

PERANCANGAN STRUKTUR DERMAGA KARGO TIPE *DECK ON PILE* DI PELABUHAN SOFIFI, KOTA TIDORE KEPULAUAN, PROVINSI MALUKU UTARA

Design of Deck on Pile Cargo Dock in Sofifi Port, Tidore Kepulauan, North Maluku

Fany Surya Prabowo¹ dan Paramashanti²

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

¹fany Suryap@gmail.com dan ²parama@ocean.itb.ac.id

Abstrak: Pelayanan bongkar muat barang di Kota Tidore Kepulauan, Maluku Utara dilakukan oleh pelabuhan sofifi. Pelabuhan Sofifi pada awalnya dirancang untuk kapal 1000 DWT namun seiring dengan bertambahnya volume kunjungan kapal dan bongkar muat serta berubahnya kondisi lingkungan perairan Sofifi yang menyebabkan banyak kerusakan, oleh karena itu, diperlukan pengembangan Pelabuhan Sofifi untuk meningkatkan kegiatan operasional pelabuhan agar dapat melayani kegiatan kepelabuhanan sesuai dengan kondisi lingkungan terkini serta kondisi volume bongkar muat yang bertambah.

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 Kargo Sofifi yakni kapal dengan bobot 2000 DWT. Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Dari hasil perencanaan *layout* ditentukan panjang dermaga 97m dengan lebar 12m yang dihubungkan dengan *trestle* sepanjang 97 m dengan lebar 7m. Adapun nilai UCR (*Unity Check Ratio*) terbesar untuk struktur dermaga adalah 0,91 dan struktur *trestle* adalah 0,878.

Kata Kunci: Dermaga, Struktur, Pemodelan, Kargo

Abstract: Loading-unloading cargo services in Tidore Kepulauan, province of Maluku Utara are carried out by Port of Sofifi. At first Port of Sofifi only designed for 1000 DWT vessels but with increasing volume of ship visits and loading-unloading services and also change in environmental condition of Sofifi waters which cause a lot of damage. So that, development of Sofifi port is needed to improve port operational activities so that it can serve port activities in accordance with the latest environmental condition and also the increase of loading-unloading services.

The scope of design consist of determining dock and trestle dimensions, structural modelling, structural reinforcement design, and calculation of soil capacity. The largest vessel that can docked in Sofifi is 2000 DWT. The structural design is analyzed using SAP2000 for structural modelling. For the result of layout planing, 122m in length and 11m in wide, connected by trestle with a length of 97m and a wide of 7m. Unity check ratio for the dock structure is 0,91 and the trestle structure is 0,878.

Keywords: Dock, Structure, Modelling, Cargo

PENDAHULUAN

Pelabuhan Sofifi merupakan pelabuhan umum masuk dalam kategori pelabuhan pengumpul yang berperan sebagai *hinterland* dan pendukung konektivitas pergerakan ekonomi di wilayah kota Tidore dan sekitarnya. Pelabuhan Sofifi terletak di Kota Tidore Kepulauan, provinsi Maluku Utara. Secara astronomis pelabuhan Sofifi terletak pada 0°20' Lintang Utara hingga 0°50' Lintang Selatan dan pada posisi 127°10' - 127°45' Bujur Timur.

Pelabuhan Sofifi melayani jenis kegiatan bongkar muat kargo. Berdasarkan data dari KUPP Soasio, dalam kurun waktu 5 tahun (2011-2015) jumlah kunjungan kapal di pelabuhan Sofifi terus mengalami peningkatan dan untuk arus bongkar muat terjadi perbedaan cukup jauh dengan barang yang dibongkar meningkat lebih besar daripada barang yang dimuat.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh pihak konsultan perencana pada tahun 2016, kondisi fisik dermaga Sofifi mengalami kerusakan pada beberapa bagian pelat yang telah mengelupas sehingga menyebabkan tulangan tarik mengalami korosi. Selain itu terdapat kerusakan struktural pada bagian tiang pancang yang mengalami *displacement* searah dermaga dan arah tegak lurus dermaga ketika kondisi air tenang. Kemudian pada beberapa bagian dermaga lainnya terdapat beberapa buah tiang pancang yang patah dan hilangnya beberapa *fender* pada sisi depan dermaga.

Dalam rangka peningkatan kualitas pelayanan angkutan laut di Kota Sofifi, maka diperlukan adanya tindakan perencanaan ulang dermaga dengan sarana dan prasarana yang mendukung. Perencanaan ulang yang dapat dilakukan berupa melakukan analisis perencanaan dermaga dengan kondisi lingkungan terbaru untuk mengurangi dampak dari pengaruh lingkungan yang ada. Perencanaan yang dilakukan bertujuan untuk mendukung kegiatan bongkar muat barang (*cargo*) yang dapat melayani kegiatan kepelabuhan sepanjang tahun.

