

PERANCANGAN STRUKTUR DERMAGA KARGO TIPE *DECK ON PILE* DI BALIKPAPAN, PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

Structural Design of Deck on Pile Cargo Dock in Balikpapan, East Kalimantan

Saswina Candrika¹ dan Rildova, Ph.D²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan

Institut Teknologi Bandung

Jln. Ganesa No. 10, Kota Bandung, 40132

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

Abstrak: Sektor minyak bumi di Indonesia merupakan salah satu sektor strategis nasional, dengan total potensi cadangan minyak bumi mencapai kurang lebih 7,500 milyar barel. Di sisi lain, defisit yang terjadi dari selisih produksi dan konsumsi minyak bumi dalam negeri semakin membesar tiap tahunnya. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi peningkatan produksi minyak bumi sebagai solusi dari defisit yang terjadi. Kawasan Balikpapan, Kalimantan Timur merupakan salah satu kawasan strategis dalam mendukung kegiatan eksplorasi dan peningkatan kuantitas produksi minyak bumi. Dalam upaya menunjang kegiatan operasional di kawasan tersebut, dibutuhkan pembangunan ulang struktur dermaga barang (kargo) yang melayani bongkar muat kapal dengan muatan peralatan produksi dan konstruksi. Pembangunan ulang ini dilakukan dengan pertimbangan elevasi struktur dermaga eksisting sudah tidak layak beroperasi berdasarkan kriteria desain struktur yang berlaku.

Lingkup bahasan desain struktur dermaga kargo ini meliputi perancangan dimensi umum dan dimensi elemen struktural dermaga dan *trestle*, pemodelan dan analisis struktur, desain penulangan elemen struktural dermaga dan *trestle*, serta analisis daya dukung tanah. Desain struktur dermaga dirancang untuk mampu melayani kapal kargo umum dengan ukuran 15,000 DWT, sedangkan desain struktur *trestle* dirancang menyesuaikan dengan kontur batimetri pada lokasi rencana. Desain awal struktur dirancang berdasarkan pembebanan dominan yang bekerja pada struktur. Berdasarkan desain awal, dilakukan pemodelan dan analisis struktur menggunakan perangkat lunak SAP2000 hingga mencapai hasil optimum dan memenuhi kriteria desain *unity check ratio* (UCR) pada rentang 0.7 – 1.0 dan defleksi izin struktur. Selanjutnya, dilakukan perancangan penulangan elemen struktural berdasarkan *output* gaya dalam masing-masing elemen struktur serta analisis daya dukung tanah aksial dan lateral berdasarkan reaksi perletakan yang terjadi pada struktur.

Hasil perancangan struktur dermaga kargo ini meliputi dimensi struktur dermaga dengan panjang 172.25 m dan lebar 23 m, serta dimensi struktur *trestle* dengan panjang 178 m dan lebar 10 m. Kedua struktur tersebut memiliki elevasi yang sama, yakni +4.5 m LAT, dengan UCR maksimum untuk struktur dermaga dan struktur *trestle* berturut-turut sebesar 0.8728 dan 0.8078.

Kata Kunci: Dermaga, Trestle, Desain, Struktur

Abstract: The petroleum sector in Indonesia is one of the national strategic sectors, with a total potential of oil reserves reaching around 7,500 billion barrels. On the other hand, the deficit that occur from the gap between domestic oil production and consumption is getting bigger every year. Therefore, a strategy to increase oil production is required as a solution to the current deficit. Balikpapan, East Kalimantan is one of the strategic districts in supporting exploration activities and increasing the quantity of oil production. In order to support operations of refinery production activities, it is necessary to rebuild the structure of the cargo dock that serves the loading-

unloading activities of ships carrying production and construction refinery equipment. This decision was taken with the consideration that the elevation of existing dock structure is no longer feasible to operate based on the applicable structural design criteria.

The scope of cargo dock design consists of determining the design of general and structural elements dimensions of the dock and trestle, structural modelling and analysis, structural reinforcement design, and calculation of soil capacity. The cargo dock is designed to be able to serve general cargo ships 15,000 DWT, while the trestle designed to conform to the bathymetric contours. Preliminary design of the structure is designed based on the dominant load imposed to the structure. Based on the preliminary design, structural modelling and analysis were carried out using SAP2000 to achieve optimum results and meet the design criteria of Unity Check Ratio (UCR) in the range of 0.7 – 1.0 and the allowed deflection of the structure. Furthermore, the concrete reinforcement is designed based on the internal force of the structural elements as well as an analysis of the axial and lateral soil bearing capacity based on the bearing reaction that occurs in the structure.

The result of this cargo dock structure design includes the dimensions of the dock with a length of 172.25 m and a width of 23 m, as well as the dimensions of trestle with a length of 178 m and a width of 10 m. Both structures have the same elevation, which is +4.5 m LAT, with the maximum UCR for the dock and trestle are 0.8728 and 0.8078, respectively.

Keywords: Dock, Trestle, Design, Structure

1. PENDAHULUAN

Sektor industri minyak bumi di Indonesia, yang merupakan negara kepulauan dengan wilayah laut ± 5.8 juta km², tentunya merupakan sektor yang memiliki potensi strategis nasional. Potensi minyak bumi di Indonesia untuk kategori minyak berat atau semi-berat mencapai 1.1 milyar barel (ESDM, 2018). Di sisi lain, setiap tahunnya defisit antara produksi dan konsumsi minyak bumi di Indonesia semakin membesar (WE, 2020). Sebagai upaya mengatasi angka defisit yang setiap tahun semakin membesar, diperlukan adanya peningkatan produksi minyak bumi.

Sebagai implementasi strategi penanganan defisit antara produksi dan konsumsi minyak bumi di Indonesia, pembangunan kilang-kilang minyak baru dan peningkatan kualitas struktur

kilang eksisting digencarkan di berbagai daerah yang berpotensi. Dalam proses pengembangan ini, dibutuhkan beragam struktur penunjang untuk melancarkan keberjalanan konstruksi dan operasional. Salah satunya adalah struktur dermaga barang (kargo) yang melayani kapal dengan muatan peralatan-peralatan konstruksi ataupun produksi.

Kawasan Balikpapan, Kalimantan Timur merupakan salah satu kawasan pengembangan industri minyak bumi yang membutuhkan adanya pembangunan ulang struktur dermaga kargo. Opsi pembangunan ulang ini diambil dengan pertimbangan elevasi struktur eksisting yang sudah tidak memenuhi kriteria elevasi minimum struktur dermaga. Struktur akan dibangun dengan tipe *deck on pile* dengan pertimbangan kondisi tanah yang sangat lunak.

2. METODOLOGI

Perancangan struktur dermaga di Balikpapan, Kalimantan Timur dilakukan dengan melakukan studi literatur terlebih dahulu untuk menentukan kriteria desain dan dasar-dasar penulisan Tugas Akhir ini. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data-data sekunder yang meliputi data pasang surut, data gelombang, data angin, data tanah, data batimetri, data karakteristik kapal, dan data kendaraan operasional dermaga rencana.

