktif disekitarnya yang dipisahkan oleh *Helmholtz double layer* secara alami. Reaksi kimia dalam lapisan ini memompa muatan listrik antara elektroda dan elektrolit, menghasilkan perbedaan potensial antara elektroda dan elektrolit.

Pengukuran perbedaan nilai *half-cell potential* ini menggunakan *rod electrode* Cu/CuSO₄ yang mana terdiri dari batang tembaga yang direndam dalam campuran tembaga sulfat jenuh yang menjadikannya memiliki nilai potensial diketahui yang konstan dan dihubungkan dengan

profometer untuk mendapatkan nilai *half-cell potential*.

Half-cell potential ini dapat atau tidak dapat dijadikan indikasi laju korosi, namun memiliki peran dalam mengetahui kandungan kimia dalam lingkungan elektroda yang ditinjau, seperti tingginya tingkat klorida dapat mereduksi konsentrasi ferrous ion pada anoda baja tulangan, sehingga menyebabkan nilai negatif potensial yang lebih banyak. Selain itu pengujian *half-cell potential* ini diusahakan untuk tidak digunakan dalam mengamati objek yang terendam dalam air karena hasil yang didapat akan lebih kompleks dan memerlukan bantuan ahli korosi dalam pengintrepetasian datanya.

Menurut RILEM TC 154-EMC nilai bacaan *half-cell potential* baja tulangan dalam beton yang diukur dengan Cu/CuSO₄ dapat dikorelasikan sebagai berikut,

- Beton terendam air tanpa O₂ (-1000 sampai -900 mV)
- Beton basah, terkontaminasi klorida (-600 sampai -400 mV)
- Beton basah, tidak terkontaminasi klorida (-200 sampai +100 mV)
- Beton basah, terkarbonasi (-400 sampai +100 mV)
- Beton kering, terkarbonasi (0 sampai +200 mV)
- Beton kering, tidak terkarbonasi (0 sampai +200 mV)

Sedangkan menurut *International Atomic Agency* nilai bacaan *half-cell potential* baja tulangan dalam beton yang diukur dengan Cu/CuSO₄ dapat dikorelasikan sebagai berikut,

Tabel 2. 2 Nilai Bacaan Half Cell Potential

<i>Potential difference levels (mV)</i>	Peluang tulanngan terjadi korosi
Lebih dari -200	10% (Resiko korosi rendah)
-200 sampai -350	50% (Resiko korosi sedang)
-350 sampai -500	>90% (Resiko korosi tinggi)
Kurang dari -500	Korosi parah

Pengukuran dengan metode *half-cell potential* ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Kelembaban: Kelembaban dapat menyebabkan pengukuran potensial memberikan lebih banyak nilai negatif.
2. Temperatur: Temperatur dapat mempengaruhi pengukuran jika suhu berada dibawah titik beku karena dapat menimbulkan pembacaan yang salah.
3. Tebal selimut beton: Tebal selimut beton dapat mempengaruhi bacaan karena jika semakin tebal *decking* beton dapat memberikan lebih banyak hasil positif begitu juga sebaliknya. Sehingga disarankan untuk mengukur tebal selimut beton terlebih dahulu sebelum melakukan uji *half-cell potential*
4. Kandungan oksigen dalam beton: Kandungan oksigen dalam beton ini memiliki pengaruh semakin berkurangnya oxygen dan meningkatnya nilai PH dapat mengasilkan lebih banyak nilai negatif dan sebaliknya.

Referensi yang digunakan dalam pengujian Half Cell Potential adalah sebagai berikut:

- **ASTM C876-91** (Cara uji untuk *Half-Cell Potentials* pada Baja Tulangan yang tidak *dicoating* dalam Beton).

2.3.4 *Rebar Detector/Bar Locator*

Pengujian *covermeter* atau *rebar detector/bar locator test* adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui tebal selimut beton, serta mengetahui letak tulangan yang terpasang pada elemen struktur yang ditinjau sehingga dapat diketahui sketsa penulangan serta jarak antar tulangan yang terpasang. Pengujian ini menggunakan alat Profometer 5 + *Rebar detector*.



Gambar 2. 4 Alat Profometer 5 + *Rebar Detector*

Referensi yang digunakan dalam pengujian *Rebar detector* adalah sebagai berikut:

- **BS 1181 – part 204** (*British Standard for testing concrete, recommendations for the use of electromagnetic covermeter*).

2.3.5 Uji Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah beban tekan maksimum yang dapat dipikul oleh beton per satuan

luas sampai beton itu hancur. Tes ini dilakukan untuk mengetahui mutu beton suatu struktur melalui sampel yang diambil pada bagian struktur tersebut.

Pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin tekan. Prinsip pengujian kuat tekan beton dengan mesin tekan adalah mengukur besarnya beban yang dapat dipikul oleh satu satuan luas beton (benda uji/sampel) sampai benda uji itu hancur atau rusak.



Gambar 2. 5 Mesin Uji Tekan

Referensi yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- **SNI 03-3403-1994**

2.3.6 Uji Kuat Tarik Baja

Kekuatan atau tegangan yang dapat dikerahkan oleh baja tergantung dari mutu baja, tegangan leleh dan tegangan dasar dari berbagai macam baja bangunan adalah sebagai berikut:

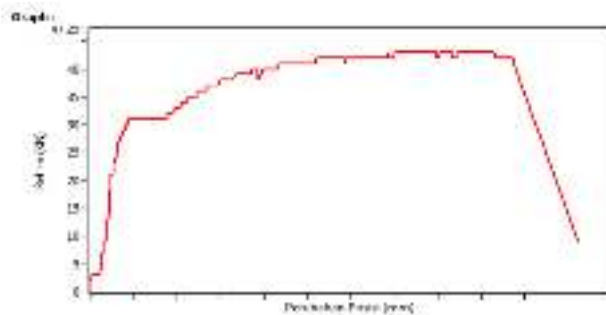
Tabel 2. 3 Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan Patah Minimum, f_u (MPa)	Tegangan Lelah Minimum, f_s (MPa)	Pengangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Referensi yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- ASTM E8/E8M

**Gambar 2. 6** Alat Uji Kuat Tarik Baja



Gambar 2. 7 Contoh grafik hasil uji kuat tarik baja

2.4 Kondisi Eksisting Struktur

Korosi merupakan proses alami yang terus berlangsung seiring waktu terutama didaerah pengaruh korosi tinggi (lingkungan agresif). Menurut Cantrell A., (2002), karbonat (O_2) dan ion klorida (Cl^-) turut mempengaruhi proses korosi (Gambar 1). Lalu, menurut Stewart M.G. dan Rosowsky D.V., (1998), proses korosi tulangan terdiri dari dua tahapan:

1. *Initiation* (inisiasi) yaitu masuknya ion klorida (Cl^-) kedalam beton hingga mencapai tulangan dan terakumulasi pada konsentrasi tertentu sampai terjadi korosi. Korosi inisiasi, tulangan masih tetap utuh dan kekuatan struktur stabil
2. *Propagation* (propagasi) yaitu korosi tulangan yang mengurangi luas tulangan (*metal loss*) sehingga terjadi penurunan kekuatan struktur. Proses korosi alami terjadi dalam jangka waktu cukup lama (> 5 tahun). Hasil penelitian Andrade C. dan Alonso C. (1994) serta Millard (1993) bahwa kecepatan korosi alami, i_{corr} dapat mencapai 100 mA/cm^2 atau $1,160 \text{ mm/year}$. Korosi propagasi dibagi dua model, yakni

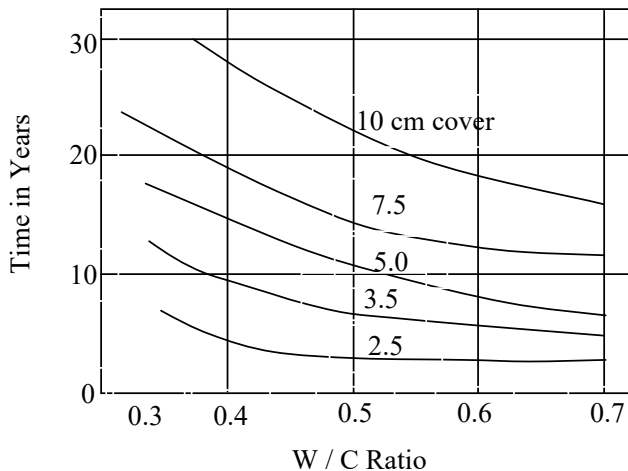
korosi setempat (*pitting corrosion*) dan korosi seragam (*uniform corrosion*).

Untuk menentukan sisa kekuatan struktur saat ini maupun untuk yang akan datang, perlu diketahui kondisi tulangan pada saat studi ini dilakukan. Hal ini terutama dengan mengetahui laju korosi pada beton bertulang yang akan meningkat secara cepat setelah tulangan mulai terkontaminasi senyawa Klorida. Adapun lama waktu Klorida mencapai tulangan tergantung dari ketebalan selimut beton (*beton decking*). Sehingga dapat dikatakan bahwa laju korosi yang diperhitungkan dalam penelitian ini adalah berdasarkan ketebalan selimut beton terpasang.

2.4.1 Waktu Layan Selimut Beton

Guna mengetahui laju korosi, pertama-tama perlu diperhitungkan perkiraan waktu layan selimut beton. Hal ini dapat menggunakan acuan penelitian durabilitas beton oleh Theodore. A. BURGE sebagai berikut :

- Mutu beton + 30 MPa.
- Faktor air semen bervariasi. Dalam penelitian ini, faktor air semen yang dipakai ialah 0,5; sesuai dengan dokumen desain awal.
- Tebal penutup beton bervariasi.
- Lingkungan adalah suatu larutan dengan konsentrasi Chlor -2% (20.000 mg/l).
- Hasil Studi : Ditampilkan berupa Gambar 2.8:



Gambar 2. 8 Grafik Waktu Layan untuk Bermacam-macam Nilai Selimut Beton dalam Kandungan Klorida Berkadar 2 %

Atau, kita dapat melakukan pendekatan perhitungan umur bangunan (n) mulai berkembangnya korosi pada tulangan:

$$\begin{array}{l} \text{Waktu yang} \\ \text{dipakai Chlor} \\ \text{mencapai} \\ \text{tulangan utama} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Waktu yang dipakai} \\ \text{untuk mencapai} \\ \text{konsentrasi Chlor} \\ \text{sebesar 0,025 \%} \end{array} = n$$

Setelah itu, dapat kita tentukan laju korosi tulangan berdasarkan tebal selimut masing-masing (mm/tahun), yakni tebal selimut beton minimum dan rata-rata.

2.4.2 Kecepatan Korosi

Selanjutnya, diperhitungkan kecepatan korosi propagasi yang terjadi:

$$i_{corr} = \frac{37,8 \left(1 - \frac{w}{c}\right)^{-1,64}}{p}$$

dimana,

I_{corr} : kecepatan korosi propagasi (mA/cm²)

w/c : faktor air semen

p : tebal selimut beton (mm)

2.4.3 Kedalaman Korosi

Lalu, kedalaman korosi propagasi yang terjadi sampai n tahun ialah:

$$\Delta_D(T)/2 = 0.0232 \cdot i_{corr} \cdot T$$

dimana,

$\Delta_D(T)/2$: kedalaman korosi propagasi seragam (mm/tahun)

I_{corr} : kecepatan korosi alami
(1 mA/cm² = 11,6 mm/tahun)

T : waktu mulai korosi propagasi (tahun)

2.4.4 Prakiraan Sisa Luas Penampang Tulangan dalam Waktu T

Maka, didapatkan diameter tulangan yang tersisa setelah mengalami korosi, dicari dengan rumus:

$$D_{sisa} = D_{awal} - (D_{awal} \times \text{laju korosi} \times T)$$

dimana,

D_{sisa} = Diameter tulangan tersisa setelah korosi (mm)

D_{awal} = Diameter tulangan desain (mm)

Laju Korosi = Kecepatan korosi mengikis tulangan (mm/tahun)

T = Lama waktu tulangan terendam (tahun)

Selanjutnya, diameter tulangan yang tersisa ini dihitung kapasitasnya, lalu dibandingkan dengan gaya dalam yang terjadi.

2.4.5 Kapasitas Struktur Eksisting

a. Pelat

Kapasitas pelat dihitung berdasarkan arah x dan arah y sesuai dengan tulangan yang terpasang. Momen kapasitas akan di bandingkan dengan momen yang terjadi.

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Dengan kondisi yang diharuskan :

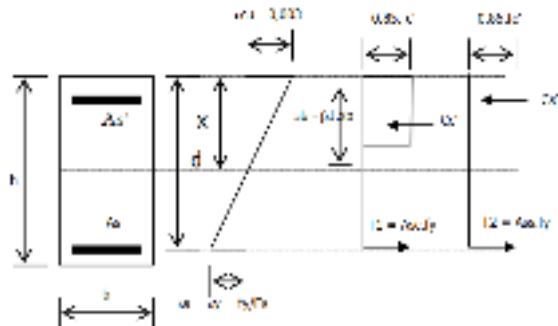
$$\phi Mn > Mu$$

Dimana :

Mn = Momen kapasitas
 fy' = Mutu tulangan
 a = tinggi stress balok
 As = Luas tulangan
 d = tinggi efektif
 Mu = Gaya dalam momen

b. Balok

Balok merupakan komponen struktur yang mengandalkan kapasitas momennya untuk memikul beban yang di tanggunginya. Perhitungan kapasitas momen didasarkan pada luasan tulangan yang digunakan



Gambar 2. 9 Diagram tegangan regangan balok
 $T = C_s + C_c$ (kondisi setimbang)

Keseimbangan gaya :

$$C = T$$

$$C = C_c' + C_s'$$

$$T = T_1 + T_2$$

maka :

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a + A_s' f_s' = A_s f_y$$

Sehingga diperoleh blok tertekan :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' f_s'}{0,85 \times f_c' \times b}$$

Kemampuan penampang beton bisa dihitung berdasarkan :

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot a b \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (d - d')$$

Sebagai kontrol :

$$\phi.Mn > Mu$$

(Mu diperoleh dari evaluasi gaya dalam SAP 2000).

