

PERANCANGAN STRUKTUR DERMAGA CURAH CAIR TIPE DOLPHIN DI TERMINAL BBM BIAK, PELABUHAN BIAK, KABUPATEN BIAK NUMFOR, PROVINSI PAPUA

Riri Farhan Kurniawan¹ dan Rildova, Ph.D²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha No.10, Bandung 40132

¹ririfarhan128@gmail.com dan ²rildova@ocean.itb.ac.id

Abstrak: Indonesia adalah negara kepulauan yang sebagian besar wilayahnya adalah laut. Hal ini menjadikan sarana transportasi laut memiliki peranan penting dalam pendistribusian barang atau komoditas yang diperlukan dalam kehidupan sehari-hari, salah satunya Bahan Bakar Minyak (BBM). Untuk meningkatkan pendistribusian BBM ke/dari Papua, direncanakan pembangunan dermaga curah cair baru pada Terminal Bahan Bakar Minyak (TBBM) Biak milik PT. Pertamina yang berlokasi di Pelabuhan Biak, Kabupaten Biak Numfor, Provinsi Papua. Dermaga ini direncanakan dapat menampung kapal MT Karmila dengan kapasitas 6500 DWT.

Tugas akhir ini membahas desain struktur dermaga curah cair dengan jenis dolphin dengan struktur yang terdiri dari *loading platform*, *trestle*, *breasting dolphin*, *mooring dolphin*, dan *catwalk*. Struktur dermaga didesain berdasarkan kriteria desain dan standar yang berlaku dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan dan beban-beban yang terjadi pada dermaga yang terdiri dari beban mati, beban hidup, beban operasi, beban berthing, beban mooring, dan beban lingkungan. Tugas akhir mencakup penentuan layout dermaga, dimensi dermaga, dimensi elemen struktural, pemodelan struktur, penulangan elemen struktur, dan perhitungan daya dukung tanah.

Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 untuk mengetahui kemampuan struktur terhadap beban yang bekerja pada struktur. Hasil dari pemodelan tersebut adalah nilai Unity Check Ratio (UCR), defleksi, gaya dalam, dan reaksi perletakan. Perubahan model dilakukan hingga mendapatkan desain yang optimum serta nilai UCR dan defleksi yang memenuhi kriteria. Gaya dalam digunakan sebagai dasar dari desain penulangan elemen struktur sedangkan reaksi perletakan digunakan sebagai dasar dari analisis daya dukung tanah.

Hasil dari tugas akhir ini adalah desain rencana yang terdiri dari dimensi dermaga, dimensi elemen struktural dermaga, penulangan elemen struktural dermaga, dan kedalaman pemancangan tiang pancang dermaga.

Kata kunci: *Desain Struktur, Dermaga, Curah Cair, Dolphin*

Abstract: Indonesia is an archipelagic country that most of the Indonesia's territory is sea. Therefore, sea transportation in this country has an important role at distribution, one of which is oil fuel. A new liquid berth at Biak Oil Fuel Terminal that located in Biak Port, Biak Numfor

District, Papua, is designed to improve oil fuel distribution to/from Papua. This berth designed to accommodate MT Karmila Ship with 6500 DWT capacity.

This report discusses about structural design of the dolphin type liquid berth that consist of loading platform, trestle, breasting dolphin, mooring dolphin, and catwalk. Berth structure designed based on applicable design criteria and standar by considering environmental condition and load that worked to the berth consist of dead load, live load, operation load, berthing load, mooring load, and environmental load. Scope of this report are determinating the berth layout and dimension, structure modelling, reinforcement of the structural element, and soil bearing capacity analysis.

SAP200 is used to perform structure modelling to determine the ability of the structure to withstand the loads that worked. Output of the modelling is Unity Check Ratio (UCR), deflection, internal forces, and placement reaction. Optimization and modification made to get the optimal design as the UCR and deflection meet the criteria. Internal forces is used to calculating the reinforcement of structural element whereas the placement reaction is used to calculating the soil bearing capacity analysis.

The result of this report is a berth design consist of berth dimension, berth structural element dimension, structural element reinforcement, and soil bearing capacity.

Keywords: Structural Design, Berth, Liquid Bulk, Dolphin

I. PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan wilayah perairan seluas 71% dari keseluruhan wilayah Indonesia, yaitu mencapai 5,8 juta km². Oleh karena itu, pelabuhan memiliki peran penting di negara kepulauan seperti Indonesia yang sebagian besar pulaunya terpisahkan oleh perairan atau laut.

Pelabuhan Biak merupakan salah satu pelabuhan yang berada di Kabupaten Biak, Papua. Pelabuhan ini dikelola oleh Pelindo IV dan termasuk ke dalam jenis pelabuhan umum yang melayani berbagai jenis kargo, salah satunya kargo curah cair. PT. Pertamina merupakan salah satu perusahaan yang memiliki Terminal Bahan Bakar Minyak (TBBM) di pelabuhan ini. Untuk meningkatkan pendistribusian BBM ke Papua, direncanakan pembangunan dermaga curah cair baru pada TBBM Biak milik PT. Pertamina.

METODOLOGI

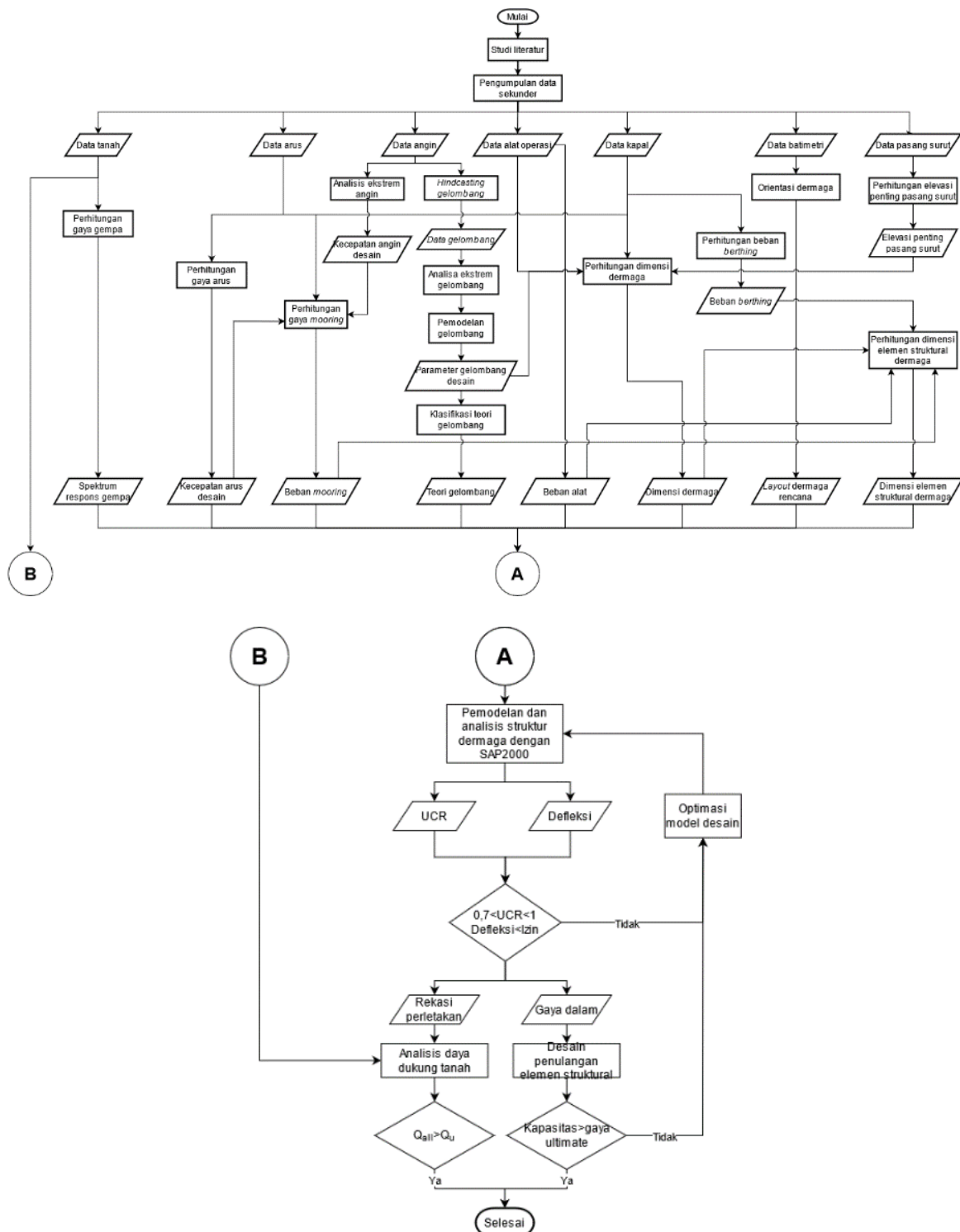
Pengerjaan tugas akhir diawali dengan kajian literatur mengenai perencanaan dermaga curah cair. Setelah itu, dilakukan

