
PERANCANGAN STRUKTUR DERMAGA KARGO TIPE *DECK ON PILE* DI PELABUHAN ILWAKI, KABUPATEN MALUKU BARAT DAYA, PROVINSI MALUKU

Deck on Pile Cargo Berth Structure Design in the Port of Ilwaki, Southwest Maluku Regency, Maluku Province

Jason Filius Santoso¹ dan Paramashanti²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan

Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

¹jasonfilius18@gmail.com dan ²parama0307@gmail.com

Abstrak: Ilwaki merupakan salah satu kawasan perkotaan utama di Pulau Wetar yang merupakan bagian dari Kabupaten Maluku Barat Daya, Provinsi Maluku. Kondisi geografis di sekitar Pulau Wetar didominasi oleh pulau-pulau lain, sehingga menuntut konektivitas yang baik terutama dalam sektor perairan untuk membangun perekonomian dan kesejahteraan masyarakat. Salah satu fasilitas transportasi laut di Ilwaki adalah Pelabuhan Ilwaki. Pada saat ini, dermaga di Pelabuhan Ilwaki telah mengalami sejumlah kerusakan akibat kurangnya pemeliharaan. Penulisan Laporan Tugas Akhir ini bertujuan untuk melakukan perancangan struktur dermaga *jetty* tipe *deck on pile* untuk pengembangan struktur dermaga yang bertujuan mendukung kegiatan bongkar muat *general cargo* pada Pelabuhan Ilwaki. Dermaga kargo hasil perancangan memiliki dimensi panjang 112 m dengan lebar 17 m, sedangkan struktur *trestle* memiliki panjang 37 m dengan lebar 6 meter. Kedua struktur memiliki elevasi lantai yang sama yaitu pada +3,85 m LWS. Elemen struktural yang didesain terdiri dari balok, pelat, tiang pancang, dan *pile cap*. Perancangan dermaga pada Laporan Tugas Akhir ini dilakukan dengan mengacu pada *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan* yang diterbitkan oleh *The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan* (OCDI) pada tahun 2020, serta kriteria desain pendukung lainnya seperti Standar Nasional Indonesia (SNI), British Standard (BS), serta standar lainnya yang berlaku, termasuk katalog-katalog produk yang relevan. Pengerjaan Tugas Akhir juga memanfaatkan sejumlah perangkat lunak untuk perhitungan, diantaranya ERGTide, Delft3D, SAP2000, dan PCA Column.

Kata Kunci: Tugas Akhir, perancangan dermaga, dermaga *deck on pile*, pemodelan struktur

Abstract: Ilwaki is one of the primary urban areas of Wetar Island, which is a part of Southwest Maluku Regency, Maluku Province. The geographical condition surrounding Wetar Island is dominated by other islands, therefore requiring strong connectivity within the maritime sector to support economic growth and the welfare of inhabitants. An example of a water transport facility located in Ilwaki is the Port of Ilwaki. The berthing facility in the Port of Ilwaki is

currently suffering from deterioration caused by lack of upkeep along with no maintenance of the fenders protecting the structure from the impacts of a berthing vessel. This Final Project is composed to create a structural design of a deck on pile jetty-type berth with the aim of enhancing the existing structure used for loading and unloading general cargo in the Port of Ilwaki. The designed berth has an overall length of 112 m with a width of 17 m, while the trestle is 37 m long and 6 m wide. Both structures have the crown height of +3,85 meters above the lowest tidal elevation. The designed structural elements consist of beams, slabs, piles, and pile caps. Design standards and procedures applied in this Final Project include the Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan published by The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI) in 2020, Standar Nasional Indonesia (SNI), British Standard (BS), and other valid supporting standards and product catalogues. Softwares utilized for computations include ERGTide, Delft3D, SAP2000, dan PCA Column.

Keywords: *Final Project, berth design, deck on pile berth, structural modeling*

PENDAHULUAN

Dengan jumlah lebih dari 17.500 pulau, Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Penduduk Indonesia tersebar di berbagai pulau dari Sabang hingga Merauke, baik pulau-pulau besar maupun pulau-pulau kecil. Salah satu pulau kecil yang berpenghuni yang terdapat di provinsi ini adalah Pulau Wetar yang merupakan bagian dari Kabupaten Maluku Barat Daya, dengan Ilwaki sebagai salah satu kawasan perkotaan utamanya.