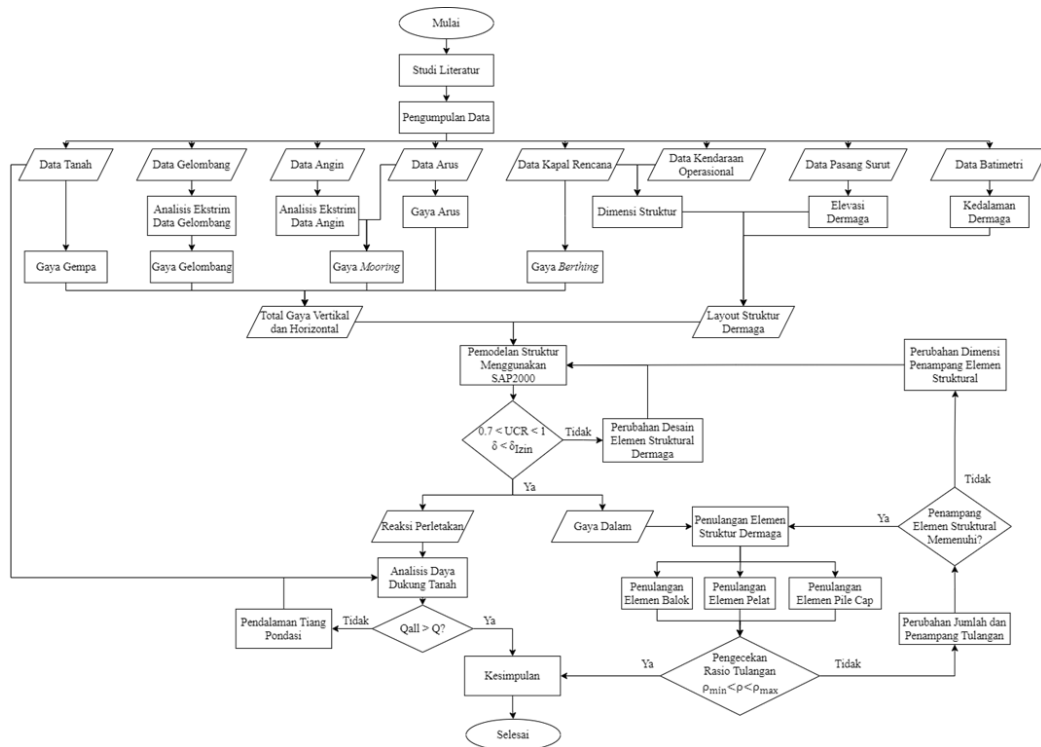
Penentuan dimensi umum dan *layout* dari struktur dermaga didasarkan pada data karakteristik kapal, data kendaraan operasional, data batimetri, dan data pasang surut. Penentuan pembebanan yang bekerja pada struktur didasarkan pada data gelombang, data angin, dan data tanah. Berdasarkan pembebanan yang bekerja pada struktur dermaga, dirancang dimensi elemen struktural dermaga (balok, pelat, tiang pancang, dan *pile cap*) serta spesifikasi komponen *bollard* dan *fender*.

Pemodelan dan analisis kekuatan struktur dilakukan dengan perangkat lunak SAP2000 sesuai dengan kriteria desain yang berlaku. Analisis kekuatan struktur dilakukan dengan memeriksa parameter *unity check ratio* (UCR) dan defleksi dari elemen struktur. Proses desain dilakukan hingga mencapai kriteria desain optimum dengan mengacu kepada nilai UCR

yang berada pada rentang 0.7 – 1.0 serta defleksi yang memenuhi kriteria defleksi izin. Kemudian, hasil pemodelan berupa gaya dalam elemen struktural struktur serta reaksi perletakan akan digunakan sebagai *input* tahap selanjutnya.

Desain penulangan elemen struktural struktur meliputi elemen balok, pelat, dan *pile cap*, dilakukan sesuai kriteria yang berlaku dengan *input* gaya dalam dan dimensi struktural masing-masing elemen. Desain penulangan elemen balok meliputi tulangan lentur, tulangan geser, dan tulangan peminggang. Sedangkan desain tulangan elemen pelat dan *pile cap* hanya meliputi tulangan lentur yang harus memenuhi kriteria rasio tulangan susut minimum. Desain penulangan dowel dan spiral dilakukan untuk beton isi tiang pancang pada bagian *pile cap*. Analisis daya dukung tanah dilakukan dalam arah kerja aksial dan lateral. Kedalaman ujung tiang pancang ditentukan berdasarkan grafik daya dukung tanah terhadap kedalaman dengan *input* reaksi perletakan struktur untuk masing-masing arah kerja beban. Apabila daya dukung izin belum memenuhi, maka perlu dilakukan pendalaman tiang pondasi.

Flowchart metodologi pengerjaan Tugas Akhir ini disajikan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

3. DASAR TEORI

Teori-teori dasar yang digunakan dalam Tugas Akhir ini secara umum membahas mengenai kriteria-kriteria desain dimensi umum struktur dermaga, pembebanan pada dermaga, analisis struktur, desain penulangan, serta analisis daya dukung tanah.

Dimensi Dermaga

Pendefinisian dimensi dermaga meliputi panjang, lebar, elevasi, dan kedalaman perairan dermaga. Kriteria standar yang digunakan untuk penentuan panjang, elevasi, dan kedalaman perairan adalah *OCDI:2002*. Sedangkan, kriteria standar lebar menyesuaikan dengan *Thoresen, C.A:2003*.

Pembebanan Vertikal

Beban vertikal meliputi beban hidup dan beban mati. Beban hidup menyesuaikan dengan jenis

dermaga dan mengikuti kriteria pada *Thoresen, C.A:2003*. Beban mati menyesuaikan dengan beban seluruh fasilitas tetap struktur di luar elemen balok, pelat, dan tiang pancang.

Pembebanan Horizontal

Beban horizontal meliputi beban *berthing* dan beban *mooring*. Keduanya didefinisikan sesuai dengan kriteria *OCDI:2002*. Beban *berthing* diperhitungkan dengan Persamaan 3.1.

$$E_N = \frac{1}{2} \times M_s V^2 C_E C_M C_S C_C \quad 3.1$$

Dengan,

- E_N : energi *berthing* normal (kJ)
- M_s : *displacement tonnage* (ton)
- V : kecepatan berlabuh kapal (m/s)
- C_E : koefisien eksentrisitas
- C_M : koefisien massa semu
- C_S : koefisien kekasaran
- C_C : koefisien konfigurasi tambat

Beban *mooring* merupakan total penjumlahan beban akibat angin dan arus. Masing-masing diperhitungkan dengan Persamaan 3.2 untuk beban *mooring* akibat angin, dan Persamaan 3.3 untuk beban *mooring* akibat arus.

$$\begin{aligned} R_{TW} &= 0.5\rho_A A_L U^2 C_Y \\ R_{LW} &= 0.5\rho_A A_T U^2 C_X \end{aligned} \quad 3.2$$

$$\begin{aligned} R_{TC} &= 0.5\rho_{sw} C V^2 B_C \\ R_{LC} &= 0.0014 S V^2 \end{aligned} \quad 3.3$$

Dengan,

- R_{TW} : gaya angin transversal (kN)
- R_{LW} : gaya angin longitudinal (kN)
- C_X : koefisien gaya seret arah X
- C_Y : koefisien gaya seret arah Y
- ρ_A : massa jenis udara (kg/m^3)
- A_T : luas proyeksi kapal arah transversal (m^2)
- A_L : luas proyeksi kapal arah longitudinal (m^2)
- U : kecepatan angin di ketinggian 10 m di atas permukaan air (m/s)
- R_{TC} : gaya arus trasversal (kN)
- R_{LC} : gaya arus longitudinal (kN)
- C : koefisien tekanan gaya arus
- S : luas area permukaan basah (m^2)
- ρ_{sw} : massa jenis air laut (kg/m^3)
- V : kecepatan arus (m/s)
- B_C : luas proyeksi area sisi samping kapal yang terendam (m^2)

Pembebanan Lingkungan

Beban lingkungan meliputi beban gelombang, beban angin, dan beban gempa. Beban gelombang didefinisikan sesuai dengan teori gelombang yang relevan, beban arus didefinisikan dengan persamaan Morison, dan beban gempa didefinisikan sesuai dengan

respons spektrum gempa sesuai dengan SNI 1726-2012.