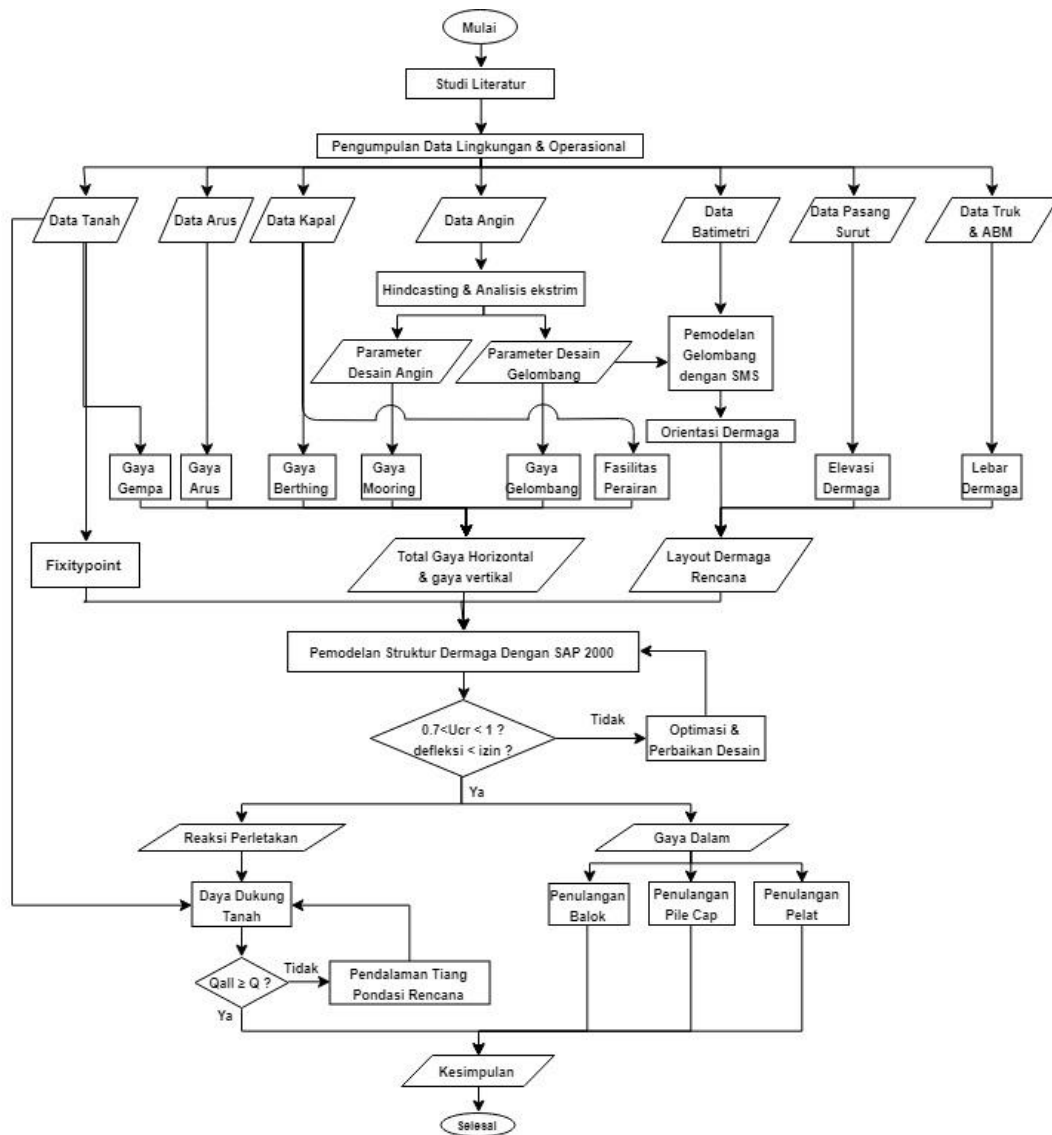
TEORI DAN METODOLOGI

Perancangan struktur dermaga Sofifi dilakukan dengan menentukan kriteria desain terlebih dahulu. Kriteria desain terdiri data lingkungan (angin, gelombang, arus, pasang surut, kedalaman batimetri dan data tanah), data kapal rencana yang digunakan, dimensi dermaga dan *trestle* (panjang, lebar, elevasi dan kedalaman perairan) dan fasilitas perairan (diameter kolam putar, lebar alur pelayaran) serta material yang digunakan untuk desain struktur dermaga dan *trestle*. Pemilihan material akan mengacu pada SNI 03-2847-2013.

Langkah perancangan selanjutnya adalah menentukan geometri serta gaya-gaya yang bekerja pada struktur dermaga dan *trestle*. Geometri ditentukan terdiri dari ukuran komponen dermaga (tiang pancang, balok, pelat, 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 truk), serta beban lingkungan (gaya gelombang, gaya arus, dan gaya gempa).

Perhitungan beban *berthing* ditentukan dengan besarnya energi *berthing* yang merupakan energi kinetik kapal saat bersandar.

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



Gambar 1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Persamaan energi *berthing* yang dihitung berdasarkan *OCDI 2002* adalah sebagai berikut.

$$E_f = \frac{M_s V_B^2}{2} C_M C_E C_S C_C$$

Keterangan:

- E_f : *Berthing Energy* (kJ)
 M_s : *Displacement tonnage* (ton)
 V_B : Kecepatan snadar kapal (m/s)
 C_M : Koefisien massa hidrodinamik
 C_E : Koefisien eksentrisitas
 C_S : Koefisien kekasaran
 C_C : Koefisien konfigurasi *berthing*

Beban *mooring* akibat 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_{TW} : Gaya Angin arah Transversal (N)
 R_{LW} : Gaya Angin arah Longitudinal (N)
 C_x : Koefisien gaya angin arah longitudinal
 C_y : Koefisien gaya angin arah transversal
 ρ_A : Massa jenis udara (kg/m^3) = 1.23 kg/m^3
 A_L : Luas proyeksi kapal transversal (m^2)
 A_T : Luas proyeksi kapal longitudinal (m^2)
 U : Kecepatan angin (m/s)

Persamaan beban *mooring* akibat arus berdasarkan *OCDI 2002* adalah sebagai berikut.

$$R_{TC} = 0.0014 \times S \times V_x^2$$

$$R_{LC} = 0.5 \times S \times \rho_0 \times C \times V_y^2 \times B_c$$

Keterangan:

- R_{TC} : Gaya arus arah transversal (kN)
 R_{LC} : gaya arus arah longitudinal (kN)
 S : Luas permukaan basah (m^2)
 V_x : Kecepatan arus arah longitudinal (m/s)
 V_y : Kecepatan arus arah transversal (m/s)
 C : Koefisien tekanan arus
 ρ_0 : Massa jenis air (kg/m^3) = 1025 kg/m^3
 B_c : 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 arus ditentukan dengan Persamaan Morison, serta beban lingkungan gaya gempa ditentukan dengan menggunakan data sekunder berupa spektral gempa.

Dengan kriteria desain, geometri, dan beban-beban pada dermaga yang telah dihitung, langkah desain selanjutnya adalah memodelkan struktur dermaga dengan perangkat lunak SAP2000. 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.

Perencanaan tulangan komponen beton dilakukan dengan perhitungan dan prosedur sistematis yang merujuk pada SNI 03-2847-2013. Hasil pemodelan berupa gaya dalam digunakan untuk merencanakan tulangan lentur maupun geser pada balok dan pelat. Sedangkan reaksi perletakan digunakan untuk menentukan kedalaman tiang pancang.

Selanjutnya dilakukan perhitungan daya dukung tanah agar tiang pancang mampu menahan gaya akibat beban *berthing* dan beban *mooring* dari kapal serta beban gempa. Daya dukung yang diizinkan untuk tiang pancang ditinjau berdasarkan kekuatan ijin tekan dan kekuatan ijin tanah yang dipengaruhi oleh kondisi tanah serta kekuatan material tiang pancang.