Kondisi geografis di sekitar Pulau Wetar didominasi oleh pulau-pulau lain, sehingga menuntut konektivitas yang baik terutama dalam sektor perairan untuk membangun perekonomian dan kesejahteraan masyarakat setempat. Dalam rangka membangun jaringan transportasi laut antar pulau, diperlukan fasilitas penunjang berupa pelabuhan. Pelabuhan Ilwaki merupakan salah satu pelabuhan dengan hierarki sebagai pelabuhan pengumpan regional di Kabupaten Maluku Barat Daya yang melayani bongkar muat muatan umum

atau *general cargo*. Pelayanan bongkar muat komoditas *general cargo* membutuhkan fasilitas-fasilitas pendukung seperti alat-alat operasional dan dermaga. Sebagai lokasi utama dalam keberlangsungan aktivitas pelabuhan, dermaga perlu dirancang dengan baik agar mampu menahan beban yang terjadi pada struktur.

Pada saat ini, dermaga di Pelabuhan Ilwaki telah mengalami sejumlah kerusakan akibat kurangnya pemeliharaan dan perawatan *fender* pada dermaga yang digunakan untuk melindungi struktur dermaga dan badan kapal yang bersandar pada kegiatan berlabuh (*berthing*). Oleh karena itu, untuk meningkatkan kualitas pelayanan angkutan laut di Pelabuhan Ilwaki, pada Laporan Tugas Akhir ini dilakukan perancangan untuk pengembangan struktur dermaga yang bertujuan untuk mendukung kegiatan bongkar muat *general cargo* pada Pelabuhan Ilwaki. Dermaga yang didesain merupakan tipe dermaga *jetty deck on pile*. Pelabuhan ini terletak pada titik koordinat 7°55'51,59" LS dan 126°24'32,60" BT.

METODOLOGI

Tahapan awal perancangan adalah pengumpulan dan pengolahan data lingkungan berupa pasang surut, arus, angin, gelombang, dan tanah. Selain data lingkungan, data-data operasional lainnya pun diolah untuk memperoleh nilai-nilai beban horizontal dan vertikal pada dermaga. Berdasarkan perhitungan ini, dilakukan *preliminary design* dari struktur dermaga dan desain ini dimodelkan pada perangkat lunak analisis struktur SAP2000. Hasil analisis struktur dioptimasi hingga mendapatkan nilai *unity check ratio* (UCR) yang optimum, yaitu pada rentang 0,7 hingga 1,0. Selain itu, defleksi dari struktur juga perlu diperiksa dan tidak dapat melebihi batas izinnnya. Berdasarkan hasil analisis struktur yang telah optimum, dilakukan desain penulangan elemen struktural menggunakan nilai-nilai maksimum gaya dalam. Pada akhirnya, dilakukan analisis daya dukung tanah untuk menentukan kedalaman pemancangan tiang pancang yang diperlukan.

Beban-beban yang diperhitungkan dalam perancangan dermaga antara lain beban berlabuh, beban bertambat, beban gelombang, beban arus, beban hidup operasional, dan beban mati.

HASIL DAN ANALISIS

a) Analisis Data Sekunder

i. Kapal

Berdasarkan KP 432 Tahun 2017, salah satu kriteria teknis pelabuhan pengumpan regional adalah memiliki dermaga dengan kapasitas maksimal 3.000 DWT. Oleh

karena itu, dermaga yang dirancang pada Tugas Akhir ini didesain untuk berlabuh satu kapal *general cargo* dengan kapasitas 3.000 DWT. Spesifikasi kapal kargo desain ditentukan berdasarkan ketentuan pada OCDI (2020) seperti ditunjukkan **Tabel 1** berikut.

Tabel 1 Spesifikasi Kapal Desain

Parameter	Nilai
<i>Deadweight Tonnage</i>	3.000 ton
<i>Length Overall</i>	87 m
<i>Molded Breadth</i> (Lebar)	14,3 m
<i>Full Load Draft</i>	5,3 m
<i>Freeboard</i>	2,4 m

(Sumber: OCDI, 2020, halaman 440)

ii. Pasang Surut

Data pengukuran elevasi muka air diperoleh dari pihak konsultan perencana yang diukur selama 29 hari. Pengamatan pasang surut dilakukan setiap 1 jam pada tanggal 13 September 2020 hingga 11 Oktober 2020. Data pengukuran diolah dengan perangkat lunak ERGTide untuk menentukan tunggang pasut tertinggi selama 20 tahun. Berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh bahwa pasang surut di Pelabuhan Ilwaki memiliki tunggang pasut sebesar 280,15 cm.