Analisis Struktur

Analisis struktur dilakukan dengan memeriksa kriteria nilai *unity check ratio* (UCR) dan defleksi struktur. Kriteria desain yang perlu dipenuhi meliputi nilai UCR harus kurang dari 1.0, dan nilai defleksi harus memenuhi defleksi izin berdasarkan material dan kombinasi beban yang bekerja.

Desain Penulangan

Desain penulangan menyesuaikan dengan kriteria pada SNI 03-2847-2013. Desain penulangan yang akan dilakukan meliputi tulangan lentur, geser, susut (peminggang), dowel, dan spiral.

Analisis Daya Dukung Tanah

Analisis daya dukung tanah dilakukan dalam arah kerja aksial dan lateral. Keduanya dilakukan dengan menyesuaikan kategori kondisi tanah pada lokasi rencana. Kedalaman ujung tiang pancang ditentukan berdasarkan grafik daya dukung tanah terhadap kedalaman dengan *input* reaksi perletakan struktur untuk masing-masing arah kerja beban. Kedalaman ujung tiang pancang yang digunakan merupakan nilai maksimum dari kedua analisis tersebut.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis dan pembahasan dibagi ke dalam 5 (lima) bagian, meliputi data-data sekunder, penentuan dimensi struktur, analisis kekuatan

struktur, desain penulangan, serta analisis daya dukung tanah.

Data Sekunder

Data Pasang Surut

Data pasang surut didapatkan dari survey *metocean* pada kawasan pembangunan dermaga rencana. Pengamatan pasang surut dilakukan dalam rentang 9 Mei – 12 Juni 2016. Berdasarkan klasifikasi dengan *formzhal number*, diketahui tipe pasang surut termasuk dalam klasifikasi *semi-diurnal*. Dengan menggunakan *Australian tides manual formula*, ditentukan nilai elevasi-elevasi penting serta nilai tunggang pasang sebesar 3.17 m.

Data Arus

Data arus didapatkan dari survey *metocean* pada kawasan pembangunan dermaga rencana. Pengamatan arus dilakukan dalam rentang 10 – 11 Mei 2016 dan 16 – 17 Mei 2016. Diketahui arah dominan menuju timur laut pada periode surut dan menuju barat daya pada periode pasang, sedangkan kecepatan maksimum terjadi saat kondisi *spring tide* sebesar 1.76 m/s.

Data Angin

Data angin didapatkan dari ECMWF dengan rentang data sepuluh tahun (2011-2020). Kemudian dilakukan analisis ekstrim data angin untuk mendapatkan kecepatan angin maksimum dengan periode ulang 50 tahun. Dari hasil analisis, diperoleh kecepatan angin maksimum datang dari arah selatan dengan kecepatan angin 7.02 m/s.

Data Gelombang

Data gelombang didapatkan dari ECMWF dengan rentang data sepuluh tahun (2011-2020). Kemudian dilakukan analisis ekstrim data gelombang untuk mendapatkan tinggi gelombang maksimum dengan periode ulang 50 tahun. Dari hasil analisis, diperoleh tinggi gelombang maksimum sebesar 1.41 m menuju arah utara.

Data Tanah

Data tanah yang digunakan merupakan nilai N-SPT untuk setiap kedalaman pada lokasi dermaga rencana. Data ini digunakan dalam penentuan *fixity point*, spektrum respons gempa, dan analisis daya dukung tanah.

Data Batimetri

Data batimetri yang digunakan meliputi kedalaman perairan pada lokasi pembangunan dermaga rencana, serta kontur batimetri sepanjang struktur *trestle* rencana.

Data Parameter Percepatan Tanah

Karakteristik data tanah di lokasi rencana termasuk dalam klasifikasi tanah lunak. Dengan koordinat lokasi rencana pembangunan dermaga dan data karakteristik tanah, didapatkan S_5 dan S_1 berturut-turut sebesar 0.245g dan 0.082g.

Data Kapal

Data kapal rencana merupakan kapal *general cargo* dengan kapasitas 15,000 DWT dengan dimensi L_{OA} , L_{BP} , B , dan D_L berturut-turut sebesar 146 m, 136 m, 21.8 m, dan 8.7 m.

Data Kendaraan Operasional

Terdapat 2 (dua) alat operasional yang digunakan, yaitu *mobile harbour crane* seri *Liebherr LHM420* dengan kapasitas angkat maksimum sebesar 124ton dan *self-propelled modular transporter* (SPMT).

Penentuan Dimensi Struktur

Dimensi Umum Struktur

Dermaga yang direncanakan merupakan dermaga tipe *open piled jetty* yang dihubungkan dengan struktur *trestle* ke daratan eksisting. Dimensi umum struktur rencana disajikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Dimensi Struktur Rencana

Fasilitas	Dimensi	Nilai
Dermaga	Panjang	172.25 m
	Lebar	23 m
	Elevasi	+4.5 m LAT
Trestle	Panjang	178 m
	Lebar	10 m
	Elevasi	+4.5 m LAT

Dimensi Fasilitas Struktur Dermaga

Fasilitas struktur dermaga dibutuhkan untuk menahan beban *berthing* dan beban *mooring*. Sehingga, perlu ditentukan terlebih dahulu nilai kedua beban tersebut yang bekerja pada struktur dermaga. Pemilihan fasilitas *fender* dan *bollard* beserta pembebanan *berthing* dan *mooring* yang bekerja pada struktur dermaga disajikan dalam Tabel 4.2.