Dalam *assessment* struktur Dermaga Domestik ini terdapat beberapa elemen struktur yang perlu diperiksa kekuatannya, antara lain balok crane dan balok melintang. Perhitungan akan dilakukan dengan membandingkan momen kapasitas dari elemen struktur tersebut dengan gaya dalam yang dihasilkan dari evaluasi struktur.

2.5 Pembebanan Dermaga

2.5.1 Beban Vertikal Merata

- Akibat Beban Mati (qDL)

Beban mati terdiri dari beban akibat berat sendiri struktur tersle dimana nantinya pada permodelan akan secara otomatis diperhitungkan oleh program bantu SAP2000v.14, termasuk juga elemen struktur balok, pelat dan tiang pancang. Selain itu terdapat beban mati tambahan akibat berat finishing pelat lantai dermaga dan lain sebagainya.

2.5.2 Beban Vertikal Terpusat dan Bergerak

- Truk Petikemas

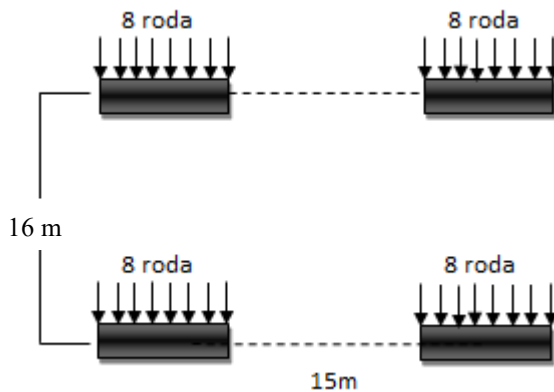
Truk petikemas (berat total maks 42 ton) dengan konfigurasi beban :



Gambar 2. 10 Ilustrasi Truk

- *Container Crane (CC)*

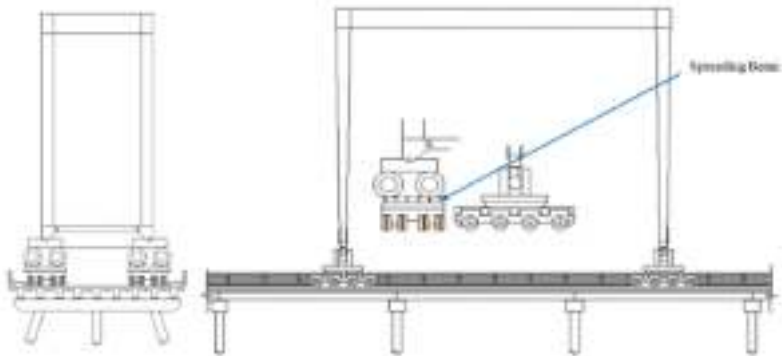
Rail Span = 16 meter
 Beban = 34 ton/roda x 32
 = 1088 t/cc
 Jarak terdekat antar CC = 3 m
 Dengan konfigurasi sebagai berikut :



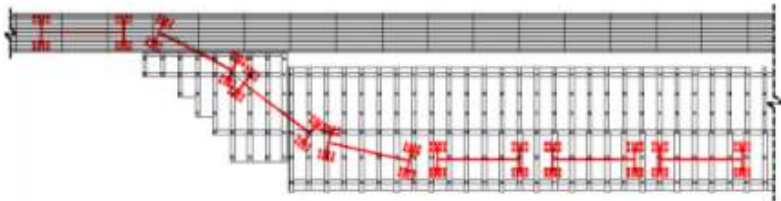
Gambar 2. 11 Ilustrasi Beban Pada Container Crane

- RTG Crane (CC) pada HDM (*Heavy-Duty Module*)

RTG Crane ditempatkan di atas HDM menumpu spreading beam dengan tujuan agar penyebaran beban dapat terdistribusi secara merata.



Gambar 2. 12 Penempatan RTG Crane pada *Multi-axle Vehicle* HDM



Gambar 2. 13 Pola manuver perpindahan *Multi-axle Vehicle* HDM

2.5.3 Beban Horizontal

Pada saat kapal sedang dalam proses merapat ke dermaga, akan terjadi pembebanan berupa gaya tekan terhadap struktur dermaga akibat tumbukan kapal terhadap dermaga TPS Domestik. Pada saat sandar, arus dan angin yang arahnya menjauhi sisi depan

dermaga akan memberikan gaya tarik melalui tali (*rope*) kapal yang menegang dan disalurkan ke *boulder* yang ada pada dermaga, dimana gaya horisontal ini disebut juga gaya *Boulder*.

- Data Kapal

Data – data kapal untuk pembebanan horizontal adalah sebagai berikut :

- *Deat Weight Tonnage* = 10.000 DWT
- *Loaded Displacement Tonnage* = 13.333 T
- LOA = 220 m
- *Draft* (tinggi lunas) = 8,5 m
- *Design Kedalaman* = 10,5 m
- *Berthing velocity* = 0,15 m/dt

- Gaya Tekan Kapal

Pada saat kapal menabrak konstruksi dermaga, ada energi kinetik tumbukan yang harus diserap dan ditransfer menjadi gaya horisontal, dan harus mampu ditahan oleh struktur dermaga. Besar gaya tekan kapal tergantung pada kapasitas kapal dan jenis fender yang digunakan. Fender yang digunakan harus dapat menampung kapasitas Energi Berthing, dengan rumus yang digunakan adalah :

$$E = \frac{(W_1 + W_2) \times V^2}{2 \times g} \times K$$

dimana :

E = *Effective berthing energy* (ton-m)

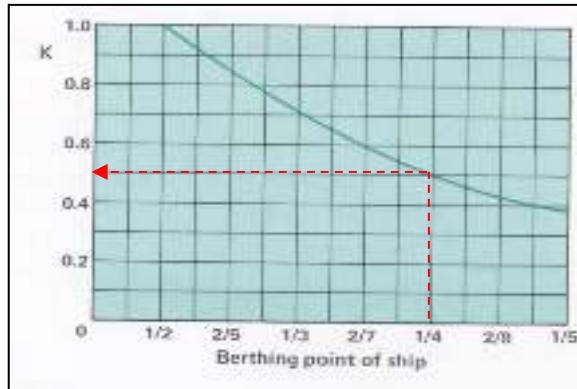
W1 = *Displacement tonnage* (ton)

W2 = *Additional weight* (ton)

V = *Berthing speed* (0,15 m/sec)

G = Acceleration of gravity ($9,8 \text{ m/sec}^2$)

K = Eccentricity factor = 0,5
(untuk kapal meyentuh dermaga pada $\frac{1}{4}L$)



(Sumber : Design manual Bridgestone marine fender)

Gambar 2. 14 Diagram *Eccentricity factor*

- Gaya Tarik Kapal (Gaya *Bollard*)

Mengacu pada “*Technical Standarts For Port and Harbour Facilities in Japan 1991*”, Tabel 2.2 , halaman 15, seperti yang ada pada di bawah, maka *bollard* yang harus disediakan agar mampu melayani kapal dengan bobot mati 10.000 DWT adalah 70 ton.

Tabel 2. 4 Gaya Tarik pada *Bollard* (TSPHF Japan '91)

Gross Tonnage	Gaya Tarik pada Bollard (Ton)
100 – 500	15
501 – 1000	25
1001 – 3000	35
3001 – 5000	50

5001 – 10000	70
10001 – 20000	100
20001 – 50000	150

- Beban gempa

Perhitungan beban gempa berdasarkan SNI 03-1726-2019. Perhitungan dilakukan dengan metode statik ekuivalen menggunakan program bantu SAP2000.

2.5.4 Kombinasi Pembebanan untuk Dermaga

Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah kombinasi pembebanan yang akan terjadi bersamaan. Utamanya, pembebanan pada dermaga menggunakan kombinasi:

$$1,3 \text{ DL} + 1,8 \text{ BL atau FL} + 1,8 \text{ LL}$$

Dimana :

DL = Beban Mati

BL = Beban Tarik Bolder

FL = Beban Tekan Fender

LL = Beban Hidup Dermaga

Live Load (LL) yang diterapkan disini tidak hanya beban pekerja/manusia, namun juga beban peralatan yang bergerak, atau *Moving Load*. *Moving Load* dalam perhitungan evaluasi ini, terdiri dari:

- Beban *Container Crane* (CC)
- Beban Truk Petikemas (TP)
- Beban RTG *Crane* yang ditumpangkan pada *Heavy-Duty Module* (HDM)

Kombinasi yang dimodelkan dalam SAP ada 2, dengan kombinasi pertama disimulasikan saat kapal akan bersandar, yakni:

$$1,3 \text{ DL} + 1,8 \text{ FL} + 1,8 \text{ CC}$$

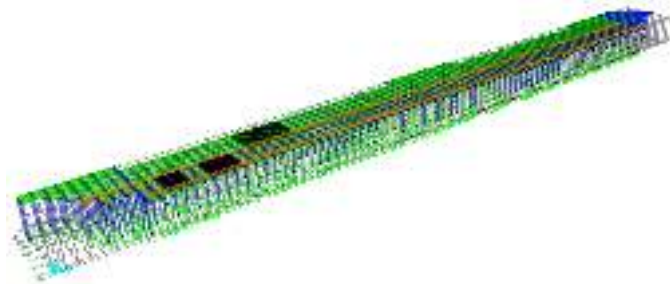
Sedangkan kombinasi kedua disimulasikan saat kapal telah bersandar, bersamaan dengan truk petikemas dan hdm mengangkut barang, yakni:

$$1,3 \text{ DL} + 1,8 \text{ BL} + 1,8 \text{ CC} + 1,8 \text{ TP} + 1,8 \text{ HDM}$$

2.6 Evaluasi Struktur

Evaluasi struktur dermaga ini dievaluasi menggunakan program bantu SAP2000 dengan pemodelan open frame 3 dimensi. Adapun struktur direncanakan dengan metode ultimate yang mempertimbangkan kondisi saat beroperasi (*operational condition*). Kondisi saat operasi yang dimaksudkan disini adalah kondisi dimana struktur dermaga dinalisa pada kondisi pembebanan kombinasi akibat Beban Mati + Beban Hidup, serta kondisi akibat tumbukan dan tarikan kapal yang bersandar di dermaga.

Adapun contoh pemodelan struktur Dermaga sebagaimana tergambar pada gambar berikut:



Gambar 2.15 Pemodelan Struktur Dermaga

Setelah pemodelan struktur Dermaga Domestik TPS dibuat dan dibebani sesuai dengan kondisi yang sebenarnya, kemudian dilakukan evaluasi struktur. Adapun tahapan evaluasi struktur yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data mutu beton dan baja, serta luas tulangan awal maupun sisa.
2. Melakukan perhitungan kekuatan nominal struktur berdasarkan mutu beton dan tulangan terpasang sesudah terjadi pengurangan diameter tulangan yang diakibatkan oleh korosi.
3. Memproses perhitungan model struktur termasuk pembebanannya dengan menggunakan program bantu SAP 2000 untuk memperoleh gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur baik aksial, momen, geser dan torsi.
4. Selanjutnya dari tahapan analisis struktur diatas, diperoleh gaya-gaya dalam akibat beban yang terjadi.

2.7 Safety Factor

Dalam analisis struktur yang dilakukan seperti yang dijelaskan dalam bagian sebelumnya, maka akan didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

1. Gaya dalam momen elemen – elemen struktur dari evaluasi Struktur = M_A
2. Momen Nominal elemen – elemen struktur sesuai As-built drawing = M_N
3. Momen Nominal elemen – elemen struktur kondisi tahun 2020 = M_S

Apabila gaya dalam momen dari elemen – elemen struktur digunakan sebagai tolok ukur, maka akan didapatkan Angka Keamanan Awal, dan Angka Keamanan 2021 dengan perhitungan sebagai berikut :

1. Angka Keamanan Awal (SF_N)

$$= \frac{M_N}{M_A}$$
2. Angka Keamanan tahun 2021 (SF_S)

$$= \frac{M_S}{M_A}$$

Hasil perhitungan *safety factor* diatas selanjutnya akan diperiksa apakah mendekati batas aman atau tidak.

2.8 Rekomendasi Tindakan

Metode perbaikan kerusakan beton diutamakan untuk mengembalikan durabilitas elemen struktur. Sehingga perbaikan disarankan berdasarkan jenis dan bentuk kerusakan yang terjadi. Beberapa metode perbaikan yang bisa direkomendasikan antara lain:

- a. Perkuatan menggunakan CFRP
- b. Perbaikan retak kecil
- c. Perbaikan retak berat dan *spalling*.
- d. Perbaikan pencegahan korosi lanjutan pada baja tulangan.

2.8.1 Perkuatan menggunakan CFRP

Prosedur pelaksanaan perkuatan dengan serat karbon CFRP Tipe Sika CarboDur Laminates antara lain:

1. Melakukan *chipping* pada bagian yang rusak. Apabila bagian yang rusak adalah bagian beton, maka *chipping* dilakukan hingga bagian beton padat terlihat. Apabila *Chipping* dilakukan pada bagian *spalling*, maka *chipping* dilakukan hingga tulangan dan 12 mm di belakang tulangan terlihat. *Chipping* dapat menggunakan alat manual atau mekanis, antara lain pahat beton dan jack hammer kecil.
2. Bersihkan bagian yang telah di *chipping* dengan kompresor udara atau *vacuum cleaner*.