iii. Arus

Data arus diperoleh dari hasil pengukuran *current meter* pada tiga titik survei yang dilakukan oleh pihak konsultan perencana. Pengukuran data arus pada masing-masing titik dilakukan selama 24 jam dengan interval waktu pengukuran 30 menit. Berdasarkan data pengukuran, diperoleh bahwa nilai kecepatan arus terbesar yang

terukur adalah 23,39 cm/s dari arah tenggara. Nilai arus maksimum ini akan digunakan sebagai nilai arus desain yang datang dari segala arah (*omnidirectional*) untuk perhitungan beban dan pemodelan struktur dermaga.

iv. Angin

Data angin yang digunakan dalam Tugas Akhir ini diperoleh dari data sekunder pihak konsultan perencana pada stasiun P10 Perairan Ilwaki. Data angin yang dimiliki merupakan data angin selama sekitar 15 tahun setiap 1 jam dari tanggal 1 Januari 2006 hingga 26 Agustus 2020.

Berdasarkan hasil analisis ekstrem, diperoleh bahwa kecepatan angin maksimum periode 50 tahun terbesar yang dapat terjadi di sekitar daerah Pelabuhan Ilwaki adalah sebesar 20,28 m/s dari arah barat. Nilai kecepatan angin ini diambil sebagai kecepatan angin desain yang bertiup dari segala arah (*omnidirectional*).

v. Gelombang

Data gelombang diramalkan dengan mengolah data angin atau disebut *hindcasting*. Proses *hindcasting* menggunakan metode menurut Shore Protection Manual Volume I (1984). Parameter gelombang yang diperoleh dari hasil *hindcasting* merupakan gelombang yang dibangkitkan pada kawasan laut dalam. Dengan demikian, dilakukan pemodelan transformasi gelombang dari laut dalam ke lokasi dermaga rencana menggunakan perangkat lunak Delft3D untuk memperoleh data gelombang desain.

Berdasarkan hasil pemodelan gelombang, diperoleh tinggi gelombang terbesar pada

lokasi dermaga rencana adalah 0,3 meter dengan periode gelombang signifikan 5,94 detik dari arah timur. Parameter gelombang desain ini akan digunakan sebagai gelombang yang datang dari segala arah (*omnidirectional*)

vi. Tanah

Data tanah diperlukan untuk menentukan kedalaman lapisan tanah keras untuk fondasi struktur dermaga. Data tanah yang digunakan pada Tugas Akhir ini diperoleh dari *bore log* hasil survei konsultan perencana. Pada *bore log*, terdapat data SPT (*soil penetration test*) yang dilakukan setiap interval 2 meter hingga kedalaman 30 meter dan *undisturbed sampling* yang menggambarkan profil lapisan tanah di suatu kawasan. **Tabel 2** menunjukkan rangkuman karakteristik tanah pada lokasi pengeboran BH-1.

Tabel 2 Karakteristik Tanah

Kedalaman	N-SPT
2 m	9
4 m	38
6 m	45
8 m	37
10 m	50
12 – 30 m	>60

vii. Alat Operasional

Peralatan operasional yang digunakan adalah *crane* untuk bongkar muat kapal dan truk untuk alat angkut kargo di darat. **Tabel 3** berikut menunjukkan spesifikasi *crane* yang digunakan dan **Tabel 4** menunjukkan spesifikasi truk yang digunakan.

Tabel 3 Spesifikasi SANY *Rough Terrain Crane SRC300C*

<i>Wheel Base</i>	3940 mm
<i>Wheel Track</i>	2170 mm
Berat Total (<i>Gross Mass</i>)	28000 kg
Kapasitas Angkat Maksimum	30 ton
Lebar <i>Outrigger</i>	6,7 x 6,5 m

(Sumber: SANY, 2019)

Tabel 4 Spesifikasi Isuzu ELF NLR 55 Tx

Panjang	4.700 mm
Lebar	1.835 mm
Jarak Sumbu	2.490 mm
<i>Gross Vehicle Weight</i>	5.100 kg
Radius Putar Minimum	5,7 m