HASIL DAN ANALISA

Data yang di analisis meliputi data angin, bathimetri, pasang surut, kapal, serta data tanah. Hasil analisis data angin dan bathimetri berupa *windrose*, *waverose*, perkiraan gelombang dengan periode ulang 50 tahunan. Sedangkan data pasang surut dan data kapal akan menghasilkan elevasi dasar dan muka air yang

akan digunakan dalam perencanaan bangunan dermaga.

A. Analisa Data Angin & Gelombang

Data angin diperoleh dari *website NOAA* pada tahun 2006-2016 dengan interval data 3 jam. Dari hasil analisis ekstrim data angin diperoleh kecepatan maksimum sebesar 20.76 m/s dari arah utara.

Selanjutnya dilakukan *hindcasting* data angin untuk memperoleh data gelombang laut dalam. Dari hasil *hindcasting* kemudian dilakukan pemodelan gelombang dengan menggunakan perangkat lunak SMS 8.1 untuk memperoleh data berupa arah dan tinggi gelombang pada laut dangkal. Hasil pemodelan menunjukkan tinggi gelombang untuk periode ulang 50 tahunan adalah 1.28 m dari arah Barat laut dengan periode 5.14 detik.

B. Analisa Data Pasang Surut

Data pasang surut diperoleh dari PT Karya Cipta Madani yang diambil pada tanggal 11-25 Agustus 2016. Data pasang surut diolah dengan menggunakan perangkat lunak ERGTIDE. Diperoleh bahwa pasang surut di Pelabuhan Ippi-Ende berjenis pasang surut campuran dominan semidiurnal. Dari hasil pengolahan ERGRAM dan ERGELV diperoleh tunggang pasang sebesar 1.64 m dari LWS.

C. Analisa Data Arus

Data arus yang digunakan adalah data arus selama satu hari pada tanggal 17 Agustus 2016 yang diambil oleh PT Karya Cipta Madani. Diperoleh kecepatan arus maksimum adalah 0,171 m/s ke arah timur laut.

D. Analisa Data Tanah

Karakteristik data tanah di Pelabuhan Sofifi adalah tanah pasir. Dari nilai SPT data tanah, diperoleh $S_{DS} = 0,608g$ dan $S_{D1} = 0,72g$. Nilai SPT tanah juga digunakan dalam perhitungan daya dukung tanah

E. Data Kapal

Kapal kargo terbesar yang dapat bersandar pada Dermaga Sofifi berbobot 2000 DWT dengan dimensi: $L_{OA} = 81$ m, $L_{BP} = 75$ m, $Breadth = 12.7$ m, $Draught = 4.9$ m.

F. Penentuan Layout Dermaga Rencana

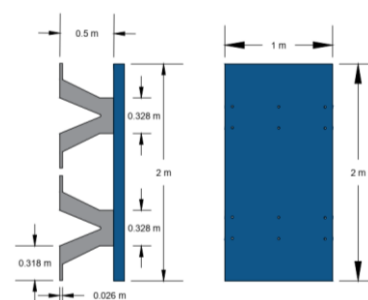
Dermaga direncanakan berupa *jetty* dengan struktur *deck on pile* yang dihubungkan dengan *trestle*. Sisi dermaga menghadap 60° dari arah utara. Hasil perancangan *layout* dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Fasilitas Layout Pelabuhan

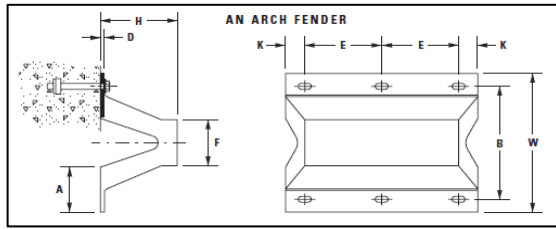
Fasilitas	Uraian	Dimensi
Dermaga	Panjang	97 m
	Lebar	12 m
	Elevasi	2.8 m dari LWS
Trestle	Panjang	96 m
	Lebar	7 m
Kolam Putar	Diameter	243 m
	Kedalaman	7 m
Alur Pelayaran	Lebar	122 m
	Kedalaman	-7 m dari LWS

G. Penentuan Fasilitas Dermaga

Dari hasil perhitungan didapat energi *abnormal berthing* kapal (E_A) = 54 kN-m, dipilih *fender* tipe ANP500 dengan *rated energy* (E_R) = 296 kN dan berat 278 kg. Kemudian pada *fender* juga digunakan panel fender dengan ukuran 2m×1m. Ilustrasi dari *fender* dan panel *fender* ditunjukkan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.

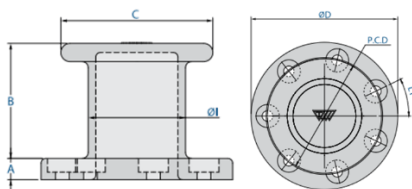


Gambar 2. Panel Fender Terpilih



Gambar 3. Fender ANP500

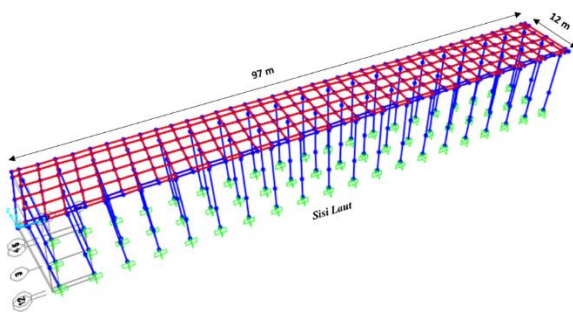
Pada perhitungan beban *mooring* didapatkan nilai terbesar yang diterima *bollard* adalah 10.3 ton, sehingga dipilih *pillar bollard* dengan kapasitas 15 ton. Ilustrasi *bollard* terpilih ditunjukkan pada Gambar 4.