3. Pemasangan bekisting disertai dengan mengoleskan *release agent* untuk mempermudah pelepasan bekisting. Bekisting tidak boleh renggang untuk menghindari terjadinya kebocoran.
4. Pada saat *grouting*, daerah perbaikan harus dibasahi hingga jenuh air, tetapi bebas dari air yang menggenang. *Grouting* ini berfungsi untuk membuat permukaan rata sebelum pemasangan CFRP.
5. Setelah *grouting* kering, aplikasikan campuran bahan perekat Sikadur 30 pada permukaan yang telah dipersiapkan dengan menggunakan spatula untuk membentuk lapisan setebal ± 2 mm.
6. Bersihkan Sika CarboDur *Laminates* terlebih dahulu dengan *colma cleaner*.
7. Aplikasikan bahan perekat Sikadur 30 dengan “*Roof shaped spatula*” pada permukaan Sika CarboDur *Laminates* sehingga membentuk permukaan cembung dengan tebal $\pm 1,5$ mm pada bagian tepi dan $\pm 2,5$ mm pada bagian tengah dari arah lebar.
8. Lekatkan Sika CarboDur *Laminates* ke permukaan beton.
9. Tekan Sika CarboDur *Laminates* terhadap bahan perekat epoxy dengan menggunakan *roller* sehingga bahan perekat terdorong keluar dari kedua sisi samping Sika CarboDur *Laminates*.
10. Bersihkan kelebihan bahan perekat epoxy dan bahan perekat epoxy yang melekat pada Sika CarboDur *Laminates*.

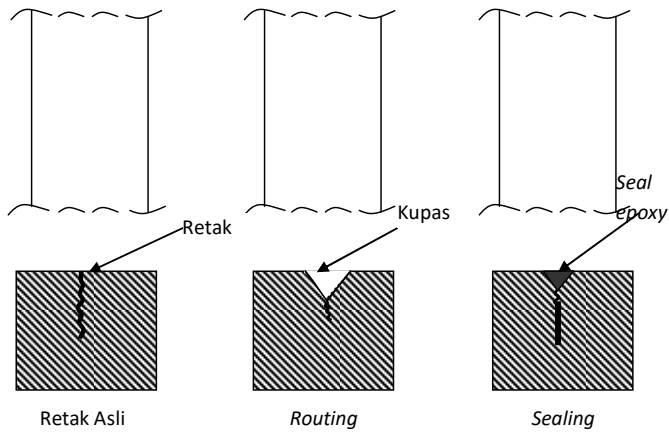


Gambar 2. 16 Pemasangan CFRP

2.8.2 Perbaikan Retak Kecil pada Pelat dan Elemen Balok Lain

Untuk kerusakan pada permukaan beton bertulang yang berupa retak-retak kecil, maka perbaikan yang perlu dilakukan hanyalah injeksi dengan *epoxy*. Adapun urutan pelaksanaan perbaikan retak kecil dengan injeksi adalah sebagai berikut:

1. Pembersihan permukaan retak dan perlebar secukupnya agar terlihat alur retaknya.
2. Penutupan permukaan retak dengan plamir.
3. Pemasangan *nipple* atau pipa tempat penginjeksian dengan jarak tiap ± 30 centimeter.
4. *Epoxy Injection* dilaksanakan pada tiap *nipple* secara bertahap dengan tekanan 60 bar. *Grouting* pada satu titik *nipple* berhenti bila dari *nipple* lainnya telah keluar cairan *epoxy* yang diinjeksikan.
5. Dilakukan seterusnya sampai semua retak telah dipenuhi cairan *epoxy grout*.



Gambar 2.17 Urutan Perbaikan Retak

2.8.3 Perbaikan Retak Berat dan Spalling

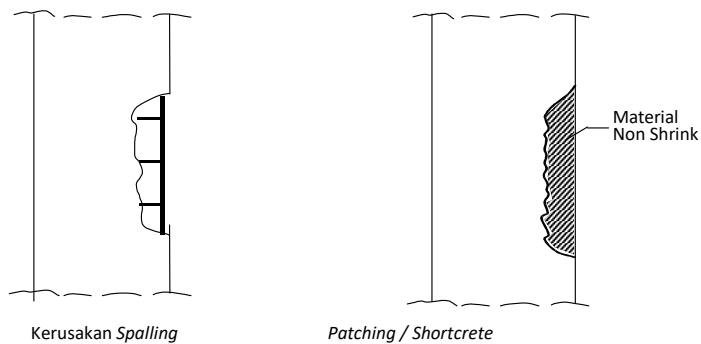
Keretakan beton yang cukup lebar merupakan salah satu gejala akan terjadinya pengelupasan beton (*spalling*). Perbaikan harus melakukan pengupasan (*chipping*) permukaan beton hingga permukaan beton yang keras/kuat. Dan apabila terlihat tulangnya terkorosi, maka pengupasan harus dilanjutkan hingga tulangan yang terkorosi tersebut terlihat seluruh keliling permukaannya, agar permukaan tulangan yang terkorosi tersebut dapat dibersihkan. Tahap selanjutnya yakni dilakukan pembersihan kotoran debu, minyak/lemak hingga kering terhadap permukaan yang telah di kupas

Penutupan pada lokasi yang telah dikupas selanjutnya ditutup dengan material *non-shrink* yang mempunyai kekuatan lebih dari kekuatan beton yang asli. Metode penutupan pada lokasi tersebut dapat dilakukan dengan cara *patching*, *grouting* atau dengan cara *shotcrete*. Cara *patching* dilakukan dengan melakukan penambalan secara manual biasa, yakni dengan menempelkan material *non-shrink* ke permukaan beton yang telah dikupas. Cara

grouting adalah menuangkan material *mortal grout* dengan atau tanpa tekanan. Bila tanpa tekanan, digunakan material yang memiliki karakteristik mudah mengalir, dan pemadatannya dilakukan dengan cara memukul menggunakan palu karet. Sedangkan cara *shotcrete* adalah cara penempelan material *non-shrink* dengan penyemprotan.

Mengingat kondisi lingkungan pada dermaga umumnya cukup agresif dan lembab, maka beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan perbaikan *patching* adalah sebagai berikut :

- Material *non-shrink* diusahakan mempunyai berat jenis ringan dan waktu *setting* cepat.
- Dalam melakukan pencampuran dengan air, harus diperhatikan jumlah air yang digunakan agar tidak terlalu banyak atau sesuai spesifikasi penggunaan material untuk menghindari susut beton yang terlalu tinggi.
- Penempelan material *non-shrink* harus dijaga ketebalan tempelan atau selimut betonnya, yakni minimal 75 mm untuk lokasi kontak dengan air laut.
- Dalam melakukan penempelan material *non-shrink* harus dilakukan dengan hati-hati dan tepat, agar dapat terjamin kepadatan yang cukup, sehingga nilai permeabilitasnya rendah.



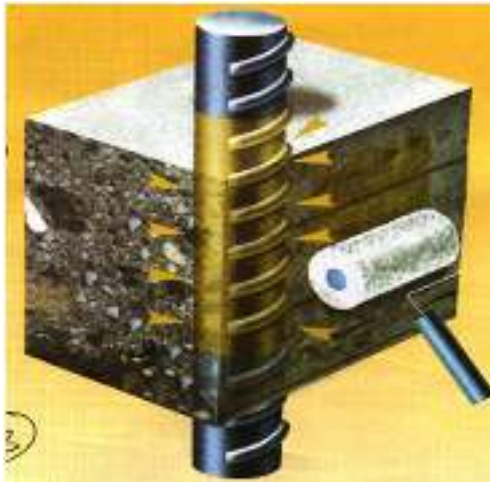
Gambar 2. 18 Perbaikan untuk Retak Berat dan Spalling

2.8.4 Perbaikan Pencegahan Korosi Lanjutan pada Baja Tulangan

Spalling umumnya terjadi akibat korosi pada tulangan yang dibiarkan. Korosi ini akan terus mengembang dan mendesak penutup beton hingga mengalami *spalling*. Oleh karena itu tulangan yang sudah terlihat terkorosi harus segera diperbaiki. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penanganan tulangan yang terkorosi adalah sebagai berikut ini :

- Pembersihan tulangan yang terkorosi harus benar-benar bersih dari kotoran-kotoran karat.
- Apabila setelah dibersihkan terjadi pengurangan diameter tulangan, maka tulangan tersebut harus diganti dengan memberi tambahan tulangan dengan luasan yang sama, atau dipotong dan diganti dengan yang baru (luasan dan mutu yang sama).
- Dalam pemasangan tulangan baru, harus memperhatikan panjang penyaluran yang disyaratkan, atau bila tidak memungkinkan, maka dapat disambung dengan las.
- Sebelum tulangan ditutup, sebaiknya dilapisi dahulu dengan lapisan anti korosi atau material *inhibitor*. Pelapisan dengan *corrosion inhibitor* dapat

dilakukan dengan menggunakan kuas, rol atau semprot (*spray*). *Corrosion inhibitor* yang diberikan tersebut diharapkan dapat meresap masuk ke dalam beton dan sampai ke tulangan. Kemudian cairan *inhibitor* tersebut akan membentuk lapisan pelindung pada permukaan baja tulangan, sehingga dapat mencegah masuknya udara dan *chlor* ke baja tulangan.



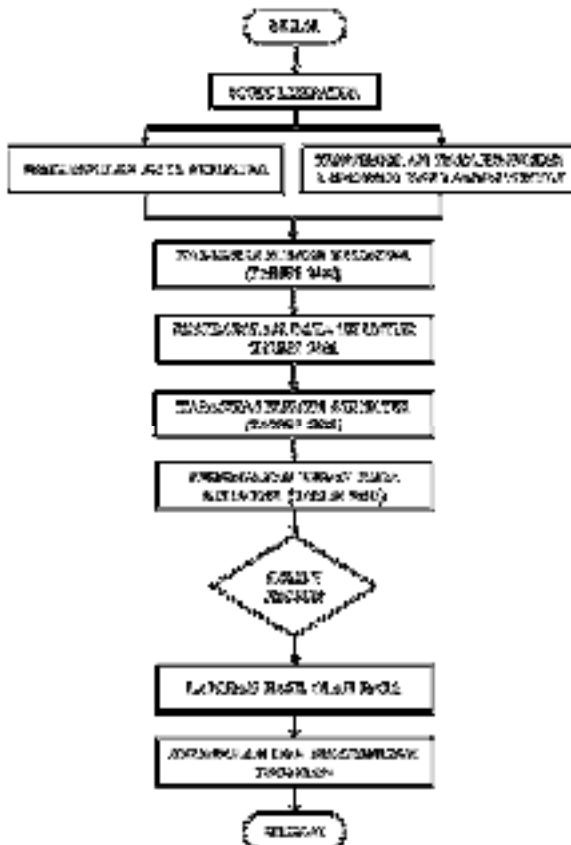
Gambar 2. 19 Sistem pelapisan dengan *corrosion inhibitor*

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penulisan

Berikut adalah diagram alir metodologi Evaluasi Struktur Dermaga Domestik PT. Terminal Petikemas Surabaya (TPS) Tahun 2021:



3.2 Penjelasan Diagram Alir Penulisan

Diagram alir di atas merupakan tahapan Evaluasi Struktur dalam proyek akhir ini, dengan penjelasannya antara lain:

1. Studi Literatur
Penulis melakukan evaluasi struktur berpedoman pada literatur yang telah disebutkan pada Bab 2.2.
2. Pengumpulan Data (Struktur serta Uji Lapangan dan Laboratorium)
Data untuk evaluasi struktur Dermaga Domestik TPS ini sendiri diperoleh dari PT. ITS Kemitraan, Surabaya. Adapun data-data yang diperoleh ialah data-data yang tercantum pada laporan ini. (Bab 1.6.1)
3. Kapasitas Elemen Struktur Awal (Tahun 1996)
Data awal elemen struktur PT TPS, dihitung kapasitas nominalnya, untuk perbandingan seberapa besar penurunan mutu yang terjadi.
4. Ekstrapolasi Data
Data Uji Lapangan dan Laboratorium yang dilaksanakan pada tahun 2004 dan 2011, tidak mewakili kondisi eksisting struktur pada tahun 2021. Namun, data tersebut dapat di ekstrapolasi, sehingga kondisi struktur tahun 2021 dapat diperkirakan. Namun, ada beberapa data yang kurang, sehingga tidak dapat dilakukan ekstrapolasi. Untuk data tersebut, digantikan dengan standart yang mengacu pada literatur-literatur yang berlaku.
5. Kapasitas Elemen Struktur (Tahun 2021)
Data yang telah diekstrapolasi digunakan untuk memperkirakan kondisi eksisting elemen struktur tahun 2021.

6. Pembebanan Struktur (Tahun 2021)

Pembebanan struktur dilakukan dengan program bantu SAP2000, hasil output yang diharapkan ialah gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur

7. *Safety Factor* Elemen Struktur

Safety Factor (angka keamanan) elemen struktur diperoleh dari evaluasi struktur pada beban momen maupun geser. Berikutnya, akan dibandingkan angka keamanan tahun 1996 dan 2021. Angka keamanan elemen struktur ini juga akan dicek apakah mendekati batas amannya (syarat $SF > 1$).

