

PERANCANGAN STRUKTUR DERMAGA KARGO TIPE DECK ON PILE DI PELABUHAN KENDAWANGAN, KABUPATEN KETAPANG, KALIMANTAN BARAT

*Deck On Pile Cargo Berth Structure Design In The Port of Kendawangan, Ketapang Regency,
West Kalimantan*

Hansen Nataniel Yuwanto¹ dan Paramashanti²

Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesha 10, Bandung 40132

[¹hansennataniel0899@gmail.com](mailto:hansennataniel0899@gmail.com) dan [²parama0307@gmail.com](mailto:parama0307@gmail.com)

Abstrak

Pelabuhan Kendawangan adalah pelabuhan yang berlokasi menjelang muara Kali Kendawangan, Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat. Pelabuhan tersebut memberikan kontribusi pembangunan melalui kegiatan pelayanan barang dan jasa, dan menjadi pelabuhan pengumpul untuk hasil – hasil alam masyarakat Kalimantan Barat. Komoditas khas Kalimantan barat dapat ditangani oleh Pelabuhan Kendawangan bila pelabuhan tersebut dapat melayani bongkar muat kapal kargo (*general cargo*) yang dapat mengangkut logistik maupun barang muatan umum lainnya.

Penulisan Laporan Tugas Akhir bertujuan untuk melakukan Perencanaan Struktur Dermaga Kargo Tipe *Deck On Pile* di Pelabuhan Kendawangan, Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat. Struktur Dermaga dirancang berdasarkan kriteria desain yang berlaku dan meliputi perancangan *trestle* yang menghubungkan dermaga dengan daratan. Perancangan mencakup penentuan *layout* dermaga, dimensi struktur dan elemen struktural dermaga, pemodelan struktur, desain penulangan elemen struktural, dan analisis daya dukung tanah.

Analisis struktur dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 untuk mengetahui kehandalan struktur terhadap beban yang bekerja pada struktur. Hasil dari pemodelan berupa *unity check ratio* (UCR), defleksi struktur, gaya dalam, serta reaksi perletakan elemen struktural dermaga. Gaya dalam elemen struktural yang didapatkan dari hasil pemodelan digunakan sebagai dasar dalam penulangan elemen struktural dermaga.

Hasil dari pengerjaan Tugas Akhir meliputi rancangan dermaga dan *trestle* yang mencakup dimensi struktur dan dimensi elemen struktural, detail penulangan berdasarkan gaya dalam yang bekerja, serta kedalaman yang dibutuhkan dalam pemancangan yang mampu menahan reaksi stuktur.

Kata Kunci: *Tugas Akhir, Layout Dermaga, Pemodelan Struktur, Penulangan, Daya Dukung Tanah*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia, dengan jumlah pulau mencapai 17.508 pulau, total luas wilayah darat sebesar 1,937 juta km², dan luas laut mencapai 5,8 juta km². Terdapat urgensi yang cukup tinggi bagi pemerintah mengembangkan konektivitas antar pulau. Konektivitas yang efektif dan efisien memerlukan penghubung antar pulau yang memadai, dimana untuk kondisi geografis Indonesia adalah transportasi laut.

Provinsi Kalimantan Barat terletak di bagian barat pulau Kalimantan yang tepat dilalui oleh garis Khatulistiwa Wilayah Kalimantan Barat, dengan kondisi geografis yang mempunyai ratusan sungai besar dan kecil, yang beberapa dapat dijadikan sebagai jalur pelayaran. Salah satu pelabuhan yang berlokasi di sungai yang berhubungan langsung dengan perairan lepas adalah Pelabuhan Kendawangan. Pelabuhan Kendawangan memiliki kesempatan untuk turut mengambil peran dalam pendistribusian komoditas dari Kalimantan Barat. Komoditas tersebut dapat ditangani oleh Pelabuhan Kendawangan bila pelabuhan tersebut dapat melayani bongkar muat kapal kargo (*general cargo*).

