

PERANCANGAN DERMAGA KARGO DI PELABUHAN ARWALA, KABUPATEN MALUKU BARAT DAYA, PROVINSI MALUKU

Design of Cargo Dock in Arwala Port, Maluku Barat Daya Regency, Maluku Province

Justin Ivan Surya¹ dan Rildova²
Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganeca 10 Bandung 40132

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

Abstrak: Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar di dunia. Dimana sebagian besar pulau-pulau dihubungkan melalui transportasi laut. Dengan demikian dibutuhkan infrastruktur untuk mendukung bagi transportasi laut yaitu pelabuhan, termasuk di dalamnya dermaga. Pelabuhan dibutuhkan, terutama di daerah tertinggal untuk menjadi sarana penghubung antar pulau, yang bertujuan untuk mencukupi kebutuhan sumber daya. Kebutuhan tersebut menjadi dasar dirancangnya Pelabuhan bongkar muat kargo di Kabupaten Maluku Barat Daya, Provinsi Maluku yakni Pelabuhan Arwala.

Lingkup bahasan desain terdiri dari penentuan dimensi dermaga dan *trestle*, pemodelan struktur, desain penulangan struktur, dan perhitungan daya dukung tanah. Data kapal terbesar yang dapat berlabuh di Dermaga Arwala yakni kapal dengan bobot 1.000 DWT. Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Dari hasil perencanaan dimensi dermaga ditentukan panjang dermaga 80 m dengan lebar 10 m yang dihubungkan dengan *trestle* sepanjang 82 m dengan lebar 6 m. Adapun nilai UCR (*Unity Check Ratio*) terbesar untuk struktur dermaga adalah 0,72 dan struktur *trestle* adalah 0,75.

Kata Kunci: Struktur, Dermaga, Pemodelan, Kargo

Abstract: Indonesia is one of the largest archipelagic country in the world. Where most of the islands are being connected by sea transportations. For this peculiar reason, auxiliary infrastructures are needed to support the need for sea transportation in Indonesia, for instance, ports and docks. Ports are needed especially for underdeveloped regions with means to connect each region thus the regions are able to fulfill their needs. The necessity to fulfill its required needs is the fundamental reason for the making of the loading and unloading port in Southwest Maluku Regency, Maluku Province, namely the Arwala Port.

The scope of design consists of determining the dock and *trestle* dimensions, structural modeling, structural reinforcement design, and calculation of soil capacity. The largest vessel that can be docked in Arwala is 1.000 DWT. The structural design is analyzed using SAP2000 for structural modeling. From the results of the dock dimension planning, the dock length is determined to be 80m with a width of 10m connected to an 82 m long bridge with a width of 6m. The largest UCR (*Unity Check Ratio*) value for the dock structure is 0.72 and the bridge structure is 0.75.

Keywords: Dock, Structure, Modelling, Cargo

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki jumlah pulau sebanyak tujuh belas ribu pulau. Pulau-pulau yang ada di Indonesia kebanyakan merupakan pulau-pulau dengan ukuran yang cukup kecil dan hanya memiliki sedikit penduduk. Hal tersebut merupakan hambatan demografis yang dihadapi di Indonesia, dimana banyak pulau-pulau kecil memiliki perbedaan kualitas dan kuantitas sumber daya alam yang dimiliki sehingga menghambat pembangunan di daerah tersebut. Dengan demikian dibutuhkan suatu sarana untuk menghubungkan pulau-pulau tersebut yaitu merupakan pelayaran perintis yang dapat membantu menunjang pembangunan yang ada di wilayah tersebut. Berdasarkan Surat Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Laut Nomor AL.108/6/11/DJPL-16 Tentang Jaringan Trayek Angkutan Laut Perintis Tahun Anggaran 2017 menyatakan bahwa Kecamatan Desa Arwala merupakan pelabuhan yang dilalui trayek perintis R-50.