8. Laporan Hasil Olah Data

Ialah laporan yang memaparkan urutan perhitungan yang dilakukan

9. Kesimpulan dan Rekomendasi Tindakan

Ialah kesimpulan dari olah data yang telah dilaksanakan. Kesimpulan ini nantinya menyatakan bagaimana kondisi struktur pada tahun 2021 apabila mendapatkan penambahan beban. Lalu, rekomendasi tindakan apa saja yang dianjurkan.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Elemen Struktur Eksisting

3.1.1 Ekstrapolasi Data

Dari data sekunder yang diperoleh, diketahui bahwa terjadi beberapa penurunan mutu pada elemen struktur TPS Surabaya. Penurunan mutu ini akan tetap terus terjadi karena faktor lingkungan dan kurangnya perawatan struktur. Ekstrapolasi data berikut diharapkan mampu memperkirakan kapasitas struktur eksisting, yakni tahun 2021. Berikut hasil ekstrapolasi data sekunder yang diperoleh:

1. F_c' = 289,33 kg/cm² = 28,37 Mpa
2. F_y = 458,59 MPa (digunakan standart mutu tulangan, dikarenakan hasil ekstrapolasi melebihi standart mutu yakni sebesar 400 MPa)
3. Tebal decking tidak bisa diekstrapolasi, dikarenakan tidak ada data tebal decking tahun 2004, oleh sebab itu digunakan standart tebal decking, sebesar 75 mm
4. Laju korosi juga tidak dapat diekstrapolasi, karena tidak ada data laju korosi pada tahun 2004, oleh sebab itu digunakan standart laju korosi, yakni sebesar 0,3 mm/tahun

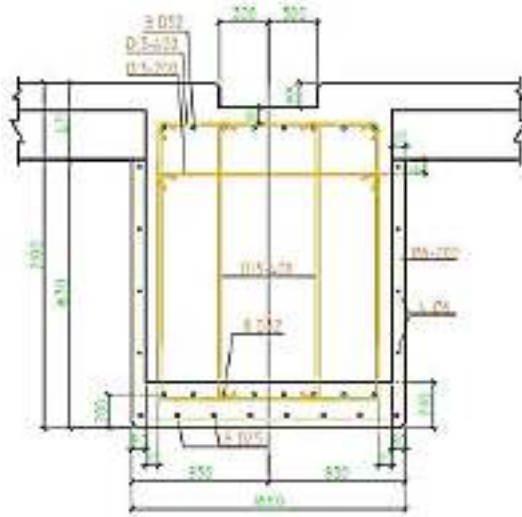
3.1.2 Kondisi Eksisting Elemen Struktur

Untuk menentukan sisa kekuatan struktur saat ini maupun untuk yang akan datang, perlu diketahui kondisi tulangan pada saat studi ini dilakukan. Hal ini terutama dengan mengetahui laju korosi pada beton bertulang yang akan meningkat secara cepat setelah tulangan mulai terkontaminasi senyawa Klorida. Adapun lama waktu Klorida mencapai tulangan tergantung dari ketebalan selimut beton (beton decking). Sehingga dapat dikatakan bahwa laju korosi

yang diperhitungkan dalam penelitian ini berdasarkan tebal selimut beton terpasang.

Tabel 4. 1 Perkiraan Waktu Korosi pada Tulangan Terjadi (Tahap Pertama)

No	Uraian	Tebal Selimut Beton Minimum	Tebal Selimut Beton Rata-Rata	Keterangan
1	Tebal selimut beton	0.7 cm	5.1 cm	
2	Diameter tulangan utama (cm)	2.5 cm	2.5 cm	Asumsi tulangan sengkang pada U-Shell habis
3	Waktu yang dipakai Chlor mencapai tulangan utama $\left(\frac{no.1}{0.2}\right)$ tahun	4	26	* 0.2 cm / tahun = kecepatan penetrasi chlor eksisting
4	Waktu yang dipakai untuk mencapai konsentrasi Chlor $\left(\frac{0.025}{0.0124}\right)$ tahun	2.02	2.02	* 0.025 % syarat SNI-03-2847-2002 *0.0124 % kecepatan penambahan konsentrasi Chlor per tahun
5	Korosi pada tulangan mulai berkembang setelah umur bangunan (no 3 + no 4) (tahun)	5.52	27.52	



Gambar 4. 1 U-Shell pada Potongan Balok

Assessment pertama direncanakan tahun 2011 dengan lama waktu berlalu tanpa perawatan, yakni 15 tahun (1996 saat selesai dibangun sampai dengan tahun 2011 saat *assesment* pertama). Namun, korosi pada tulangan mulai berkembang setelah umur bangunan 5,52 tahun (Tabel 4.1 nomor 5) untuk tebal selimut beton yang minimum, dan 27,52 tahun untuk tebal selimut beton rata-rata. Dari data uji laju korosi pada tahun 2011, diketahui laju korosi maksimum yang terjadi ialah sebesar 1 mm/tahun, sedangkan laju korosi rata-rata ialah sebesar 0,06 mm/tahun.

Sedangkan, *assessment* kedua direncanakan untuk tahun 2021 dengan lama waktu berlalu tanpa perawatan, yakni 10 tahun (2011 saat *assesment* pertama sampai dengan 2021 saat *assesment* kedua). Korosi yang terjadi diasumsikan tetap berjalan, sehingga pengurangan diameter tulangan tetap berlangsung.

Namun, data laju korosi yang dimiliki hanyalah pada tahun 2011, sehingga data laju korosi untuk tahun 2021 tidak diperoleh dari ekstrapolasi data, melainkan diperoleh dari standart laju korosi (NACE) yang berlaku. Laju korosi yang digunakan sebesar 0,3 mm/tahun. Setelah 10 tahun, pengurangan diameter didapat sebesar (0,3 mm/tahun x 10 tahun = 3 mm). Sehingga didapatkan data berikut:

Tabel 4. 2 Diameter Tulangan Sebelum dan Sesudah Terkorosi

No.	Diameter Tulangan Sebelum Terkorosi	Diameter Tulangan Sesudah Terkorosi
1	D13	D10
2	D16	D13
3	D25	D22
4	D32	D29

3.1.3 Kapasitas Elemen Struktur Tahun 1996

Kapasitas awal (tahun 1996) PT TPS yakni:

a. Cek Kapasitas Pelat

- Data Eksisting Pelat Lantai (P1)

Material Struktur

Mutu beton f_c' = 30 Mpa

Mutu tulangan lentur, f_y = 400 MPa

Mutu tulangan geser, f_y = 240 MPa

Dimensi Pelat

Lebar pelat, b = 1000 mm

Tebal pelat, t_f = 450 mm

Tebal decking, t_s = 50 mm

Tebal efektif, d' = 387,5 mm

Tulangan Terpasang

Melintang = Ø 25 - 250

Memanjang = Ø 16 - 200

- Kapasitas Tulangan Melintang

Tulangan terpasang = Ø 25 – 250

Luas tulangan pasang/m'

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times \frac{b}{s} \\ &= 1964.29 \text{ mm}^2/\text{m}' \end{aligned}$$

tinggi balok persegi ekuivalen,

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b_e} \\ &= 30.81 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kapasitas lentur pelat,

$$\begin{aligned} \text{Mntx} &= As \cdot f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\ &= 292359443.8 \text{ Nmm} \\ &= 292.36 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \text{Mntx} &= 0.8 \times \text{Mntx} \\ &= 233.89 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Kapasitas Tulangan Memanjang
 Tulangan terpasang = Ø 16 – 200
 Luas tulangan pasang/m'

$$As \text{ pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times \frac{b}{s}$$

$$= 1005.71 \text{ mm}^2/\text{m}'$$
 tinggi balok persegi ekuivalen,

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot fc' \cdot b_e}$$

$$= 15.78\text{mm}$$
 Kapasitas lentur pelat,

$$Mntx = As \cdot fy \left(dx - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 152712502.6 \text{ Nmm}$$

$$= 152.71 \text{ kNm}$$

$$\phi Mntx = 0.8 \times Mntx$$

$$= 122.17 \text{ kNm}$$

Tabel 4. 3 Rekap Kapasitas Pelat

Elemen Struktur	Kapasitas	
	Momen	
	Melintang	Memanjang
Pelat	233.89 kNm	122.17 kNm

b. Cek Kapasitas Balok

Balok struktur yang digunakan TPS Surabaya ada 5, masing-masing berbeda dimensi dan penulangannya. Terdiri dari 2 balok memanjang dan 3 balok melintang Penamaan balok pada perhitungan ini disesuaikan dengan gambar AutoCAD yang diterima penulis, yakni Balok Memanjang Oranye, Balok Memanjang Hijau, Balok Melintang Ungu, Balok Melintang Biru, dan Balok Melintang Hijau.

- Data Eksisting Balok Memanjang Oranye

Material Struktur

Mutu beton, f_c' = 30 MPa

Mutu tulangan lentur, f_y = 400 MPa

Mutu tulangan geser, f_{ys} = 240 Mpa

Dimensi Balok

Lebar balok, b_w = 1660 mm

Tinggi balok, h = 2100 mm

Tebal decking, t_s = 50 mm

d' = 59 mm

d' efektif = 2041 mm

Tulangan Terpasang

Tulangan longitudinal

Tumpuan = 8 D32

As terpasang = 6437 mm²

Lapangan = 16 D32

As terpasang = 12873 mm²

Tulangan Transversal

Tumpuan = D13 – 400

As terpasang = 132,79 mm²/tulangan

Lapangan = D13 – 400

As terpasang = 132,79mm²/tulangan

Tulangan torsi = 8 D16

As terpasang = 1609 mm²

- Momen Positif

$$a \text{ tulangan bawah} = \frac{As \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} = 121.646 \text{ mm}$$

$$C = 0,85 \times f_c' \times b \times a = 5149257.143 \text{ N}$$

$$M_n = As \cdot f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) = 10196441658 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0.8 \times M_{ntx}$$

$$= 8157153327 \text{ Nmm}$$

$$= 8157.15 \text{ kNm}$$

- Momen Negatif

a tulangan bawah

$$= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e}$$

$$= 60.823 \text{ mm}$$

C

$$= 0,85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 2574628.571 \text{ N}$$

Mn

$$= A_s \cdot f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 5176518872 \text{ Nmm}$$

ϕM_n

$$= 0.8 \times M_{ntx}$$

$$= 4141215097 \text{ Nmm}$$

$$= 4141.22 \text{ kNm}$$

- Kapasitas Geser Tumpuan

$$\phi V_c = \phi \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 2165003.04 \text{ N}$$

$$= 2165.00 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = \phi \times A_s \times f_y \times d / s$$

$$= 113826.57 \text{ N}$$

$$= 113.83 \text{ kN}$$

ϕV_n

$$= V_c + V_s$$

$$= 2278.83 \text{ kN}$$

- Kapasitas Geser Lappangan

$$\phi V_c = \phi \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 2165003.04 \text{ N}$$

$$= 2165.00 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = \phi \times A_s \times f_y \times d / s$$

$$= 113826.57 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 113.83 \text{ kN} \\
 &= V_c + V_s \\
 &= 2278.83 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas Torsi

Tulangan torsi: D13 – 400 mm

$$\begin{aligned}
 A_t &= 0,25 \pi d^2 \\
 &= 132.79 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan Longitudinal torsi: 8 D16

$$\begin{aligned}
 A_l &= n \cdot 0,25 \pi d^2 \\
 &= 1609 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling garis tengah terluar sengkang tertutup:

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b \cdot h \\
 &= 3486000.00 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_o &= b_w - 2t_s - D_s \\
 &= 1547.00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_o &= b_w - 2t_s - D_s \\
 &= 1987.00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= x_o \cdot y_o \\
 &= 3073889.00 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\
 &= 2612805.65 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 (x_o + y_o) \\
 &= 7068.00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai reduksi, $\phi = 0,75$ (SNI 2847–2019, PS.9.3.2.3)

$\theta = 45$ untuk komponen struktur non-prategang

Nilai torsi,

$$\begin{aligned}
 T_{n1} &= \frac{2 A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \\
 &= 416331917.4 \text{ Nmm} \\
 &= 416.33 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{n2} &= \frac{2 A_o A_l f_{yt}}{P_h} \cot \theta \\
 &= 475877481.5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$= 475.88 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 22.7.6, Untuk komponen struktur prategang dan non-prategang, nilai kapasitas nominal torsi (T_n) diambil dari nilai terkecil antara 2 rumus T_n di atas, sehingga

$$T_{npakai} = 416.33 \text{ kNm}$$

$$\phi T_{npakai} = 312.25 \text{ kNm}$$

Untuk kapasitas balok lainnya, direkap dalam tabel berikut:

Tabel 4. 4 Rekap Kapasitas Balok

Nama Balok	Kapasitas				
	Momen		Geser		Torsi
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
Balok Memanjang Oranye	8157.15 kNm	4141.22 kNm	2278.83 kN	2278.83 kN	312.25 kNm
Balok Memanjang Hijau	1912.01 kNm	1289.57 kNm	988.89 kN	988.89 kN	108.88 kNm
Balok Melintang Ungu	3536.51 kNm	5361.59 kNm	1469.72 kN	1469.72 kN	321.57 kNm
Balok Melintang Biru	3140.59 kNm	3213.03 kNm	1228.09 kN	1228.09 kN	120.59 kNm
Balok Melintang Hijau	4270.82 kNm	4270.82 kNm	1905.59 kN	1905.59 kN	236.50 kNm

3.1.4 Kapasitas Elemen Struktur Tahun 2021

Kapasitas eksisting (tahun 2021) PT TPS yakni:

a. Cek Kapasitas Pelat

- Data Eksisting Pelat Lantai (P1)

Material Struktur

Mutu beton, f_c' = 28,37 Mpa
(hasil ekstrapolasi data uji)

Mutu tulangan lentur, f_y = 400 MPa

Mutu tulangan geser, f_{ys} = 240 Mpa
(mutu tulangan menggunakan standart, karena mutu tulangan ekstrapolasi di atas standart)

Dimensi Pelat

Lebar pelat, b	= 1000 mm
Tebal pelat, t_f	= 450 mm
Tebal decking, t_s	= 75 mm
	(tebal decking disesuaikan dengan standart)
Tebal efektif, d'	= 362,5 mm

Tulangan Terpasang

Melintang	= Ø 25 - 250
Memanjang	= Ø 16 - 200

- Kapasitas Tulangan Melintang

Tulangan terpasang	= Ø25 – 250 (awal)
	= Ø22 – 250 (terkorosi)

Luas tulangan pasang/m'

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times \frac{b}{s} \\ &= 1521.14 \text{ mm}^2/\text{m}' \end{aligned}$$

tinggi balok persegi ekuivalen,

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} \\ &= 25.23 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kapasitas lentur pelat,

$$\begin{aligned} M_{ntx} &= As \cdot f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\ &= 212890546.6 \text{ Nmm} \\ &= 212.89 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{ntx} &= 0.8 \times M_{ntx} \\ &= 170.31 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Kapasitas Tulangan Memanjang

Tulangan terpasang	= Ø16 – 200 (awal)
	= Ø13 – 200 (terkorosi)

Luas tulangan pasang/m'

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times \frac{b}{s} \\ &= 663.93 \text{ mm}^2/\text{m}' \end{aligned}$$

tinggi balok persegi ekuivalen,

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} = 11.01 \text{ mm}$$

Kapasitas lentur pelat,

$$\begin{aligned} M_{ntx} &= A_s \cdot f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\ &= 94807497.38 \text{ Nmm} \\ &= 94.81 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{ntx} &= 0.8 \times M_{ntx} \\ &= 75.85 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tabel 4. 5 Rekap Kapasitas Pelat Awal dan Eksisting (2021)