Pada Tugas Akhir ini, diambil studi kasus perancangan struktur dermaga kargo tipe *deck on pile* di Pelabuhan Kendawangan yang berada pada koordinat 2.5307° S, 110.2163° E. Perancangan dermaga dilakukan dengan bantuan

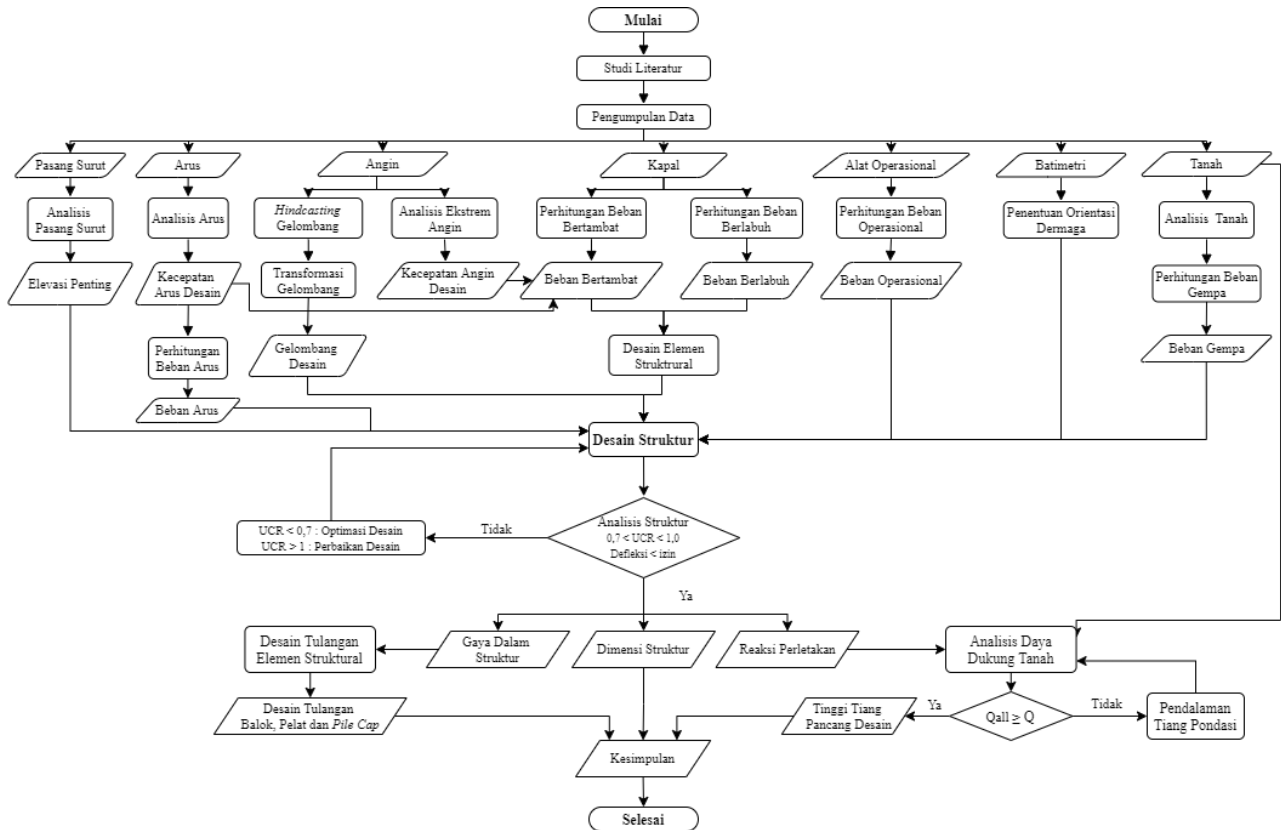
penggunaan beberapa perangkat lunak, diantaranya adalah ERGTide, Delft3D, SAP2000, dan PCA Column

TEORI DAN METODOLOGI

Perancangan Dermaga Pelabuhan Kendawangan diawali dengan mengumpulkan data-data sekunder dan kriteria desain, yang terdiri dari data lingkungan (pasang surut, angin, gelombang, dan data tanah), data kapal rencana yang akan dilayani, serta data alat operasional. Kemudian, ditetapkan kriteria desain lainnya seperti *layout* rencana spesifikasi material yang digunakan pada struktur dermaga dan *trestle*.

Data sekunder dianalisis untuk menghasilkan desain awal struktur, dan dimodelkan menggunakan perangkat lunak SAP2000 untuk didapatkan desain struktur yang optimum. Kemudian, dilakukan perhitungan penulangan elemen struktural beton untuk struktur dermaga dan *trestle* penghubung, sehingga didapatkan desain detail struktur, serta dilakukan analisis daya dukung tanah.

Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir

Persamaan energi *berthing* berdasarkan BS 6394-4:1994 untuk metode *side-berthing* adalah sebagai berikut.

$$E_N = 0,5 \cdot C_M \cdot M_D \cdot V_B^2 \cdot C_E \cdot C_S \cdot C_C$$

Dimana,

E_N : Energi berlabuh (kN-m)

C_M : Koefisien hidrodinamika massa

M_D : *Displacement* kapal (ton)

V_B : Kecepatan berlabuh kapal

C_E : Koefisien eksentrisitas

C_S : Koefisien kekasaran

C_C : Koefisien konfigurasi belabuh

Beban *mooring* dihitung atas pengaruh arus dan angin. Persamaan beban *mooring* akibat arus berdasarkan BS 6394-1:2000 adalah sebagai berikut.

$$F_{LC} = C_{LC} \cdot C_{CL} \cdot \rho_{SW} \cdot B \cdot D \cdot V_C^2 \times 10^{-4}$$

$$F_{TC} = C_{TC} \cdot C_{CT} \cdot \rho_{SW} \cdot L_{BP} \cdot D \cdot V_C^2 \times 10^{-4}$$

Dimana,

F_{LC} : Gaya arus arah longitudinal (kN)

F_{TC} : Gaya arus arah transversal (kN)

C_{LC} : Koefisien gaya seret arus arah longitudinal

C_{TC} : Koefisien gaya seret arus arah transversal

C_{CL} : Faktor koreksi kedalaman arah longitudinal

C_{CT} : Faktor koreksi kedalaman arah transversal

ρ_{SW} : Massa jenis air laut (kg/m^3)

B : Lebar maksimum kapal rencana (m)

L_{BP} : Panjang garis air lambung kapal (m)

D : *Draft* maksimum kapal rencana

V_c : Kecepatan arus (m/s)

Persamaan beban *mooring* akibat angin berdasarkan BS 6394-1:2000 adalah sebagai berikut.

$$F_{LW} = C_{LW} \cdot \rho_A \cdot A_L \cdot V_w^2 \times 10^{-4}$$

$$F_{TW} = C_{TW} \cdot \rho_A \cdot A_L \cdot V_w^2 \times 10^{-4}$$

Dimana,

F_{LW} : Gaya angin arah longitudinal (kN)

F_{TW} : Gaya angin arah transversal (kN)

C_{LW} : Koefisien gaya angin arah longitudinal

C_{TW} : Koefisien gaya angin arah transversal

ρ_A : Massa jenis angin (kg/m³)

A_L : Luas proyeksi di atas muka air arah longitudinal (m²)

V_w : Kecepatan angin (m/s)

Beban gelombang dihitung secara otomatis oleh perangkat lunak SAP2000 berdasarkan teori gelombang yang digunakan, mengacu pada grafik penentuan teori gelombang berdasarkan *Shore Protection Manual* (SPM) 1984.

Beban arus ditentukan berdasarkan ketentuan pada BS 6349-1:2000 *Section 5* dan dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$F_{CD} = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_{sw} \cdot V_c^2 \cdot A_n$$

Dimana,

F_{CD} : Gaya seret langgeng (kN)

C_D : Koefisien seret

ρ_{sw} : Massa jenis air laut (kg/m³)

V_c : Kecepatan arus (m/s)

A_n : Luas arah normal arus (m²)

Beban operasional merupakan beban hidup yang timbul akibat adanya kegiatan di atas struktur dermaga, meliputi kegiatan bongkar muat dan pengangkutan kargo. Beban mati dihitung secara otomatis oleh perangkat lunak SAP2000.

Pemodelan struktur dermaga dilakukan dengan perangkat lunak SAP2000, mengacu pada kriteria desain dan beban-beban yang telah dihitung. Pengecekan kelayakan struktur ditentukan dengan menganalisis beberapa tinjauan output yang dihasilkan oleh perangkat lunak, seperti UCR (*unity check ratio*) tiang pancang, defleksi, dan kelangsingan tiang pancang. Hasil pemodelan lain terdiri dari reaksi perletakan, gaya dalam balok, dan gaya dalam pelat yang selanjutnya digunakan untuk merencanakan tulangan komponen beton.

Hasil pemodelan digunakan untuk melakukan proses desain tulangan geser dan lentur pada balok dan pelat, mengacu pada SNI 03-2847-2013. Lalu, reaksi perletakan digunakan untuk menentukan kedalaman tiang pancang yang dibutuhkan.

Kedalaman tiang pancang dilakukan dengan menentukan daya dukung yang diizinkan untuk tiang pancang ditinjau dari kekuatan izin tekan dan kekuatan izin tanah yang dipengaruhi oleh kondisi tanah serta kekuatan material tiang pancang.