(Sumber: Isuzu, 2021)

b) Perancangan Komponen Dermaga

i. Fender dan Panel Fender

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai energi berlabuh abnormal yang menjadi nilai energi desain dalam pemilihan kapasitas *fender* yaitu sebesar 569 kNm. Dengan demikian, digunakan *fender* SCN1200 E0.9 produksi FENTEK dengan kapasitas nominal 585 kNm dan memberikan gaya reaksi pada struktur dermaga dan lambung kapal sebesar 941 kN. Pada *fender* dipasang panel dengan dimensi 2800 mm x 1400 mm x 150 mm untuk mengurangi tekanan yang diterima lambung kapal. Jarak pemasangan antar *fender* adalah 10 m.

ii. Bollard

Berdasarkan perhitungan beban desain pada *bollard* untuk masing-masing tali

tambat, diperoleh bahwa beban terbesar yang akan diterima adalah sebesar 20,543 ton. Maka, dipilih *tee bollard* dengan kapasitas 30 ton yang diproduksi oleh Trelleborg Marine Systems yang dipasang dengan jarak 15 meter antar unit.

c) Dimensi Dermaga dan Trestle

Berdasarkan data kapal, data lingkungan dan, data alat operasional, dermaga didesain untuk memiliki dimensi panjang 112 m dengan lebar 17 m, sedangkan struktur *trestle* memiliki panjang 37 m dengan lebar 6 meter. Kedua struktur memiliki elevasi lantai yang sama yaitu pada +3,85 m LWS. Kedalaman perairan pada dermaga adalah pada -6 m LWS.

d) Dimensi Awal Elemen Struktural

Elemen struktural dermaga terdiri atas pelat, balok, *pile cap*, dan tiang pancang. Penentuan dimensi dari masing-masing elemen dilakukan sebagai desain awal (*preliminary design*) struktur dermaga berdasarkan beban yang diterima masing-masing elemen yang nantinya akan digunakan sebagai masukan awal dalam analisis struktur. **Tabel 5** menunjukkan hasil perhitungan dimensi awal elemen struktural dermaga dan *trestle*.

Tabel 5 Dimensi Awal Elemen Struktural

Elemen	Dimensi
Pelat	t = 250 mm
Balok	h = 900 mm, b = 450 mm
Tiang Pancang	Ø965,2 mm, t = 20,62 mm
<i>Pile Cap</i> Biasa	2000 mm x 2000 mm x 2000 mm
<i>Pile Cap Fender</i>	2000 mm x 2000 mm x 2000 mm

e) Pemodelan dan Analisis Struktur

Desain awal struktur dimodelkan pada perangkat lunak SAP2000 untuk dilakukan analisis struktur. Hasil analisis yang perlu diperiksa adalah nilai *unity check ratio* (UCR) dan defleksi. Nilai UCR kritis adalah sebesar 1, yang berarti jika nilai UCR lebih besar dari 1, maka tegangan yang terjadi pada elemen struktur lebih besar daripada kapasitasnya, menyebabkan kegagalan. Pada Tugas Akhir ini, nilai UCR yang optimum diambil pada rentang $0,7 < \text{UCR} < 1,0$. Di sisi lain, defleksi merupakan perubahan bentuk elemen karena perpindahan ujung elemen akibat beban yang bekerja, dimana nilainya harus berada di bawah nilai maksimum yang diizinkan.

i. Dermaga

Hasil analisis desain awal dermaga menunjukkan bahwa bahwa nilai UCR untuk tiang pancang berada pada rentang 0,44 hingga 0,53. Karena nilai UCR maksimum tiang pancang belum bersifat optimum, maka perlu dilakukan optimasi. Optimasi dilakukan dengan memperkecil diameter tiang pancang menjadi 812,8 mm dengan tebal 11,91 mm. Berdasarkan hasil analisis, desain yang telah dioptimasi memiliki nilai UCR pada rentang 0,69 hingga 0,94, sehingga desain ini diambil sebagai desain optimum.

Selain itu, diperoleh bahwa defleksi struktur maksimum akibat beban tetap adalah sebesar 0,25 cm, dan nilai ini berada di bawah batas maksimumnya yaitu 2,68 cm. Defleksi maksimum akibat beban sementara adalah sebesar 5,78 cm, dan nilai ini juga berada di bawah batas maksimumnya yaitu 6,7 cm.