Elemen Struktur	Kapasitas 1996		Kapasitas 2021	
	Momen		Momen	
	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang
Pelat	233.89 kNm	122.17 kNm	170.31 kNm	75.85 kNm

b. Cek Kapasitas Balok

- Data Eksisting Balok Memanjang Oranye

Material Struktur

$$\begin{aligned} \text{Mutu beton, } f_c' &= 28,37 \text{ Mpa} \\ &\text{(hasil ekstrapolasi data uji)} \end{aligned}$$

$$\text{Mutu tulangan lentur, } f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Mutu tulangan geser, } f_{ys} &= 240 \text{ Mpa} \\ &\text{(mutu tulangan} \\ &\text{menggunakan standart,} \\ &\text{karena mutu tulangan} \\ &\text{ekstrapolasi di atas standart)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 25035.68 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

Dimensi Balok

$$\text{Lebar balok, } b_w = 1660 \text{ mm}$$

Tinggi balok, h	= 2100 mm
Tebal decking, t_s	= 75 mm
	(tebal decking disesuaikan dengan standart)
d'	= 84 mm
d' efektif	= 2016 mm

Tulangan Terpasang Awal

Tulangan longitudinal	
Tumpuan	= 8 D32
As terpasang	= 6437 mm ²
Lapangan	= 16 D32
As terpasang	= 12873 mm ²
Tulangan Transversal	
Tumpuan	= D13 – 400
As terpasang	= 132,79 mm ² /tulangan
Lapangan	= D13 – 400
As terpasang	= 132,79mm ² /tulangan
Tulangan torsi	= 8 D16
As terpasang	= 1609 mm ²

Tulangan Terpasang setelah terkorosi

Tulangan longitudinal	
Tumpuan	= 8 D29
As terpasang	= 5286 mm ²
Lapangan	= 16 D29
As terpasang	= 10573 mm ²
Tulangan Transversal	
Tumpuan	= D10 – 400
As terpasang	= 78,57 mm ² /tulangan
Lapangan	= D10 – 400
As terpasang	= 78,57 mm ² /tulangan
Tulangan torsi	= 8 D13
As terpasang	= 1062 mm ²

- Momen Positif
a tulangan bawah

$$\begin{aligned}
 &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} \\
 &= 105.631 \text{ mm} \\
 C &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\
 &= 4229028.571 \text{ N} \\
 Mn &= A_s \cdot f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 8302363844 \text{ Nmm} \\
 \phi Mn &= 0.8 \times Mntx \\
 &= 6641891075 \text{ Nmm} \\
 &= 6641.89 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Momen Negatif
a tulangan bawah

$$\begin{aligned}
 &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} \\
 &= 52.815 \text{ mm} \\
 C &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\
 &= 2114514.286 \text{ N} \\
 Mn &= A_s \cdot f_y \left(dx - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 4207021361 \text{ Nmm} \\
 \phi Mn &= 0.8 \times Mntx \\
 &= 3365617089 \text{ Nmm} \\
 &= 3365.62 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas Geser Tumpuan

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= 2079730.22 \text{ N} \\
 &= 2079.73 \text{ kN} \\
 \phi V_s &= \phi \times A_s \times f_y \times d / s \\
 &= 66528 \text{ N} \\
 &= 66.528 \text{ kN} \\
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 &= 2146.26 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas Geser Lapangan

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\
 &= 2079730.22 \text{ N} \\
 &= 2079.73 \text{ kN} \\
 \phi V_s &= \phi \times A_s \times f_y \times d/s \\
 &= 66528 \text{ N} \\
 &= 66.528 \text{ kN} \\
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 &= 2146.26 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas Torsi

$$\begin{aligned}
 \text{Tulangan torsi awal:} & \quad D13 - 400 \text{ mm} \\
 \text{Setelah terkorosi} & \quad D10 - 400 \text{ mm} \\
 A_t &= 0,25 \pi d^2 \\
 &= 78.57 \text{ mm}^2 \\
 \text{Tulangan Longitudinal torsi:} & \quad 8 \text{ D16} \\
 \text{Setelah terkorosi} & \quad 8 \text{ D13} \\
 A_l &= n \cdot 0,25 \pi d^2 \\
 &= 1062 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling garis tengah terluar sengkang tertutup:

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b \cdot h \\
 &= 3486000.00 \text{ mm}^2 \\
 x_o &= b_w - 2t_s - D_s \\
 &= 1500.00 \text{ mm} \\
 y_o &= b_w - 2t_s - D_s \\
 &= 1940.00 \text{ mm} \\
 A_{oh} &= x_o \cdot y_o \\
 &= 2910000.00 \text{ mm}^2 \\
 A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\
 &= 2473500.00 \text{ mm}^2 \\
 P_h &= 2 (x_o + y_o)
 \end{aligned}$$

$$= 6880.00 \text{ mm}$$

Nilai reduksi, $\varphi = 0,75$ (SNI 2847–2019, PS.9.3.2.3)
 $\theta = 45$ untuk komponen struktur non-prategang

Nilai torsi,

$$\begin{aligned} T_{n1} &= \frac{2 A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \\ &= 233215714.3 \text{ Nmm} \\ &= 233.22 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{n2} &= \frac{2 A_o A_t f_{yt}}{P_h} \cot \theta \\ &= 305530664.5 \text{ Nmm} \\ &= 305.53 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 22.7.6, Untuk komponen struktur prategang dan non-rategang, nilai kapasitas nominal torsi (T_n) diambil dari nilai terkecil antara 2 rumus T_n di atas, sehingga

$$\begin{aligned} T_{npakai} &= 233.22 \text{ kNm} \\ \varphi T_{npakai} &= 174.91 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Untuk kapasitas balok lainnya, direkap dalam tabel berikut:

Tabel 4. 6 Rekap Kapasitas Momen Balok Awal dan Eksisting (2021)

Nama Balok	Kapasitas Momen			
	1996		2021	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Balok Memanjang Oranye	8157.15 kNm	4141.22 kNm	6641.89 kNm	3365.62 kNm
Balok Memanjang Hijau	1912.01 kNm	1289.57 kNm	1490.07 kNm	1002.83 kNm
Balok Melintang Ungu	3536.51 kNm	5361.59 kNm	2757.02 kNm	4437.26 kNm
Balok Melintang Biru	3140.59 kNm	3213.03 kNm	2448.80 kNm	2652.34 kNm
Balok Melintang Hijau	4270.82 kNm	4270.82 kNm	3323.05 kNm	3323.05 kNm

Tabel 4. 7 Rekap Kapasitas Geser Balok Awal dan Eksisting (2021)

Nama Balok	Kapasitas Geser			
	Momen		Geser	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Balok Memanjang Oranye	2278.83 kNm	2278.83 kNm	2146.26 kN	2146.26 kN
Balok Memanjang Hijau	988.89 kNm	988.89 kNm	917.15 kN	917.15 kN
Balok Melintang Ungu	1469.72 kNm	1469.72 kNm	1358.43 kN	1358.43 kN
Balok Melintang Biru	1228.09 kNm	1228.09 kNm	1147.16 kN	1147.16 kN
Balok Melintang Hijau	1905.59 kNm	1905.59 kNm	1787.41 kN	1787.41 kN

Tabel 4. 8 Rekap Kapasitas Torsi Balok Awal dan Eksisting (2021)

Nama Balok	Kapasitas Torsi	
	1996	2021
Balok Memanjang Oranye	312.25 kNm	174.91 kNm
Balok Memanjang Hijau	108.88 kNm	72.08 kNm
Balok Melintang Ungu	321.57 kNm	249.61 kNm
Balok Melintang Biru	120.59 kNm	79.81 kNm
Balok Melintang Hijau	236.50 kNm	156.43 kNm

3.2 Pembebanan Dermaga

3.2.1 Pembebanan Awal (Tahun 1999)

a. Beban Vertikal Merata

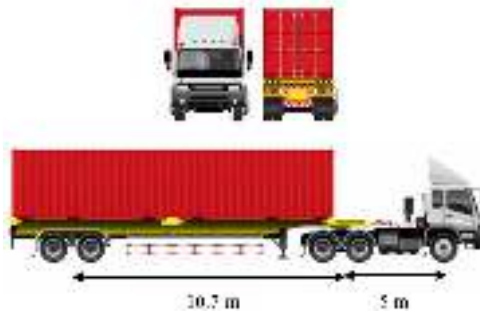
- Akibat Beban Mati (qDL)

Beban mati terdiri dari beban akibat berat sendiri struktur dimana nantinya pada permodelan akan secara otomatis diperhitungkan oleh program bantu SAP2000, termasuk juga elemen struktur balok, pelat dan tiang pancang.

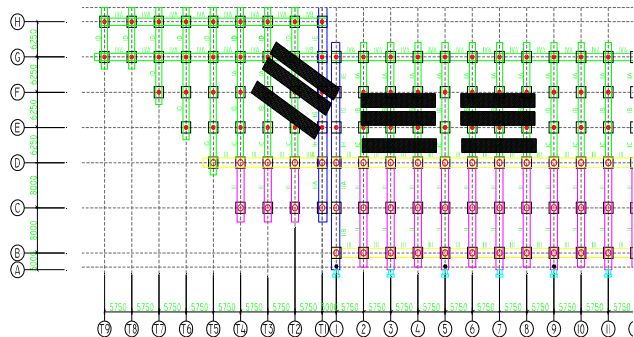
b. Beban Vertikal Terpusat dan Bergerak

1. Truk Petikemas

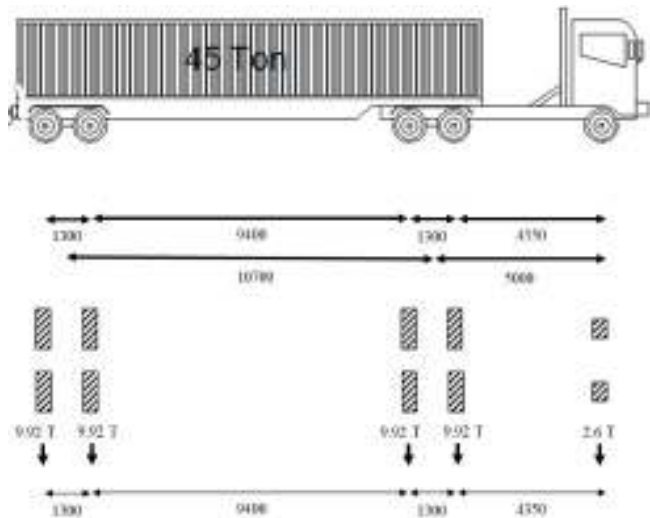
Truk petikemas (berat total maks 42 ton) akan diproyeksikan pada SAP2000 pada bagian yang kritis, yakni ditengah bentang struktur.



Gambar 4. 2 Ilustrasi Truk



Gambar 4. 3 Ilustrasi Pembebanan Truk



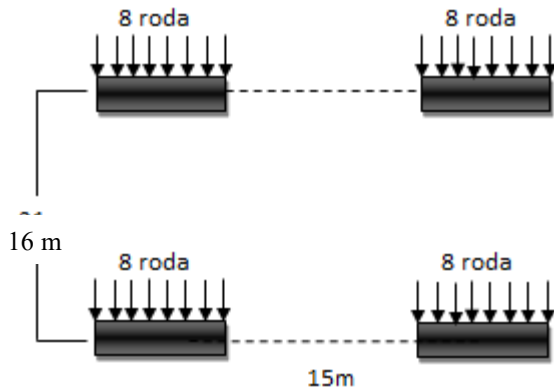
Gambar 4. 4 Ilustrasi Pembebanan Truk

- Berat kosong truk (a) = 20 ton
- Panjang truk = 15.7 m
- Lebar truk = 2.438 m
- Berat peti kemas (b) = 45 ton
- Berat truk peti kemas (c) : $a + b$ = 65 ton
- Beban per-axle (d) : $(c - 4) / 4$ = 15.25 ton
- Beban per-2 roda (e) : $d / 2$ = 7.625 ton
- *Impact Factor* = 1.3
- Beban per-2 roda dengan kejutan (g) : $1.3 \times e$ = 9.92 ton

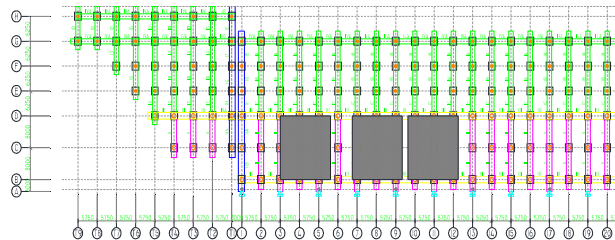
2. Container Crane (CC)

- *Rail Span* = 16 meter
- Beban = 34 ton/roda x 32 = 1088 t/cc
- Jarak terdekat antar CC = 3 m

Dengan konfigurasi sebagai berikut :



Gambar 4. 5 Ilustrasi Beban Pada *Container Crane*



Gambar 4. 6 Ilustrasi Pembebanan *Container Crane*

c. Beban Horizontal

Pada saat kapal sedang dalam proses merapat ke dermaga, akan terjadi pembebanan berupa gaya tekan terhadap struktur dermaga akibat tumbukan kapal terhadap dermaga TPS Domestik. Pada saat sandar, arus dan angin yang arahnya menjauhi sisi depan dermaga akan memberikan gaya tarik melalui tali (*rope*) kapal yang menegang dan disalurkan ke *boulder* yang ada pada dermaga, dimana gaya horisontal ini disebut juga gaya *Boulder*.