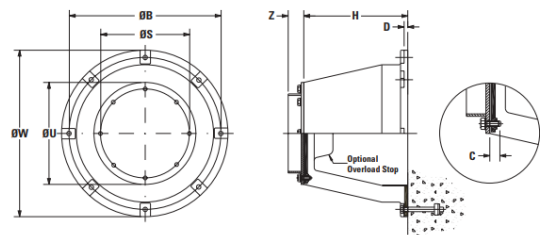
Tabel 4.2 Pemilihan Fasilitas Struktur Dermaga

Pemilihan Fender	
Energi abnormal <i>berthing</i>	378.699 kJ
Tipe <i>fender</i> terpilih	SCN 1000 E1.1
Rated energy <i>fender</i>	385 kJ
Dimensi panel <i>fender</i>	1.6 m × 3.4 m
Spasi antar <i>fender</i>	10 m

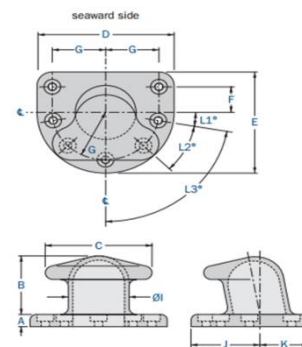
Tabel 4.2 Pemilihan Fasilitas Struktur Dermaga

Pemilihan Bollard	
Beban <i>mooring</i> maksimum yang diterima <i>bollard</i>	66.659 ton
Tipe <i>bollard</i> terpilih	Tee Bollard
Kapasitas <i>bollard</i>	80 ton
Spasi maksimum <i>bollard</i>	25 m

Ilustrasi *fender* dan *bollard* yang digunakan disajikan berturut-turut dalam Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Ilustrasi Super Cone Fender
(Sumber: 2002. Fentek. Catalogue Marine Fender Systems. Hal. 6)



Gambar 4.2 Ilustrasi Tee Bollard
(Sumber: Trelleborg. Marine System Catalogue. Hal. 10-5)

Dimensi Elemen Struktural Struktur

Spesifikasi material yang digunakan dalam penentuan dimensi elemen struktural untuk kedua struktur adalah sebagai berikut.

- Material Beton Bertulang
Mutu beton (f'_c) yang digunakan adalah 35 MPa.
- Material Baja Tiang Pancang
Mutu baja yang digunakan adalah ASTM A252 Grade 2, dengan tegangan leleh (f_y) sebesar 240 MPa.

Desain dimensi elemen struktural dermaga dan *trestle* disajikan berturut-turut dalam Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Dimensi Elemen Struktural Dermaga

Elemen	Dimensi
Balok	5 m × 0.625 m × 1.25 m
Pelat (tebal)	250 mm
Tiang Pancang	Ø1016 mm – t = 14 mm
<i>Pile Cap 1</i>	2.25 m × 2.25 m × 1.8 m
<i>Pile Cap 2</i>	2.625 m × 2.25 m × 2 m

Tabel 4.4 Dimensi Elemen Struktural *Trestle*

Elemen	Dimensi
Balok Memanjang	8 m × 0.8 m × 1.6 m
Balok Melintang	4 m × 0.8 m × 1.6 m
Pelat (tebal)	200 mm
Tiang Pancang	Ø812.8 mm – t = 14 mm
<i>Pile Cap</i>	2 m × 2 m × 2 m

Analisis Kekuatan Struktur

Analisis kekuatan struktur dilakukan sesuai dengan kombinasi pembebanan yang digunakan. Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada kombinasi dasar dalam *ASCE 7-10* dengan penyesuaian dengan pembebanan yang terjadi pada struktur dermaga. Rincian kombinasi pembebanan yang digunakan disajikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Kombinasi Pembebanan yang Digunakan

No.	Kombinasi Pembebanan	
	<i>Ultimate Limit State (ULS)</i>	<i>Serviceability Limit State (SLS)</i>
1.	1.4 D	1.0 D
2.	1.2 D + 1.6 (L+B)	1.0 D + 1.0 (L+B)
3.	1.2 D + 0.5 (W+C+M)	1.0 D + 0.6 (W+C+M)
4a.	1.2 D + 1.0 (W+C) + 1.0 (L+B)	1.0 D + 0.75 (L+B) + 0.45 (W+C)
4b.	1.2 D + 1.0 (W+C+M) + 1.0 L	1.0 D + 0.75 L + 0.45 (W+C+M)
5.	1.2 D + 1.0 E + 1.0 L	1.0 D + 0.75 L + 0.525 E

Tabel 4.5 Kombinasi Pembebanan yang Digunakan

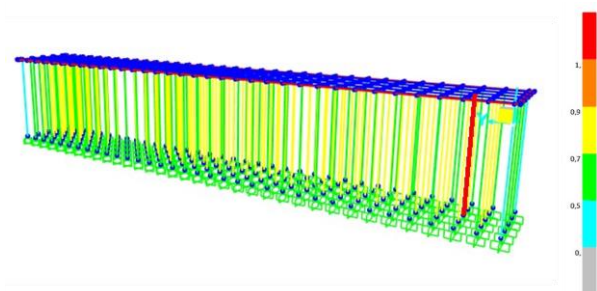
No.	Kombinasi Pembebanan	
	<i>Ultimate Limit State (ULS)</i>	<i>Serviceability Limit State (SLS)</i>
6.	0.9 D + 1.0 (W+C+M)	0.6 D + 0.6 (W+C+M)
7.	0.9 D + 1.0 E	0.6 D + 0.7 E

Hasil pemodelan dari kombinasi pembebanan ULS yang akan di analisis meliputi pemeriksaan nilai *unity check ratio* dan gaya dalam elemen struktural. Sedangkan untuk hasil pemodelan dari kombinasi pembebanan SLS yang akan di analisis meliputi pemeriksaan nilai defleksi dan reaksi perletakan struktur.

Struktur Dermaga

- Pemeriksaan Nilai UCR – ULS

Dalam pemeriksaan nilai *unity check ratio* (UCR) yang dilakukan pada seluruh elemen tiang pancang struktur dermaga, didapatkan nilai UCR maksimum sebesar 0.8728 yang terjadi pada *frame 323* dengan *load combi* ULS 2.1. Nilai ini masih memenuhi kriteria kekuatan struktur dimana nilai UCR harus kurang dari 1.0. Selain itu, nilai UCR ini sudah termasuk dalam nilai optimum karena berada pada rentang 0.7 – 1.0. Lokasi UCR maksimum pada struktur dermaga digambarkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Lokasi UCR Maksimum – Struktur Dermaga

- Pemeriksaan Defleksi – SLS

Pemeriksaan defleksi dilakukan dalam arah horizontal dan arah vertikal. Defleksi arah horizontal merupakan defleksi elemen tiang pancang (*joint displacement*) sedangkan defleksi arah vertikal merupakan defleksi balok. Kriteria defleksi horizontal menyesuaikan dengan SNI 03-1729-2002, sedangkan kriteria defleksi vertikal menyesuaikan dengan SNI 03-2847-2013.

Defleksi maksimum arah horizontal dan vertikal disajikan berturut-turut dalam Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.6 Defleksi Maksimum Horizontal – Struktur Dermaga

Joint	Load Combi	Arah	Defleksi (mm)	Batas Izin (mm)
Kombinasi Beban Tetap				
355	SLS 2.1	U1	0.331	60.7
359	SLS 2.1	U2	0.454	60.7
Kombinasi Beban Sementara				
637	SLS 4a.1	U1	54.737	151.65
643	SLS 6.3	U2	40.503	151.65

Tabel 4.7 Defleksi Maksimum Vertikal – Struktur Dermaga

Load Combi	Arah	Defleksi (mm)	Batas Izin (mm)
SLS 2.1	U3	0.531	10.42

Berdasarkan kedua tabel di atas, diketahui bahwa kriteria defleksi izin struktur terpenuhi.

- Hasil Gaya Dalam Elemen – ULS

Gaya dalam elemen balok, elemen pelat, dan elemen tiang pancang struktur dermaga berturut-turut disajikan dalam Tabel 4.8, Tabel 4.9, dan Tabel 4.10.