ii. Trestle

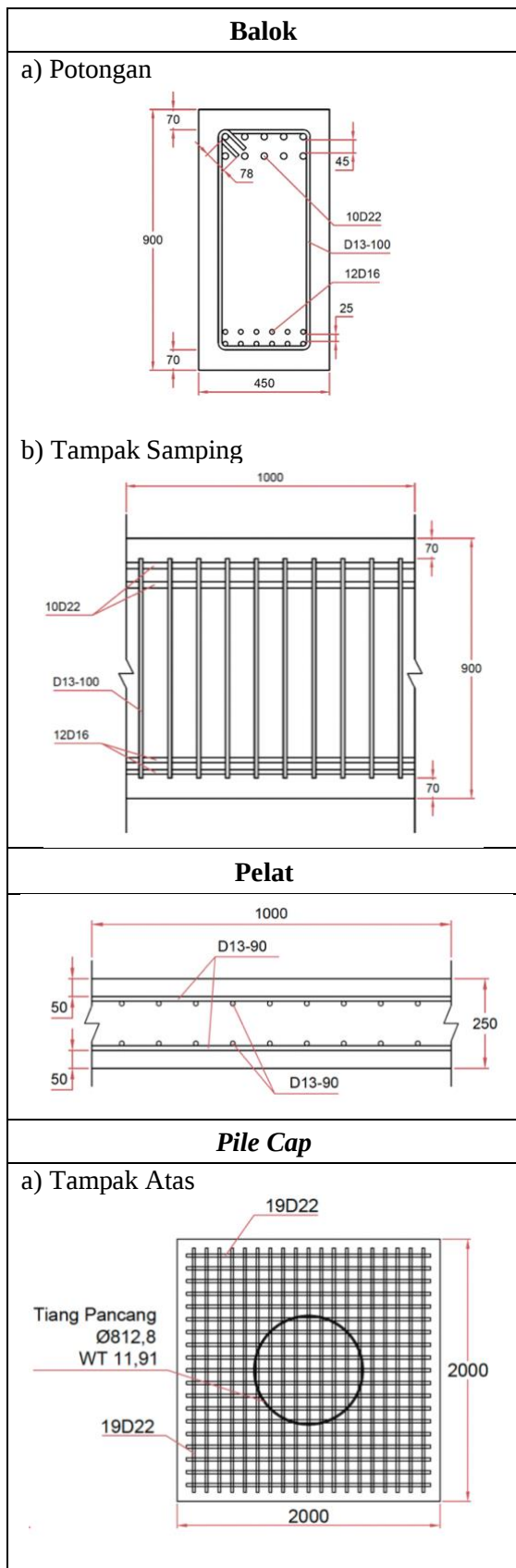
Hasil analisis desain awal *trestle* menunjukkan bahwa bahwa nilai UCR untuk tiang pancang berada pada rentang 0,41 hingga 0,43. Karena nilai UCR maksimum tiang pancang belum bersifat optimum, maka perlu dilakukan optimasi. Optimasi dilakukan dengan memperkecil diameter tiang pancang menjadi 762 mm dengan tebal 9,53 mm. Berdasarkan hasil analisis, desain yang telah dioptimasi memiliki nilai UCR pada rentang 0,85 hingga 0,9, sehingga desain ini diambil sebagai desain optimum.

Selain itu, diperoleh bahwa defleksi struktur maksimum akibat beban tetap adalah sebesar 0,0071 cm, dan nilai ini berada di bawah batas maksimumnya yaitu 2,68 cm. Defleksi maksimum akibat beban sementara adalah sebesar 6,55 cm, dan nilai ini juga berada di bawah batas maksimumnya yaitu 6,7 cm.

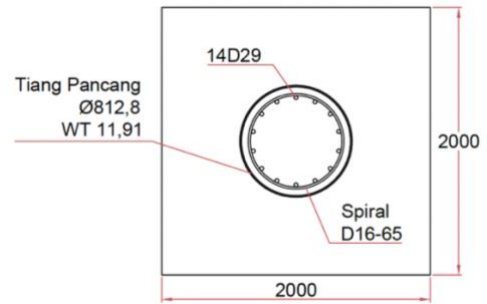
f) Penulangan Elemen Struktural Beton

Dengan diperoleh desain optimum untuk dermaga dan *trestle*, digunakan *output* gaya dalam maksimum masing-masing elemen struktural untuk desain penulangan. **Tabel 6** menunjukkan hasil desain penulangan untuk masing-masing elemen struktural beton dermaga dan **Tabel 7** menunjukkan hasil desain penulangan untuk masing-masing elemen struktural beton *trestle*.