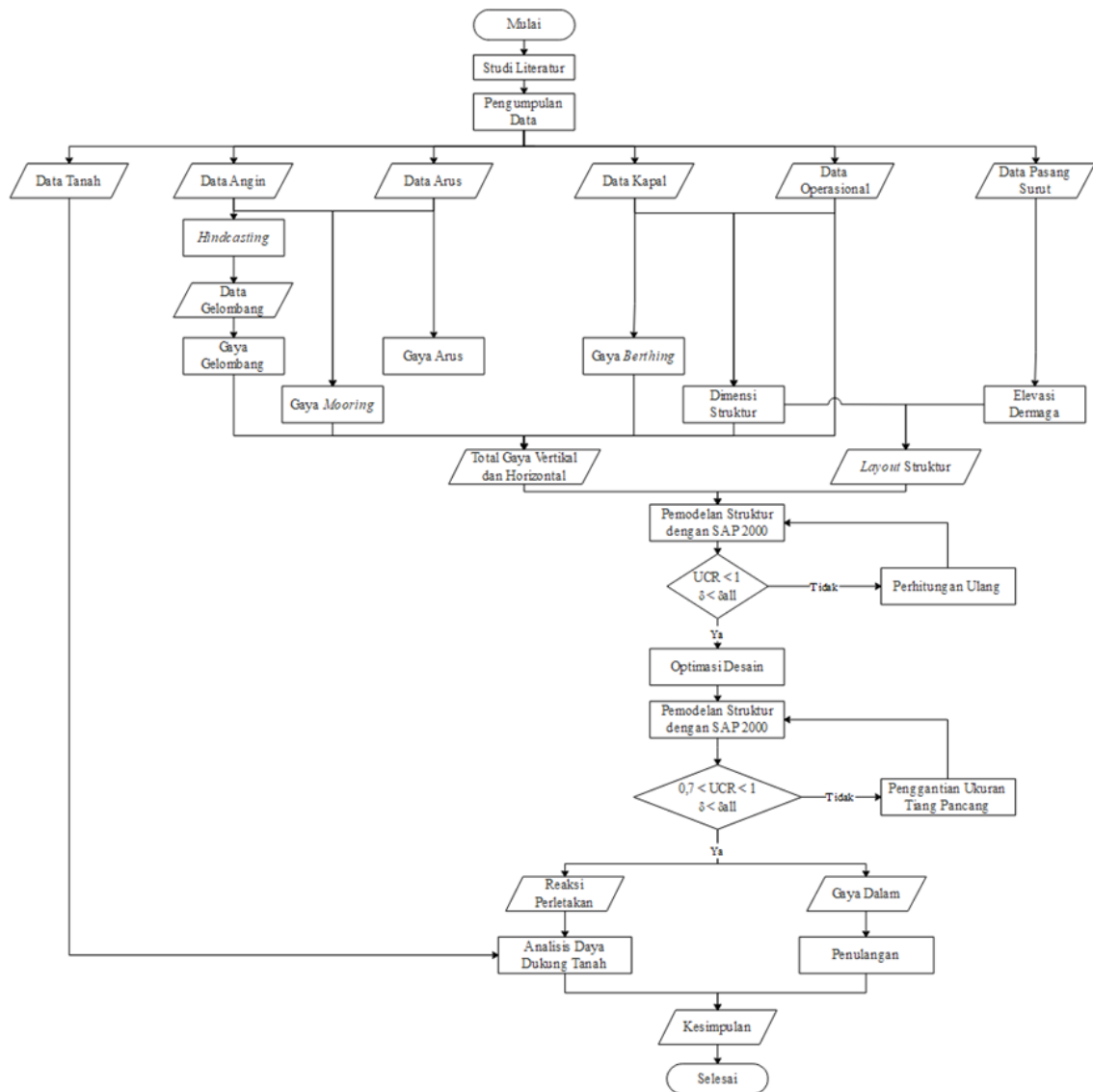
Dengan demikian dibutuhkan dibangunnya sebuah pelabuhan untuk melayani trayek perintis tersebut. Dengan demikian dibuat Pelabuhan Arwala yang bongkar muat kargo dan terletak di Desa Arwala, Kecamatan Wetar, Kabupaten Maluku Barat Daya. Pelabuhan Arwala berada pada koordinat $7^{\circ}39'29.74''$ LS dan $126^{\circ}48'10.43''$ BT. Pelabuhan Arwala melayani kegiatan bongkar muat barang (kargo).

TEORI DAN METODOLOGI

Perancangan Dermaga Arwala dilakukan dengan mengumpulkan data-data sekunder dan kriteria desain terlebih dahulu yang terdiri dari data lingkungan (pasang surut, angin, gelombang, dan data tanah), data kapal rencana yang akan dilayani, dimensi dermaga dan *trestle* (panjang, lebar, dan kedalaman perairan), serta material yang digunakan pada struktur dermaga dan *trestle*.

Selanjutnya dilakukan perhitungan gaya-gaya yang bekerja dan desain elemen struktural dermaga dan *trestle*. Dimensi elemen struktural yang ditentukan terdiri dari ukuran pelat, balok, tiang pancang dan *pile cap*. Gaya-gaya yang bekerja pada struktur dermaga terdiri dari beban *berthing*, beban *mooring*, beban mati struktur dan fasilitas tambahan, beban hidup (manusia dan kendaraan), serta beban lingkungan (gaya gelombang, gaya arus, dan gaya gempa).

Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir

Persamaan energi *berthing* berdasarkan OCDI 2002 adalah sebagai 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)

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* dihitung atas pengaruh arus dan angin. Persamaan beban *mooring* akibat angin berdasarkan OCDI 2002 adalah sebagai 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_{TC}	: beban arus arah transversal (kN)
R_{LC}	: beban arus arah longitudinal (kN)
S	: luas permukaan basah (m^2)
V_y	: kecepatan arus transversal (m/s)
V_x	: kecepatan arus longitudinal (m/s)
ρ	: massa jenis air laut (1.015 kg/m^3)
C	: koefisien tekanan arus
B	: luas proyeksi sisi samping kapal (m^2)

Beban mati dan beban hidup berupa fasilitas ditentukan berdasarkan dimensi yang diketahui. Beban lingkungan berupa gaya gelombang dan gaya arus ditentukan dengan Persamaan Morison, serta beban lingkungan berupa gaya gempa ditentukan dengan menggunakan data sekunder berupa spektral gempa.

Selanjutnya adalah memodelkan struktur dermaga dengan perangkat lunak SAP2000 dengan menggunakan 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 berupa gaya dalam balok dan pelat digunakan untuk melakukan proses desain

tulangan geser dan lentur pada balok dan pelat.