- Data Kapal

Data – data kapal untuk pembebanan horizontal adalah sebagai berikut :

- *Deat Weight Tonnage* = 10.000 DWT
- *Loaded Displacement Tonnage* = 13.333 T
- LOA = 220 m
- *Draft* (tinggi lunas) = 8,5 m
- *Design Kedalaman* = 10,5 m
- *Berthing velocity* = 0,15 m/dt

- Gaya Tekan Kapal

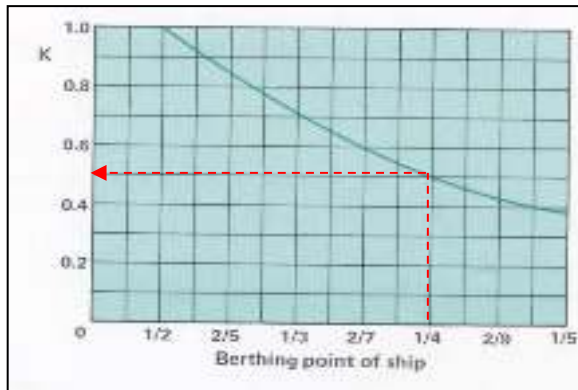
Pada saat kapal menabrak konstruksi dermaga, ada energi kinetik tumbukan yang harus diserap dan ditransfer menjadi gaya horisontal, dan harus mampu ditahan oleh struktur dermaga. Besar gaya tekan kapal tergantung pada kapasitas kapal dan jenis fender yang digunakan.

Formula yang digunakan adalah :

$$E = \frac{(W_1 + W_2) \times V^2}{2 \times g} \times K$$

dimana :

- E = *Effective berthing energy* (ton-m)
- W1 = *Displacement tonnage* (ton)
- W2 = *Additional weight* (ton)
- V = *Berthing speed* (0,15 m/sec)
- G = *Acceleration of gravity* (9,8 m/sec²)
- K = *Eccentricity factor* = 0,5
(untuk kapal meyentuh dermaga pada $\frac{1}{4}L$)



(Sumber : Design manual Bridgestone marine fender)

Gambar 4. 7 Diagram *Eccentricity factor*

Didapatkan E_f sebesar 7,653 T.m, sehingga digunakan Fender Dyna Arch Fender Type DA-A750H-L2500 dengan ME defleksi sebesar 52,5%; berkapasitas $E_f = 12,36$ T.m, dengan besar gaya yang disalurkan maksimal sebesar 70 Ton

- Gaya Tarik Kapal (Gaya *Bollard*)

Mengacu pada “*Technical Standarts For Port and Harbour Facilities in Japan 1991*”, Tabel 2.2 , halaman 15, seperti yang ada pada di bawah, maka *bollard* yang harus disediakan agar mampu melayani kapal dengan bobot mati 10.000 DWT adalah 100 ton.

Tabel 4. 9 Gaya Tarik pada *Bollard* (TSPHF Japan '91)

Gross Tonnage	Gaya Tarik pada Bollard (Ton)
100 – 500	15
501 – 1000	25
1001 – 3000	35

Tabel 4. 11 Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726:2019 Tabel 4)

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sehingga diketahui bahwa I_e ialah sebesar 1.

- c. **Klasifikasi Kelas Situs Tanah**
 Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.3; klasifikasi situs dapat ditentukan berdasarkan nilai N SPT rata – rata:

Tabel 4. 12 Tabel Perhitungan N SPT Rata-Rata

Kedalaman (m)	N SPT	Tebal Lapisan (d) (m)	d/N
4	1	4.00	4.00
5	1	1.00	1.00
6	1	1.00	1.00
7	2	1.00	0.50
8	2	1.00	0.50
9	2	1.00	0.50
10	2	1.00	0.50
11	2	1.00	0.50
12	1	1.00	1.00
13	1	1.00	1.00
14	1	1.00	1.00
15	1	1.00	1.00
16	1	1.00	1.00
17	1	1.00	1.00
18	1	1.00	1.00
19	1	1.00	1.00
20	1	1.00	1.00
21	1	1.00	1.00
22	1	1.00	1.00
23	1	1.00	1.00
24	1	1.00	1.00
25	1	1.00	1.00

Kedalaman (m)	N SPT	Tebal Lapisan (d) (m)	d/N
26	2	1.00	0.50
27	2	1.00	0.50
28	2	1.00	0.50
29	3	1.00	0.33
30	3	1.00	0.33
31	4	1.00	0.25
32	4	1.00	0.25
33	5	1.00	0.20
34	5	1.00	0.20
35	5	1.00	0.20
36	5	1.00	0.20
37	10	1.00	0.10
38	11	1.00	0.09
39	11	1.00	0.09
40	11	1.00	0.09
41	18	1.00	0.06
42	19	1.00	0.05
43	19	1.00	0.05
44	20	1.00	0.05
45	20	1.00	0.05
46	21	1.00	0.05
47	21	1.00	0.05
48	23	1.00	0.04
49	23	1.00	0.04
50	25	1.00	0.04
51	25	1.00	0.04
52	27	1.00	0.04
53	27	1.00	0.04
54	28	1.00	0.04
55	28	1.00	0.04
56	28	1.00	0.04
57	28	1.00	0.04
58	29	1.00	0.03
59	29	1.00	0.03
60	30	1.00	0.03
61	30	1.00	0.03
62	27	1.00	0.04
63	27	1.00	0.04

Kedalaman (m)	N SPT	Tebal Lapisan (d) (m)	d/N
64	28	1.00	0.04
65	28	1.00	0.04
66	26	1.00	0.04
67	26	1.00	0.04
68	28	1.00	0.04
69	28	1.00	0.04
70	29	1.00	0.03
71	29	1.00	0.03
72	29	1.00	0.03
73	30	1.00	0.03
74	30	1.00	0.03
75	31	1.00	0.03
76	31	1.00	0.03
77	32	1.00	0.03
78	32	1.00	0.03
79	33	1.00	0.03
80	35	1.00	0.03
Σ		80.00	27.86
N rata-rata	$\frac{\Sigma d}{\Sigma d/N}$	2.87	

Tabel 4. 13 Tabel Klasifikasi Situs (SNI 1726:2019 Tabel 5)

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{V}_s$ atau $\bar{Q}_s$	σ_v (kPa)
S1 (batuan keras)	> 500	N/A	N/A
S2 (batuan)	250 sampai 499	N/A	N/A
S3 (tanah keras, sangat padat dan batuan terjal)	100 sampai 249	> 50	≥ 100
S4 (lempung berikat)	100 sampai 100	10 sampai 49	35 sampai 100
S5 (tanah lempung)	< 100	< 10	< 35

Pada setiap profil lahan yang mengarsang lebih dari 3 m, lahan dengan karakteristik sebagai berikut:

1. Indeks plastisitas, $PI > 20$
2. Konsistensi, $u > 40\%$
3. Kuat geser tidak $\bar{c}_u < 35$ kPa.

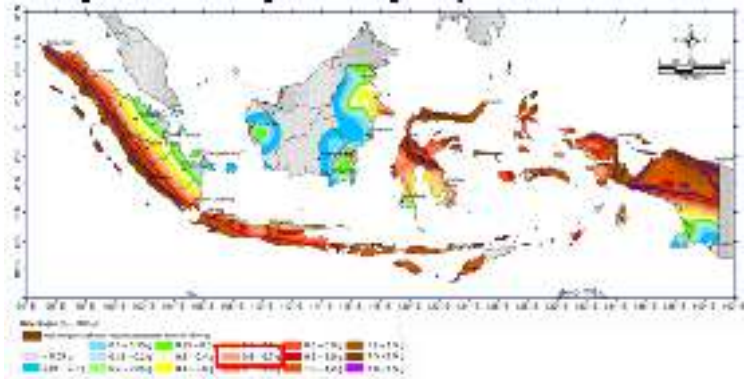
S4 (tanah lempung yang membatu)

- Lembut (plastisitas sangat tinggi) (ketebalan $H > 7.5$ m dengan Indeks plastisitas $PI > 25$)
- Lapisan lempung (membatukan) dengan ketebalan $H > 30$ m dengan $\bar{c}_u < 50$ kPa.

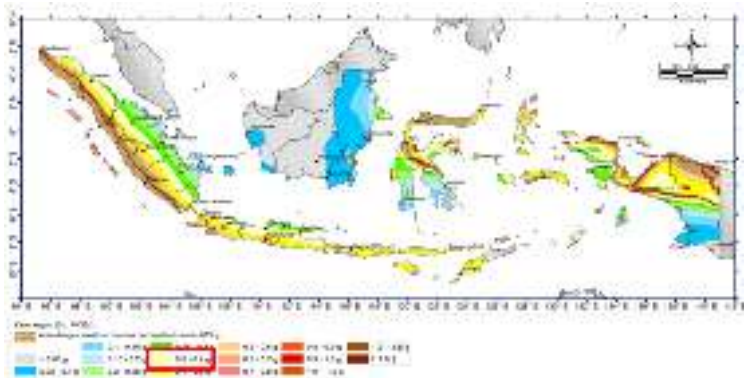
CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Dengan N Rata-rata sebesar 2,87; kelas situs tanah diklasifikasikan sebagai Tanah Lunak (SE)

- d. Menentukan S_1 dan S_s
 Penentuan S_1 dan S_s sesuai dengan lokasi perencanaan dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 8 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) untuk S_s



Gambar 4. 9 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) untuk S_1

Berdasarkan gambar diatas, Kota Surabaya terletak pada daerah yang memiliki nilai S_s sebesar 0,6 – 0,7g dan S_1 sebesar 0,3 – 0,4g.

e. Parameter Respon Spektrum menurut RSA Ciptakarya 2019

Sedangkan menurut RSA Ciptakarya 2019, parameter respon spektrum percepatan gempa untuk tanah lunak (SE) pada lokasi TPS Surabaya memiliki nilai S_s sebesar 0,6891 (sesuai dengan gambar 4.8; yakni 0,6-0,7g) dan S_1 sebesar 0,304 (sesuai dengan gambar 4.9; yakni 0,3 – 0,4g).

f. Koefisien Situs

Untuk nilai F_a (koefisien situs untuk periode 0,2 detik) dan F_v (koefisien situs untuk periode 1 detik), didapat dan disesuaikan dari tabel berikut:

Tabel 4. 14 Tabel Koefisien Situs F_a (SNI 1726:2019 Tabel 6)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE _R) terpelekan pada periode $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,6	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SE ¹						

CATATAN:

(a) SE= Situs yang memerlukan Investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 4.

Tabel 4. 15 Tabel Koefisien Situs F_v (SNI 1726:2019 Tabel 7)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE _R) terpelekan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
SD	2,4	2,2	2,0	1,8	1,5	1,7
SE	4,2	3,3	2,0	2,4	2,2	2,0
SE ¹						

CATATAN:

(a) SE= Situs yang memerlukan Investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 4.

Karena didapatkan nilai S_s sebesar 0,689; maka dilakukan interpolasi linier untuk mendapatkan F_a yang sesuai:

S_s	F_a
0.75	1.3
0.6891	y
0.5	1.7

Maka $y = F_a = 1,39744$. Lalu untuk mendapatkan F_v yang sesuai dengan nilai S_1 sebesar 0,3043; maka:

S_1	F_v
0.4	2.4
0.3043	y
0.3	2.8

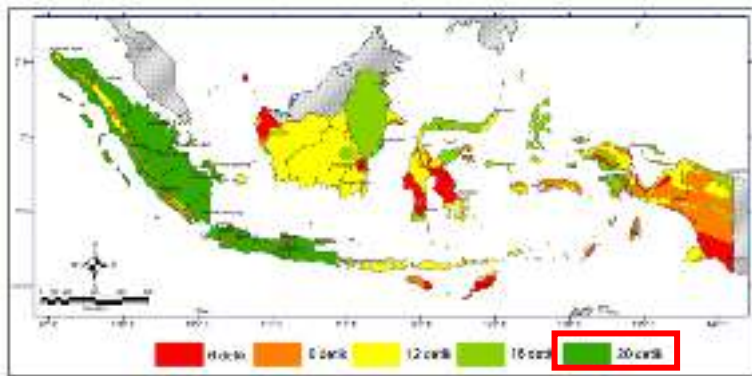
Maka $y = F_v = 2,7828$.

- g. Parameter Spektrum Respon
 Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.2
 Parameter Respons Spektral periode pendek
 $Sm_s = F_a \times S_s$
 $= 0.963$
 Parameter Respons Spektral periode panjang
 $Sm_1 = F_v \times S_1$
 $= 0.8474$
- h. Parameter Percepatan Spaktral Desain
 Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.3
 Parameter Respons Spektral periode pendek
 $S_{DS} = \frac{2}{3} Sm_s$
 $= 0.642$
 Parameter Respons Spektral periode panjang
 $S_{D1} = \frac{2}{3} Sm_1$
 $= 0.565$

- i. Membuat Respons Spektrum Desain
Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.4
Parameter Respons Spektral periode pendek

$$\begin{aligned} T_o &= 0,2 \times (S_{DS}/S_{D1}) \\ &= 0,176 \text{ detik} \\ T_s &= S_{D1}/S_{DS} \\ &= 0,879 \text{ detik} \end{aligned}$$

Untuk transisi periode panjang (T_L) wilayah Surabaya adalah 20s



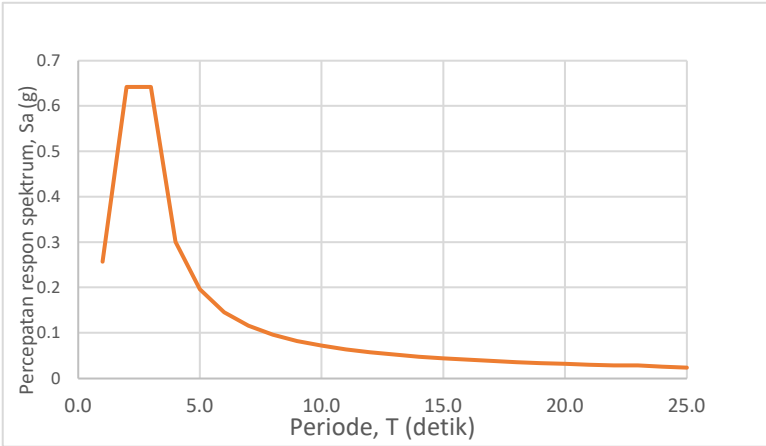
Gambar 4. 10 Peta transisi periode panjang T_L , wilayah Indonesia