HASIL DAN ANALISIS

Analisis Data Sekunder

i. Pasang Surut

Data pasang surut didapatkan dari survei yang dilakukan oleh konsultan pada tanggal 1 – 16 Juni 2015. Setelah dilakukan pengolahan data, didapatkan pasang surut berjenis *mixed, mainly semi diurnal tide* dengan tunggang pasang surut sebesar +3,81 m dari LWS.

ii. Arus

Data arus diperoleh dari hasil survei yang dilakukan oleh konsultan pada 1 (satu) titik selama jangka waktu 3 hari, dengan kecepatan arus maksimum sebesar 0,487 m/s ke arah Barat Daya.

iii. Angin dan Gelombang

Data angin didapatkan dari BMKG dengan koordinat 2°31'14.73" LS dan 109°59'14.79" BT, dengan waktu pengambilan dari 1 Meri 2004 hingga 18 Mei 2014. Didapatkan kecepatan angin desain pada periode ulang 50 tahun adalah sebesar 14,13 m/s dari arah Barat.

Data angin juga digunakan untuk melakukan peramalan gelombang dan analisis ekstrem gelombang periode ulang 50 tahun. Lokasi dermaga yang berada di dalam sungai, akan dilakukan pemodelan gelombang menggunakan perangkat lunak Delft3D, dan didapatkan tinggi gelombang signifikan desain sebesar 0,4 m dan periode sebesar 2,81 s.

iv. Tanah

Data tanah didapatkan dari konsultan berupa *boring log* dan *undisturbed sampling*, berupa tanah lempung hingga kedalaman -10 m.

v. Kapal

Kapal terbesar yang direncanakan bersandar pada dermaga memiliki berat 1.000 DWT dengan dimensi: $L_{OA}=63$ m, $L_{BP}=57$ m, $B=10,4$ m, $D=3,7$ m, $f=2$ m.

Perancangan Komponen Dermaga

Dengan energi berlabuh abnormal sebesar 53,3 kN, dipilih *fender* jenis UE550x1500 E2 dengan panjang 1,5 m dan kapasitas *fender* sebesar 339 m, berat 9,23 kN beserta panelnya, dan memiliki jarak antar *fender* sebesar 5 m.

Beban bertambat terbesar didapatkan sebesar 19,39 ton yang ditahan oleh *stern lines*. Maka, dipilih jenis *tee bollard* dengan kapasitas 22,5 kN, berat 1,22 kN, dan jarak antar *bollard* sebesar 5 m.

Perencanaan Dimensi Dermaga dan Trestle

Dermaga yang direncanakan berupa *jetty* dengan struktur *deck on pile* yang dihubungkan dengan *trestle* ke darat. Hasil perencanaan dimensi ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1 Dimensi rencana

Fasilitas	Uraian	Dimensi
Dermaga	Panjang	80 m
	Lebar	12,5 m
	Elevasi	+4,6 m dari LWS
Trestle	Panjang	120 m
	Lebar	6 m

Dimensi Elemen Struktural

Dimensi elemen struktural dermaga ditunjukkan pada Tabel 2 dan dimensi elemen struktural *trestle* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2 Dimensi elemen struktural dermaga

Uraian	Dimensi
Pelat I	5000 × 5000 × 250 mm
Pelat II	5000 × 2500 × 250 mm
Balok I	5000 × 500 × 1000 mm
Balok II	2500 × 500 × 1000 mm
<i>Pile Cap</i>	1300 × 1300 × 1500 mm
Tiang Pancang	Ø609,6 mm; t=11,9 mm

Tabel 3 Dimensi elemen struktural *trestle*

Uraian	Dimensi
Pelat I	6000 × 6000 × 150 mm
Balok I	6000 × 500 × 1000 mm
Balok II	3000 × 500 × 1000 mm
<i>Pile Cap</i>	1000 × 1000 × 1500 mm
Tiang Pancang	Ø4069,4 mm; t=11,3 mm

Analisis Struktur Dermaga

Desain struktur perlu dianalisis keandalannya dengan melakukan pengecekan terhadap UCR serta defleksi izinnya. Apabila UCR terbesar berada pada rentang 0,7 – 1, maka struktur sudah optimum. Kondisi defleksi juga harus berada di bawah defleksi izin.