Proses desain tulangan komponen beton dilakukan berdasarkan SNI 03-2847-2013. Sedangkan reaksi perletakan digunakan untuk menentukan kedalaman tiang pancang.

Penentuan kedalaman tiang pancang dilakukan agar tiang pancang mampu menahan gaya yang bekerja pada struktur. Proses perhitungan yang dilakukan yaitu 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 ANALISA

Analisis dilakukan untuk data angin, data pasang surut, data kapal dan data tanah. Hasil analisis data angin berupa *windrose*, *waverose*, perkiraan gelombang dengan periode ulang 50 tahun. Sedangkan data pasang surut dan data kapal digunakan untuk menentukan elevasi dasar dan muka air yang digunakan dalam perencanaan struktur dermaga.

Analisa Data Angin dan Gelombang

Data angin yang digunakan didapatkan dari laman ECMWF pada tahun 2009 s.d. 2018 dengan interval data 6 jam. Dari hasil analisis ekstrim data angin diperoleh kecepatan maksimum sebesar 13,24 m/s dari Barat.

Selanjutnya dilakukan *hindcasting* data angin untuk memperoleh data gelombang laut dalam. Dari hasil *hindcasting* kemudian dilakukan pemodelan gelombang dengan menggunakan

perangkat lunak DELFT3D untuk memperoleh data berupa arah dan tinggi gelombang pada laut dangkal. Hasil pemodelan menunjukkan tinggi gelombang untuk periode ulang 50 tahunan adalah 1,42 m dari arah Tenggara dengan periode 8,76 detik.

Analisa Data Pasang Surut

Data pasang surut didapatkan dari PT Raya Surveindo Tirtasana yang diambil pada tanggal 11-25 Mei 2017. Data pasang surut diolah dengan menggunakan perangkat lunak ERGTIDE. Diperoleh bahwa pasang surut di Arwala berjenis pasang surut campuran dominan semidiurnal. Dari hasil pengolahan ERGRAM dan ERGELV diperoleh tunggang pasang sebesar 2,76 m dari LWS.

Analisa Data Arus

Data arus yang digunakan didapatkan dari PT Raya Surveindo Tirtasana dengan besar kecepatan arus maksimum adalah 0,064 m/s ke arah Tenggara.

Analisa Data Tanah

Karakteristik data tanah di Pelabuhan Arwala adalah tanah pasir. Dari nilai SPT data tanah, diperoleh $S_{DS} = 0,839g$ dan $S_{D1} = 0,534g$. Nilai SPT tanah juga digunakan dalam perhitungan daya dukung tanah.

Data Kapal

Kapal kargo terbesar yang dapat bersandar pada Dermaga Arwala berbobot 1.000 DWT dengan dimensi: $L_{OA} = 67$ m, $L_{BP} = 62$ m, $Breadth = 10,8$ m, $Draught = 3,9$ m.

Perencanaan Dimensi Dermaga dan Trestle

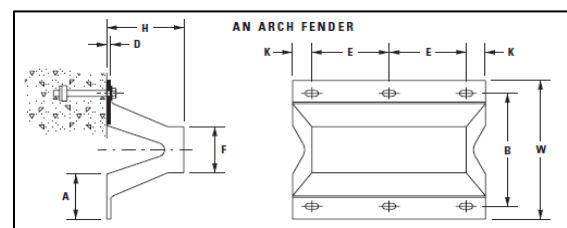
Dermaga yang direncanakan berupa *jetty* dengan struktur *deck on pile* yang dihubungkan dengan *trestle* ke darat. Hasil perencanaan dimensi ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1 Dimensi rencana

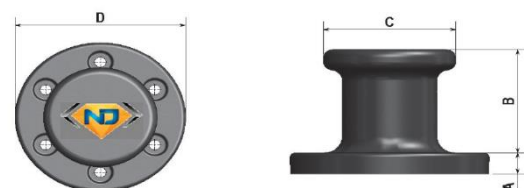
Fasilitas	Uraian	Dimensi
Dermaga	Panjang	80 m
	Lebar	10 m
	Elevasi	+4 m dari LWS
Trestle	Panjang	82 m
	Lebar	6 m

Fasilitas Dermaga

Dengan energi abnormal *berthing* terbesar kapal (E_A) = 26,537 kN-m, dipilih *fender* tipe AN2500 yang memiliki panjang 3,5 m dengan *rated energy* (E_R) = 41,65 kN dan berat 161 kg. Sedangkan beban *mooring* terbesar yang diterima *bollard* adalah 2,863 ton, sehingga dipilih *pillar bollard* dengan kapasitas 5 ton dan berat 40,58 kg. Ilustrasi *fender* dan *bollard* terpilih ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2 Fender AN250



Gambar 3 Pillar Bollard 5 ton

Perencanaan Struktur

Struktur dermaga dan *trestle*, menggunakan struktur beton bertulang dengan mutu beton (f_c') = 35 MPa dan material tiang pancang dengan mutu baja ASTM A252 Grade 2 dengan tegangan leleh (f_y) = 240 MPa. Selain itu juga didesain dimensi elemen struktural dermaga yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan dimensi elemen structural *trestle* yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2 Dimensi elemen struktural dermaga