- j. Perhitungan Grafik Respon Spektrum

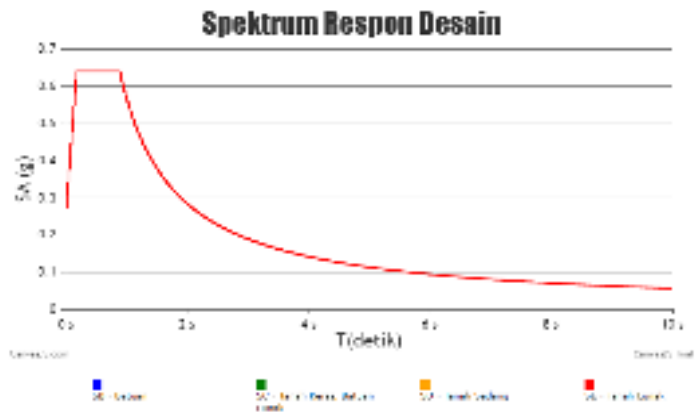
Tabel 4. 16 Tabel Perhitungan Grafik Respon Spektrum

T (detik)	Keterangan	Sa (g)	Keterangan
0.00	Awal	0.26	$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 T/T_0)$
0.18	$T_o = 0,2 (S_{D1}/S_{DS})$	0.642	$S_a = S_{DS}$
0.88	$T_s = S_{D1}/S_{DS}$	0.642	$S_a = S_{DS}$
1.88	$T = T_s + 1$	0.3004	$S_a = S_{D1}/T$
2.88	$T = T_s + 2$	0.1961	$S_a = S_{D1}/T$
3.88	$T = T_s + 3$	0.1455	$S_a = S_{D1}/T$
4.88	$T = T_s + 4$	0.1157	$S_a = S_{D1}/T$
5.88	$T = T_s + 5$	0.096	$S_a = S_{D1}/T$

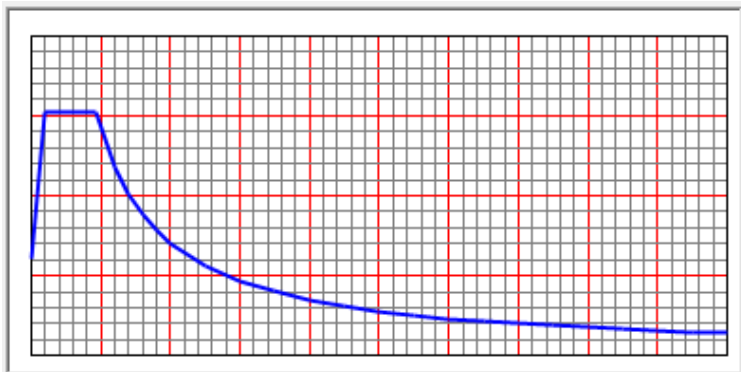
T (detik)	Keterangan	Sa (g)	Keterangan
5.88	$T = T_s + 5$	0.096	$Sa = S_{D1}/T$
6.88	$T = T_s + 6$	0.0821	$Sa = S_{D1}/T$
7.88	$T = T_s + 7$	0.0716	$Sa = S_{D1}/T$
8.88	$T = T_s + 8$	0.0636	$Sa = S_{D1}/T$
9.88	$T = T_s + 9$	0.0571	$Sa = S_{D1}/T$
10.88	$T = T_s + 10$	0.0519	$Sa = S_{D1}/T$
11.88	$T = T_s + 11$	0.0475	$Sa = S_{D1}/T$
12.88	$T = T_s + 12$	0.0438	$Sa = S_{D1}/T$
13.88	$T = T_s + 13$	0.0407	$Sa = S_{D1}/T$
14.88	$T = T_s + 14$	0.0379	$Sa = S_{D1}/T$
15.88	$T = T_s + 15$	0.0356	$Sa = S_{D1}/T$
16.88	$T = T_s + 16$	0.0334	$Sa = S_{D1}/T$
17.88	$T = T_s + 17$	0.0316	$Sa = S_{D1}/T$
18.88	$T = T_s + 18$	0.0299	$Sa = S_{D1}/T$
19.88	$T = T_s + 19$	0.0284	$Sa = S_{D1}/T$
20.00	TL	0.0282	$Sa = (S_{D1} \times TL)/T^2$
21.00	$T=TL+1$	0.0256	$Sa = (S_{D1} \times TL)/T^2$
22.00	$T=TL+2$	0.0233	$Sa = (S_{D1} \times TL)/T^2$



Gambar 4. 11 Grafik Respon Spektrum berdasarkan hasil perhitungan



Gambar 4. 12 Grafik Respon Spektrum berdasarkan RSA Ciptakarya



Gambar 4. 13 Grafik Respon Spektrum berdasarkan SAP v20

- k. Kategori Kinerja Seismik
Berdasarkan tabel 4.17 dan 4.18, didapatkan kategori desain seismik berdasarkan parameter respons perapatan pada periode pendek (SNI 1726:2019 Tabel 8) yakni kategori risiko D

Tabel 4. 17 Tabel Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek (SNI 1726-2019, tabel 8)

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 4. 18 Tabel Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik (SNI 1726-2019, tabel 9)

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

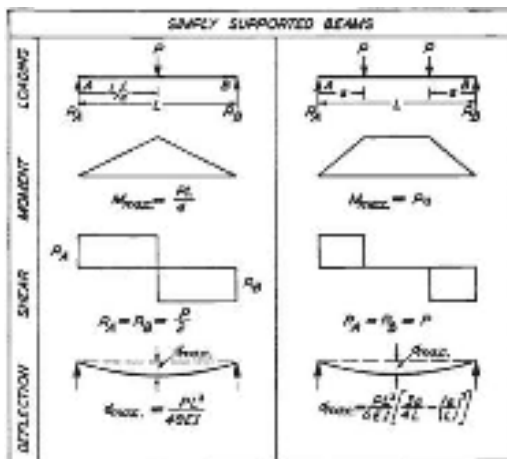
Sehingga sistem rangka pemikul momen yang digunakan ialah sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK)

1. Kategori Kinerja Seismik
Berdasarkan tabel 4.17 dan 4.18, didapatkan kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SNI 1726:2019 Tabel 8) yakni kategori risiko D

3.2.2 Pembebanan *Assessment 1* (Tahun 2011)

Terjadi penambahan *Container Crane*, sehingga total *Container Crane* yang diharapkan beroperasi ialah 5 buah, akan tetapi pembebanan tidak diperhitungkan karena penambahan CC tidak merubah momen

maksimum yang terjadi. Momen maksimum tidak berubah dikarenakan beban CC tidak ditumpuk, melainkan berjajar. Seperti konsep di bawah ini:



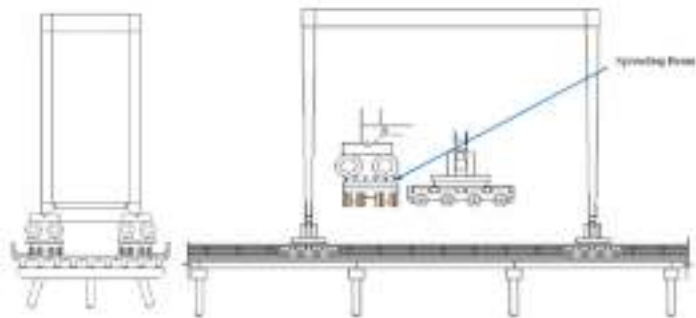
Gambar 4. 14 Konsep Mekanika Teknik

3.2.3 Pembebanan *Assessment 2* (Tahun 2021)

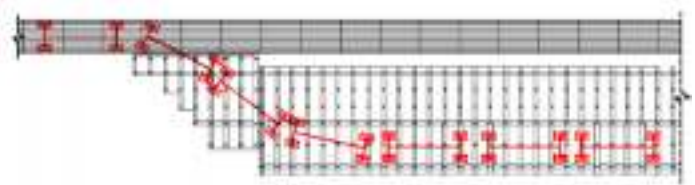
Terjadi penambahan RTG *Crane* sebanyak 1 buah. RTG *Crane* sendiri beroperasi di darat, akan tetapi pembebanan yang diperhitungkan ialah pembebanan yang terjadi saat pemindahan RTG *Crane* dari kapal menuju darat. Seperti konsep di bawah ini:

1. RTG *Crane* pada HDM (*Heavy-Duty Module*)

RTG *Crane* ditempatkan di atas HDM menumpu *spreading beam* dengan tujuan agar penyebaran beban dapat terdistribusi secara merata.



Gambar 4. 15 Penempatan RTG Crane pada *Multi-axle Vehicle HDM*



Gambar 4. 16 Pola manuver perpindahan *Multi-axle Vehicle HDM*

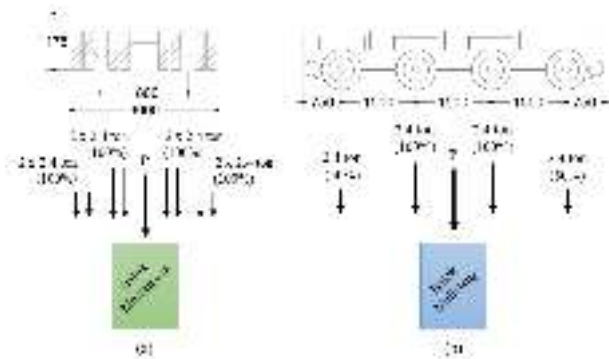
RTG diletakkan diatas HDM dan diberikan spreading beam agar penyebaran beban oleh RTG dapat terdistribusi dengan merata kepada roda HDM.

- Berat RTG Crane (a) = 134 ton
- Berat per-kaki RTG Crane (b) = $a / 4$
(dipikul oleh 1 HDM) = 33.5 ton
- Berat HDM *Multi-axle* (c) = 24.3 ton
- Beban per-HDM (d) = $b + c$
(jumlah axle = 4) = 57.8 ton
- Beban per-axle (e) = $d / 4$
= 14.5 ton
- Beban per-2 roda (f) = $e / 4$

- *Impact Factor* = 3.6 ton = 1.3
- Beban per-2 roda dengan kejut (g) = 1.3 x e = 4.7 ton
- Beban per-roda = g / 2 = 2.4 ton

2. Pembebanan Roda akibat *Multi-axle Vehicle* HDM pada Balok

Input beban RTG Crane pada balok dimodelkan sebagai beban terpusat dengan ilustrasi sebagai berikut:



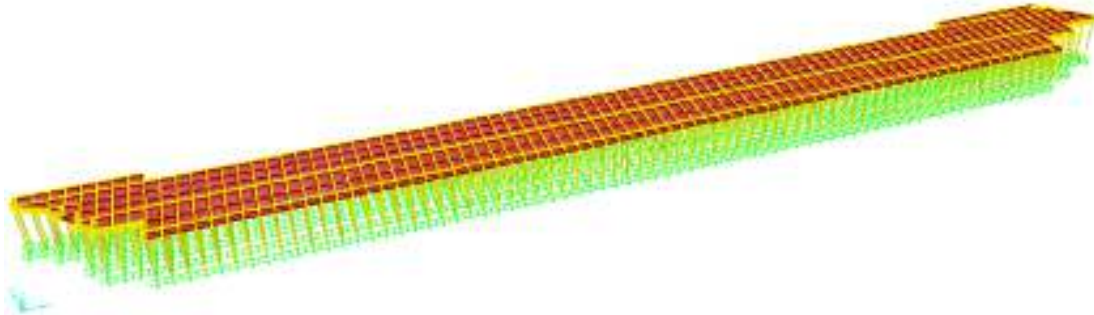
Gambar 4. 17 Distribusi beban terpusat HDM pada balok

Maka didapat perhitungan sebagai berikut :

- Beban 1 roda = 2.4 ton
- Beban P Balok Memanjang = 8 x 2.4 ton = 19.2 ton
- Beban P Balok Melintang = 3 x 2.4 ton = 7.2 ton

3.3 Evaluasi Struktur

Dengan menggunakan SAP2000 v14.2.2 dapat dilakukan pemodelan dan evaluasi struktur dermaga domestik sebagaimana gambar berikut:



Gambar 4. 18 Pemodelan Struktur Dermaga Domestik dengan SAP2000

Berdasarkan hasil tersebut, kemudian dilakukan evaluasi terhadap kapasitas struktur elemen dengan beberapa kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya.

