

PERANCANGAN STRUKTUR DERMAGA KARGO TIPE *DECK ON PILE* DI PELABHUHAN BULA, KABUPATEN SERAM BAGIAN TIMUR, PROVINSI MALUKU

Christensen Eka Darmaputera Saudale¹ dan Ir. Sri Murti Adiyastuti, Ph.D²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,

Jl. Ganesa No. 10 Bandung 40132

christensenputera@gmail.com dan murtia704@gmail.com

ABSTRAK - Pelabuhan Bula sebagai salah satu pelabuhan pengumpul terletak di Kabupaten Seram Bagian Timur, Provinsi Maluku. Bula sebagai salah satu kota terbesar dipulau seram sangat berperan penting dalam meningkatkan arus perdagangan. Pelabuhan Bula berperan dalam pendistribuan komoditas daerah Maluku seperti perikanan, perkebunan dan pertambangan sehingga dibutuhkan dermaga yang dapat melayani kegiatan bongkar muat komoditas-komoditas tersebut.

Pada Laporan Tugas Akhir ini akan dibahas mengenai Perancangan Struktur Dermaga Kargo Tipe *Deck on Pile* Di Pelabuhan Bula, Kabupaten Seram Bagian Timur, Provinsi Maluku. Struktur dermaga dirancang berdasarkan kriteria desain yang berlaku dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan pada lokasi studi. Tugas Akhir mencakup penentuan layout dermaga, dimensi struktur dan elemen struktural dermaga dan trestle, pemodelan struktur, desain penulangan struktur, dan analisis daya dukung tanah.

Analisi strukur dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 untuk mengetahui kehandalan struktur terhadap beban-beban yang bekerja pada struktur. Hasil dari pemodelan berupa *unity check ratio* (UCR), defleksi struktur, gaya dalam, serta reaksi perletakan elemen struktural dermaga. Nilai UCR optimum yang didapatkan untuk dermaga adalah sebesar 0,93, sementara untuk trestle adalah sebesar 0,84 dengan defleksi pada keduanya memenuhi. Gaya dalam elemen struktural dari keluaran SAP2000 digunakan untuk merancang penulangan elemen structural dan reaksi perletakan digunakan untuk menentukan kedalaman pemancangan tiang pancang.

Kata Kunci : *Dermaga Kargo, Pemodelan Struktur, Penulangan, Analisis Daya Dukung Tanah*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia secara geografis merupakan sebuah negara kepulauan dengan jumlah pulau yang mencapai 17.504 pulau dan garis pantai yang

mencapai 95.181 km, sehingga menjadikannya sebagai negara kepulauan terbesar di dunia. Sebagai negara kepulauan, kegiatan transportasi laut sangat berperan penting dalam mendukung kegiatan perekonomian, industri, pembangunan, dan perdagangan.

Menurut pandangan ahli-ahli ekonomi klasik ada empat faktor yang mempengaruhi pertumbuhan ekonomi suatu daerah, yaitu: jumlah penduduk, jumlah stok barang-barang modal, luas tanah dan kekayaan alam, serta tingkat teknologi yang digunakan. Maluku sebagai salah satu provinsi di Indonesia memiliki kekayaan alam yang melimpah. Secara umum potensi Sumber Daya Alam (SDA) Provinsi Maluku terbagi dalam lima sektor utama yaitu perikanan, perkebunan, pariwisata, pertambangan dan energi. Maluku memiliki komoditi unggulan berupa Pala, Cengkeh, dan Kelapa. Namun kekayaan – kekayaan alam tersebut belum mampu dimanfaatkan secara maksimal akibat terkendala oleh faktor pendistribusian dari dalam maupun luar Provinsi Maluku. Untuk mengembangkan kekayaan alam Maluku secara maksimal diperlukan moda transportasi yang dapat mendukung kegiatan pendistribusian secara optimal. Dalam hal ini angkutan laut untuk perjalanan jarak laut memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan moda angkutan darat.

Pelabuhan sebagai infrastruktur yang mendukung kegiatan transportasi laut memegang peran penting dalam pendistribusian dengan angkutan laut. Keberadaan pelabuhan akan senantiasa menumbuhkembangkan kegiatan ekonomi perdagangan di daerah yang bersangkutan. Berdasarkan Rencana Induk Pelabuhan Nasional (KP 414 tahun 2013) pada wilayah Provinsi Maluku terdapat 62 pelabuhan sedangkan untuk Seram bagian timur terdapat 3 pelabuhan. Pelabuhan Bula berdasarkan KP 414 tahun 2013 memiliki hierarki sebagai pelabuhan pengumpul yang berlaku dari tahun 2011 hingga tahun 2030. Pelabuhan pengumpul adalah pelabuhan yang fungsi pokoknya melayani kegiatan angkutan laut dalam negeri, dalam jumlah menengah dan sebagai tempat asal tujuan penumpang dan/atau barang serta angkutan penyeberangan dengan jangkauan pelayanan antar provinsi.