pengumpulan data sekunder yang terdiri dari data pasang surut, arus, angin, tanah, batimetri, kapal, dan alat operasi. Data ini kemudian diolah untuk dijadikan sebagai dasar dalam perhitungan beban dan dimensi dermaga. Perhitungan beban yang terjadi pada dermaga antara lain beban *berthing*, beban *mooring*, beban lingkungan, dan beban vertikal.

Hasil dari perhitungan pembebanan pada dermaga dan data sekunder akan dijadikan dasar untuk penentuan dimensi awal geometri dermaga dan elemen struktural dermaga untuk selanjutnya dimodelkan pada SAP2000. Pemodelan dermaga ini memberikan *output* berupa UCR dan defleksi yang harus memenuhi kriteria yang telah ditentukan. Jika kedua kriteria tersebut belum memenuhi, maka perlu dilakukan optimasi atau perubahan desain.

Jika UCR dan defleksi sudah memenuhi kriteria yang ditentukan, output pemodelan berupa gaya dalam akan diambil untuk perhitungan dalam perencanaan penulangan elemen struktur sedangkan reaksi perletakan akan diambil untuk perhitungan daya dukung

tanah. Diagram alir metodologi pengerjaan tugas akhir ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Diagram Alir Metodologi Penulisan Tugas Akhir

II. TEORI DASAR

BEBAN ARUS

Beban arus dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A u^2$$

Keterangan:

F_D : gaya seret/drag (N)

ρ : massa jenis air laut
 C_D : koefisien seret
 A : luas proyeksi struktur arah arus (m^2)
 u : kecepatan arus (m/s)

BEBAN MATI

Beban mati secara umum dihitung dengan mengalikan volume dan massa jenis bendanya seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$W = \rho \times g \times V$$

Keterangan:

W : berat benda (N)
 V : volume benda (m^3)
 ρ : massa jenis benda (kg/m^3)
 g : percepatan gravitasi ($= 9,81 \text{ m/s}^2$)

BEBAN BERTHING

Beban *berthing* merupakan reaksi yang diberikan *fender* yang digunakan saat kapal berlabuh. Parameter yang digunakan dalam pemilihan *fender* adalah energi abnormal yang dihasilkan saat kapal berlabuh dan menumbuk *fender*. Energi abnormal merupakan perkalian dari energi *berthing* dan faktor keamanan. Energi *berthing* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$E_f = \left(\frac{M_S V^2}{2} \right) C_e C_m C_s C_c$$

Keterangan:

E_f : *berthing energy* (kJ = kN.m)
 M_S : *displacement tonnage* (ton)
 V : kecepatan berlabuh kapal (m/s)
 C_e : koefisien eksentrisitas
 C_m : koefisien massa semu
 C_s : koefisien kekasaran (bernilai 1)
 C_c : koefisien konfigurasi labuh (bernilai 1)

BEBAN MOORING

Beban *mooring* adalah beban yang terjadi karena adanya arus dan angin saat kapal bertambat. Beban *mooring* merupakan penjumlahan beban akibat angin dan arus pada suatu arah (transversal atau longitudinal). Beban *mooring* akibat angin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R_{TW} = \frac{1}{2} \rho_A U^2 A_L C_y$$

$$R_{LW} = \frac{1}{2} \rho_A U^2 A_T C_x$$

Keterangan:

R_{TW} : beban angin arah transversal (N)
 R_{LW} : beban angin arah longitudinal (N)
 C_y : koefisien seret angin arah transversal
 C_x : koefisien seret angin arah longitudinal
 ρ_A : massa jenis udara ($1,23 \text{ kg/m}^3$)
 A_T : luas proyeksi kapal arah transversal di atas permukaan air (m^2)
 A_L : luas proyeksi kapal arah longitudinal di atas permukaan air (m^2)
 U : kecepatan angin (m/s)

Beban *mooring* akibat arus dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R_{TC} = 0,5 \rho C V_y^2 B$$

$$R_{LC} = 0,0014 S V_x^2$$

Keterangan:

R_{TC} : beban arus arah transversal (N)
 R_{LC} : beban arus arah longitudinal (N)
 S : luas permukaan kapal di muka air (m^2)
 V_y : kecepatan arus arah transversal (m/s)
 V_x : kecepatan arus arah longitudinal (m/s)
 ρ : massa jenis air laut (1025 kg/m^3)
 C : koefisien tekanan arus
 B : proyeksi samping kapal terendam (m^2)

KRITERIA PENULANGAN LENTUR

Penulangan lentur dilakukan untuk mengatasi kelemahan beton yang tidak kuat terhadap gaya tarik. Kriteria momen lentur yang perlu dipenuhi setelah dilakukan penulangan lentur terhadap elemen struktur ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut.

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Keterangan:

M_n : momen lentur nominal (kN-m)
 M_u : momen lentur *ultimate* (kN-m)
 C_c : tegangan tekan (MPa)

T : tegangan tarik (MPa)
 a : tinggi daerah tekan ekuivalen (mm)
 A_s : luas total penampang tulangan (mm²)
 f_y : tegangan leleh baja (MPa)
 f'_c : kuat tekan beton (MPa)
 b : lebar penampang beton (mm)

KRITERIA PENULANGAN GESER

Penulangan geser dilakukan terhadap elemen yang tidak mampu menahan gaya geser pada elemen tersebut. penulangan geser perlu dilakukan terhadap elemen yang mengalami gaya geser lebih besar dari setengah kali kapasitas geser beton. Kriteria yang perlu dipenuhi setelah penulangan geser dilakukan ditunjukkan sebagai berikut.