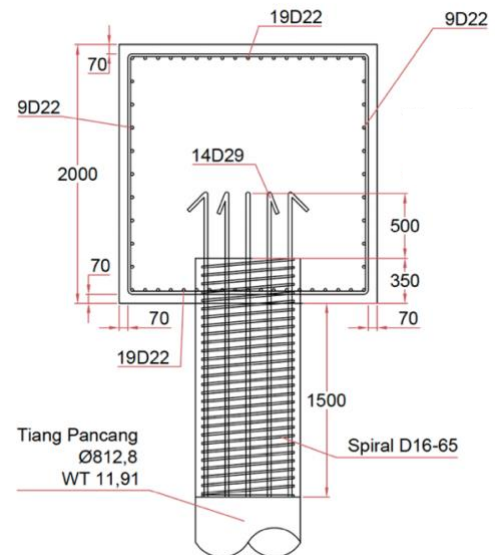
Tabel 6 Penulangan Elemen Struktural Dermaga



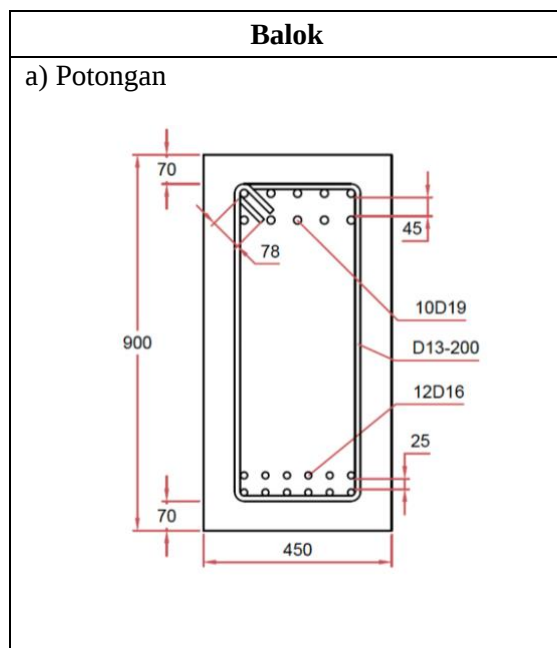
b) Tampak Atas Tulangan Dowel dan Spiral

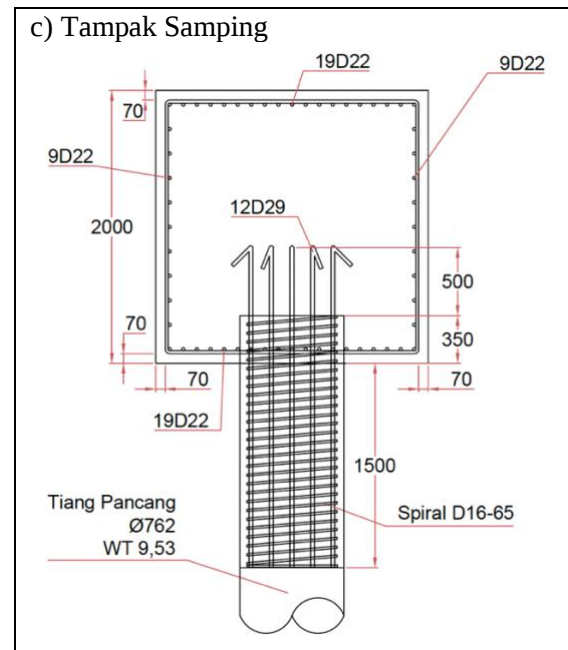
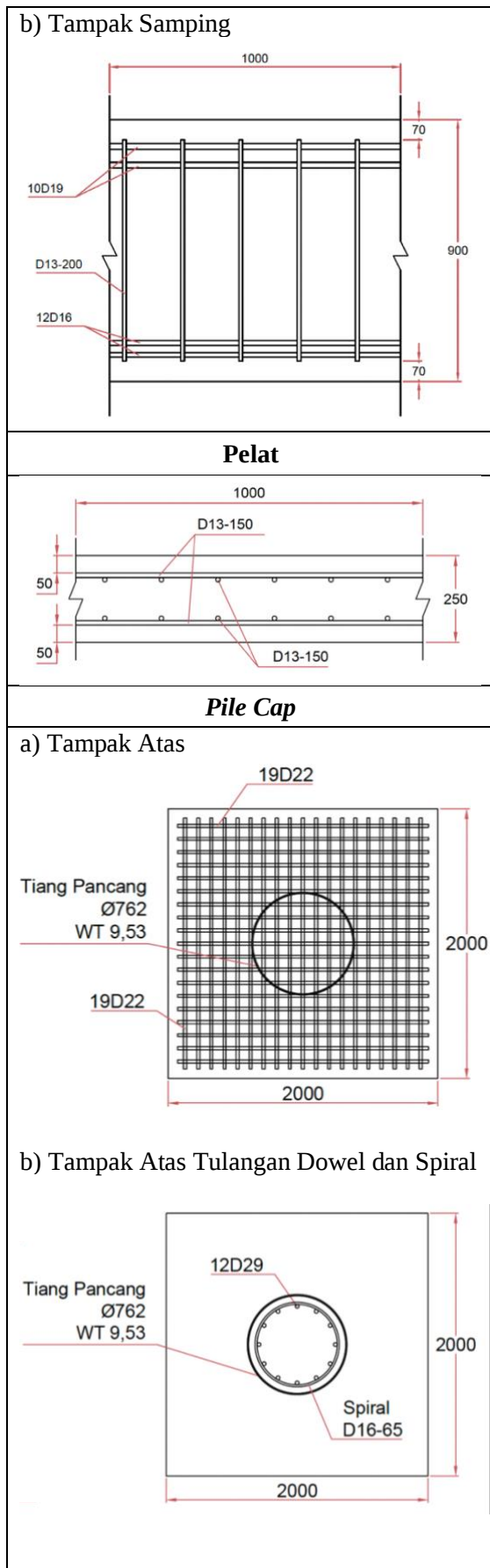