Pada Pelabuhan Bula sendiri sudah terdapat dermaga *existing*, namun pada tahun 2019 Pelabuhan bula diharapkan dapat mengakomodasi kapal dengan Gross Tonnage yang lebih besar, sehingga dalam Tugas Akhir ini dibuat untuk merancang struktur dermaga kargo di Pelabuhan Bula yang dapat menahan beban akibat aktivitas pada dermaga dan pengaruh lingkungan laut.

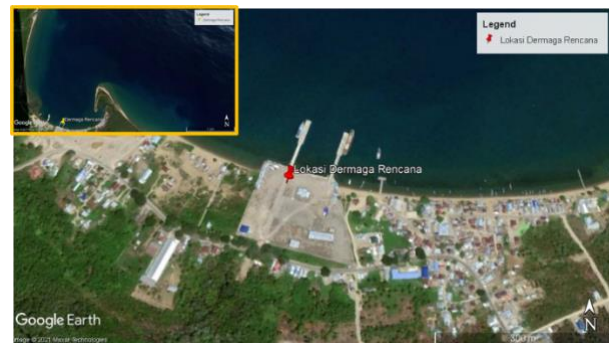
Tujuan

Tujuan dari penulisan laporan ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan desain dimensi struktur dermaga
2. Melakukan analisis kekuatan struktur dermaga berdasarkan gaya-gaya yang bekerja.
3. Menentukan dimensi tulangan pada elemen struktur dermaga.
4. Melakukan pengecekan terhadap daya dukung tanah.

Lokasi

Lokasi perancangan struktur dermaga terletak di Pelabuhan Bula, Kabupaten Seram Bagian Timur, Maluku. Secara geografis, dermaga rencana berada pada $3^{\circ}3'47.81''\text{LS}$ dan $130^{\circ}27'5.09''\text{BT}$.

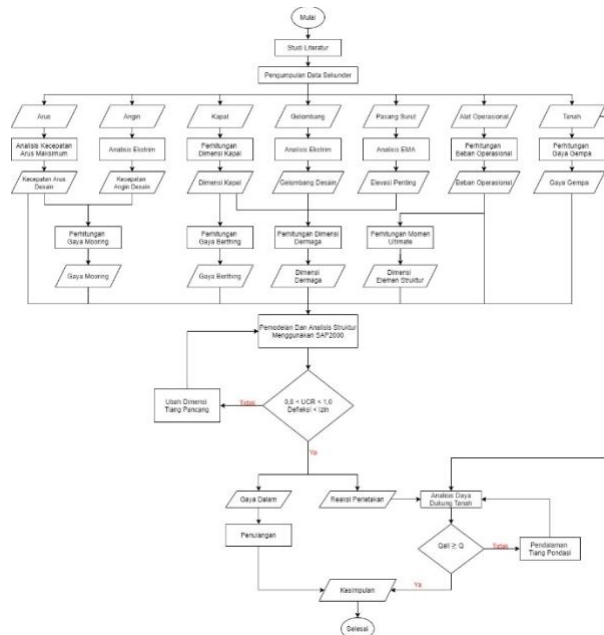


Gambar 1 Lokasi Dermaga Rencana

(Sumber : Google Earth Pro 2021)

Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dijelaskan dengan ilustrasi diagram alir sebagai berikut.



Gambar 2 Diagram Alir Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

DASAR TEORI

1) Energi Berthing

Energi berthing ditentukan berdasarkan kriteria pada BS 6349-4:1994 menggunakan persamaan berikut.

$$E_N = 0.5 C_M M_D V_B^2 C_E C_S C_C$$

Keterangan:

E_N : energi berlabuh (kJ = kN-m)

M_D : displacement kapal (ton)

V_B : kecepatan sandar kapal (m/s)

C_M : koefisien hidrodinamika massa

C_E : koefisien eksentrisitas

C_S : koefisien kekerasan

C_C : koefisien konfigurasi berlabuh

2) Beban Mooring

Beban bertambat (mooring) diperoleh dari gaya tarikan kapal akibat angin dan arus yang mengenai kapal dalam dua arah, yaitu arah longitudinal dan arah transversal. Beban mooring akibat angin ditentukan berdasarkan BS 6349-1:2000 menggunakan persamaan berikut.