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_n = V_c + V_s$$

Keterangan:

V_c : kapasitas geser beton (N)
 V_n : kapasitas geser penampang (N)
 V_s : kapasitas geser baja (N)
 V_u : gaya geser *ultimate* (N)
 ϕ : faktor reduksi kekuatan geser (0,75)
 V_n : kuat geser nominal (N)

DAYA DUKUNG TANAH

Daya dukung tanah dilakukan untuk mengetahui kedalaman pemancangan tiang pancang yang diperlukan. Daya dukung tanah dilakukan untuk arah lateral dan aksial. Daya dukung aksial untuk tanah pasir dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_p = A_p q' N_q^*$$

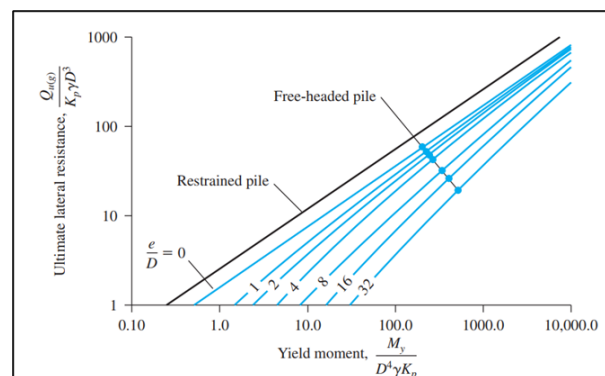
$$Q_s = K p L \sigma'_o \tan (0,8 \phi')$$

Keterangan:

Q_u : daya dukung batas tanah (N)
 Q_p : daya dukung ujung tiang pancang (N)
 Q_s : daya dukung friksi tiang (N)
 Q_p : kapasitas ujung tanah *ultimate* (N)
 A_p : luas permukaan ujung tiang (m²)

q' : tegangan vertikal efektif ujung tiang ($\frac{N}{m^2}$)
 N_q^* : faktor kapasitas ujung tanah untuk tegangan vertikal efektif
 ΔL : panjang segmen tiang tinjauan (m)
 p : keliling penampang tiang pancang (m)
 K : koefisien tekanan tanah efektif
 σ'_o : tegangan efektif tanah segmen tinjauan
 ϕ' : nilai sudut geser friksi efektif

Daya dukung tanah lateral untuk tanah jenis pasir dapat dihitung dengan menggunakan grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Grafik Penentuan Daya Dukung Tanah Lateral Tanah Pasir

III. HASIL DAN ANALISIS

DATA SEKUNDER

a. Data Pasang Surut

Data pasang surut diperoleh dari PT Pertamina yang merupakan hasil pengukuran dan pengolahan dari PT Surveyor Indonesia. Dari hasil peramalan yang dilakukan selama 18,6 tahun, didapat nilai tunggang pasang surut sebesar **2,24 m**.

b. Data Arus

Data arus merupakan data milik PT Pertamina yang merupakan hasil survei dari PT Surveyor Indonesia. Data kecepatan arus diambil selama 31 hari dan nilai kecepatan arus maksimum adalah sebesar **0,66 m/s**.

c. Data Angin dan Gelombang

Data angin merupakan data milik PT Pertamina yang diambil pada tahun 2008-2017 dan bersumber dari BMKG. Nilai kecepatan angin maksimum dari hasil analisis ekstrem dengan periode ulang 50 tahun adalah sebesar **13,6 m/s**.

Data angin digunakan dalam proses *hindcasting* untuk mendapatkan data gelombang. Dilakukan analisis ekstrem pada data gelombang untuk mendapatkan nilai tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang 50 tahun untuk selanjutnya dilakukan pemodelan gelombang. Didapatkan nilai tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang 50 tahun adalah sebesar **2,14 m** dengan periode sebesar **6,43 detik**.

d. Data Tanah

Data tanah yang digunakan adalah data N-SPT yang merupakan hasil survei PT Surveyor Indonesia pada bulan Oktober 2018. Nilai N-SPT tanah dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Nilai N-SPT Tanah

Kedalaman (m)	N-SPT	Profil Tanah
2	13	Silty gravel with sand
4	20	
6	13	Silty sand
8	11	
10	12	Poorly graded sand with
12	10	
14	8	Poorly graded sand
16	6	
18	6	
20	12	Silty sand
22	22	
24	10	Silty sand with gravel
26	77	
28	60	
30	60	Well graded sand with silt

e. Data Kapal

Kapal terbesar yang direncanakan dapat bersandar pada dermaga adalah kapal MT Karmila dengan kapasitas 6500 DWT dan panjang kapal 105 m.

f. Data Operasional

Pipa penyalur yang digunakan untuk menyalurkan muatan curah cair adalah pipa jenis API 5L dengan diameter 323,85 mm dan ketebalan 5,56 mm.

Loading arm yang digunakan untuk mengalirkan fluida dari tangki kapal ke pipa penyalur adalah *loading arm* dengan jenis B0300 dengan kapasitas 8" dan memiliki berat sebesar 87 kN.

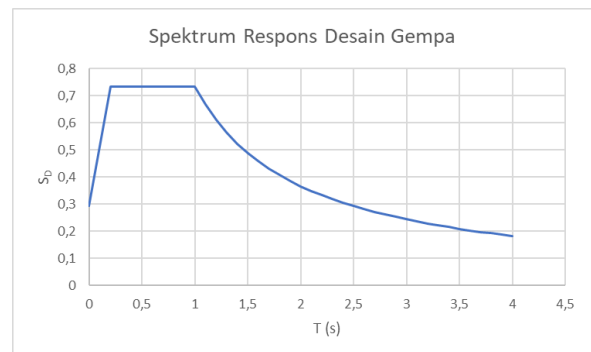
PEMBEBANAN STRUKTUR

a. Beban Arus

Beban arus dihitung berdasarkan nilai kecepatan arus sebesar 0,66 m/s dan diameter tiang pancang yang digunakan.

b. Beban Gempa

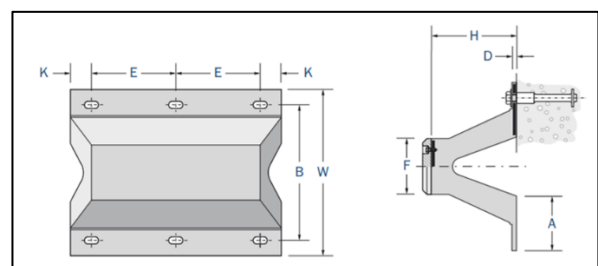
Beban gempa dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung atau Non Gedung. Didapatkan spektrum gempa pada lokasi dermaga seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Spektrum Respons Gempa Lokasi Dermaga Rencana

c. Beban *Berthing*

Energi abnormal *berthing* yang bekerja akibat kapal yang berlabuh dengan kapasitas 6500 DWT adalah sebesar 34,14 kN-m. Dari nilai energi abnormal tersebut, dipilih *fender* jenis *arch fender* dengan kode ANP 250 yang dipasang sepanjang 3,2 m dan gaya reaksi yang dihasilkan adalah sebesar **473,6 kN**. Ilustrasi *fender* jenis ANP ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 2 Fender Tipe ANP

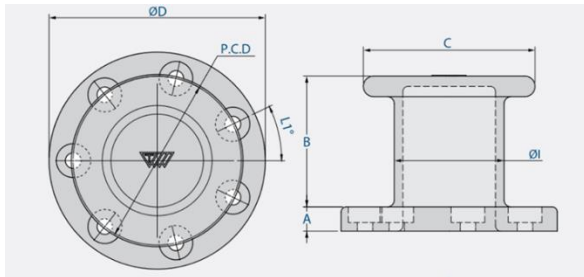
d. Beban *Mooring*

Beban *mooring* dihitung berdasarkan arus dan angin pada arah transversal dan longitudinal saat kapal bertambat. Beban *mooring* maksimal yang terjadi pada *bollard* adalah sebesar 44,04 ton dan dipilih *bollard* jenis *pillar* dengan kapasitas 50 ton. Beban yang terjadi pada masing-masing jenis tali *mooring* ditunjukkan pada **Tabel 2** dan

ilustrasi bollard jenis *pillar* ditunjukkan pada **Gambar 5**.