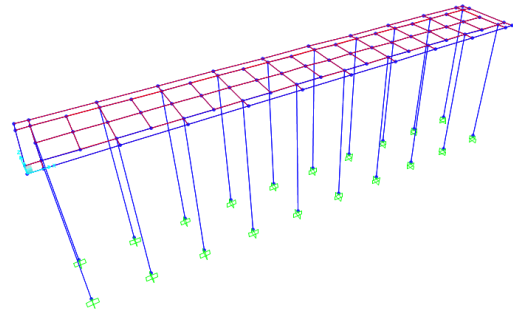
Gambar 4. Pillar Bollard 15 Ton

H. 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 A139 dengan tegangan leleh (f_y) = 240 MPa. Perencanaan struktur mengacu pada SNI 1726-2012, SNI 2847-2013, dan SNI 1729-2015. Hasil pemodelan struktur ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Hasil Pemodelan Struktur Dermaga



Gambar 6. Hasil Pemodelan Struktur Trestle

I. Dimensi Elemen Strktural

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

Tabel 2. Dimensi Elemen Struktural Dermaga

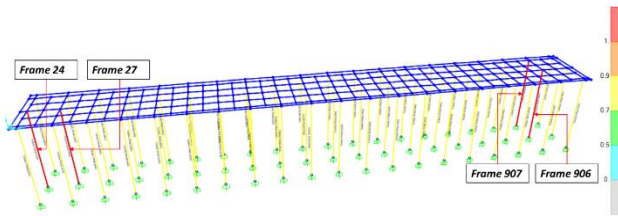
Uraian	Dimensi
Balok Melintang	500 mm × 750 mm
Balok Memanjang	500 mm × 750 mm
Tiang Pancang	Ø610mm, t=11.2mm
Tebal Pelat	250 mm
Pile Cap Balok	1500 × 1500 × 1500 mm
Pile Cap Fender	1500 × 1500 × 1500 mm

Tabel 3. Dimensi Elemen Struktural Pelat

Uraian	Dimensi
Balok Melintang	500 mm × 750 mm
Balok Memanjang	500 mm × 750 mm
Tiang Pancang	Ø610mm, t=11.2mm
Tebal Pelat	250 mm
Pile Cap Balok	1500 × 1500 × 1500 mm

J. Analisa Struktur Dermaga

Analisis struktur dermaga tahap pertama adalah pengecekan hasil UCR yang terjadi pada tiang pancang baja. Ilustrasi nilai UCR maksimum ditunjukkan pada Gambar 7 dan Berdasarkan Tabel 4, modul struktur Dermaga Sofifi memenuhi keamanan karena nilai UCR tertinggi kurang dari 1.



Gambar 7. Nilai UCR Maksimum Dermaga

Tabel 4. Rangkuman Nilai UCR Maksimum Dermaga

Parameter		Frame	Kombinasi	UCR
OD (mm)	t (mm)			
610	11.2	906	ULS5.1	0.919
		931	ULS5.1	0.906
		907	ULS5.1	0.871
		24	ULS5.1	0.833
$ULS5.1 = 1.2DL + 1LL + 1E_x$				

Analisa struktur dermaga tahap kedua adalah pengecekan defleksi pada Tabel 5. Batas defleksi yang diizinkan dihitung berdasarkan SNI 031729 2002 Tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Bangunan Gedung adalah 2.9 cm untuk kondisi beban tetap dan 7.2 cm untuk kondisi beban sementara.

Tabel 5. Nilai Defleksi Maksimum Pile Dermaga

Joint	Tipe Beban	Load Combo	Arah	Batas Defl (cm)	Defl (cm)
562	Beban Sementara	SLS6.1	U1	7.2	5.44
562		SLS6.2	U1		5.44
575		SLS5.1	U2		6.18
575		SLS5.2	U2		6.18
$SLS5.1 = 1DL + 0.8LL + 0.5E_x$ $SLS5.2 = 1DL + 0.8LL + 0.5E_y$ $SLS6.1 = 1DL + 0.5E_y$ $SLS6.2 = 1DL + 0.5E_x$					

Selanjutnya, pengambilan *output* berupa reaksi perletakan yang ditunjukkan Tabel 6 dan gaya dalam yang ditunjukkan Tabel 7 dan Tabel 8 dilakukan sebagai bahan input untuk perencanaan tulangan.

Tabel 6. Reaksi Perletakan Maksimum Dermaga

Frame	Reaksi Perletakan (kN)	Kombinasi	Keterangan
550	3947.461	SLS4.A6	Maksimum
18	207.783	SLS6.1	Minimum
$SLS4.A6 = 1D + 0.8L + 0.8Berth_2 + 0.5W_{y+} + 0.5C_{y+}$ $SLS6.1 = 1DL + 0.5E_y$			

Tabel 7. Gaya Dalam Balok Maksimum Dermaga

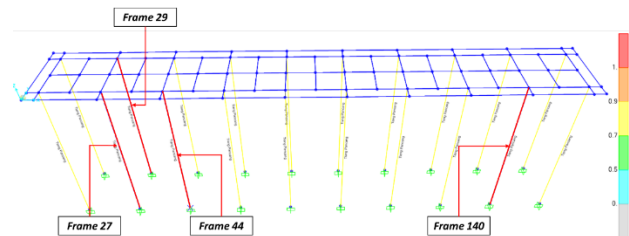
Frame	V2 (kN)	M3 (kN-m)	Comb	Ket
40	261.727	-202.007	ULS2.2	V2 Max (+)
941	-278.685	-257.060	ULS2.3	V2 Max (-)
27	48.507	445.848	ULS5.1	M3 Max (+)
906	-49.307	-442.269	ULS5.1	M3 Max (-)
$ULS2.2 = 1.2D + 1.6L + 1.6Berth_2$ $ULS2.3 = 1.2D + 1.6L + 1.6Berth_3$ $ULS5.1 = 1.2D + 1L + 1E_x$				

Tabel 8. Gaya Dalam Pelat Maksimum Dermaga

Area	M11 (kN)	M22 (kN)	Kombinasi	Keterangan
192	31.353	26.003	ULS5.1	M11 Max (+)
192	-27.426	-17.892	ULS2.3	M11 Max (-)
147	24.295	31.395	ULS5.1	M22 Max (+)
3	-22.366	-23.395	ULS2.1	M22 Max (-)
$ULS2.1 = 1.2D + 1.6L + 1.6Berth_1$ $ULS2.3 = 1.2D + 1.6L + 1.6Berth_3$ $ULS5.1 = 1.2D + 1L + 1E_x$				

K. Analisis Struktur Trestle

Berdasarkan Tabel 9 rangkuman nilai UCR Trestle modul struktur trestle memenuhi keamanan karena nilai UCR tertinggi kurang dari 1. Ilustrasi nilai UCR maksimum trestle ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Nilai UCR Maksimum Trestle

Tabel 9. Rangkuman Nilai UCR Maksimum Trestle

Parameter		Frame	Kombinasi	UCR
OD (mm)	t (mm)			
610	11.2	27	ULS5.1	0.878
		29	ULS5.1	0.878
		44	ULS5.1	0.849
		190	ULS5.1	0.819
$ULS5.1 = 1.2DL + 1LL + 1E_x$				

Hasil analisis berupa defleksi ditunjukkan pada **Tabel 10**, reaksi perletakan pada **Tabel 11** dan gaya dalam ditunjukkan pada **Tabel 12** dan **Tabel 13**.