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

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

Keterangan:

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

F_{TW} : gaya angina rah transversal (kN)

C_{LW} : koefisien gaya angin arah longitudinal

C_{TW} : koefisien gaya angin arah transversal

ρ_A : massa jenis angin (t/m³)

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

V_W : kecepatan angin desain pada 10 m di atas permukaan laut (m/s)

Sementara itu, beban mooring akibat arus ditentukan berdasarkan BS 6349-1:2000 menggunakan persamaan berikut.

$$F_{LC} = C_{LC} C_{CL} \rho_{sw} L_{BP} D V_C^2 \times 10^{-4}$$

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

Keterangan:

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)

L_{BP} : panjang garis air pada lambung (*hull*) kapal (m)

D : *draft* maksimum kapal rencana (m)

V_C : kecepatan arus (m/s)

3) Beban akibat Gelombang

Beban akibat gelombang akan dihitung otomatis pada perangkat lunak SAP2000 berdasarkan parameter gelombang yaitu tinggi gelombang, periode gelombang dan teori gelombang yang telah ditentukan menggunakan grafik teori gelombang yang terdapat pada Shore Protection Manual (SPM) 1984.

4) Beban akibat Arus

Beban akibat arus ditentukan menggunakan persamaan berikut.

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

Keterangan:

F_{CD} : gaya seret *steady* (kN)

C_D : koefisien seret

ρ_{sw} : massa jenis air laut (kg/m^3)

V_C : kecepatan arus (m/s)

A_n : luas arah normal arus (m^2)

5) Beban akibat Gempa

Beban akibat gempa dihitung otomatis pada perangkat lunak SAP2000 menggunakan grafik respon spektra berdasarkan kriteria pada SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

6) Beban Mati

Beban mati merupakan beban yang memiliki besar yang konstan dan berada pada posisi yang sama setiap saat. Beban mati dalam perencanaan dermaga ini terdiri dari setiap elemen strukturalnya antara lain tiang pancang, pile cap, balok, dan pelat. Secara umum beban mati dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$W = \rho g v$$

Keterangan:

W : berat benda (N)

ρ : massa jenis benda (kg/m^3)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

V : volume benda (m^3)

7) Penulangan Elemen Struktural

Hasil pemodelan berupa gaya dalam elemen struktural digunakan untuk desain penulangan. Desain penulangan dilakukan mengikuti kriteria yang terdapat pada SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

8) Daya Dukung Tanah

Hasil pemodelan berupa reaksi perletakan digunakan untuk menentukan kedalaman pemancangan tiang pancang.

.

HASIL DAN ANALISIS

1) Analisis Data Sekunder

a. Data Karakteristik Kapal

Dermaga direncanakan dapat disandari kapal kargo terbesar berkapasitas 3000 DWT dengan dimensi: LOA = 94 m, LBP = 88,08 m, Beam = 14,6 m, dan Draft = 5,6 m.

b. Analisis Data Arus

Data arus diperoleh dari hasil pengukuran di tiga titik stasiun dengan interval waktu 60 menit. Dari hasil pengukuran diperoleh kecepatan arus maksimum sebesar 0,7 m/s dari arah Utara.

c. Analisis Data Pasang Surut

Data pasang surut diperoleh dari hasil survei selama 29 hari dengan interval waktu 60 menit, terhitung dari 23 Juni – 21 Juli 2020. Dari hasil pengolahan diperoleh tunggang pasut sebesar 223,5 cm.

d. Analisis Data Angin

Data angin diperoleh dari ERA5 yang diambil pada koordinat 3°2'24.00" LS dan 130°27'36.00" BT tahun 2001-2020. Dari hasil analisis ekstrem angin untuk periode ulang 50 tahun diperoleh kecepatan angin maksimum sebesar 10,144 m/s dari arah Barat Laut.

e. Analisis Data Gelombang

Data gelombang diperoleh dari ERA5 yang diambil pada koordinat 3°2'24.00" LS dan 130°27'36.00" BT tahun 2001-2020. Dari hasil transformasi gelombang diperoleh tinggi gelombang maksimum 0,55 m dengan periode 4,31 s.

f. Analisis Data Tanah

Karakteristik tanah di Pelabuhan Bula, Berdasarkan nilai N-SPT, kondisi tanah termasuk kelas situs SE (tanah lunak).

2) Perancangan Komponen Dermaga

Dengan energi berthing abnormal (EA) sebesar 795,375 kNm maka digunakan fender supercone tipe SCN 1200-E1.9, dengan energi maksimum (E_R) = 808 kNm dan reaksi maksimum (R_R) = 1297 kN. Selain itu, dilakukan desain panel fender dengan dimensi 2 m x 2,5 m. Sementara itu, bollard yang digunakan ialah pillar bollard berkapasitas 20 ton.