Tabel 4. 19 Perbandingan Kapasitas Momen pada Pelat dan Gaya Dalam yang Terjadi pada Pembebanan Tahun 2021

Elemen Struktur	Kapasitas 1996		Kapasitas 2021		Penurunan Kapasitas		Gaya Dalam		Kesimpulan	
	Momen		Momen		Momen		Momen		Momen	
	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang
Pelat	233.89 kNm	122.17 kNm	170.31 kNm	75.85 kNm	27%	38%	111.61 kNm	74.01 kNm	OK	OK

Tabel 4. 20 Perbandingan Kapasitas Momen pada Balok dan Gaya Dalam yang Terjadi pada Pembebanan Tahun 2021

Nama Balok	Kapasitas Momen						Gaya Dalam		Kesimpulan	
	1996		2021		Penurunan					
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Balok Memanjang Oranye	8157.15 kNm	4141.22 kNm	6641.89 kNm	3365.62 kNm	19%	19%	422.71 kN	3448.70 kN	OK	NOT OK
Balok Memanjang Hijau	1912.01 kNm	1289.57 kNm	1490.07 kNm	1002.83 kNm	22%	22%	897.66 kN	674.30 kN	OK	OK
Balok Melintang Ungu	3536.51 kNm	5361.59 kNm	2757.02 kNm	4437.26 kNm	22%	17%	1938.83 kN	1051.38 kN	OK	OK
Balok Melintang Biru	3140.59 kNm	3213.03 kNm	2448.80 kNm	2652.34 kNm	22%	17%	1138.14 kN	1405.22 kN	OK	OK
Balok Melintang Hijau	4270.82 kNm	4270.82 kNm	3323.05 kNm	3323.05 kNm	22%	22%	2203.78 kN	173.51 kN	OK	OK

Tabel 4. 21 Perbandingan Kapasitas Geser pada Balok dan Gaya Dalam yang Terjadi pada Pembebanan Tahun 2021

Nama Balok	Kapasitas Geser						Gaya Dalam		Kesimpulan	
	1996		2021		Penurunan					
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Balok Memanjang Oranye	2278.83 kNm	2278.83 kNm	2146.26 kN	2146.26 kN	6%	6%	2129.43 kN	1164.11 kN	OK	OK
Balok Memanjang Hijau	988.89 kNm	988.89 kNm	917.15 kN	917.15 kN	7%	7%	700.34 kN	530.83 kN	OK	OK
Balok Melintang Ungu	1469.72 kNm	1469.72 kNm	1358.43 kN	1358.43 kN	8%	8%	615.97 kN	735.55 kN	OK	OK
Balok Melintang Biru	1228.09 kNm	1228.09 kNm	1147.16 kN	1147.16 kN	7%	7%	972.05 kN	784.65 kN	OK	OK
Balok Melintang Hijau	1905.59 kNm	1905.59 kNm	1787.41 kN	1787.41 kN	6%	6%	685.96 kN	457.23 kN	OK	OK

Tabel 4. 22 Perbandingan Kapasitas Torsi pada Balok dan Gaya Dalam yang Terjadi pada Pembebanan Tahun 2021

Nama Balok	Kapasitas Torsi			Gaya Dalam	Kesimpulan
	1996	2021	Penurunan		
Balok Memanjang Oranye	312.25 kNm	174.91 kNm	44%	841.46 kNm	NOT OK
Balok Memanjang Hijau	108.88 kNm	72.08 kNm	34%	744.99 kNm	NOT OK
Balok Melintang Ungu	321.57 kNm	249.61 kNm	22%	585.28 kNm	NOT OK
Balok Melintang Biru	120.59 kNm	79.81 kNm	34%	303.19 kNm	NOT OK
Balok Melintang Hijau	236.50 kNm	156.43 kNm	34%	303.69 kNm	NOT OK

3.4 Safety Factor

Hasil dari analisis struktur Dermaga Domestik, diperoleh safety faktor elemen struktur akibat beban momen maupun geser, yakni sebagai berikut:

Tabel 4. 23 *Safety Factor* Pelat pada Pembebanan Tahun 2021

Elemen Struktur	Kapasitas 2021		Gaya Dalam		Kesimpulan		Safety Factor	
	Momen		Momen		Momen			
	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang
Pelat	170.31 kNm	75.85 kNm	111.61 kNm	74.01 kNm	OK	OK	1.53	1.02

Tabel 4. 24 *Safety Factor* Momen Balok pada Pembebanan Tahun 2021

Nama Balok	Kapasitas Momen		Gaya Dalam		Kesimpulan		Safety Factor	
	2021							
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Balok Memanjang Oranye	6641.89 kNm	3365.62 kNm	422.71 kN	3448.70 kN	OK	NOT OK	15.71	0.98
Balok Memanjang Hijau	1490.07 kNm	1002.83 kNm	897.66 kN	674.30 kN	OK	OK	1.66	1.49
Balok Melintang Ungu	2757.02 kNm	4437.26 kNm	1938.83 kN	1051.38 kN	OK	OK	1.42	4.22
Balok Melintang Biru	2448.80 kNm	2652.34 kNm	1138.14 kN	1405.22 kN	OK	OK	2.15	1.89
Balok Melintang Hijau	3323.05 kNm	3323.05 kNm	2203.78 kN	173.51 kN	OK	OK	1.51	19.15

Tabel 4. 25 *Safety Factor* Geser Balok pada Pembebanan Tahun 2021

Nama Balok	Kapasitas Geser		Gaya Dalam		Kesimpulan		Safety Factor	
	2021							
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Balok Memanjang Oranye	2146.26 kN	2146.26 kN	2129.43 kN	1164.11 kN	OK	OK	1.01	1.84
Balok Memanjang Hijau	917.15 kN	917.15 kN	700.34 kN	530.83 kN	OK	OK	1.31	1.73
Balok Melintang Ungu	1358.43 kN	1358.43 kN	615.97 kN	735.55 kN	OK	OK	2.21	1.85
Balok Melintang Biru	1147.16 kN	1147.16 kN	972.05 kN	784.65 kN	OK	OK	1.18	1.46
Balok Melintang Hijau	1787.41 kN	1787.41 kN	685.96 kN	457.23 kN	OK	OK	2.61	3.91

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari evaluasi struktur Dermaga Domestik, diperoleh safety factor pada masing-masing elemen struktur, yakni sebagai berikut:

Tabel 5. 1 Prosentase Penurunan Kapasitas dan *Safety Factor* Plat pada Pembebanan Tahun 2021

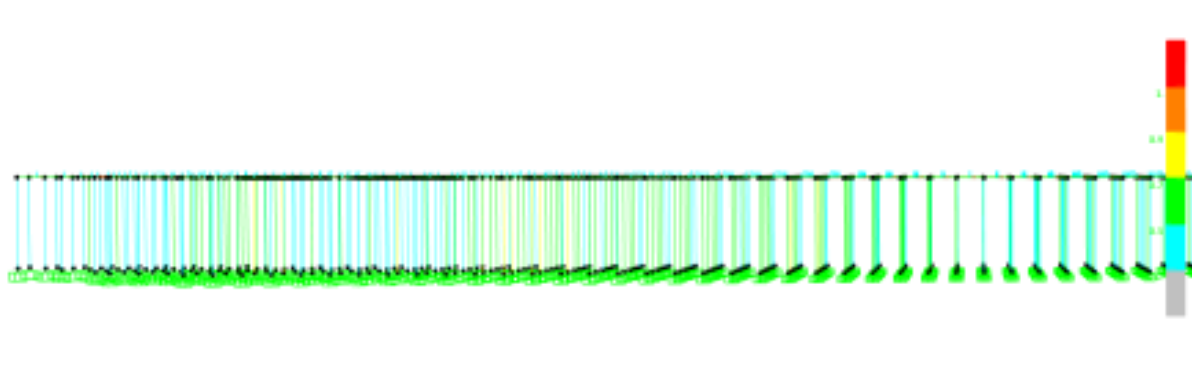
Elemen Struktur	Kapasitas 1996		Kapasitas 2021		Penurunan Kapasitas		Gaya Dalam		Kesimpulan		Safety Factor	
	Momen		Momen		Momen		Momen		Momen			
	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang	Melintang	Memanjang
Pelat	233.89 kNm	122.17 kNm	170.31 kNm	75.85 kNm	27%	38%	111.61 kNm	74.01 kNm	OK	OK	1.53	1.02

Tabel 5. 2 Prosentase Penurunan Kapasitas dan *Safety Factor* Momen Balok pada Pembebanan Tahun 2021

Nama Balok	Kapasitas Momen						Gaya Dalam		Kesimpulan		Safety Factor	
	1996		2021		Penurunan							
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Balok Memanjang Oranye	8157.15 kNm	4141.22 kNm	6641.89 kNm	3365.62 kNm	19%	19%	422.71 kN	3448.70 kN	OK	NOT OK	15.71	0.98
Balok Memanjang Hijau	1912.01 kNm	1289.57 kNm	1490.07 kNm	1002.83 kNm	22%	22%	897.66 kN	674.30 kN	OK	OK	1.66	1.49
Balok Melintang Ungu	3536.51 kNm	5361.59 kNm	2757.02 kNm	4437.26 kNm	22%	17%	1938.83 kN	1051.38 kN	OK	OK	1.42	4.22
Balok Melintang Biru	3140.59 kNm	3213.03 kNm	2448.80 kNm	2652.34 kNm	22%	17%	1138.14 kN	1405.22 kN	OK	OK	2.15	1.89
Balok Melintang Hijau	4270.82 kNm	4270.82 kNm	3323.05 kNm	3323.05 kNm	22%	22%	2203.78 kN	173.51 kN	OK	OK	1.51	19.15

Tabel 5. 3 Prosentase Penurunan Kapasitas dan *Safety Factor* Momen Balok pada Pembebanan Tahun 2021

Nama Balok	Kapasitas Geser						Gaya Dalam		Kesimpulan		Safety Factor	
	1996		2021		Penurunan							
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Balok Memanjang Oranye	2278.83 kNm	2278.83 kNm	2146.26 kN	2146.26 kN	6%	6%	2129.43 kN	1164.11 kN	OK	OK	1.01	1.84
Balok Memanjang Hijau	988.89 kNm	988.89 kNm	917.15 kN	917.15 kN	7%	7%	700.34 kN	530.83 kN	OK	OK	1.31	1.73
Balok Melintang Ungu	1469.72 kNm	1469.72 kNm	1358.43 kN	1358.43 kN	8%	8%	615.97 kN	735.55 kN	OK	OK	2.21	1.85
Balok Melintang Biru	1228.09 kNm	1228.09 kNm	1147.16 kN	1147.16 kN	7%	7%	972.05 kN	784.65 kN	OK	OK	1.18	1.46
Balok Melintang Hijau	1905.59 kNm	1905.59 kNm	1787.41 kN	1787.41 kN	6%	6%	685.96 kN	457.23 kN	OK	OK	2.61	3.91



Gambar 5. 1 Hasil Analisa Gempa pada Tiang Pancang Baja dengan Program Bantu SAP2000

Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa ada elemen struktur yang tidak mampu menanggung beban yang terjadi, dan dibutuhkan perbaikan serta perkuatan elemen struktur. Elemen struktur yang tidak mampu menanggung beban yang terjadi ialah Balok Memanjang Oranye (Balok Crane), pada lokasi yang berbeda. Perbedaan kapasitas dan gaya dalamnya tidak seberapa besar, namun *safety factornya* tetap kurang dari 1.

Sedangkan dari hasil analisa gempa pada tiang pancang baja dengan program bantu SAP2000, disimpulkan bahwa beberapa tiang pancang baja dinyatakan hampir tidak dapat menahan keruntuhan apabila terjadi gempa.

Lalu, penurunan kapasitas elemen struktur yang terjadi, dikarenakan faktor korosi yang timbul dari kondisi lingkungan struktur. Ditambah, selimut beton pada desain awal sangat jauh kurang dari standart yang berlaku saat itu. Padahal, selimut beton menjadi faktor utama dalam mencegah penetrasi korosi pada beton ke tulangan.

5.2 Saran

1. Disarankan untuk melakukan perkuatan balok memanjang oranye (balok crane) dengan CFRP. Disarankan pula untuk memperbaiki terlebih dahulu kondisi tulangan pada elemen struktur, dengan cara seperti yang disebutkan pada Sub bab 2.8 tentang Rekomendasi Tindakan poin ke 4.
2. Selanjutnya, memperbaiki retak berat dan spalling yang terjadi pada elemen struktur
3. Terakhir, juga memperbaiki retak kecil pada elemen struktur lainnya.

JADWAL PELAKSANAAN PROYEK AKHIR

No	Jenis Kegiatan	Maret			April				Mei				Juni				Juli			
		III	IV	V	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	Pengumpulan Data																			
2	Studi Literatur																			
3	Perhitungan Pembebanan																			
4	Analisa Struktur Eksisting																			
5	Analisa Struktur Baru																			
6	Perhitungan Perkuatan																			
7	Penyusunan Laporan																			

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Rahardjo, Ibnu Pudji dan Chomaedi. (2019) Laporan Akhir Nomor : PR-39888, Evaluasi Kekuatan Struktur Dermaga Domestik dan Jembatan Penghubung terhadap Beban RTG beserta Alat Bantunya di PT. TPS. PT. Terminal Petikemas Surabaya

Standard Design Criteria for Port in Indonesia (1990).

Standard Specifications for Highway Bridges Adopted by AASHTO (1973).

Technical Standards and Commentaries for Port & Harbour Facilities in Japan (2002).

Departemen Pekerjaan Umum. (2012). *Tata Cara Perencanaan*

Reinforced Concrete, Mechanics And Design, James G. Macgregor, Prentice Hall, International Inc. (1997).

CSI Analysis Referece Manual For SAP 2000, ETABS, SAFE, Computer And Structures Inc., January (2007). Berkeley, California, USA.

Pile Design and Construction Practice, (1977), MJ Tomlinson
CEng, FICE, FISTructE

Pengaruh Variasi Selimut Beton Terhadap Kapasitas Balok Persegi Dalam Menahan Kecepatan Korosi, Henry Henry Roberth, Seminar Nasional “Archipelago Engineering” (ALE) 2018.

Prediksi Waktu Layan Bangunan Beton Terhadap Kerusakan Akibat Korosi Baja Tulangan, Sudjono Agus Santoso, *Civil Engineering Dimension*, Vol. 7, No. 1, 6 – 15, March 2005.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tanjung Enim, pada 14 Maret 1996, merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yakni di TK BHAYANGKARA, sempat bersekolah di SD XAVERIUS EMMANUEL MUARA ENIM, lalu pindah ke SDN LIDAH WETAN III/463 SURABAYA, melanjutkan pendidikan di SMP NEGERI 1 SURABAYA, dan SMA NEGERI 1 SURABAYA. Setelah lulus dari SMA NEGERI 1 SURABAYA tahun 2014,

Penulis mengikuti SPMB dan diterima di Jurusan DIII Teknik Sipil ITS, yang kini berubah nama menjadi Departemen Teknik Infrastruktur Sipil-ITS pada tahun 2014, dan terdaftar dengan NRP 3114 030 096. Saat itu, Penulis mengambil konsentrasi kuliah bidang Bangunan Gedung, sempat aktif pada organisasi mahasiswa jurusan Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil (HMDS) pada tahun 2015-2016, dilanjutkan ke periode berikutnya, 2016-2017. Selanjutnya penulis bekerja di salah satu proyek daerah Bali sebagai kontraktor PT. WIKA, yang berakhir pada tahun 2019. Penulis lalu melanjutkan kuliah kembali di ITS, pada Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelolaan Dan Pemeliharaan Bangunan Sipil, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, dan berhasil masuk sebagai mahasiswi kelas RPL angkatan 2019.