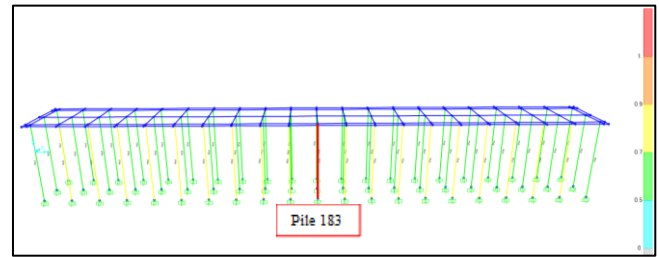
Uraian	Dimensi
Balok Melintang	350 mm × 700 mm
Tiang Pancang	Ø500 mm ; t=12 mm
Tebal Pelat	200 mm
Pile Cap Balok	1.400 × 1.400 × 1.000 mm
Pile Cap <i>Fender</i>	2.100 × 1.400 × 1.500 mm

Tabel 3 Dimensi elemen struktural *trestle*

Uraian	Dimensi
Balok Melintang	350 mm × 700 mm
Tiang Pancang	Ø500 mm ; t=9 mm
Tebal Pelat	200 mm
Pile Cap Balok	1.400 × 1.400 × 1.000 mm

Analisa Struktur Dermaga

Analisa struktur dermaga tahap pertama yaitu pengecekan hasil UCR yang terjadi pada tiang pancang. Dimana UCR maksimum dermaga diperoleh sebesar 0,72 dimana masih memiliki nilai dari 1 dan hasil UCR ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil UCR struktur dermaga

Analisa struktur dermaga tahap kedua adalah pengecekan defleksi pada Tabel 4. Batas defleksi yang diizinkan berdasarkan Penetapan Tata Cara Perhitungan Struktur Fasilitas Pelabuhan Laut adalah 5 cm untuk kondisi operasional dan 10 cm untuk kondisi gempa.

Tabel 4 Rangkuman defleksi dermaga

Beban	Load Comb	Joint text	Arah	Defleksi (cm)
Operasional	SLS2.1	173	U1	0,44
	SLS2.1	173	U2	4,09
Gempa	SLS7.1	8	U1	6,28
	SLS7.2	32	U2	6,45
Keterangan kombinasi: SLS2.1 : 1,0DL + 1,0LL + 1,0B1 SLS7.1 : 0,6DL + 0,7E _x SLS7.2 : 0,6DL + 0,7E _y				

Selanjutnya, dilakukan pengambilan *output* analisa struktur berupa reaksi perletakan yang ditunjukkan Tabel 5 dan gaya dalam yang ditunjukkan dalam Tabel 6 dan Tabel 7 yang digunakan sebagai bahan *input* untuk desain penulangan.

Tabel 5 Reaksi perletakan dermaga

No. Joint	Load Comb	Reaksi Perletakan (kN)	Keterangan
71	SLS 2.1	544,12	Maksimum
66	SLS 7.2	10,993	Minimum
Keterangan kombinasi: SLS2.1 : 1,0DL + 1,0LL + 1,0B1 SLS6.2 : 0,6DL + 0,7E _y			

Tabel 6 Gaya dalam balok dermaga

No. Frame	Load Comb	V2 (kN)	M3 (kN-m)
69	ULS2.1	339,001	-269,382
70	ULS2.3	-303,615	-208,973
209	ULS4.1	59,679	349,294
155	ULS4.1	-59,679	-349,294
Keterangan kombinasi: ULS2.1 : 1,2DL + 1,6LL + 1,6B1 ULS2.3 : 1,2DL + 1,6LL + 1,6B3 ULS4.1 : 1,2DL + 1,0LL + 1,0E _x			

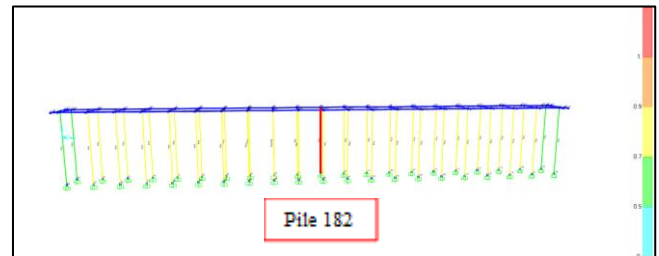
Tabel 7 Gaya dalam pelat dermaga

No. Area	Load Comb	M11 (kN-m/m)	M22 (kN-m/m)
8	ULS7.1	17,174	3,649
8	ULS4.1	-17,909	-5,929
6	ULS4.2	4,769	19,433
3	ULS7.2	-3,678	-17,645
Keterangan kombinasi: ULS4.1 : 1,2DL + 1,0LL + 1,0E _x ULS4.2 : 1,2DL + 1,0LL + 1,0E _y ULS7.1 : 0,9DL + 1,0E _x ULS7.2 : 0,9DL + 1,0E _y			

Analisa Struktur Trestle

Analisa struktur *trestle* tahap pertama yaitu pengecekan hasil UCR yang terjadi pada tiang

pancang. Dimana UCR maksimum dermaga diperoleh sebesar 0,75 dimana masih memiliki nilai dari 1 dan hasil UCR ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 Hasil UCR struktur *trestle*

Analisa struktur dermaga tahap kedua adalah pengecekan defleksi pada Tabel 8. Batas defleksi yang diizinkan berdasarkan Penetapan Tata Cara Perhitungan Struktur Fasilitas Pelabuhan Laut adalah 5 cm untuk kondisi operasional dan 10 cm untuk kondisi gempa. Selanjutnya, dilakukan pengambilan *output* analisa struktur berupa reaksi perletakan yang ditunjukkan Tabel 9 dan gaya dalam yang ditunjukkan dalam Tabel 10 dan Tabel 11 yang digunakan sebagai bahan *input* untuk desain penulangan.