Hasil analisis menunjukkan bahwa UCR terbesar pada tiang pancang dermaga adalah sebesar 0,64, dimana desain bersifat *overdesign*, sehingga dimensi tiang pancang perlu diperkecil. Tebal tiang pancang diubah menjadi 9,52 mm, dan hasil analisis menunjukkan bahwa UCR terbesar pada tiang pancang setelah dioptimasi

adalah sebesar 0,79, sehingga struktur sudah optimum.

Defleksi tiang pancang harus diperiksa terhadap defleksi izin sebesar 2,82 cm untuk beban tetap dan 7,05 cm untuk beban sementara. Berdasarkan pengecekan yang dilakukan, didapatkan bahwa defleksi memenuhi keduanya.

Analisis Struktur Trestle

Hasil analisis menunjukkan bahwa UCR terbesar pada tiang pancang *trestle* adalah sebesar 0,29, dimana desain bersifat *overdesign*, sehingga dimensi tiang pancang perlu diperkecil.

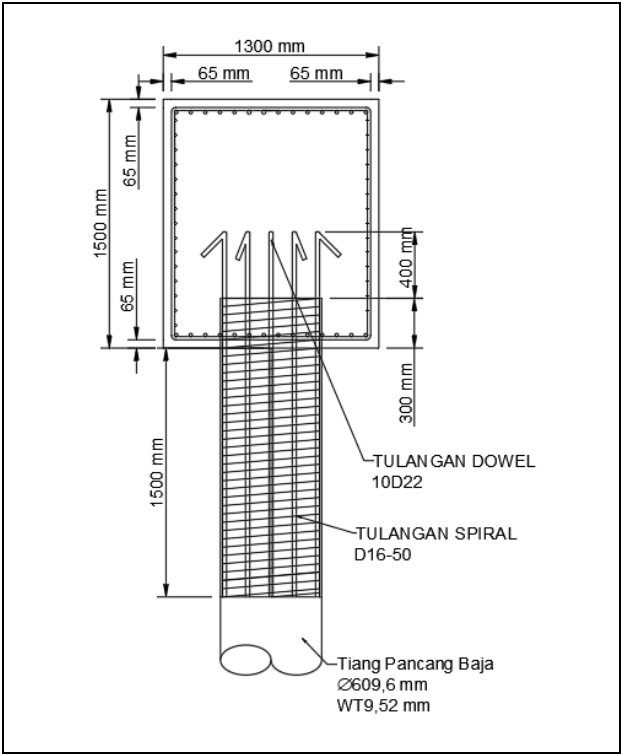
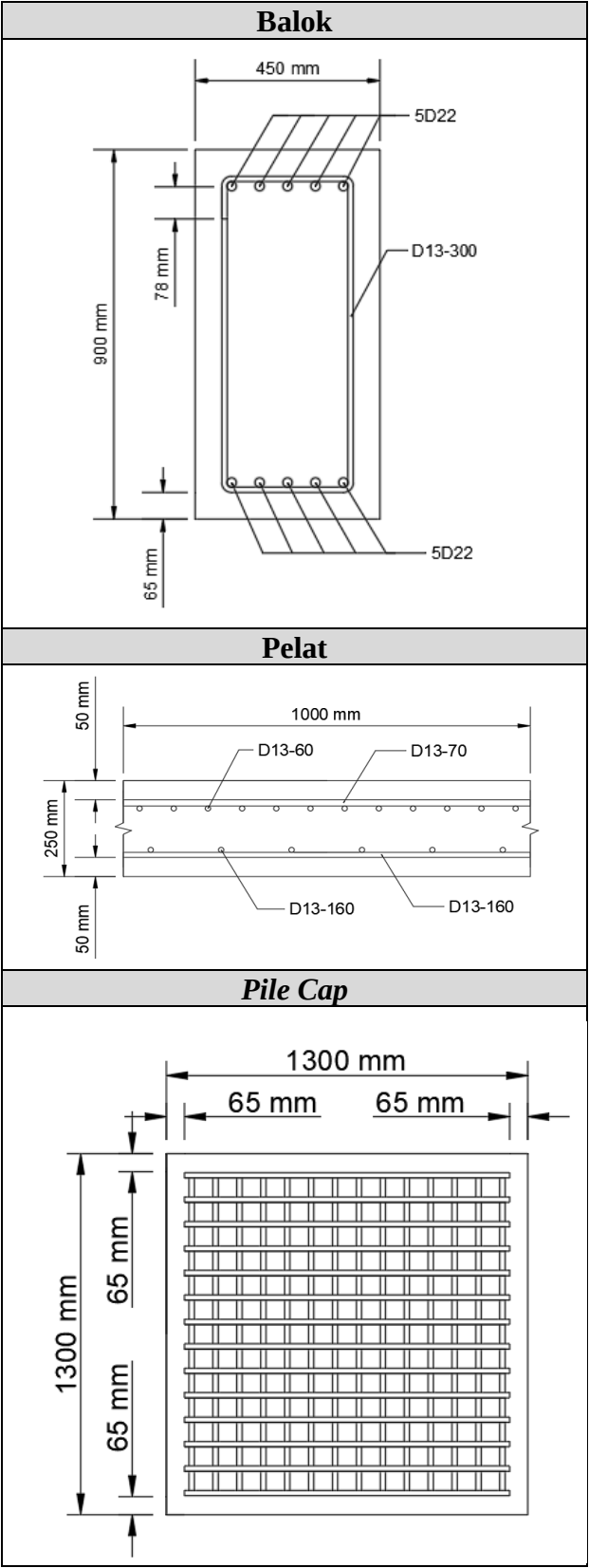
Diameter tiang pancang diubah menjadi 323,9 mm dan tebal tiang pancang diubah menjadi 4,78 mm, dan hasil analisis menunjukkan bahwa UCR terbesar pada tiang pancang setelah dioptimasi adalah sebesar 0,77, sehingga struktur sudah optimum.