c) Tampak Samping



Tabel 7 Penulangan Elemen Struktural *Trestle*





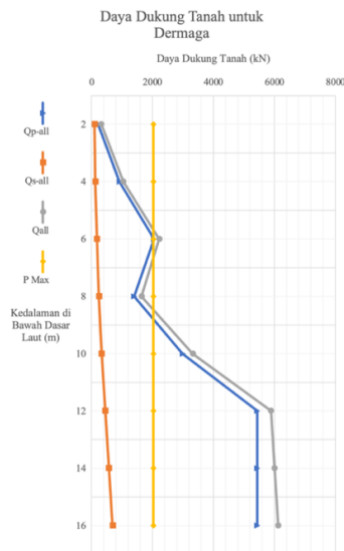
g) Daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung tiang pancang dilakukan berdasarkan parameter tanah berupa jenis tanah dan nilai N-SPT. Daya dukung tanah dihitung untuk menentukan kedalaman pemancangan tiang hingga ke kedalaman tanah yang mampu menahan reaksi perletakan maksimum. Reaksi perletakan maksimum untuk struktur dermaga dan *trestle* ditunjukkan pada **Tabel 8** berikut.

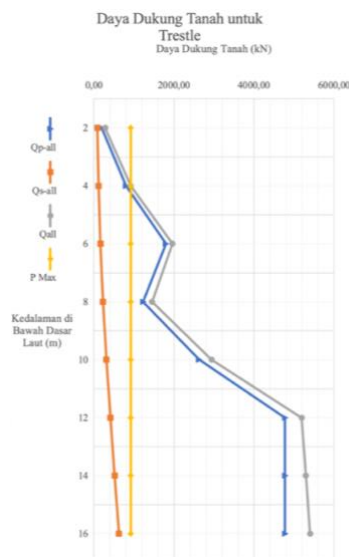
Tabel 8 Reaksi Perletakan Maksimum

Lokasi	Reaksi Perletakan Maksimum
Dermaga	-2028,63 kN
Trestle	-920,34 kN

Gambar 1 dan **Gambar 2** berikut menunjukkan grafik hasil perhitungan daya dukung tanah untuk tiang pancang dermaga dan *trestle*.



Gambar 1 Perhitungan Daya Dukung Tanah untuk Tiang Pancang Dermaga



Gambar 2 Perhitungan Daya Dukung Tanah untuk Tiang Pancang Dermaga

Menurut hasil perhitungan daya dukung tanah untuk dermaga, tiang pancang dapat dipancang hingga kedalaman 6 meter di bawah dasar laut dengan daya dukung izin yang sudah memenuhi, namun pada kedalaman 8 meter, daya dukung izin tanah menurun dan tidak mampu menahan reaksi perletakan maksimum dermaga. Dengan demikian, tiang pancang direncanakan untuk dipancang hingga kedalaman 10 meter di bawah dasar laut dimana daya

dukung izinnya telah memenuhi dan lapisan tanah di bawahnya lebih kuat. Sedangkan pada *trestle*, tiang pancang dapat dipancang hingga kedalaman 4 meter di bawah dasar laut dimana daya dukung izinnya telah memenuhi dan lapisan tanah di bawahnya juga memenuhi.