Tabel 2 Beban yang Bekerja pada Tali *Mooring*

Jenis Tali	Beban <i>Mooring</i> (kN)		
	X	Y	Z
<i>Spring lines</i>	483,05	85,17	424,78
<i>Breast lines</i>	0	490,5	424,78
<i>Head/Stern lines</i>	346,83	346,83	424,78



Gambar 5 Bollard Tipe *Pillar*

e. Beban Mati

Beban mati struktural selain *pile cap* dihitung secara otomatis oleh perangkat lunak SAP2000. Beban *pile cap* dihitung dengan mengalikan volume *pile cap* dengan massa jenis beton.

Beban mati *superimposed* ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Beban Mati *Superimposed*

Elemen	Beban	Satuan
<i>Fender</i>	2,82	kN
<i>Bollard</i>	3,21	kN
<i>Handrail</i>	0,38	kN
Pipa	0,43	kN/m
<i>Loading arm</i>	80	kN

f. Beban Hidup

Beban hidup ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Beban Hidup

Elemen	Beban	Satuan
Manusia	5	kN/m ²
Operasi	20	kN/m ²
Muatan pipa	0,69	kN/m

STRUKTUR DERMAGA

a. Dimensi Umum

Kedalaman perairan dan elevasi struktur dermaga disesuaikan dengan kondisi lingkungan

dan dimensi kapal yang akan berlabuh. Dimensi *loading platform*, *catwalk*, dan *trestle* disesuaikan dengan kebutuhan operasi di atas strukturnya sedangkan *mooring dolphin* dan *breasting dolphin* disesuaikan dengan jumlah dan ukuran tiang pancang yang digunakan sedangkan jarak antar *mooring dolphin* dan jarak antar *breasting dolphin* dihitung berdasarkan ukuran kapal yang bertambat. Dimensi umum dermaga ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5 Dimensi Umum Dermaga

Parameter	Dimensi (m)
Elevasi dermaga	3,9
Kedalaman perairan	6,8
Dimensi <i>loading platform</i>	12 x 12
Dimensi <i>trestle</i>	8 x 80
Dimensi <i>catwalk</i>	1,2 x 30
	1,2 x 15
Jarak <i>breasting dolphin</i>	32
Jarak <i>mooring dolphin</i>	35

b. Dimensi Elemen Struktural

Dimensi elemen struktural dermaga dihitung berdasarkan beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Dimensi elemen struktural dermaga ditunjukkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Dimensi Elemen Struktural Dermaga

Struktur	Elemen	Dimensi
<i>Loading platform</i>	Balok	4000 mm x 700 mm x 350 mm
	Pelat	4000 mm x 4000 mm x 160 mm
	Tiang pancang	OD 508 mm; WT 11,13 mm
	<i>Pile cap</i>	1100 mm x 1100 mm x 1200 mm
<i>Trestle</i>	Balok memanjang	5000 mm x 550 mm x 275 mm
	Balok membentang	4000 mm x 550 mm x 275 mm
	Pelat	5000 mm x 4000 mm x 170 mm
	Tiang pancang	OD 508 mm; WT 7,92 mm
	<i>Pile cap</i>	1000 mm x 1000 mm x 1200 mm
<i>Catwalk</i>	Balok primer	H400x200
	Balok sekunder	T50x50
	Pelat	A205/1; Span 1200 mm
	Tiang pancang	OD 406,4 mm; WT 7,11 mm
	<i>Pile cap</i>	1300 mm x 1100 mm x 1100 mm
<i>Breasting dolphin</i>	Tiang pancang	OD 609,6 mm; WT 12,7 mm
	<i>Pile cap</i>	4800 mm x 4800 mm x 3200 mm
<i>Mooring dolphin</i>	Tiang pancang	OD 508 mm; WT 14 mm
	<i>Pile cap</i>	4800 mm x 4800 mm x 2000 mm

c. Pemeriksaan UCR dan Defleksi

UCR yang terjadi pada struktur dianggap memenuhi dan optimum jika nilai maksimum UCR berada pada rentang 0,7 hingga 1,0. Seluruh nilai UCR maksimum memenuhi

kriteria dan telah optimum. Namun, balok primer *catwalk* karena memiliki nilai UCR kurang dari 0,7 karena dimensinya ditentukan oleh defleksi. Nilai UCR maksimum untuk setiap struktur ditunjukkan pada **Tabel 7**.

Tabel 7 Nilai UCR Setiap Struktur

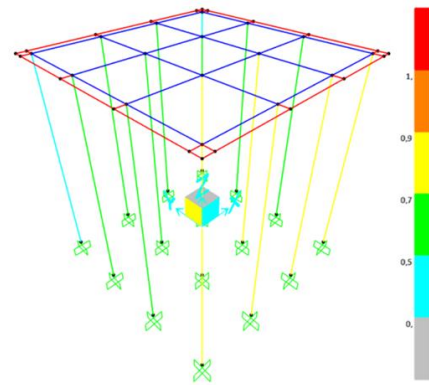
Struktur	UCR Maks
<i>Loading platform</i>	0,79
<i>Trestle</i>	0,74
<i>Breasting dolphin</i>	0,91
<i>Mooring dolphin</i>	0,94
<i>Catwalk</i> (balok primer)	0,63
<i>Catwalk</i> (balok sekunder)	0,87
<i>Catwalk</i> (tiang pancang)	0,85

Tabel 8 Nilai Defleksi Setiap Struktur

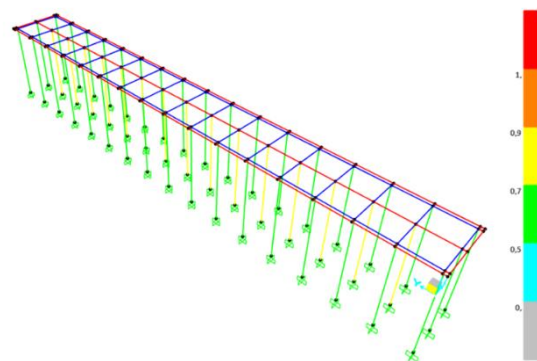
Struktur	Beban	Defleksi Maks. (cm)	Defleksi Izin (cm)
<i>Loading platform</i>	Kolom sementara	6,56	6,7
	Kolom tetap	0,38	2,7
	Balok	0,042	1,7
<i>Trestle</i>	Kolom sementara	5,77	6,67
	Kolom tetap	0,14	2,67
	Balok pendek	0,034	1,7
	Balok panjang	0,054	2,1
<i>Breasting dolphin</i>	Kolom sementara	5,6	6,78
	Kolom tetap	0,065	2,71
<i>Mooring Dolphin</i>	Kolom sementara	5,23	6,7
	Kolom tetap	0,049	2,7
<i>Catwalk</i>	Balok primer	5,89	6,25
	Balok sekunder	0,33	0,5

Defleksi yang terjadi pada struktur memenuhi kriteria jika nilai defleksi maksimum kurang dari defleksi yang diizinkan terjadi. Seluruh defleksi yang terjadi pada struktur telah memenuhi kriteria defleksi izin seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 8**.