Defleksi tiang pancang harus diperiksa terhadap defleksi izin sebesar 2,22 cm untuk beban tetap dan 5,55 cm untuk beban sementara. Berdasarkan pengecekan yang dilakukan, didapatkan bahwa defleksi memenuhi keduanya

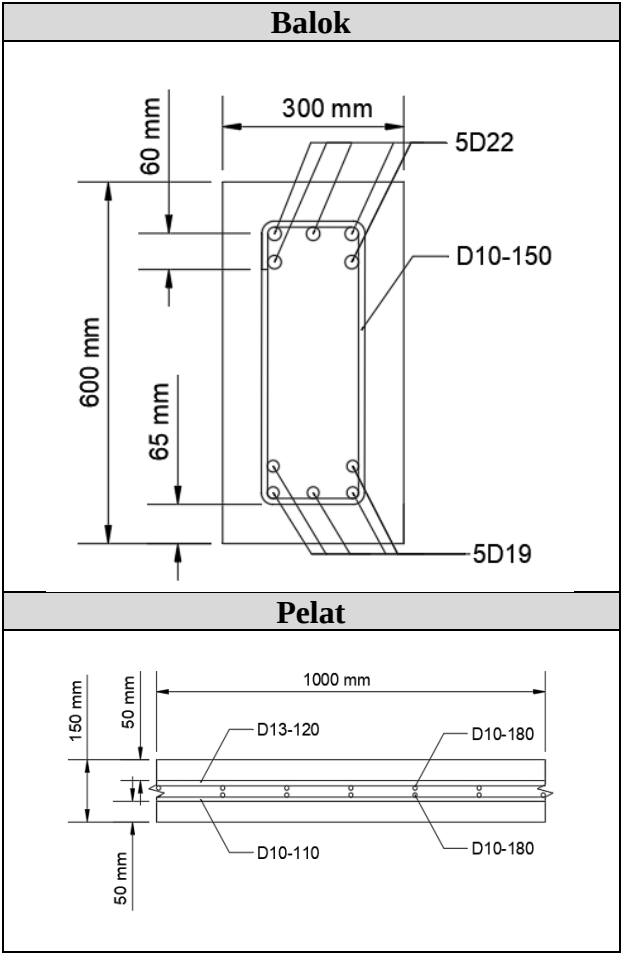
Penulangan Komponen Struktural

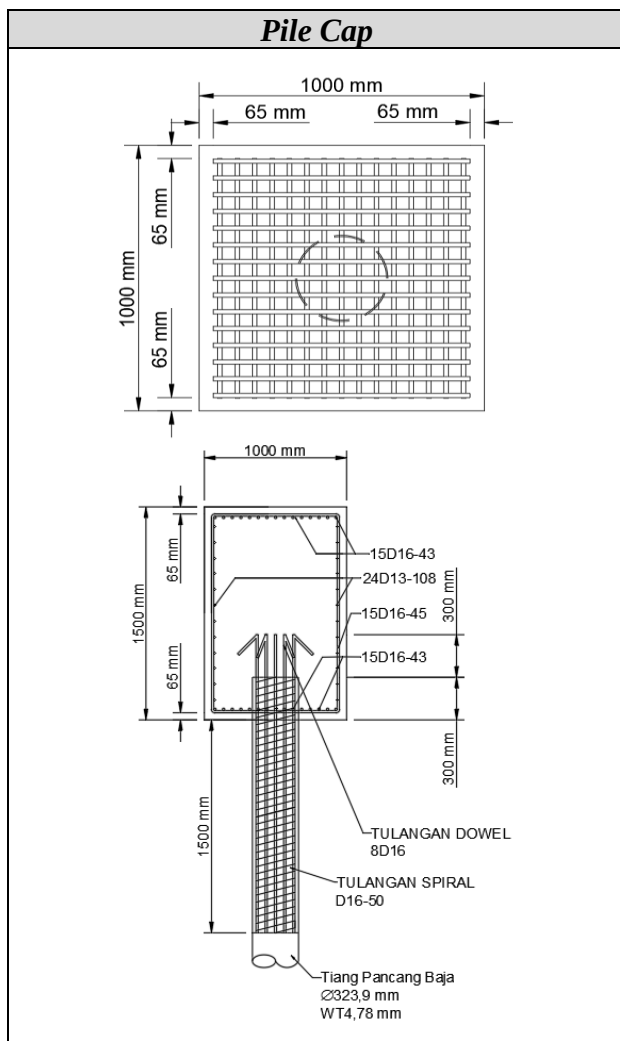
Penulangan komponen struktural terdiri dari balok, pelat, dan *pile cap*. Penulangan komponen dermaga ditunjukkan pada Tabel 4 dan penulangan komponen *trestle* ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4 Penulangan komponen dermaga



Tabel 5 Penulangan komponen *trestle*





Daya Dukung Tanah

Hasil kedalaman pemancangan tiang pancang pada masing-masing struktur ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Kedalaman tiang pancang

Struktur	Kedalaman Pemancangan
Dermaga	40 meter
Trestle	25 meter
Kedalaman pemancangan dihitung dari dasar laut.	

KESIMPULAN

- Dermaga melayani bongkar muat *general cargo* dengan kapal rencana terbesar berukuran 1.000 DWT, dengan dimensi sebagai berikut.
 - Panjang dermaga : 80 m
 - Lebar dermaga : 12,5 m
 - Kedalaman dermaga: -4,5 m dari LWS
 - Elevasi lantai dermaga: +4,6 m dari LWS
 - Fixity point: -5 m dari seabed
- Trestle yang menghubungkan dermaga dengan daratan memiliki dimensi sebagai berikut.
 - Panjang trestle: 120 m
 - Lebar trestle: 6 m
 - Kedalaman trestle: -4 m dari LWS
 - Elevasi lantai trestle: +4,6 m dari LWS
 - Fixity point: -2,5 m dari seabed
- Fasilitas struktur dermaga yang digunakan untuk menahan beban bertambat akibat gaya lingkungan dan beban berlabuh kapal *general cargo* berukuran 1.000 DWT adalah sebagai berikut.