Kebutuhan panjang tiang pancang dihitung dengan memperhatikan kedalaman air, kedalaman pemancangan, elevasi dermaga, dan dimensi elemen struktural. Dihitung pula panjang tiang pancang yang tertanam ke dalam *pile cap* sedalam 350 mm. Dengan kedalaman dermaga pada -6 m LWS, maka panjang tiang pancang dermaga yang dibutuhkan adalah 17,05 m, sedangkan pada *trestle* dibutuhkan 11,05 m.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari perancangan struktur dermaga kargo tipe *deck on pile* di Pelabuhan Ilwaki, Kabupaten Maluku Barat Daya, Provinsi Maluku dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Dermaga melayani kegiatan bongkar muat *general cargo* dengan kapal rencana berukuran 3.000 DWT. Dimensi dan detail untuk struktur dermaga dan *trestle* adalah sebagai berikut.
 - a. Struktur Dermaga
 - Panjang : 112 m
 - Lebar : 17 m
 - Elevasi lantai: +3,85 m LWS
 - Kedalaman perairan : -6 m LWS
 - b. Struktur *Trestle*
 - Panjang : 37 m
 - Lebar : 6 m
 - Elevasi lantai: +3,85 m LWS

2. Fasilitas struktur dermaga yang digunakan untuk menahan beban berlabuh dan beban bertambat adalah sebagai berikut.
 - a. *Fender* dan Panel *Fender*
 Jenis *fender*: SCN1200 E0.9
 Kapasitas *fender*: 585 kNm
 Reaksi *fender*: 941 kN
 Panel *fender*: 2,8 x 1,4 x 0,15 m
 Jumlah *fender*: 11 unit
 Jarak antar *fender*: 10 m
 - b. *Bollard*
 Jenis *bollard*: *Tee bollard*
 Kapasitas *bollard*: 30 ton
 Jumlah *bollard*: 8 unit
 Jarak antar *bollard*: 15 m
3. Hasil pemodelan struktur optimum dermaga dan *trestle* dengan perangkat lunak SAP2000 adalah sebagai berikut.
 - a. *Unity Check Ratio* (UCR)
 Dermaga: 0,69 - 0,94
Trestle: 0,85 - 0,9
 - b. Defleksi
 Rangkuman analisis defleksi ditunjukkan pada **Tabel 9**.

Tabel 9 Rangkuman Defleksi

Beban Tetap		
Lokasi	Defleksi Maksimum	Defleksi Izin
Dermaga	0,25 cm	2,68 cm
Trestle	0,0071 cm	
Beban Sementara		
Lokasi	Defleksi Maksimum	Defleksi Izin
Dermaga	5,78 cm	6,7 cm
Trestle	6,55 cm	

4. Dimensi dan desain penulangan elemen struktural dermaga dan *trestle* adalah seperti ditunjukkan pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**.

5. Kedalaman pemancangan tiang pancang pada struktur dermaga sesuai daya dukung tanah adalah hingga kedalaman 10 meter di bawah dasar laut, dengan panjang tiang pancang total yang dibutuhkan sebesar 17,05 m.
6. Kedalaman pemancangan tiang pancang pada struktur *trestle* sesuai daya dukung tanah adalah hingga kedalaman 4 meter di bawah dasar laut, dengan panjang tiang pancang total yang dibutuhkan sebesar 11,05 m.

SARAN

Dalam pelaksanaan konstruksi, dapat dipertimbangkan penggunaan metode *precast* untuk elemen struktural bagian atas dermaga dan *trestle*. Perlu analisis lebih lanjut untuk penggunaan metode konstruksi *precast* seperti analisis *lifting* dan optimasi desain penampang elemen struktural dan penulangannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajiwibowo, H. (2020). *Diktat Perancangan Dermaga KL 4120*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Das, B. M. (2016). *Principles of Foundation Engineering*. Boston: Cengage Learning.
- The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI). (2020). *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*. Tokyo: OCDI.
- Thoresen, C. A. (2003). *Port Designer's Handbook*. London: Thomas Telford Publishing.
- Triatmodjo, B. (2009). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.