Tabel 4.8 Gaya Dalam Elemen Balok Dermaga

Ket.	Fr	Load Combi	V2 (kN)	M3 (kNm)
V2 Maks	16	ULS 2.2	1,143.15	-1,069.38
V2 Min	30	ULS 2.2	-1,191.88	-1,136.50
M3 Maks	31	ULS 2.2	-30.82	1,089.15
M3 Min	10	ULS 2.2	-1,185.80	-1,169.66

Tabel 4.9 Gaya Dalam Elemen Pelat Dermaga

Ket.	Area	Load Combi	M11 (kNm)	M22 (kNm)
M11 Maks	16	ULS 2.2	12.51	10.28
M11 Min	6	ULS 2.2	-20.32	-13.85
M22 Maks	14	ULS 2.2	12.34	10.43
M22 Min	6	ULS 2.2	-20.32	-13.85

Tabel 4.10 Gaya Dalam Elemen Tiang Pancang Dermaga

Ket	Fr	LC	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
P Maks	315	ULS 6.4	117.66	-290.59	-281.47
P Min	323	ULS 2.4	-4,895	-6.86	144.42
M2 Maks	484	ULS 4b.4	-2,017	609.51	-78.17
M2 Min	314	ULS 4b.3	-2,017	-609.51	-78.14
M3 Maks	315	ULS 4b.2	-998	-44.87	758.87
M3 Min	316	ULS 4a.1	-2,117	11.59	-775.12

- Hasil Reaksi Perletakan – SLS

Reaksi perletakan struktur dermaga disajikan dalam Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Reaksi Perletakan – Struktur Dermaga

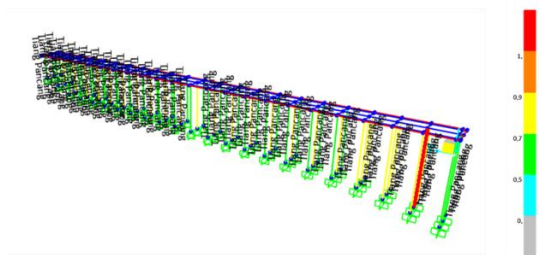
Reaksi Perletakan	Joint	Load Combi	F3 (kN)
Maksimum	192	SLS 2.3	3229.6
Minimum	184	SLS 6.4	20.226

Struktur Trestle

Pemodelan struktur *trestle* dilakukan dalam 2 (dua) kondisi berbeda karena adanya keterbatasan pemodelan pembebanan gelombang pada SAP2000. Kondisi yang dimaksud merupakan kondisi *minimum storm water depth* dan kondisi *maximum storm water depth*.

- Pemeriksaan Nilai UCR – ULS

Dalam pemeriksaan nilai *unity check ratio* (UCR) yang dilakukan pada seluruh elemen tiang pancang struktur *trestle*, didapatkan nilai UCR maksimum sebesar 0.8078 yang terjadi pada *frame* 116 dengan *load combi* ULS 2. Nilai UCR ini sama untuk kedua kondisi *storm water depth*. Nilai ini memenuhi kriteria kekuatan struktur dan sudah termasuk dalam nilai optimum. Lokasi UCR maksimum pada struktur dermaga digambarkan dalam Gambar 4.4.

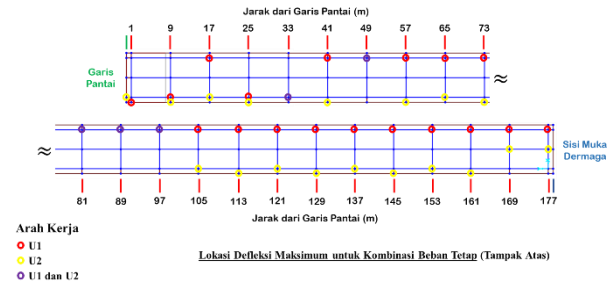


Gambar 4.4 Lokasi UCR Maksimum – Struktur *Trestle*

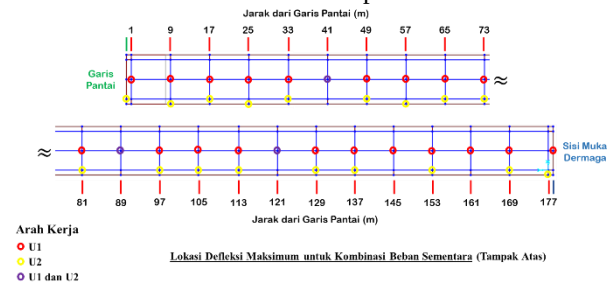
- Pemeriksaan Defleksi – SLS

Hasil pemeriksaan defleksi untuk kedua kondisi *storm water depth* sama. Dalam pemeriksaan defleksi struktur *trestle*, pemeriksaan defleksi horizontal dilakukan sesuai dengan batas izin yang menyesuaikan dengan panjang tiang pancang di masing-masing kontur kedalaman. Berdasarkan pemeriksaan, seluruh defleksi

struktur lebih kecil dari defleksi yang diizinkan terjadi. Ilustrasi lokasi defleksi maksimum struktur *trestle* kombinasi beban tetap dan beban sementara berturut-turut disajikan dalam Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Lokasi Defleksi Maksimum Horizontal untuk Kombinasi Beban Tetap – Struktur *Trestle*



Gambar 4.6 Lokasi Defleksi Maksimum Horizontal untuk Kombinasi Beban Sementara – Struktur *Trestle*

Untuk defleksi maksimum vertikal struktur *trestle* disajikan dalam Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Defleksi Maksimum Vertikal – Struktur *Trestle*

Load Combi	Arah	Defleksi (mm)	Batas Izin (mm)
11	SLS 2	U3	0.182
3	SLS 2	U3	1.394

Berdasarkan hasil pemeriksaan defleksi kedua arah tersebut, diketahui bahwa kriteria defleksi izin struktur terpenuhi.

- Hasil Gaya Dalam Elemen – ULS

Gaya dalam elemen balok, elemen pelat, dan elemen tiang pancang struktur *trestle* berturut-turut disajikan dalam Tabel 4.13, Tabel 4.14, dan Tabel 4.15.

Tabel 4.13 Gaya Dalam Elemen Balok *Trestle*

Ket.	Fr	Load Combi	V2 (kN)	M3 (kNm)
V2 Maks	9	ULS 2	2,720.14	-3,686.09
V2 Min	109	ULS 2	-2,760.53	-3,386.64
M3 Maks	3	ULS 2	97.93	2,648.70
M3 Min	9	ULS 2	2,720.14	-3,686.09

Tabel 4.14 Gaya Dalam Elemen Pelat *Trestle*

Ket.	Area	Load Combi	M11 (kNm)	M22 (kNm)
M11 Maks	6	ULS 2	49.27	25.77
M11 Min	2	ULS 2	-31.36	-64.25
M22 Maks	88	ULS 2	35.82	35.93
M22 Min	92	ULS 2	10.10	-84.95

Tabel 4.15 Gaya Dalam Elemen Tiang Pancang *Trestle*

Ket	Fr	LC	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
P Maks	178	ULS 7.1	-307.23	9.59	442.72
P Min	176	ULS 2	-4,811	2.70	0.00
M2 Maks	179	ULS 5.2	-2,000	524.98	0.00
M2 Min	179	ULS 5.2	-2,122	-589.69	0.00
M3 Maks	180	ULS 5.1	-1,574	76.76	464.53
M3 Min	178	ULS 5.1	-1,937	21.16	-464.53

- Hasil Reaksi Perletakan – SLS

Reaksi perletakan struktur *trestle* disajikan dalam Tabel 4.16.