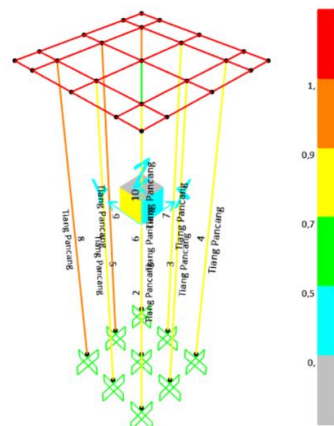
Kontur rentang UCR untuk setiap struktur ditunjukkan pada **Gambar 6** sampai **Gambar 11**.



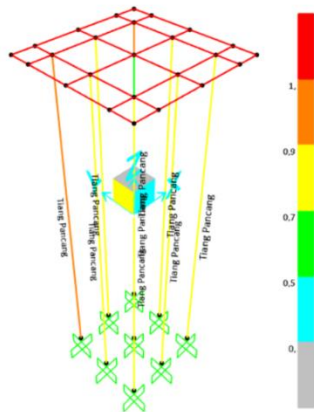
Gambar 6 UCR Tiang Pancang *Loading Platform*



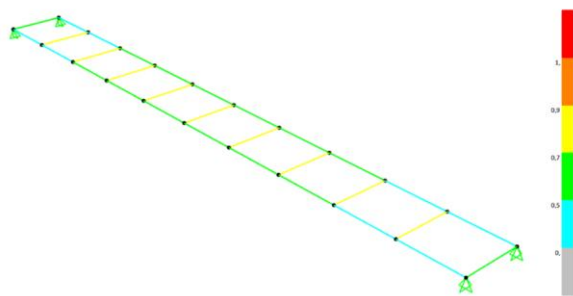
Gambar 7 UCR Tiang Pancang *Trestle*



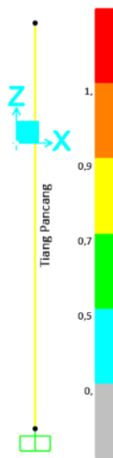
Gambar 8 UCR Tiang Pancang *Breasting Dolphin*



Gambar 9 UCR Tiang Pancang Mooring Dolphin



Gambar 10 UCR Balok Catwalk



Gambar 11 UCR Tiang Pancang Catwalk

d. Gaya Dalam

Gaya dalam digunakan desain penulangan elemen struktur. Gaya dalam maksimum struktur ditunjukkan pada **Tabel 9** untuk balok, **Tabel 10** untuk Pelat, dan **Tabel 11** untuk tiang pancang.

Tabel 9 Nilai Gaya Dalam Maksimum Balok Struktur

Struktur	V2 Maks. (kN)	M2+ Maks. (kN-m)	M2- Maks. (kN-m)
Loading platform	203,07	234,96	-266,36
Trestle (memanjang)	84,69	157,21	-181,68
Trestle (membentang)	76,11	119,33	-133,19

Tabel 10 Nilai Gaya Dalam Maksimum Pelat Struktur

Struktur	M11+ Maks. (kN-m/m)	M11- Maks. (kN-m/m)	M22+ Maks. (kN-m/m)	M22- Maks. (kN-m/m)
Loading platform	10,22	-9,02	8,35	-7,85
Trestle	15,29	-14,01	20,04	-19,45
Breasting dolphin	253,45	-311,7	327,57	-398,12
Mooring dolphin	181,47	-240,71	224,02	-276,59

Tabel 11 Nilai Gaya Dalam Maksimum Tiang Pancang Struktur

Struktur	P Maks. (kN)	M2 Maks. (kN-m)	M3 Maks. (kN-m)
Loading platform	203,07	234,96	-266,36
Trestle	-247,67	-206,44	-210,41
Breasting dolphin	-799,69	584,77	446,87
Mooring dolphin	-717,48	-372,71	315,23
Catwalk	-128,25	6,13	6,13

e. Reaksi Perletakan

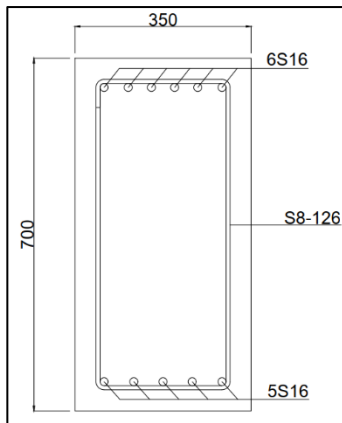
Reaksi perletakan digunakan untuk analisis daya dukung tiang pancang. Reaksi perletakan maksimum struktur ditunjukkan pada **Tabel 12**.

Tabel 12 Nilai Reaksi Perletakan Maksimum Tiang Pancang Struktur

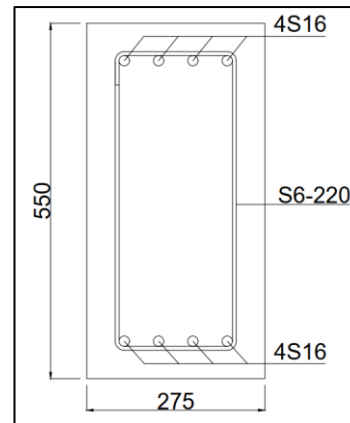
Struktur	P Maks. (kN)	V2 Maks. (kN)	V3 Maks. (kN)
Loading platform	-570,2	35,968	22,335
Trestle	-183,31	21,93	21,292
Breasting dolphin	-553,65	45,04	52,631
Mooring dolphin	-465,69	32,5	-33
Catwalk	-128,25	6,13	6,13

PENULANGAN

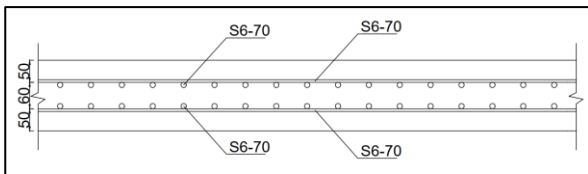
Penulangan elemen struktural terdiri dari balok, pelat, dan *pile cap* untuk *loading platform* dan *trestle* sedangkan untuk *breasting dolphin*, *mooring dolphin*, dan *catwalk* hanya terdiri dari penulangan *pile cap*. Penulangan seluruh elemen struktural ditunjukkan pada **Gambar 12** hingga **Gambar 21**.



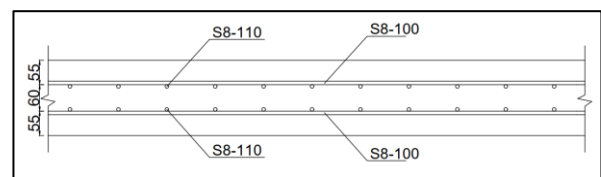
Gambar 12 Detail Penulangan Balok *Loading Platform*



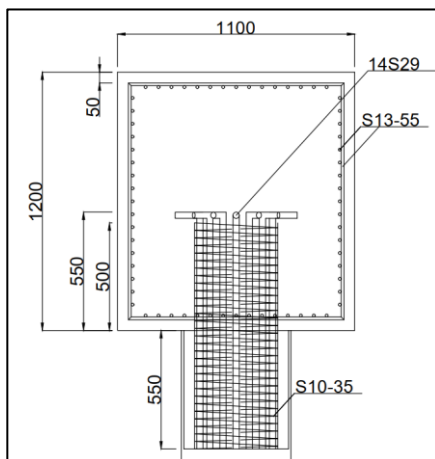
Gambar 16 Detail Penulangan Balok Membentang *Trestle*