Tabel 10. Nilai Defleksi Maksimum Pile Trestle

Joint	Type Beban	Load Combo	Arah	Defl (m)	Defl (m)
19	Beban Sementara	SLS5.1	U1	0.072	0.0506
21		SLS5.2	U1		0.0506
59		SLS5.1	U2		0.0546
58		SLS6.1	U2		0.0546
$SLS5.1 = 1DL + 0.8LL + 0.5E_x$					
$SLS5.2 = 1DL + 0.8LL + 0.5E_y$					
$SLS6.1 = 1DL + 0.5E_y$					

Tabel 11. Nilai Defleksi Maksimum Pile Trestle

Joint	Reaksi Perletakan (kN)	Kombinasi	Keterangan
14	726.173	SLS2.1	Maksimum
177	177.016	SLS6.1	Minimum
$SLS2.1 = 1.2D + 1.6L + 1.6Berth_1$ $SLS6.1 = 1DL + 0.5E_y$			

Tabel 12. Gaya Dalam Balok Maksimum Trestle

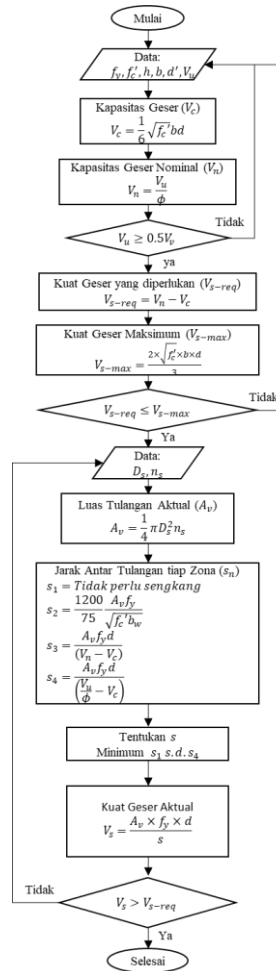
Frame	V2 (kN)	M3 (kN-m)	Comb	Ket
10	331.729	-213.64	ULS2.1	V2 Max (+)
9	-331.803	-213.65	ULS2.1	V2 Max (-)
44	47	398.75	ULS5.1	M3 Max (+)
140	-51.154	-393.12	ULS7.1	M3 Max (-)
$ULS2.2 = 1.2D + 1.6L + 1.6Berth_2$ $ULS2.3 = 1.2D + 1.6L + 1.6Berth_3$ $ULS5.1 = 1.2D + 1L + 1E_x$				

Tabel 13. Gaya Dalam Pelat Maksimum Trestle

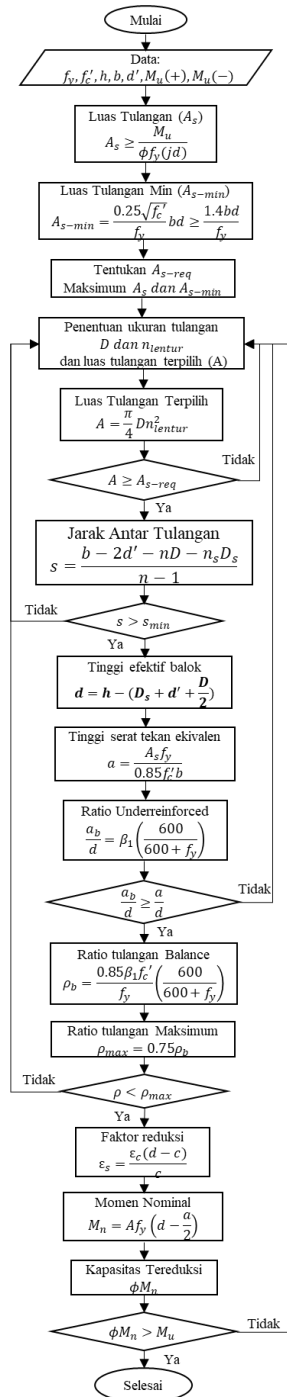
Area	M11 (kN)	M22 (kN)	Kombinasi	Keterangan
5	18.939	4.642	ULS5.1	M11 Max (+)
3	-23.755	-22.652	ULS2.1	M11 Max (-)
2	37.164	41.995	ULS2.1	M22 Max (+)
11	-27.538	-33.851	ULS5.1	M22 Max (-)
$ULS2.1 = 1.2D + 1.6L + 1.6Berth_1$ $ULS5.1 = 1.2D + 1L + 1E_x$				

L. Penulangan Elemen Struktural

Penulangan komponen struktural terdiri dari balok, pelat, dan *pile cap*. Langkah penulangan lentur dan geser ditunjukkan pada **Gambar 9** dan **Gambar 10**.

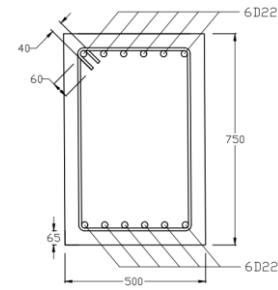


Gambar 9. Diagram Alir Penulangan Geser

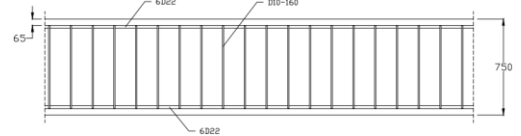


Gambar 10. Diagram Alir Penulangan Lentur

Detail tulangan pada balok dermaga ditunjukkan pada **Gambar 11** dan **Gambar 12**.