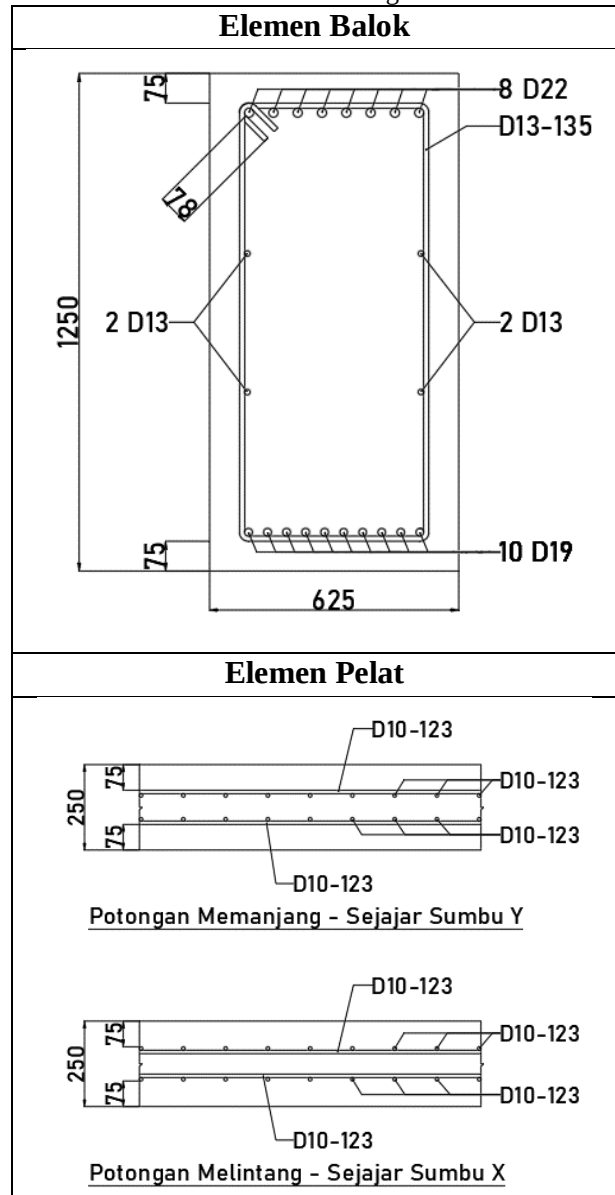
Tabel 4.16 Reaksi Perletakan – Struktur *Trestle*

Reaksi Perletakan	Joint	Load Combi	F3 (kN)
Maksimum	360	SLS 2	3135.456
Minimum	362	SLS 7.1	189.797

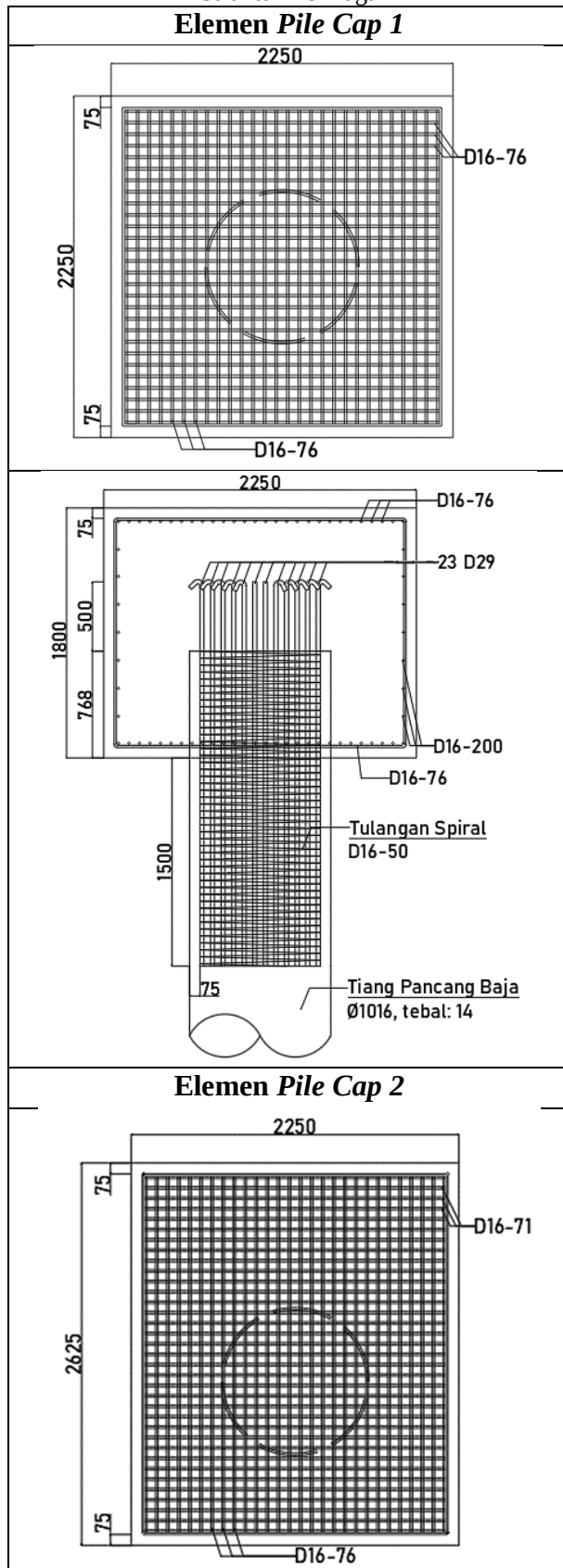
Desain Penulangan Elemen Struktur

Desain penulangan elemen struktural dermaga diilustrasikan dalam Tabel 4.17.

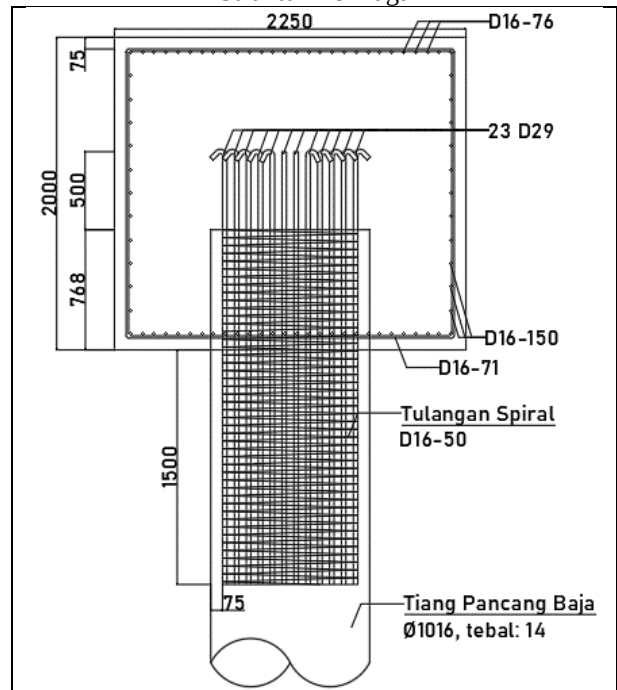
Tabel 4.17 Desain Penulangan Elemen Struktural – Struktur Dermaga