3) Dimensi Dermaga dan Trestle

Dermaga yang dirancang berupa *jetty* dengan struktur *deck on pile* yang dihubungkan dengan *trestle* ke daratannya. Hasil perancangan dimensi struktur disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Dimensi Struktur Dermaga dan Trestle

Struktur	Keterangan	Dimensi
Dermaga	Panjang	110 m
	Lebar	25 m
	Elevasi	+3 m dari LWS
	Kedalaman Perairan	-6,5 m sampai -8,9 m dari LWS
Trestle	Panjang	65 m
	Lebar	6 m
	Elevasi	+3 m dari LWS

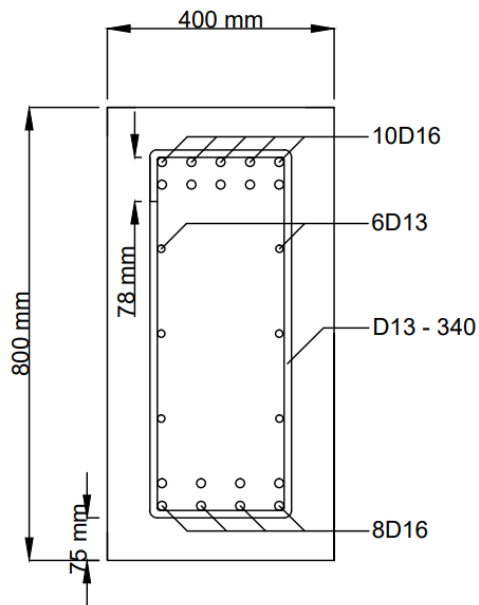
4) Analisis Struktur

Analisis struktur dermaga menggunakan perangkat lunak SAP2000 setelah optimasi menghasilkan UCR maksimum sebesar 0,93, dimana nilai ini telah memenuhi batasan $0,8 < UCR < 1$. Selain itu, diperoleh juga defleksi dan lendutan yang telah memenuhi kriteria untuk tiang pancang berdiameter 600 mm dan tebal 12 mm.

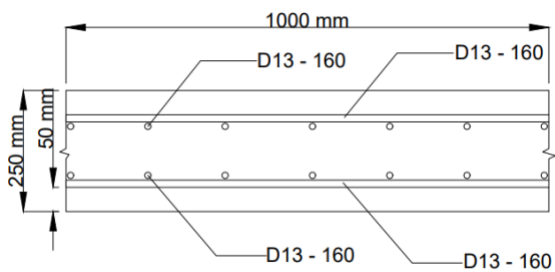
Sementara itu, analisis struktur trestle menggunakan perangkat lunak SAP2000 setelah optimasi menghasilkan UCR maksimum sebesar 0,84, dimana nilai ini telah memenuhi batasan $0,8 < UCR < 1$. Selain itu, diperoleh juga defleksi yang telah memenuhi kriteria untuk tiang pancang berdiameter 500 mm dan tebal 13 mm.

5) Penulangan Elemen Struktural

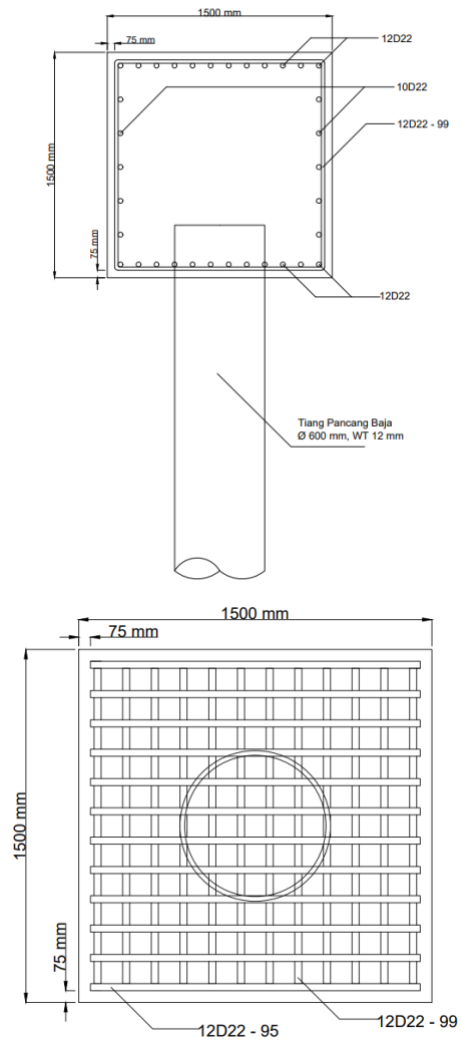
Desain penulangan elemen struktural pada struktur dermaga dan trestle terdiri dari balok, pelat, dan *pile cap*. Dimana desain dilakukan berdasarkan gaya dalam hasil analisis perangkat lunak. Berikut desain penulangan untuk masing-masing komponen elemen struktural.