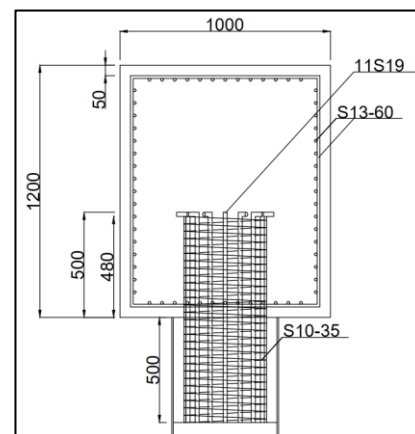
Gambar 13 Detail Penulangan Pelat *Loading Platform*



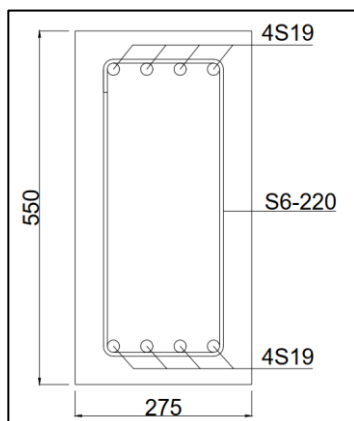
Gambar 17 Detail Penulangan Pelat *Trestle*



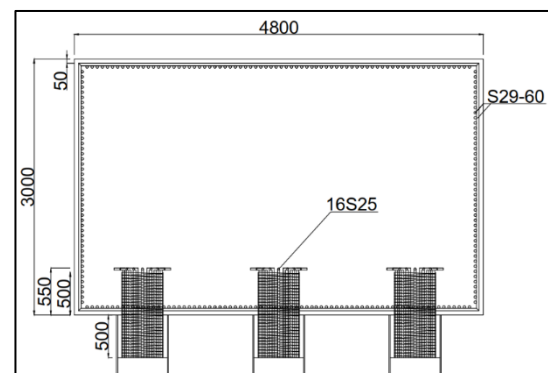
Gambar 14 Detail Penulangan Pile Cap *Loading Platform*



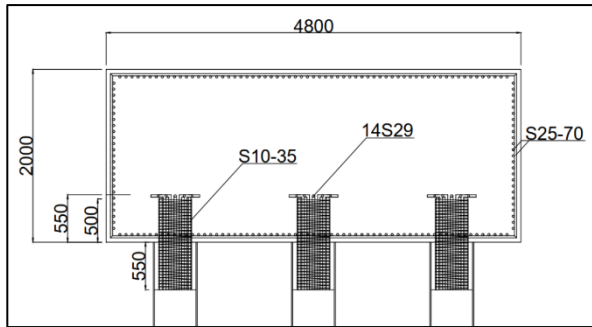
Gambar 18 Detail Penulangan Pile Cap *Trestle*



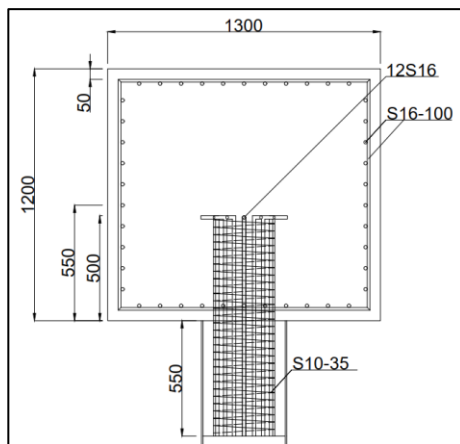
Gambar 15 Detail Penulangan Balok Memanjang *Trestle*



Gambar 19 Detail Penulangan Pile Cap *Breasting Dolphin*



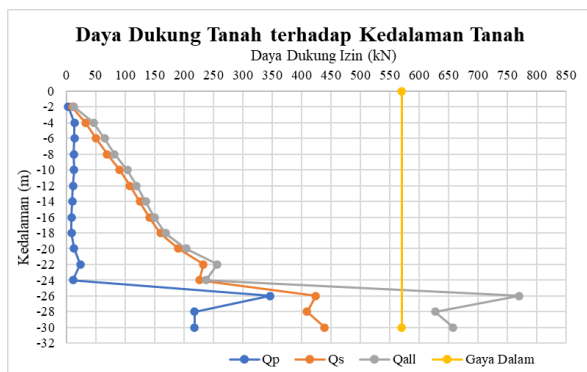
Gambar 20 Detail Penulangan Pile Cap Mooring Dolphin



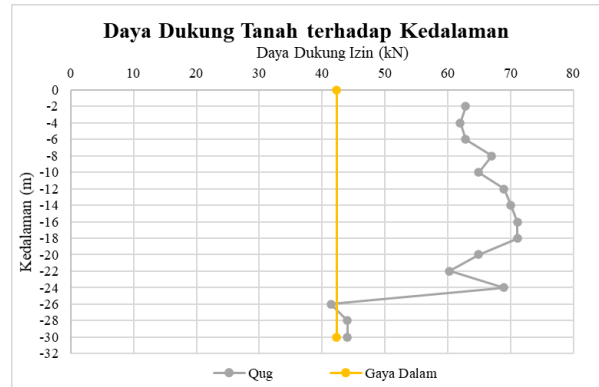
Gambar 21 Detail Penulangan Pile Cap Catwalk

DAYA DUKUNG TANAH

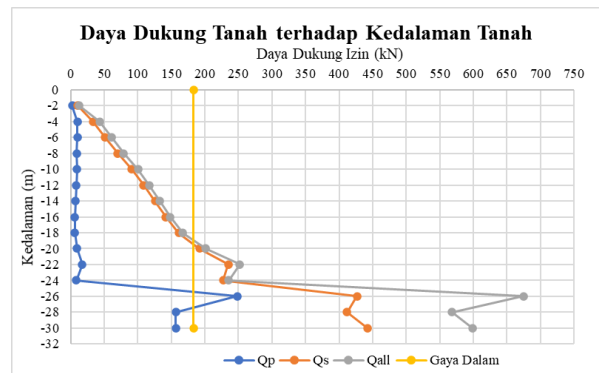
Analisis daya dukung tanah bertujuan untuk mengetahui kedalaman tiang pancang yang diperlukan berdasarkan reaksi perletakan yang terjadi pada tiang pancang. Nilai daya dukung tanah aksial dan lateral setiap tiang pancang struktur ditunjukkan pada **Gambar 22** dan **Gambar 31**.