Tabel 8 Rangkuman defleksi *trestle*

Beban	Load Comb	Joint text	Arah	Defleksi (cm)
Operasional	SLS3.1	9	U1	0,02
	SLS3.2	21	U2	0,07
Gempa	SLS5.1	27	U1	6,05
	SLS5.2	158	U2	6,29
Keterangan kombinasi: SLS3.1 : 1,0DL + 1,0W _x + 1,0C _x SLS3.2 : 1,0DL + 1,0W _y + 1,0C _y SLS5.1 : 1,0DL + 0,7E _x SLS5.2 : 1,0DL + 0,7E _y				

Tabel 9 Reaksi perletakan *trestle*

No. Joint	Load Comb	Reaksi Perletakan (kN)	Keterangan
71	SLS 4.2	418,48	Maksimum
65	SLS 5.2	9,374	Minimum
Keterangan kombinasi: SLS4.2: $1,0DL + 0,75LL + 0,525E_Y$ SLS5.2: $0,6DL + 0,7E_Y$			

Tabel 10 Gaya dalam balok *trestle*

No. Frame	Load Comb	V2 (kN)	M3 (kN-m)
69	ULS4.2	284,329	100,829
69	ULS4.2	-284,329	-298,827
210	ULS4.1.	46,081	264,964
69	ULS4.1	-284,329	-298,827
Keterangan kombinasi: ULS4.1: $1,2DL + 1,0LL + 1,0E_x$ ULS4.2: $1,2DL + 1,0LL + 1,0E_y$			

Tabel 11 Gaya dalam pelat *trestle*

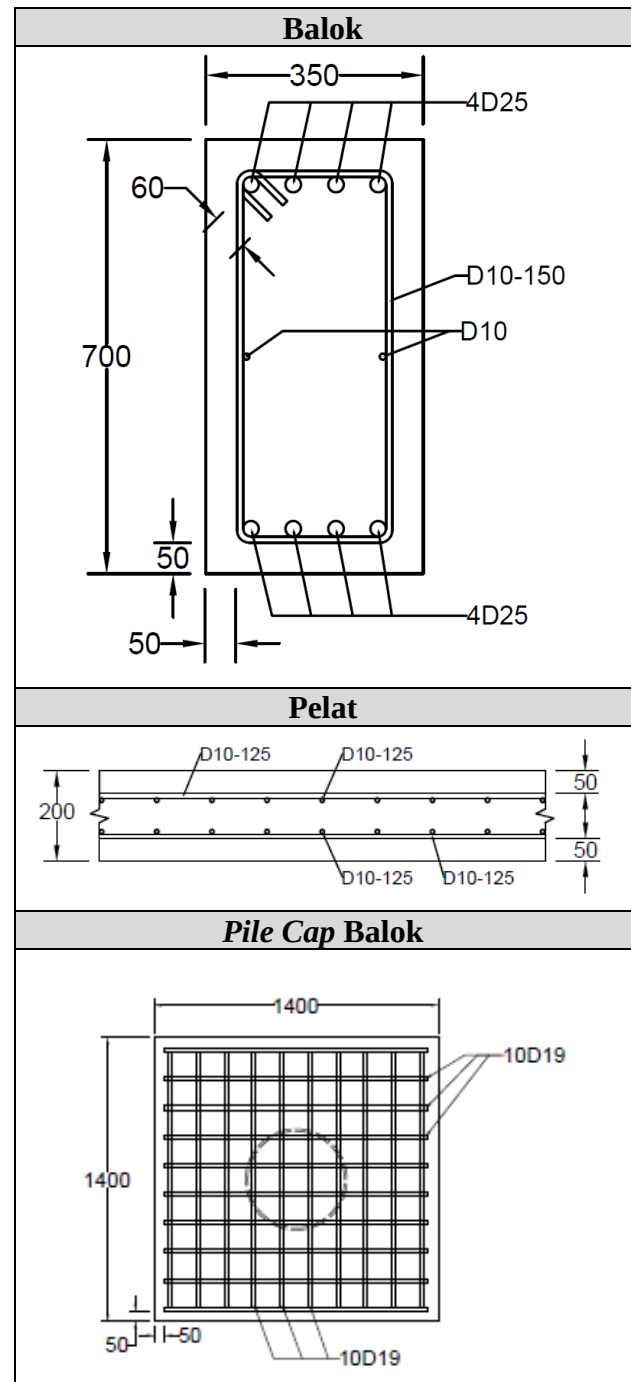
No. Area	Load Comb	M11 (kN-m/m)	M22 (kN-m/m)
4	ULS5.1	13,073	2,910
4	ULS4.1	-14,427	-5,374
7	ULS4.2.	4,429	16,902
1	ULS5.2	-3,486	-15,212
Keterangan kombinasi: ULS4.1: $1,2DL + 1,0LL + 1,0E_x$ ULS4.2: $1,2DL + 1,0LL + 1,0E_y$ ULS5.1: $0,9DL + 1,0E_x$ ULS5.2: $0,9DL + 1,0E_y$			