Tabel 4.17 Desain Penulangan Elemen Struktural – Struktur Dermaga

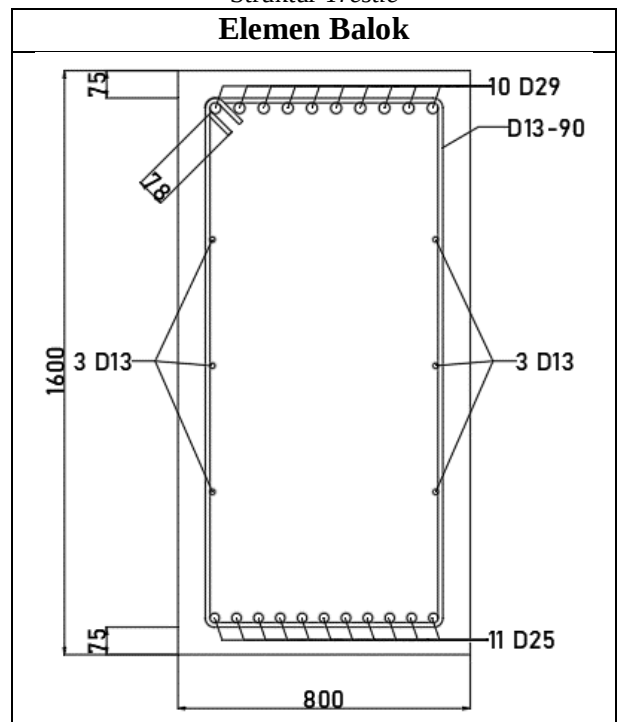


Tabel 4.17 Desain Penulangan Elemen Struktural – Struktur Dermaga

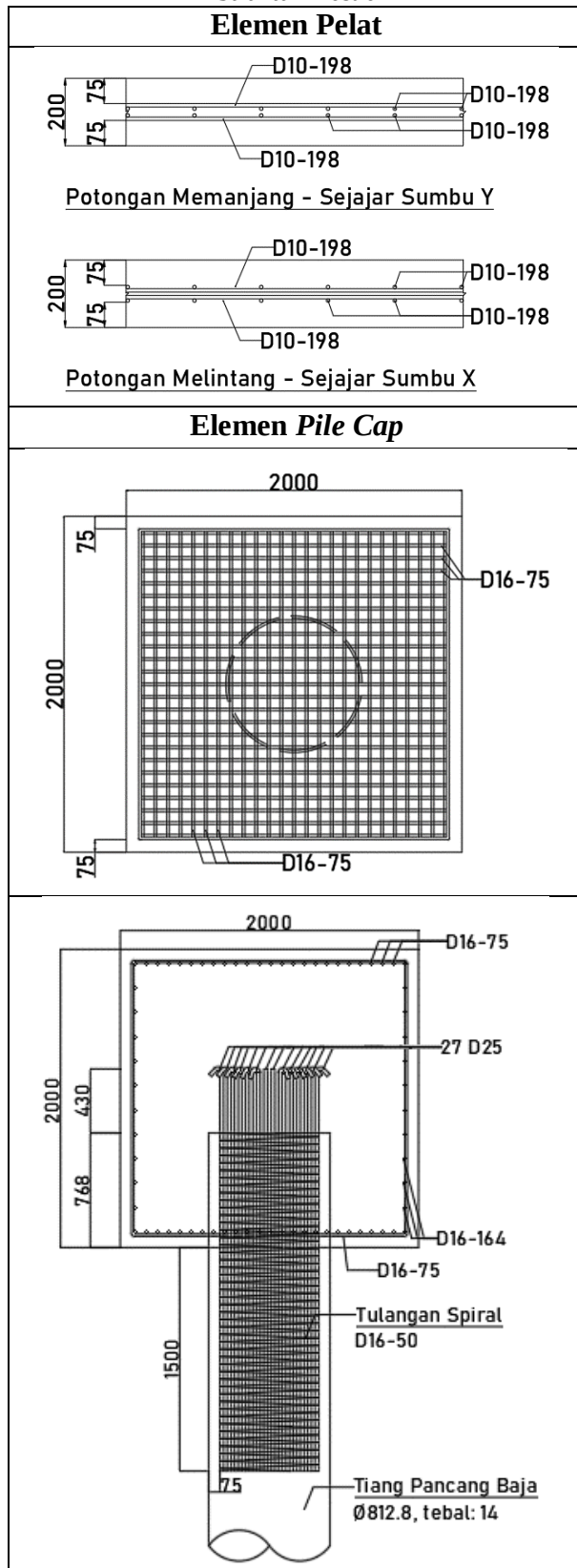


Desain penulangan elemen struktural *trestle* diilustrasikan dalam Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Desain Penulangan Elemen Struktural – Struktur *Trestle*



Tabel 4.18 Desain Penulangan Elemen Struktural – Struktur *Trestle*



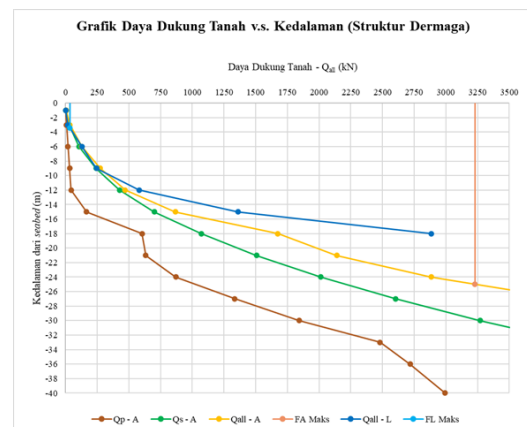
Analisis Daya Dukung Tanah

Analisis daya dukung tanah dilakukan sesuai dengan karakteristik tanah pada lokasi struktur dermaga yang termasuk dalam kategori tanah pasir (*sand*). Hasil kedalaman ujung tiang pancang untuk kedua struktur disajikan dalam Tabel 4.19.

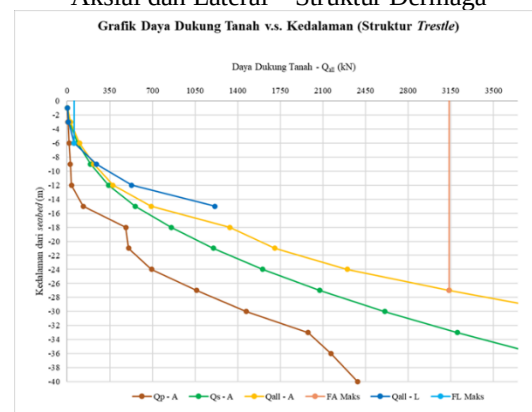
Tabel 4.19 Kedalaman Ujung Tiang Pancang

Struktur	Arah Beban yang Menentukan	Kedalaman Pemancangan
Dermaga	Aksial	-25.00 m
<i>Trestle</i>	Aksial	-27.00 m

Grafik perbandingan analisis daya dukung tanah untuk struktur dermaga dan struktur *trestle* disajikan berturut-turut dalam Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.



Gambar 4.7 Perbandingan Analisis Daya Dukung Tanah Aksial dan Lateral – Struktur Dermaga



Gambar 4.8 Perbandingan Analisis Daya Dukung Tanah Aksial dan Lateral – Struktur *Trestle*

5. KESIMPULAN

1. Dermaga kargo tipe *deck on pile* ini mampu melayani 1 (satu) unit kapal *general cargo* berukuran 15,000 DWT dalam 1 (satu) kali tambat. Detail desain dimensi dermaga kargo tersebut adalah sebagai berikut.