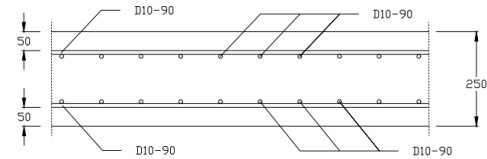


Gambar 11. Detail Potongan Melintang Balok Dermaga



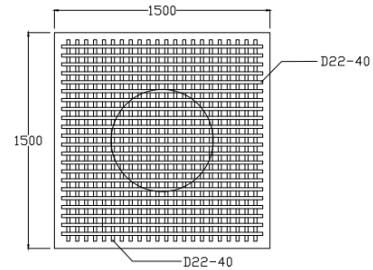
Gambar 12. Detail Potongan Memanjang Balok Dermaga

Detail tulangan pada pelat dermaga ditunjukkan pada **Gambar 13**.

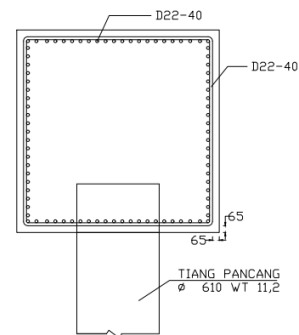


Gambar 13. Detail Potongan Memanjang Pelat Dermaga

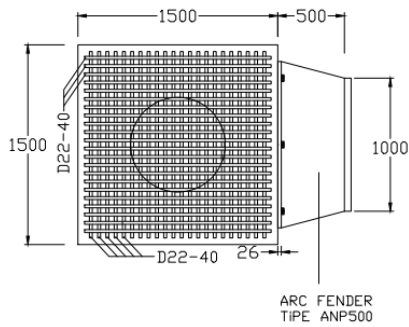
Detail tulangan pada *pilecap* balok dermaga ditunjukkan pada **Gambar 14** dan **Gambar 15**, sedangkan *pilecap fender* pada **Gambar 16** dan **Gambar 17**.



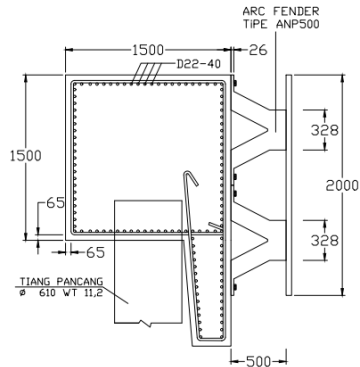
Gambar 14. Detail Potongan Tampak Atas *Pilecap* Balok



Gambar 15. Detail Potongan Tampak Samping *Pilecap* Balok

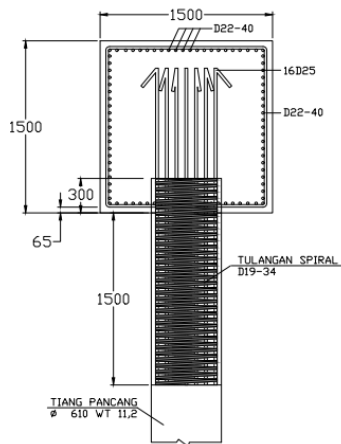


Gambar 16. Detail Potongan Tampak Atas *Pilecap fender*



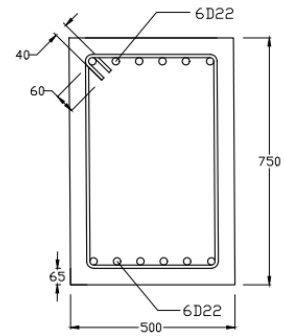
Gambar 17. Detail Potongan Tampak Samping *Pilecap Balok*

Detail tulangan dowel dan spiral dermaga ditunjukkan pada **Gambar 18**.

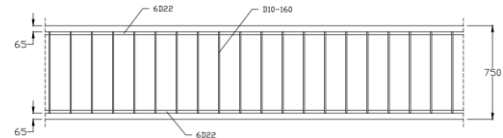


Gambar 18. Detail Tulangan Dowel dan Spiral

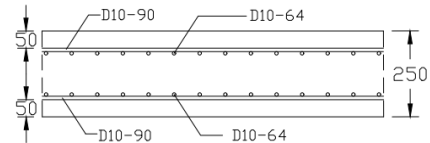
Adapun Detail tulangan pada balok *trestle* ditunjukkan pada **Gambar 19** dan **Gambar 20**



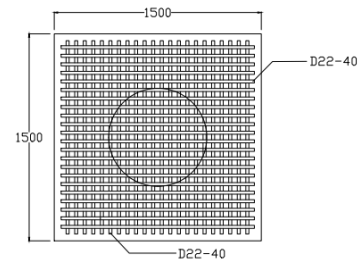
Gambar 19. Detail Potongan Melintang Balok *Trestle*



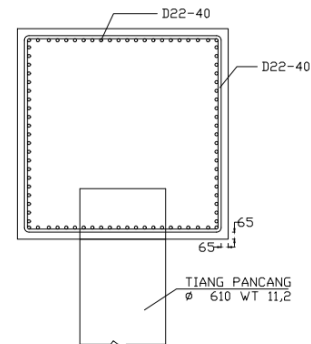
Gambar 20. Detail Potongan Memanjang Balok *Trestle*
Detail penulangan pelat *trestle* ditunjukkan pada **Gambar 21**.



Gambar 21. Detail Potongan Samping Pelat *Trestle*
Detail penulangan *pilecap trestle* ditunjukkan pada **Gambar 22** dan **Gambar 23**.

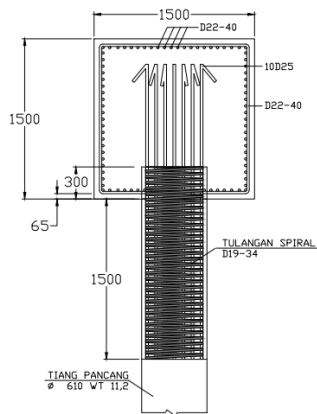


Gambar 22. Detail Potongan Atas *Pilecap Trestle*



Gambar 23. Detail Potongan Samping *Pilecap Trestle*

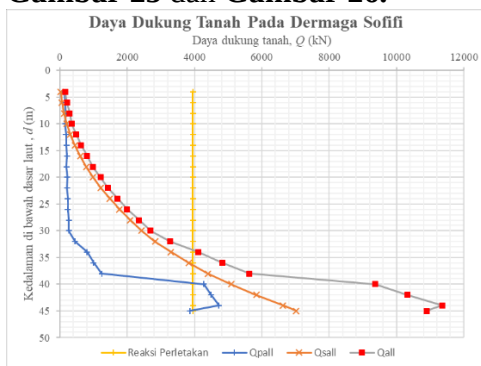
Detail tulangan dowel dan spiral *trestle* ditunjukkan pada **Gambar 24**.