Penulangan Komponen Struktural

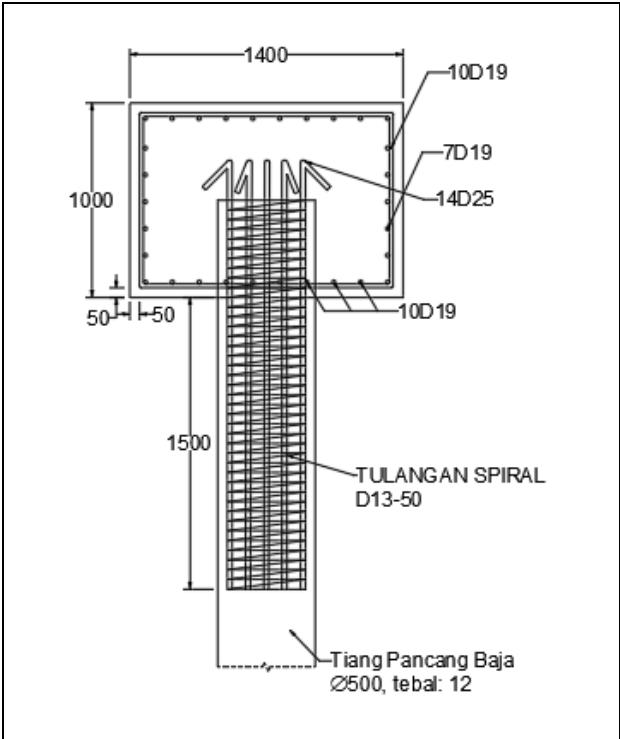
Penulangan komponen struktural terdiri dari balok, pelat, dan *pile cap*. Penulangan komponen dermaga ditunjukkan pada Tabel 12

dan penulangan komponen *trestle* ditunjukkan pada Tabel 13.

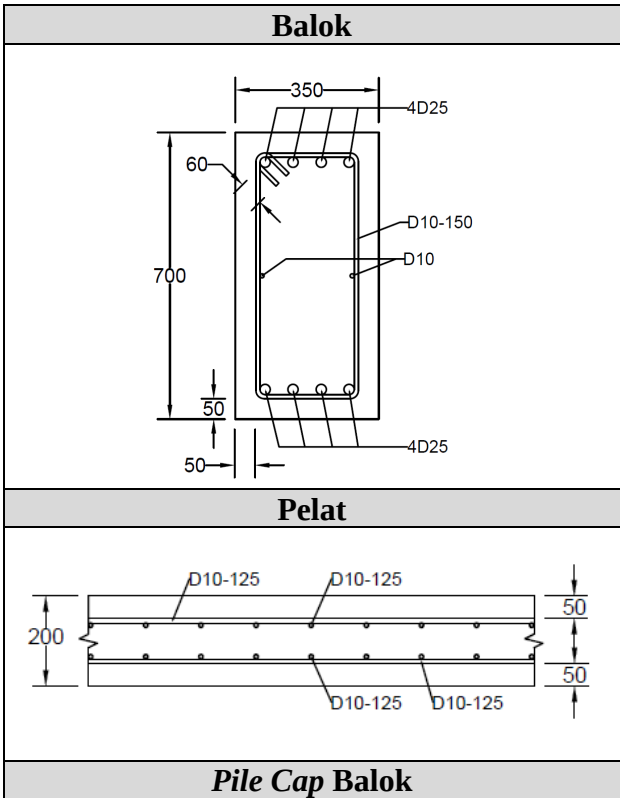
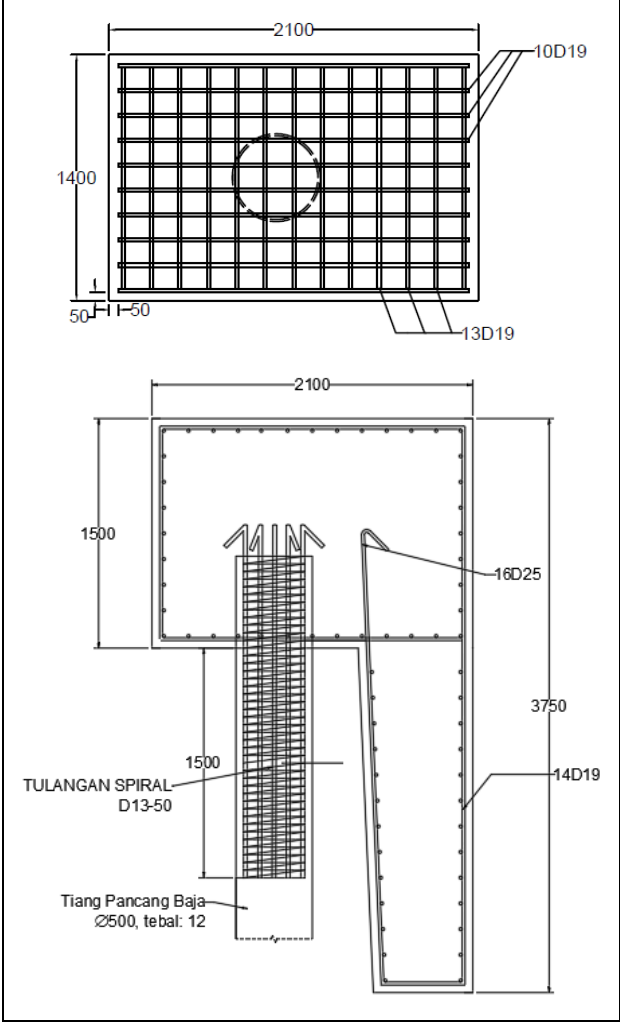
Tabel 12 Penulangan komponen dermaga