- Panjang : 172.25 m
- Lebar : 23 m
- Elevasi Lantai : + 4.5 mLAT
- Kedalaman Perairan : - 19 mLAT
- *Fixity Point* : 6.83 m
- Kedalaman Pemancangan : 25.00 m

2. Untuk menunjang operasional dermaga kargo tersebut, dirancang 1 (satu) *trestle* yang menghubungkan struktur dermaga dengan daratan eksisting. Detail desain dimensi *trestle* tersebut adalah sebagai berikut.

- Panjang : 178 m
- Lebar : 10 m
- Elevasi Lantai : + 4.5 mLAT
- Kedalaman Perairan : -0.39 ~ -15.79 m LAT
- *Fixity Point* : 6.09 m
- Kedalaman Pemancangan : 27.00 m

3. Komponen fasilitas struktur dermaga dirancang untuk dapat mengatasi beban sandar (*berthing*) dan beban tambat (*mooring*) yang dialami oleh struktur dermaga. Detail desain dimensi komponen fasilitas tersebut adalah sebagai berikut.

- Tipe Komponen *Fender*
Cell Fender – SCN 1000 E1.1

- Dimensi Panel *Fender*
1.6 m × 3.4 m
- Jumlah Komponen *Fender*
17 buah
- Tipe Komponen *Bollard*
Tee Bollard – Kapasitas 50 ton
- Jumlah Komponen *Bollard*
10 buah

4. Analisis struktur menunjukkan bahwa struktur dermaga dan struktur *trestle* yang dirancang telah memenuhi kriteria desain kekuatan struktur, dengan meninjau parameter *unity check ratio* (UCR) dan defleksi struktur. Nilai UCR maksimum untuk kedua struktur berada pada rentang 0.7 – 1.0, sedangkan defleksi horizontal dan vertikal elemen struktural lebih kecil dari batas defleksi yang diizinkan terjadi.

5. Detail desain dimensi elemen struktural pada struktur dermaga adalah sebagai berikut.

- a. Tiang Pancang
 - Material
Baja ASTM A252 *Grade 2*
 - Diameter : 1016 mm
 - Tebal : 14 mm
- b. Balok Memanjang dan Melintang
 - Panjang : 5 m
 - Dimensi : 625 mm × 1250 mm
 - Tulangan lentur bawah
10 D19, spasi = 47 mm
 - Tulangan lentur atas
8 D22, spasi = 61 mm

- Tulangan sengkang
D13, spasi = 135 mm
 - Tulangan peminggang
4 D16, spasi = 349 mm
- c. Pelat
- Tebal : 250 mm
 - Dimensi : 5 m × 5 m
 - Tulangan lentur bawah searah X
9 D10, spasi = 123 mm
 - Tulangan lentur atas searah X
9 D10, spasi = 123 mm
 - Tulangan lentur bawah searah Y
9 D10, spasi = 123 mm
 - Tulangan lentur atas searah Y
9 D10, spasi = 123 mm
- d. *Pile Cap 1*
- Dimensi: 2.25 m × 2.25 m × 1.8 m
 - Tulangan susut searah X
35 D16, spasi = 76mm
 - Tulangan susut searah Y
35 D16, spasi = 76mm
 - Tulangan dowel
23 D29, penyaluran = 500 mm
 - Tulangan spiral
D16, spasi = 50 mm
- e. *Pile Cap 2*
- Dimensi: 2.25 m × 2.625 m × 2 m
 - Tulangan susut searah X
46 D16, spasi = 71mm
 - Tulangan susut searah Y
39 D16, spasi = 76mm
 - Tulangan dowel
23 D29, penyaluran = 500 mm
- Tulangan spiral
D16, spasi = 50 mm
6. Detail desain dimensi elemen struktural pada struktur *trestle* adalah sebagai berikut.
1. Tiang Pancang
 - Material
Baja ASTM A252 *Grade 2*
 - Diameter : 812.8 mm
 - Tebal : 14 mm
 2. Balok Memanjang
 - Panjang : 8 m
 - Dimensi : 800 mm × 1600 mm
 - Tulangan lentur bawah
11 D25, spasi = 59 mm
 - Tulangan lentur atas
10 D29, spasi = 66 mm
 - Tulangan sengkang
D13, spasi = 90 mm
 - Tulangan peminggang
6 D16, spasi = 349 mm
 3. Balok Melintang
 - Panjang : 4 m
 - Dimensi : 800 mm × 1600 mm
 - Tulangan lentur bawah
11 D25, spasi = 59 mm
 - Tulangan lentur atas
10 D29, spasi = 66 mm
 - Tulangan sengkang
D13, spasi = 90 mm
 - Tulangan peminggang
6 D16, spasi = 349 mm
 4. Pelat
 - Tebal : 200 mm

- Dimensi : 4 m × 8 m
- Tulangan lentur bawah searah X
6 D10, spasi = 198 mm
- Tulangan lentur atas searah X
6 D10, spasi = 198 mm
- Tulangan lentur bawah searah Y
6 D10, spasi = 198 mm
- Tulangan lentur atas searah Y
6 D10, spasi = 198 mm

5. *Pile Cap*

- Dimensi: 2 m × 2 m × 2 m
- Tulangan susut searah X
35 D16, spasi = 75mm
- Tulangan susut searah Y
35 D16, spasi = 75mm
- Tulangan dowel
27 D25, penyaluran = 430 mm
- Tulangan spiral
- D16, spasi = 50 mm

6. DAFTAR PUSTAKA

LeMehaute, B. (1976). *An introduction to hydrodynamics and water waves*. Springer-Verlag.

BSI. (1994). *British Standard (BS) 6349-4: Maritime structures - Part 4: Code of practice for design of fendering and mooring systems*.

BSI. (2000). *British Standard (BS) 6349-1: Maritime structures - Part 1: Code of practice for general criteria*.

International Navigation Association (PIANC). (2002). *Guidelines for the Design of Fender System*. PIANC Brussels.

J. H. Menge & Company, Inc. (2002). *FENTEK - Marine Fendering Systems*. Fentek Marine Systems GmbH.

The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan. (2002). *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*.

Trelleborg Marine Systems. (2007). *Safe Berthing and Mooring*. Trelleborg AB.

Thoresen, C. A. (2010). *Port Designer's Handbook*. Thomas Telford Limited.

Triatmodjo, B. (2010). *Perencanaan Pelabuhan*. Beta Offset Yogyakarta.

SNI. (2015). *SNI 03-1729-2015 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. BSN Jakarta.

Das, B. M. (2016). *Principles of Foundation Engineering*. Cengage Learning.

SNI. (2016). *SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan*. BSN Jakarta.

SNI. (2017). *SNI 2052-2017 Baja Tulangan Beton*. BSN Jakarta.

M, Nathan. (2018). *Structural Modelling, Analysis and Design in Real Engineering Practices*.

Imran, Iswandi. Zulkifli, Ediansjah. (2019). *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. ITB Press.

SNI. (2019). *SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. BSN Jakarta.

SNI. (2019). *SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. BSN Jakarta.