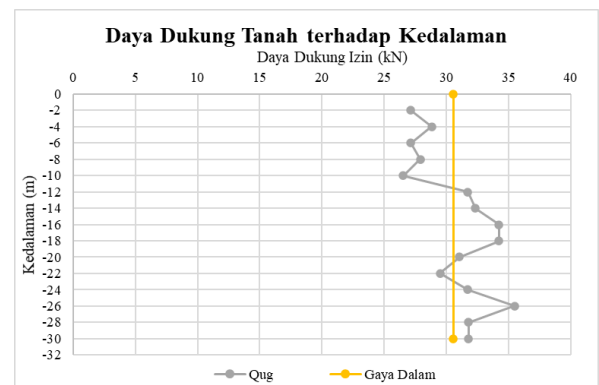
Gambar 22 Grafik Daya Dukung Izin Aksial Loading Platform terhadap Kedalaman Tanah



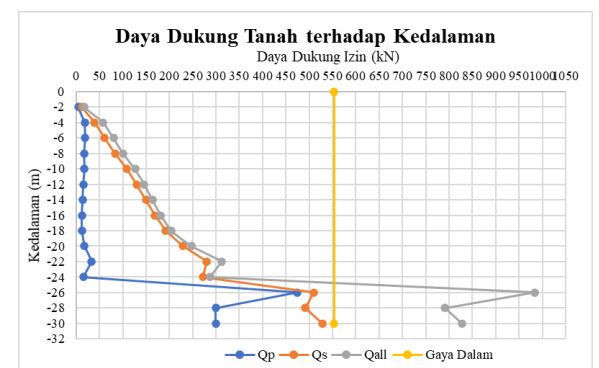
Gambar 23 Grafik Daya Dukung Tanah Lateral Loading Platform terhadap Kedalaman Tanah



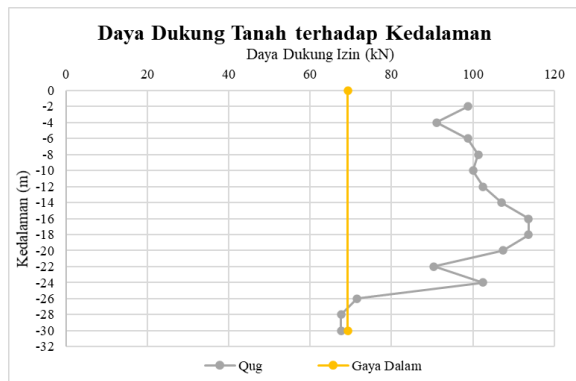
Gambar 24 Grafik Daya Dukung Izin Aksial Trestle terhadap Kedalaman Tanah



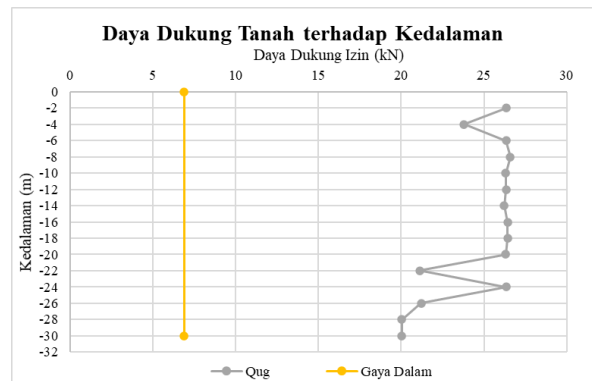
Gambar 25 Grafik Daya Dukung Tanah Lateral Trestle terhadap Kedalaman Tanah



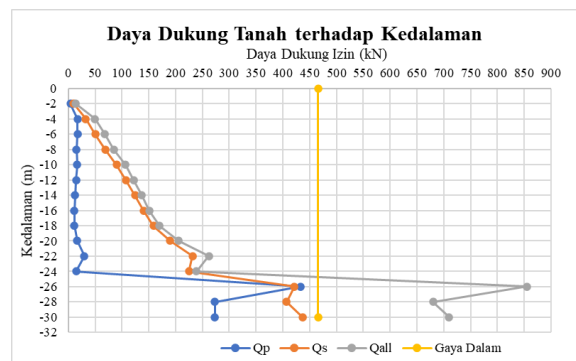
Gambar 26 Grafik Daya Dukung Izin Aksial Breasting Dolphin terhadap Kedalaman Tanah



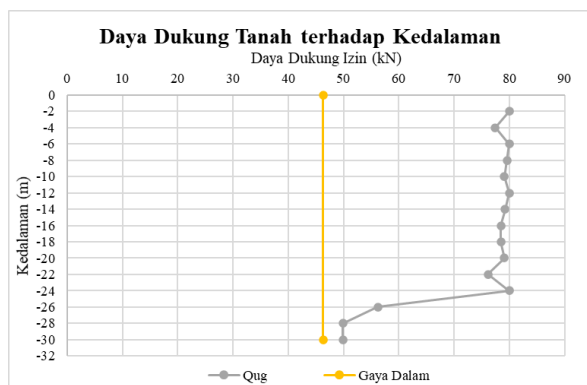
Gambar 27 Grafik Daya Dukung Tanah Lateral *Breasting Dolphin* terhadap Kedalaman Tanah



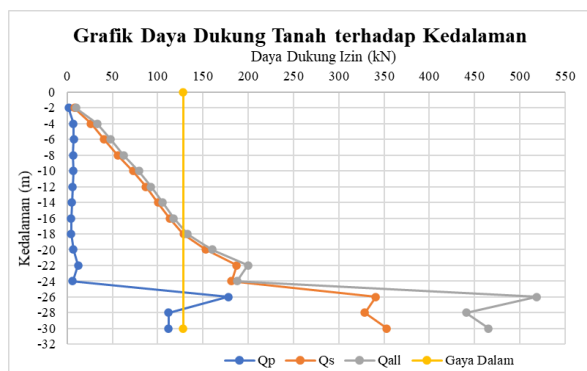
Gambar 31 Grafik Daya Dukung Tanah Lateral *Catwalk* terhadap Kedalaman Tanah



Gambar 28 Grafik Daya Dukung Izin Aksial *Mooring Dolphin* terhadap Kedalaman Tanah



Gambar 29 Grafik Daya Dukung Tanah Lateral *Mooring Dolphin* terhadap Kedalaman Tanah



Gambar 30 Grafik Daya Dukung Izin Aksial *Catwalk* terhadap Kedalaman Tanah

Nilai kedalaman pemancangan tiang pancang struktur ditunjukkan pada **Tabel 13**.

Tabel 13 Nilai Kedalaman Tiang Pancang

Struktur	Kedalaman Pemancangan (m)
<i>Loading platform</i>	25,3
<i>Trestle</i>	18,5
<i>Breasting dolphin</i>	24,76
<i>Mooring dolphin</i>	24,73
<i>Catwalk</i>	17,39

IV. SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

- Dermaga didesain dengan struktur dermaga berjenis *dolphin* dan dirancang untuk melayani kapal MT Karmila (6500 DWT) dengan dimensi struktur sebagai berikut.
 - Satu struktur *loading platform* dengan dimensi 12 m x 12 m,
 - Dua struktur *breasting dolphin* dengan dimensi, 4,8 m x 4,8 m,
 - Dua struktur *mooring dolphin* dengan dimensi 4,8 m x 4,8 m,
 - Satu struktur *trestle* dengan dimensi 80 m x 8 m,
 - Struktur *catwalk* dengan lebar 1,2 m untuk menghubungkan struktur-struktur dermaga *dolphin*,
 - Elevasi struktur dermaga sebesar 3,9 m dari LWS,
 - Kedalaman perairan dermaga sebesar 6,8 m dari LWS.
- Dermaga dirancang untuk dapat menahan:
 - Berat sendiri struktur yang terdiri dari pelat, balok, tiang pancang, dan *pile cap*,