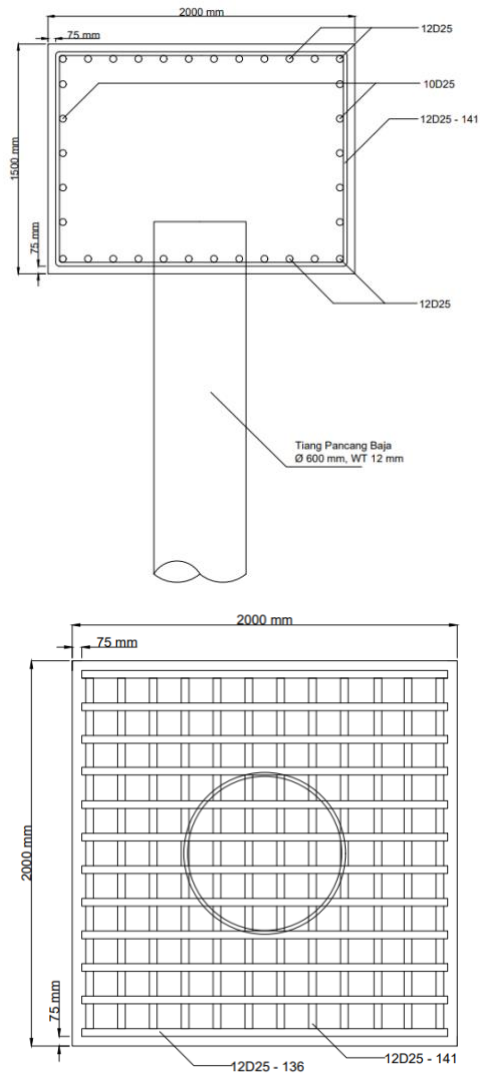
Gambar 3 Desain Penulangan Balok Dermaga



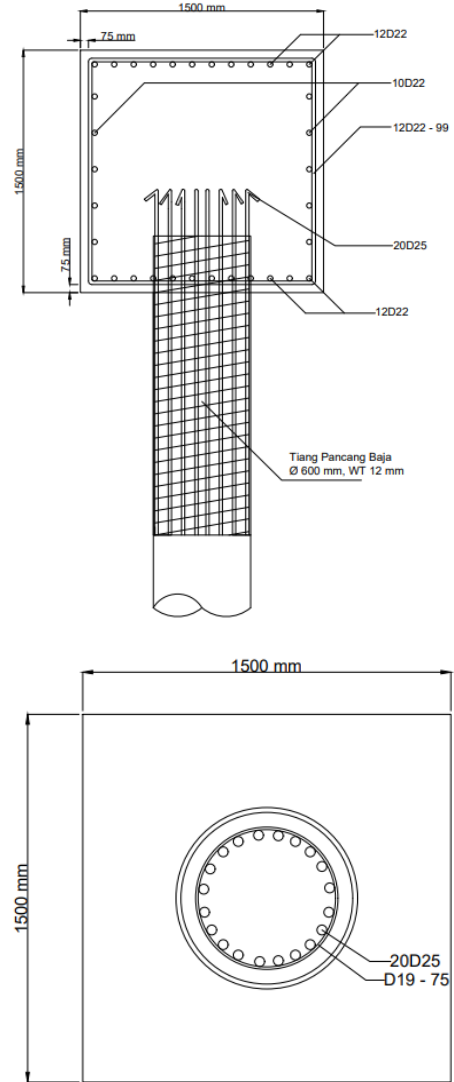
Gambar 4 Desain Penulangan Pelat Dermaga



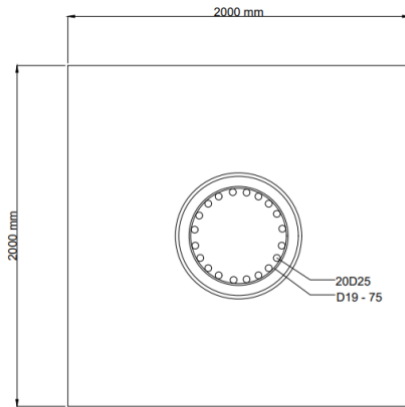
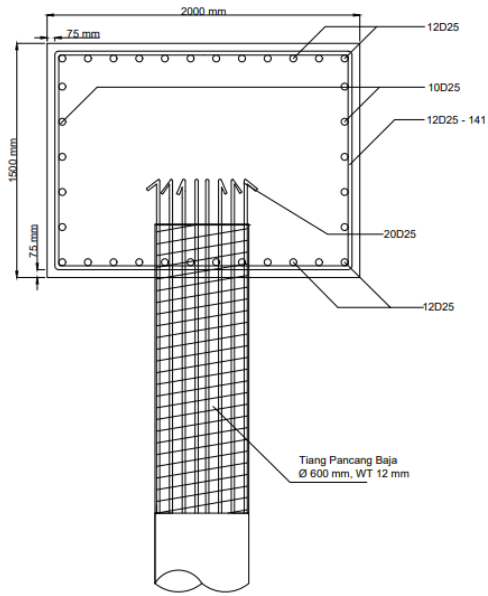
Gambar 5 Desain Penulangan *Pile Cap* Balok Dermaga