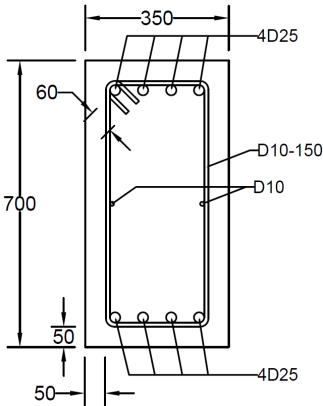
Tabel 13 Penulangan komponen *trestle*



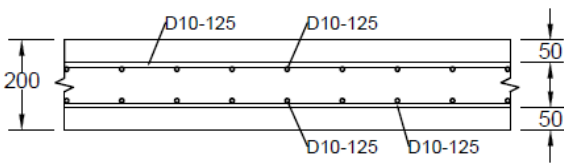
Pile Cap Fender



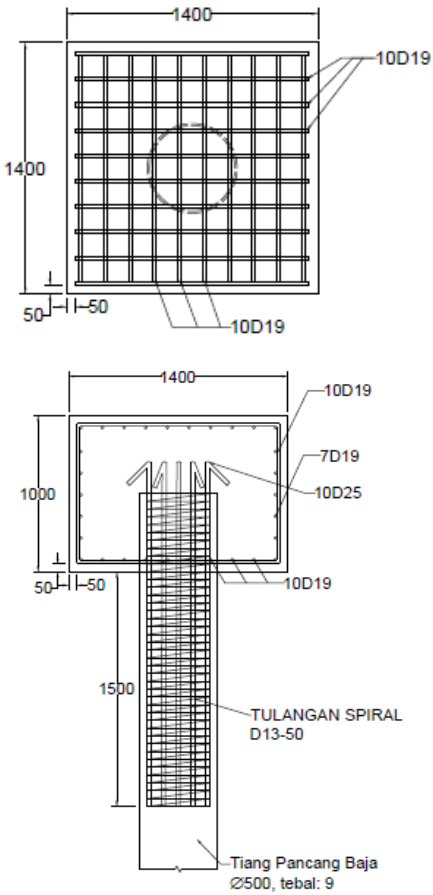
Balok



Pelat



Pile Cap Balok



Daya Dukung Tanah

Hasil kedalaman pemancangan tiang pancang pada masing-masing struktur ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14 Kedalaman tiang pancang

Struktur	Kedalaman Pemancangan
Dermaga	31 meter
Trestle	31 meter
Kedalaman pemancangan dihitung dari dasar laut	

KESIMPULAN

1. Dermaga Arwala melayani bongkar muat kargo untuk satu unit kapal berukuran 1.000 DWT dengan dimensi dermaga sebagai berikut.
 - a. Panjang dermaga : 80 meter
 - b. Lebar dermaga : 10 meter
 - c. Elevasi lantai : +4 meter dari LWS
 - d. Kedalaman perairan : -5 meter dari LWS
 - e. Fixity point : 2,49 meter
 - f. Kedalaman tiang pancang : 31 meter dari dasar laut
2. Trestle yang menghubungkan dermaga dengan darat memiliki dimensi sebagai berikut.
 - a. Panjang trestle : 82 meter
 - b. Lebar trestle : 6 meter
 - c. Elevasi lantai : +4 meter dari LWS
 - d. Kedalaman perairan : -5 meter dari LWS
 - e. Fixity point : 2,32 meter
 - f. Kedalaman tiang pancang : 31 meter dari dasar laut

3. Fasilitas struktur dermaga yang digunakan untuk menahan beban *berthing* kapal dan beban *mooring* akibat gaya lingkunagn adalah sebagai berikut.

- a. Jenis *fender* : Arc Fender AN250
- b. Kapasitas *fender* : 41,65 kN-m
- c. Reaksi *fender* : 430,5 kN
- d. Jenis *bollard* : Pillar Bollard 5 ton

4. Hasil pemodelan struktur dermaga dengan menggunakan SAP200 adalah sebagai berikut.

- a. Defleksi maksimum kondisi operasi (batas defleksi = 5 cm)
 - Arah x : 0,44 cm
(1,0DL + 1,0 LL + 1,0B1)
 - Arah y : 4,09 cm
(1,0DL + 1,0 LL + 1,0B1)
- b. Defleksi maksimum kondisi gempa (batas defleksi = 10 cm)
 - Arah x : 6,28 cm
(0,6DL + 0,7Ex)
 - Arah y : 6,45 cm
(0,6DL + 0,7Ey)
- c. Reaksi maksimum : 544,12 kN
(1,0DL + 1,0 LL + 1,0B1)
- d. Unity Check Ratio maks. : 0,72
(1,2DL + 1,0LL + 1,0Ey)

Keterangan:

DL = Dead Load; LL = Live Load; B1 = Berthing-1; Ex = Gempa arah X; Ey = Gempa arah Y.