 - Jenis fender: Unit Element Fender UE550 x 1500 E2 (Fentek Marine Fendering System)
 - Kapasitas fender: $E_R = 78 \text{ kN}$
 - Reaksi fender: $R_R = 339 \text{ kN}$

- d. Jenis *bollard*: *Tee bollard* 22,5 ton
(*Trelleborg Marine System*)
4. Hasil pemodelan struktur dermaga dengan menggunakan SAP2000 adalah sebagai berikut.
 - a. *Unity Check Ratio* (UCR): 0,79
 - b. Defleksi Beban Tetap Maksimum: 0,14 cm
 - c. Defleksi Beban Sementara Maksimum: 2,54 cm
5. Hasil pemodelan struktur *trestle* dengan menggunakan SAP2000 adalah sebagai berikut.
 - a. *Unity Check Ratio* (UCR): 0,77
 - b. Defleksi Beban Tetap Maksimum: 0,26 cm
 - c. Defleksi Beban Sementara Maksimum: 1,37 cm
6. Rancangan elemen struktural dermaga yang digunakan adalah sebagai berikut.
 - a. Tiang pancang (*Bakrie Pipe Industries*)
 - Material: Baja ASTM A252 Grade 2
 - Diameter: 609,6 mm
 - Tebal : 9,52 mm
 - b. Balok I
 - Dimensi: 5000 x 450 x 900 mm
 - Tulangan lentur sisi bawah: 5D22, spasi 46 mm (tulangan ke tulangan)
 - c. Balok II
 - Tulangan lentur sisi atas: 5D22, spasi 46 mm (tulangan ke tulangan)
 - Tulangan sengkang: D13-300
 - d. Pelat I
 - Dimensi: 5000 x 5000 mm
 - Tebal pelat: 250 mm
 - Tulangan lentur sisi bawah arah x: D13-160
 - Tulangan lentur sisi bawah arah y: D13-160
 - Tulangan lentur sisi atas arah x: D13-60
 - Tulangan lentur sisi atas arah y: D13-70
 - e. Pelat II
 - Dimensi: 5000 x 2500 mm
 - Tebal pelat: 250 mm
 - Tulangan lentur sisi bawah arah x: D13-160
 - Tulangan lentur sisi bawah arah y: D13-160