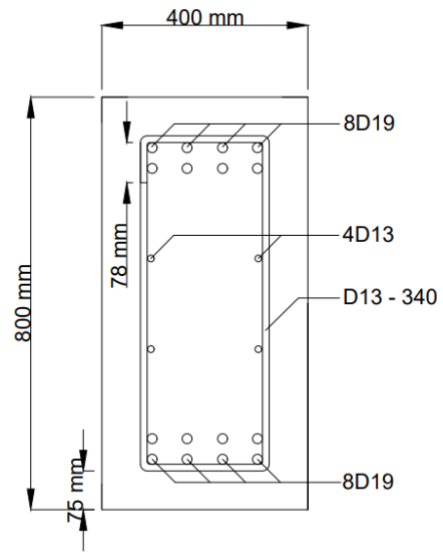
Gambar 6 Desain Penulangan *Pile Cap* Fender



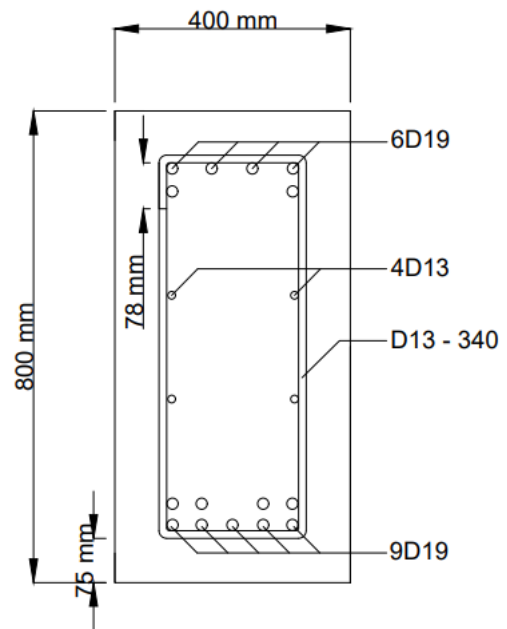
Gambar 7 Desain Penulangan Dowel dan Spiral *Pile Cap* Balok Dermaga



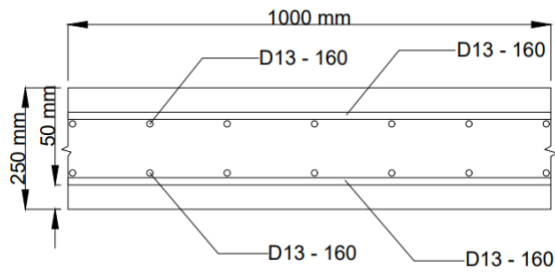
Gambar 8 Desain Penulangan Dowel dan Spiral *Pile Cap* Fender



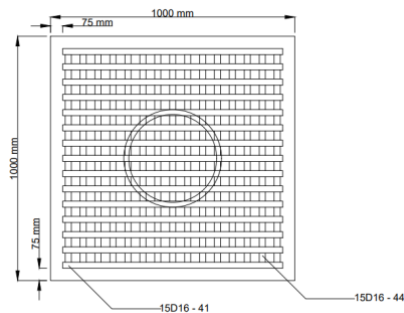
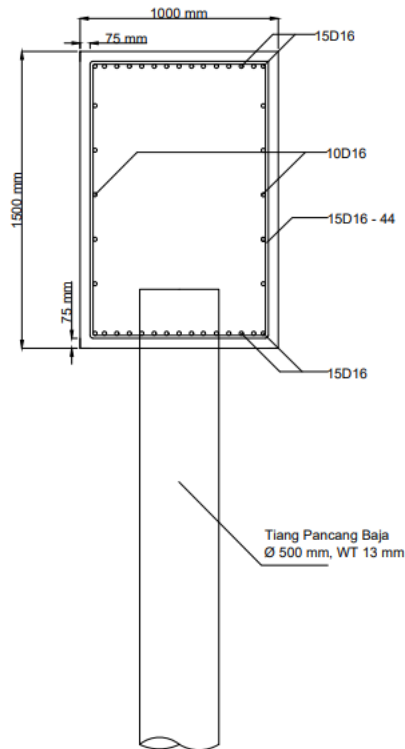
Gambar 9 Desain Penulangan Balok I *Trestle*