- Beban mati *superimposed* dari komponen fasilitas dermaga yang terdiri dari *bollard*, *fender*, *handrail*, dan pipa,
 - Beban hidup yang terdiri dari beban manusia, beban operasi, dan beban muatan pipa,
 - Beban *berthing* dari kapal rencana,
 - Beban *mooring* dari kapal rencana,
 - Beban lingkungan yang terdiri dari beban gelombang, beban arus, dan beban gempa.
3. Komponen dermaga sebagai fasilitas berlabuh dan bertambat yang digunakan adalah sebagai berikut.
- *Fender* dengan jenis ANP250 E1.0 sepanjang 3,2 m yang merupakan produk dari Trelleborg,
 - *Bollard* dengan jenis *pillar* dengan kapasitas sebesar 50 ton yang merupakan produk dari Trelleborg.
4. Detail elemen struktural *loading platform* adalah sebagai berikut.
- a. Tiang Pancang
 - Diameter : 508 mm
 - Ketebalan : 11,13 mm
 - b. Balok
 - Dimensi: 4 m x 700 mm x 350 mm
 - Tebal selimut beton: 50 mm
 - Tulangan lentur bawah: 5S16
 - Tulangan lentur atas : 6S16
 - Tulangan geser: S8-126 mm
 - c. Pelat
 - Dimensi: 4 m x 4 m x 160 mm
 - Tebal selimut beton : 50 mm
 - Tulangan lentur bawah x: S6-70 mm
 - Tulangan lentur bawah y: S6-70 mm
 - Tulangan lentur atas x: S6-70 mm
 - Tulangan lentur atas y: S6-70 mm
 - d. *Pile Cap*
 - Dimensi: 1,1 m x 1,1 m x 1,2 m
 - Tebal selimut beton: 50 mm
 - Tulangan susut arah x: S13-55 mm
 - Tulangan susut arah y: S13-55 mm
 - Tulangan dowel: 14S29, panjang penyaluran 550 mm
 - Tulangan spiral: S10-35 mm, sambung lewatan 500 mm
5. Detail elemen struktural *trestle* adalah sebagai berikut.
- a. Tiang Pancang
 - Diameter: 508 mm
 - b. *Pile Cap*
 - Ketebalan: 7,92 mm
 - b. Balok Memanjang
 - Dimensi: 4 m x 550 mm x 275 mm
 - Tebal selimut beton: 50 mm
 - Tulangan lentur bawah: 4S19
 - Tulangan lentur atas: 4S19
 - Tulangan geser: S6-220 mm
 - c. Balok Melintang
 - Dimensi: 4 m x 700 mm x 350 mm
 - Tebal selimut beton: 50 mm
 - Tulangan lentur bawah: 4S16
 - Tulangan lentur atas: 4S16
 - Tulangan geser: S6-220 mm
 - d. Pelat
 - Dimensi: 4 m x 5 m x 160 mm
 - Tebal selimut beton: 50 mm
 - Tulangan lentur bawah x: S8-110 mm
 - Tulangan lentur bawah y: S8-110 mm
 - Tulangan lentur atas x: S8-110 mm
 - Tulangan lentur atas y: S8-110 mm
 - e. *Pile Cap*
 - Dimensi: 1 m x 1 m x 1,2 m
 - Tebal selimut beton : 50 mm
 - Tulangan susut arah x: S13-60 mm
 - Tulangan susut arah y: S13-60 mm
 - Tulangan dowel: 11S19, panjang penyaluran 550 mm
 - Tulangan spiral: S10-35 mm, sambung lewatan 500 mm
6. Detail elemen struktural *breasting dolphin* adalah sebagai berikut.
- a. Tiang Pancang
 - Diameter: 609,6 mm
 - Ketebalan: 12,7 mm
 - b. *Pile Cap*
 - Dimensi: 4,8 m x 4,8 m x 3 m
 - Tebal selimut beton : 50 mm
 - Tulangan susut arah x: S29-60 mm
 - Tulangan susut arah y: S29-60 mm
 - Tulangan dowel: 16S25, panjang penyaluran 550 mm
 - Tulangan spiral: S10-35 mm, sambung lewatan 500 mm
7. Detail elemen struktural *mooring dolphin* adalah sebagai berikut.
- a. Tiang Pancang
 - Diameter: 508 mm
 - Ketebalan: 14 mm
 - b. *Pile Cap*
 - Dimensi: 4,8 m x 4,8 m x 2 m

- Tebal selimut beton: 50 mm
- Tulangan susut arah x: S25-70 mm
- Tulangan susut arah y: S25-70 mm
- Tulangan dowel: 14S25, panjang penyaluran 550 mm
- Tulangan spiral: S10-35 mm, sambung lewatan 500 mm

8. Detail elemen struktural *catwalk*

a. Tiang Pancang

- Diameter: 406,4 mm
- Ketebalan: 7,11 mm

b. Balok

- Balok primer: H400x200
- Balok sekunder: T50x50

c. Pelat

- Jenis: *Grating*
- Produk: FTF Manufacturin, dengan kode A205/1
- *Load bar size*: 20 x 5
- Panjang span: 1,2 m

d. *Pile Cap*

- Dimensi: 1,3 m x 1,3 m x 1,2 m
- Tebal selimut beton: 50 mm
- Tulangan susut arah x: S16-100 mm
- Tulangan susut arah y: S16-100 mm
- Tulangan dowel: 12S16, panjang penyaluran 500 mm
- Tulangan spiral: S10-35 mm, sambung lewatan 480 mm

9. Kedalaman pemancangan tiang pancang struktur adalah sebagai berikut.

- *Loading platform*: 18 m
- *Trestle*: 10 m
- *Breasting dolphin*: 14 m
- *Mooring dolphin*: 14 m
- *Catwalk*: 8 m

SARAN

1. Perhitungan secara teoritis disesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan, contohnya desain tulangan yang sebenarnya harus mempertimbangkan proses pemasangannya.
2. Desain dermaga yang lebih detail dapat dilakukan dengan mempertimbangkan aspek biaya.

V. DAFTAR PUSTAKA

American Institute of Steel Construction Inc. 2005. *Steel Construction Manual*. 13th. Chicago: American Institute of Steel Construction Inc.

American Society of Civil Engineering (ASCE). (2010). *ASCE Standard ASCE/SEI 7-10, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Reston: ASCE.

British Standard. (1994). *BS 6349-4:1994*. London: BSI.

British Standard. (2003). *BS 6349-1:2000, Incorporating Amendment No. 1*. London: BSI.

British Standard. (2010). *BS 6349-2:2010, Incorporating Corrigendum No.1*. London: BSI.

Badan Standardisasi Nasional. 2016. *SNI 1725-2016: Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. 2012. *SNI 1726-2012: Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. 2015. *SNI 1729-2015: Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. 2013. *SNI 2847-2013: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Das, Braja M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*. Stamford: Cengage Learning.

Fentek Marine Fendering Systems. 2002. *Fender Catalogue*. Hamburg: Fentek Marine Fendering Systems.

International Navigation Association (PIANC). (2002). *Guidlines for the Design of Fender Systems: 2002*. Brussels: PIANC.

Japanese Industrial Standard. (2008). *JIS G 3192:2008; Dimensions, Mass and Permissible Variations of Hot Rolled Steel Sections*. Tokyo: Japanese Standard Association.

- Panitia Pembaharuan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan. 2002. *Technical Standards and Commentaries For Port and Harbour Facilities in Japan*. 3rd. Disunting oleh Y. Goda, T. Tabata dan S. Yamamoto. Tokyo: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan.
- Trelleborg AB. (2018). *Bollard Product Brochure*. Trelleborg: Trelleborg AB.
- Trelleborg AB. (2019). *Fender Systems Product Brochure*. Trelleborg: Trelleborg AB.
- Thoresen, Carl A. 2014. *Port Designer's Handbook*. London: ICE Publishing.
- Triatmodjo, Bambang. 2009. *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- U.S. Army Corps of Engineer. 1984. *Shore Protection Manual*. 4th. Vol. I. II vol. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2008 Tentang Pelayaran*. (2008).
- Wight, James K., dan James G. MacGregor. 2012. *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. 6th. New Jersey: Pearson Education, Inc.