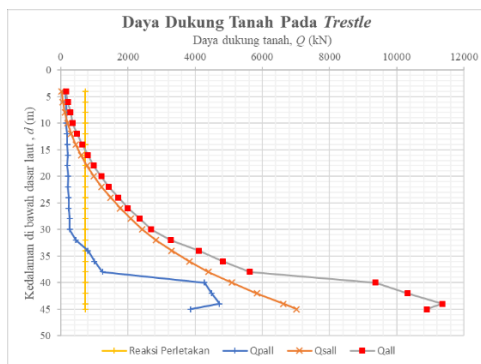
Gambar 24. Detail Potongan Samping Pilecap Trestle

M. Analisis Daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung izin tanah dilakukan dengan menggunakan *safety factor* sebesar 2,5 ($Q_{all} = Q_u/2,5$). Hasil Perhitungan daya dukung tanah untuk dermaga dan *trestle* ditunjukkan pada **Gambar 25** dan **Gambar 26**.



Gambar 25. Grafik Daya Dukung Tanah Dermaga



Gambar 26. Grafik Daya Dukung Tanah Trestle

Berdasarkan pada **Gambar 25** dan **26** maka struktur dermaga harus dipancang minimal pada kedalaman -34 m dan struktur *trestle* pada kedalaman -16 m dibawah dasar laut.

N. Kesimpulan

1. Dermaga Sofifi melayani operasi bongkar muat barang umum (kargo) dengan kapal rencana terbesar berukuran 2000 DWT. Detail dan dimensi struktur dermaga dan *trestle* dijelaskan sebagai berikut.

a. Dermaga

- Panjang : 97m
- Lebar : 12m
- Elevasi : +2.8m dari LWS
- Kedalaman : -7m dari LWS
- *Fixity point* : -4.5 m dari seabed
- Kedalaman pile : 34 m dari seabed

b. Trestle

- Panjang : 110 m
- Lebar : 7m
- Elevasi : +2.8m dari LWS
- Kedalaman : -7m dari LWS
- *Fixity point* : -4.5 m dari seabed
- Kedalaman Pile : -16 m dari seabed

2. Fasilitas Struktur dermaga yang digunakan untuk menahan beban *mooring* akibat gaya lingkungan dan beban *berthing* akibat kapal adalah sebagai berikut:

- *Fender* : Arc fender ANP500
- Kapasitas *fender*: 62.1 kN-m
- Reaksi *fender* : 296 kN
- Jumlah *fender* : 2 buah dengan 1 panel
- Dimensi panel : 2m x 1 m
- *Bollard* : Pilliar Bollard 15 ton

3. Hasil pemodelan struktur dermaga dan *trestle* dengan menggunakan SAP2000 adalah sebagai berikut

a. Dermaga

- Defleksi Maksimum

Defleksi yang terjadi pada struktur dermaga terdiri dari 2 jenis defleksi pada arah memanjang (sumbu x) yang bernilai 0.0544 m dengan jenis kombinasi pembebanan maksimum adalah $SLS6.1 (1DL + 0.5E_y)$ dan defleksi pada arah melintang (sumbu y) yang bernilai 0.0618 m dengan jenis kombinasi pembebanan maksimum $SLS5.1 (1DL + 0.8LL + 0.5E_x)$.

- **Reaksi Maksimum**

Besar reaksi perletakan yang terjadi pada struktur dermaga rencana adalah sebesar 3947.46 kN dengan jenis kombinasi pebebanan maksimum $SLS4.A6 (1DL + 0.8LL + 0.8Berth_2 + 0.8W_y + 0.5C_{y+})$.

- **UCR**

Nilai *UCR* pada struktur dermaga rencana didapatkan dengan nilai sebesar 0.919 dengan kombinasi pembebanan maksimum $ULS5.1 (1.2DL + 1LL + 1E_x)$.

b. Trestle

- **Defleksi Maksimum**

Defleksi yang terjadi pada struktur *trestle* juga terdiri dari 2 jenis defleksi pada arah memanjang (sumbu x) yang bernilai 0.0506 m dengan jenis kombinasi pembebanan maksimum adalah $SLS5.1 (1DL + 0.8LL + 0.5E_x)$ dan defleksi pada arah melintang (sumbu y) yang bernilai 0.0546 m dengan jenis kombinasi pembebanan maksimum $SLS5.1 (1DL + 0.8LL + 0.5E_x)$.

- **Reaksi Maksimum**

Besar reaksi perletakan yang terjadi pada struktur *trestle* rencana adalah sebesar 726.173 kN dengan jenis kombinasi pebebanan maksimum $SLS2.1 (1.2D + 1.6L + 1.6Berth_1)$.

- **UCR**

Nilai *UCR* pada struktur *trestle* rencana didapatkan dengan nilai sebesar 0.878 dengan kombinasi pembebanan maksimum $ULS5.1 (1.2D + 1L + 1E_x)$.

4. Dimensi komponen pada struktur dermaga adalah sebagai berikut:

a. Tiang Pancang

Tiang pancang yang digunakan dalam perencanaan struktur dermaga Sofifi terbuat dari material baja jenis ASTM 149 *Grade B* yang memiliki diameter sebesar 610 mm dengan ketebalan 11.2 mm.

b. Balok Memanjang dan Melintang

Dermaga Sofifi menggunakan balok memanjang dan melintang dengan ukuran sama yaitu lebar 500 mm, tinggi 750 mm dan tebal selimut beton 65 mm. Pada penulangan lentur bawah digunakan diameter tulangan sebesar 22 mm berjumlah 6 buah dengan jarak antar tulangan adalah 49 mm. Pada penulangan lentur atas juga digunakan diameter tulangan sebesar 22 mm berjumlah 6 buah dengan jarak antar tulangan adalah 49 mm. Sedangkan pada penulangan geser balok digunakan diameter 10 mm dengan jarak antar tulangan 160 mm

c. Pelat

Pelat dermaga sofifi berdimensi dengan tebal 250 mm dan selimut beton sebesar 50 mm. Pada penulangan lentur bawah digunakan tulangan dengan diameter 10 mm berjumlah 10 buah dengan jarak 90 mm untuk masing-masing arah memanjang (sumbu x) dan melintang (sumbu y). Sedangkan Pada penulangan lentur atas juga digunakan tulangan dengan diameter 10 mm berjumlah 10 buah dengan jarak 90 mm untuk masing-masing arah memanjang dan melintang.