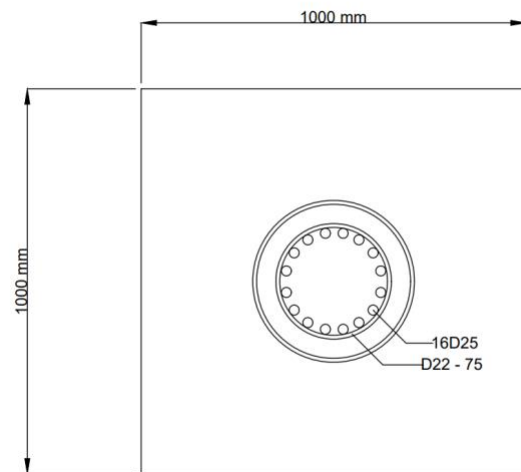
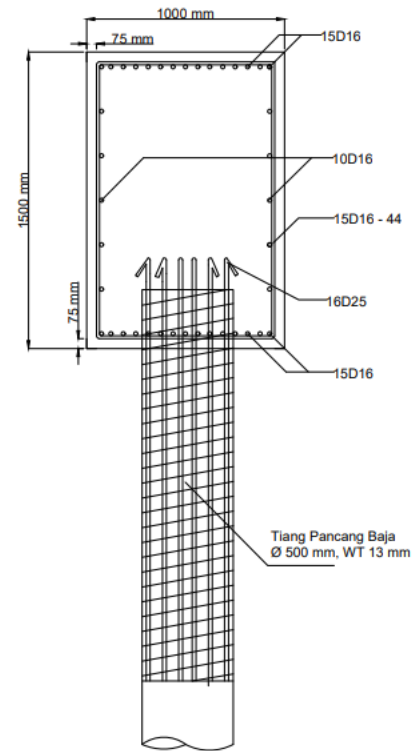
Gambar 10 Desain Penulangan Balok II *Trestle*



Gambar 11 Desain Penulangan Pelat *Trestle*



Gambar 12 Desain Penulangan Pile Cap *Trestle*



Gambar 13 Desain Penulangan Dowel dan Spiral *Pile Cap Trestle*

6) Analisis Daya Dukung Tanah

Analisis daya dukung tanah digunakan untuk mengetahui kedalaman rencana pemancangan tiang pancang berdasarkan nilai reaksi perletakan keluaran dari SAP 2000. Kedalaman

pemancangan tiang pancang untuk masing-masing struktur adalah sebagai berikut.

- Dermaga : 44 m dari dasar perairan
- Trestle : 44 m dari dasar perairan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari perancangan struktur dermaga kargo di Pelabuhan Bula, Maluku adalah sebagai berikut.

1. Dermaga yang melayani bongkar muat general cargo dengan kapal terbesar rencana berukuran 3.000 DWT memiliki dimensi sebagai berikut.
 - a. Panjang dermaga : 110 m
 - b. Lebar dermaga : 25 m
 - c. Kedalaman dermaga : -6,5 m – 8,9 m dari LWS
 - d. Elevasi dermaga : +3 m dari LWS
 - e. Fixity point : -6,2 m dari seabed
2. Trestle yang menghubungkan dermaga dengan daratan memiliki dimensi sebagai berikut.
 - a. Panjang trestle: 65 m
 - b. Lebar trestle : 6 m
 - c. Elevasi trestle : +3 m dari LWS
 - d. Fixity point : -5,1 m dari seabed
3. Fasilitas struktur dermaga yang digunakan untuk menahan beban bertambat akibat gaya lingkungan dan beban berlabuh kapal general cargo berukuran 3.000 DWT adalah sebagai berikut.
 - a. Jenis fender : SCN 1200-E1.9 (Katalog Fentek Marine Fendering System)
 - b. Kapasitas fender : $E_R = 808$ kN-m
 - c. Reaksi fender : $R_R = 1297$ kN
 - d. Jenis bollard : FZE Bollard tipe T-Head kapasitas 20 ton
4. Rancangan elemen struktural dermaga yang digunakan adalah sebagai berikut.
 - a. Tiang pancang
 - o Material : baja ASTM A252 Grade 2 ($f_y = 240$ MPa)
 - o Diameter : 600 mm
 - o Tebal : 12 mm
 - b. Balok dengan detail:
 - o Panjang x tebal x lebar : 5000 x 800 x 400 mm
 - o Tulangan lentur sisi bawah : 8D16, spasi = 53 mm
 - o Tulangan lentur sisi atas : 10D16, spasi = 36 mm
 - o Tulangan sengkang : D13
 - o Tulangan pinggang : 4D13
 - c. Pelat dengan detail:
 - o Panjang x lebar : 5000 x 5000 mm
 - o Tebal pelat : 250 mm
 - o Tulangan lentur bawah arah x: D13-160
 - o Tulangan lentur bawah arah y: D13-160
 - o Tulangan lentur atas arah x: D13-160
 - o Tulangan lentur atas arah y: D13-160
 - d. Pile cap Balok dengan detail:
 - o Dimensi pile cap balok: 1500 x 1500 x 1500 mm
 - o Tulangan lentur arah x: 12D22, spasi = 95 mm
 - o Tulangan lentur arah y: 12D22, spasi = 99 mm
 - o Tulangan dowel: 20D25
 - o Penyaluran tulangan dowel: 450 mm
 - o Concrete plug: 1500 mm
 - o Tulangan spiral: D19-75
 - e. Pile cap Fender dengan detail:
 - o Dimensi pile cap balok: 2000 x 2000 x 1500 mm
 - o Tulangan lentur arah x: 12D25, spasi = 136 mm
 - o Tulangan lentur arah y: 12D25, spasi = 141 mm
 - o Tulangan dowel: 20D25
 - o Penyaluran tulangan dowel: 450 mm
 - o Concrete plug: 1500 mm
 - o Tulangan spiral: D19-75
5. Rancangan elemen struktural trestle yang digunakan adalah sebagai berikut.
 - a. Tiang pancang