5. Hasil pemodelan struktur *trestle* dengan menggunakan SAP200 adalah sebagai berikut.

a. Defleksi maksimum kondisi operasi (batas defleksi = 5 cm)

- Arah x : 0,02 cm
(1,0DL + 1,0W_{X+} + 1,0C_{X+})
- Arah y : 0,07 cm
(1,0DL + 1,0W_{Y+} + 1,0C_{Y+})

b. Defleksi maksimum kondisi gempa (batas defleksi = 10 cm)

- Arah x : 6,05 cm
(1,0DL + 0,7E_x)
- Arah y : 6,29 cm
(1,0DL + 0,7E_y)

c. Reaksi maksimum : 418,48 kN
(1,0DL + 0,75LL + 0,525E_y)

d. *Unity Check Ratio* maks. : 0,75
(1,2DL + 1,0LL + 1,0E_y)

Keterangan:

DL = Dead Load; LL = Live Load; W_{X+} = Gelombang arah X+; C_{X+} = Arus arah X+; E_x = Gempa arah X; E_y = Gempa arah Y.

6. Dimensi komponen struktur dermaga adalah sebagai berikut.

a. Tiang pancang

- Material : baja ASTM 252 *Grade 2*
- Diameter : 500 mm
- Tebal : 12 mm

b. Balok

- Dimensi : 350 mm × 700 mm

- Tulangan lentur bawah :

Ø25 mm, n= 4 buah, spasi = 40 mm

- Tulangan lentur atas :

Ø25 mm, n= 4 buah, spasi = 40 mm

- Tulangan sengkang :

Ø10 mm, spasi = 140 mm

- Tulangan pinggang :

Ø10 mm, n = 2 buah

c. Pelat

- Tebal pelat : 200 mm

- Tulangan lentur bawah arah x :

Ø10 mm, n= 9 buah, spasi = 125 mm

- Tulangan lentur atas arah x :

Ø10 mm, n= 9 buah, spasi = 125 mm

- Tulangan lentur bawah arah y :

Ø10 mm, n= 9 buah, spasi = 125mm

- Tulangan lentur atas arah y :

Ø10 mm, n= 9 buah, spasi = 125 mm

d. *Pile cap* balok

- Dimensi :

1.400 mm × 1.400 mm × 1.400 mm

- Tulangan susut arah x :

Ø19 mm, n= 10 buah, spasi = 120 mm

- Tulangan susut arah y :

Ø19 mm, n= 10 buah, spasi = 120 mm

- Tulangan dowel :

Ø25 mm, n= 16 buah

- Tulangan spiral :

Ø13 mm, spasi = 50 mm

e. *Pile cap fender*

- Dimensi :

2.100 mm × 1.400 mm × 1.500 mm

- Janggutan :
500 mm × 1.400 mm × 2.250 mm
- Tulangan susut arah x :
Ø19 mm, n= 13 buah, spasi = 200 mm
- Tulangan susut arah y :
Ø19 mm, n= 10 buah, spasi = 100 mm
- Tulangan dowel :
Ø25 mm, n= 16 buah
- Tulangan spiral :
Ø13 mm, spasi = 50 mm

7. Dimensi komponen struktur *trestle* adalah sebagai berikut.

a. Tiang pancang

- Material : baja ASTM 252 *Grade 2*
- Diameter : 500 mm
- Tebal : 9 mm

b. Balok

- Dimensi : 350 mm × 700 mm
- Tulangan lentur bawah :
Ø22 mm, n= 4 buah, spasi = 40 mm
- Tulangan lentur atas :
Ø22 mm, n= 4 buah, spasi = 40 mm
- Tulangan sengkang :
Ø10 mm, spasi = 200 mm
- Tulangan pinggang :
Ø10 mm, n = 2 buah

c. Pelat

- Tebal pelat : 200 mm
- Tulangan lentur bawah arah x :
Ø10 mm, n= 9 buah, spasi = 125 mm
- Tulangan lentur atas arah x :
Ø10 mm, n= 9 buah, spasi = 125 mm

- Tulangan lentur bawah arah y :
Ø10 mm, n= 9 buah, spasi = 125 mm
- Tulangan lentur atas arah y :
Ø10 mm, n= 9 buah, spasi = 125 mm

d. *Pile cap* balok

- Dimensi :
1.400 mm × 1.400 mm × 1.400 mm
- Tulangan susut arah x :
Ø19 mm, n= 10 buah, spasi = 120 mm
- Tulangan susut arah y :
Ø19 mm, n= 10 buah, spasi = 120 mm
- Tulangan dowel :
Ø25 mm, n = 12 buah
- Tulangan spiral:
Ø13 mm, spasi = 50 mm

SARAN

Dalam melakukan perancangan ada baiknya meninjau detail metode konstruksi pengerjaan yang akan digunakan seperti menggunakan metode *cast in situ* atau *precast*. Serta meninjau dari segi lokasi dan harga untuk menentukan metode yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Conrete Institute. (2011). *ACI 318-11: Building Code Requirements for Structural Concrete*. Farmington Hills: American Conrete Institute.
- American Society of Civil Engineers. (2010). *Minimum Design Loads for Buildiings and Other Structures*. Virginia: American Society of Civil Engineers.
- Atyanthadi, A. R. (2018). *Tutorial Delft3D Modul Wave (Propagasi Gelombang)*. Bandung.

- 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.