d. Pile cap Balok

Dermaga Sofifi menggunakan *pile cap* dengan ukuran $1500\text{mm} \times 1500\text{mm} \times 1500\text{mm}$. Pada penulangan lentur digunakan diameter sebesar 22 mm berjumlah 22 buah dengan jarak antar tulangan 40 mm untuk masing-masing penulangan lentur arah memanjang (sumbu x) dan melintang (sumbu y). Pada penulangan dowel digunakan diameter sebesar 25 mm berjumlah 16 buah dan pada penulangan spiral digunakan diameter 19 mm dengan jarak antar tulangan 34 mm.

e. *Pile cap fender*

Dermaga Sofifi menggunakan *pile cap* dengan ukuran $1500\text{mm} \times 1500\text{mm} \times 1500\text{mm}$ yang ditambahkan janggutan pada bagian bawah ujung terluar *pile cap* dengan dimensi janggutan adalah $1500\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 250\text{mm}$. Pada penulangan lentur digunakan diameter sebesar 22 mm berjumlah 22 buah dengan jarak antar tulangan 40 mm untuk masing-masing penulangan lentur arah memanjang (sumbu x) dan melintang (sumbu y). Pada penulangan dowel digunakan diameter sebesar 25 mm berjumlah 16 buah dan pada penulangan spiral digunakan diameter 19 mm dengan jarak antar tulangan 34 mm.

5. Dimensi komponen pada struktur *trestle* adalah sebagai berikut:

a. Tiang Pancang

Tiang pancang yang digunakan dalam perencanaan struktur *trestle* Sofifi terbuat dari material baja jenis ASTM 149 *Grade B* yang memiliki diameter sebesar 610 mm dengan ketebalan 11.2 mm.

b. Balok Memanjang

Trestle Sofifi menggunakan balok memanjang dan melintang sama dengan lebar 500 mm, tinggi 750 mm dan tebal selimut beton 65 mm. Pada penulangan lentur bawah digunakan

diameter tulangan sebesar 22 mm berjumlah 6 buah dengan jarak antar tulangan adalah 49 mm. Pada penulangan lentur atas juga digunakan diameter tulangan sebesar 22 mm berjumlah 6 buah dengan jarak antar tulangan adalah 49 mm. Sedangkan pada penulangan geser balok digunakan diameter 10 mm dengan jarak antar tulangan 160 mm.

c. Pelat

trestle sofifi digunakan pelat dengan tebal 250 mm dan selimut beton sebesar 50 mm. Pada penulangan lentur bawah digunakan tulangan dengan diameter 10 mm berjumlah 10 buah dengan jarak 90 mm untuk arah memanjang (sumbu x) dan diameter 10 mm berjumlah 14 dengan jarak 64 mm untuk arah melintang (sumbu y). Sedangkan Pada penulangan lentur atas digunakan tulangan dengan kriteria yang sama dengan penulangan lentur bawah untuk masing-masing arah.

d. *Pile cap Balok*

Pile cap balok pada *trestle* Sofifi menggunakan *pile cap* dengan ukuran $1500\text{mm} \times 1500\text{mm} \times 1500\text{mm}$.

Pada penulangan lentur digunakan diameter sebesar 22 mm berjumlah 22 buah dengan jarak antar tulangan 40 mm untuk masing-masing penulangan lentur arah memanjang (sumbu x) dan melintang (sumbu y). Pada penulangan dowel digunakan diameter sebesar 22 mm berjumlah 10 buah dan pada penulangan spiral digunakan diameter 19 mm dengan jarak antar tulangan 34 mm.

6. Hasil analisis daya dukung tanah yang didapatkan adalah sebagai berikut:

a. Dermaga

Pada struktur dermaga didapatkan reaksi perletakan maksimum sebesar 3947.641 kN dan berdasarkan hasil

analisis daya dukung tanah untuk memenuhi reaksi perletakan tersebut maka tiang pancang harus dipancang hingga kedalaman -34 m di bawah dasar laut

b. Trestle

Pada struktur *trestle* didapatkan reaksi perletakan maksimum sebesar 726.123 kN dan berdasarkan hasil analisis daya dukung tanah untuk memenuhi reaksi perletakan tersebut maka tiang pancang harus dipancang hingga kedalaman -16 m di bawah dasar laut.

O. Saran

Dalam melakukan perhitungan penulangan perlu memperhatikan detail metode konstruksi pengerjaan dengan *cast in situ* atau *precast*. Pada perancangan menggunakan *precast* diperlukan analisis lebih lanjut terkait analisis *lifting*, proses pemasangan dan sambungan pada tulangan. Selain itu juga mempertimbangkan terkait analisis biaya produksi serta kondisi lokasi dermaga rencana apakah memungkinkan untuk melakukan *cast in situ* atau *precast*

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction Inc. 2005. *Steel Construction Manual*. 13th. Chicago: American Institute of Steel Construction Inc
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *SNI 1725-2016: Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *SNI 1729-2002: Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *SNI 1726-2012: Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. *SNI 1729-2015: Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *SNI 2847-2013: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Das, Braja M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*. Stamford: Cengage Learning.
- Fentek Marine Fendering Systems. 2002. *Fender Catalogue*. Hamburg: Fentek Marine Fendering Systems
- Panitia Pembaharuan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan. 2002. *Technical Standards And Commentaries For Port And Harbour Facilities in Japan*. 3rd. Disunting oleh Y. Goda, T. Tabata dan S. Yamamoto. Tokyo: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan
- Thoresen, Carl A. 2014. *Port Designer's Handbook*. London: ICE Publishing
- Trelleborg Marine Systems. 2002. *Bollard Application Design Manual*. Texas: Trelleborg Marine Systems
- Triatmodjo, Bambang. 2009. *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset
- Wight, James K., dan James G. MacGregor. 2012. *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. 6th. New Jersey: Pearson Education,