- Material: baja ASTM A252 Grade 2 ($f_y = 240$ MPa)
- Diameter : 500 mm
- Tebal : 13 mm
- b. Balok tipe-I (memanjang) dengan detail:
 - Panjang x tebal x lebar: 5000 x 800 x 400 mm
 - Tulangan lentur bawah: 8D19, spasi = 51 mm
 - Tulangan lentur sisi atas: 8D19, spasi = 51 mm
 - Tulangan sengkang: D13
 - Tulangan pinggang: 4D13
- c. Balok tipe-II (melintang) dengan detail:
 - Panjang x tebal x lebar: 6000 x 800 x 400 mm
 - Tulangan lentur sisi bawah: 9D19, spasi = 33 mm
 - Tulangan lentur sisi atas: 6D16, spasi = 51 mm
 - Tulangan sengkang: D13
 - Tulangan pinggang: 4D13
- d. Pelat dengan detail:
 - Panjang x lebar : 5000 x 5000 mm
 - Tebal pelat : 250 mm
 - Tulangan lentur bawah arah x: D13-160
 - Tulangan lentur bawah arah y: D13-160
 - Tulangan lentur sisi atas arah x: D13-160
 - Tulangan lentur sisi atas arah y: D13-160
- e. Pile cap Balok dengan detail:
 - Dimensi pile cap balok: 1000 x 1000 x 1500 mm
 - Tulangan lentur arah x: 15D16, spasi = 41 mm
 - Tulangan lentur arah y: 15D16, spasi = 44 mm
 - Tulangan dowel: 16D25
 - Penyaluran tulangan dowel: 450 mm
 - Concrete plug: 1500 mm

- Tulangan spiral: D22-75
- 6. Kebutuhan kedalaman pemancangan fondasi tiang pancang dermaga sesuai analisis daya dukung tanah adalah sebesar 44 m.
- 7. Kebutuhan kedalaman pemancangan fondasi tiang pancang trestle sesuai analisis daya dukung tanah adalah sebesar 44 m.

Berdasarkan pengerjaan laporan Tugas Akhir diberikan beberapa saran sebagai berikut,

1. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan metode konstruksi yang akan digunakan.
2. Jika berdasarkan hasil desain penulangan elemen struktural terdapat perubahan dimensi elemen, maka perlu dianalisis kembali menggunakan perangkat lunak SAP2000 dengan dimensi elemen hasil desain penulangan agar diperoleh gaya dalam yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction Inc. (2005). *Steel Construction Manual*. Chicago: American Institute of Steel Construction Inc.
- American Society of Civil Engineers. (2010). *ASCE Standard 7-10: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. United States: 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. M. (2016). *Principles of Foundation Engineering*. Boston: Cengage Learning.

Fentek Marine Systems GmbH. (2002). *Fentek Marine Fendering System*. Hamburg.

NJ Maritech International FZE. (2018). *Mooring Solution Bollard Catalog*. Uni Emiret Arab: NJ Maritech International FZE.

The British Standard Institution 2000. (2000). *British Standard (BS) Maritime Structures Part 1: Code of Practice for General Criteria*. London: BSI Standards Limited 2000.

The British Standards Institution 1994. (1994). *British Standard (BS) Maritime Structures Part 4: Code of Practice for Design of Fendering and Mooring Systems*. London: The British Standards Limited 1994.

The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI). (2002). *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*. Jepang: Daikousha Printing Co., Ltd.

Thoresen, C. A. (2003). *Port Designer's Handbook*. London: Thomas Telford Publishing.

Triatmodjo, B. (2009). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.