- Tulangan lentur sisi atas arah x: D13-60
- Tulangan lentur sisi atas arah y: D13-70

f. *Pile cap*

- Dimensi: 1300 x 1300 x 1500 mm
- Tulangan susut arah x: 14D19, spasi 67 mm
- Tulangan susut arah y: 14D19, spasi 69 mm
- Tulangan dowel: 10D22
- Penyaluran tulangan dowel : 400 mm
- *Concrete plug*: 1500 mm
- Tulangan spiral: D16-50
- Panjang angkur spiral: 1,5 putaran tambahan batang
- Panjang sambungan lewatan : 300 mm

7. Rancangan elemen struktural *trestle* yang digunakan adalah sebagai berikut.

a. Tiang pancang (*Bakrie Pipe Industries*)

- Material: Baja ASTM A252 Grade 2
- Diameter: 329,9 mm
- Tebal : 4,78 mm

b. Balok I

- Dimensi: 6000 x 300 x 600 mm

- Tulangan lentur sisi bawah : 5D19, spasi 46 mm (tulangan ke tulangan)
- Tulangan lentur sisi atas: 5D22, spasi 42 mm (tulangan ke tulangan)
- Tulangan sengkang : D10-150

c. Balok II

- Dimensi 3000 x 600 x 300 mm
- Tulangan lentur sisi bawah: 5D19, spasi 46 mm (tulangan ke tulangan)
- Tulangan lentur sisi atas: 5D22, spasi 42 mm (tulangan ke tulangan)
- Tulangan sengkang: D10-150

d. Pelat

- Dimensi: 6000 x 3000 mm
- Tebal pelat: 150 mm
- Tulangan lentur sisi bawah arah x: D10-180
- Tulangan lentur sisi bawah arah y: D10-110
- Tulangan lentur sisi atas arah x: D10-180
- Tulangan lentur sisi atas arah y: D13-120

e. *Pile cap*

- Dimensi: 1000 x 1000 x 1500 mm
- Tulangan susut arah x: 15D16, spasi 43 mm

- Tulangan susut arah y: 15D16, spasi 45 mm
 - Tulangan dowel: 8D16
 - Penyaluran tulangan dowel: 300 mm
 - *Concrete plug*: 1500 mm
 - Tulangan spiral: D16-50
 - Panjang angkur spiral: 1,5 putaran tambahan batang
 - Panjang sambungan lewatan : 300 mm
8. Kebutuhan kedalaman pemancangan fondasi tiang pancang dermaga adalah sebesar 40 m.
 9. Kebutuhan kedalaman pemancangan fondasi tiang pancang *trestle* adalah sebesar 25 m.

SARAN

1. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan validasi serta pengecekan data terhadap ruang lingkup pengerjaan Tugas Akhir, khususnya dalam desain dermaga.
2. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan metode konstruksi yang akan digunakan, dalam rangka meninjau perhitungan lain sehingga didapatkan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. (2011). *ACI 318-11: Building Code Requirements for Structural Concrete*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- American Society of Civil Engineers. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Virginia: American Society of Civil Engineers.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 1726-2012: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 1725-2016: Pembebanan Untuk Jembatan*. Jakarta: BSN.
- Das, B. (2011). *Principles of Foundation Engineering*.
- Fentek Marine Systems GmbH. (2002). *Fentek Marine Fendering System*. Hamburg.
- The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan. (2002). *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*. 3rd. (Y. Goda, T. Tabata, & S. Yamamoto, Eds.) The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan.
- Thoresen, C. A. (2014). *Port Designer's Handbook*. London: ICE Publishing.
- Triatmodjo, B. (2010). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.