



ANALISIS STRUKTUR MOORING DOLPHIN KAPASITAS KAPAL 2000 GT (STUDI KASUS PELABUHAN MUNSE SULAWESI TENGGARA)

Edwar Hafudiansyah¹⁾, An An Anisarida²⁾

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Perencanaan dan Arsitektur Universitas Winaya Mukti

email : edoo.transportation@gmail.com, anananisarida@gmail.com

ABSTRACT

Sea transportation is the main transportation used by residents in the islands. The development of marine transportation facilities is expensive to support these activities. Therefore, several alternatives are needed to streamline construction costs, one of which is the construction of a pier using a mooring dolphin. The purpose of this study is to calculate the structural strength of the mooring dolphin with a ship capacity of 2000 GT at Munse Port, Southeast Sulawesi Province. Structural analysis is carried out by analyzing pile capacity and joint displacement analysis. The calculation of the strength of the pile elements at the pier was analyzed using the SAP 2000 program. For soil which is modeled as an elastic support, the ability to support the load depends on the magnitude of the modulus of subgrade reaction from the soil. Embedded pile modeling is modeled with a nonlinear spring force. The results of the analysis by analyzing the capacity of piles with dimensions of 508 mm with a thickness of 12 mm resulted in a capacity ratio of 0.72. The results of the analysis of joint displacement in service or operational conditions are 37.09 mm and in earthquake conditions, they are 13.01 mm.

ABSTRAK

Transportasi laut sebagai merupakan transportasi utama yang digunakan oleh penduduk yang berada di kepulauan. Pengembangan fasilitas transportasi laut membutuhkan biaya yang mahal guna mendukung kegiatan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan beberapa alternatif untuk mengefisiensikan biaya pembangunannya salah satunya dengan konstruksi dermaga dengan menggunakan mooring dolphin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung kekuatan struktur mooring dolphin dengan rencana kapasitas kapal 2000 GT di Pelabuhan Munse Provinsi Sulawesi Tenggara. Analisa struktural dilakukan dengan analisa kapasitas tiang dan Analisa *joint displacement*. Perhitungan kekuatan elemen tiang pancang pada dermaga dianalisis menggunakan program SAP 2000. Untuk tanah yang dimodelkan sebagai tumpuan elastis, kemampuan untuk mendukung beban, tergantung dari besarnya modulus of *subgrade reaction* dari tanah. Pemodelan tiang yang tertanam dimodelkan dengan gaya spring nonlinier. Hasil analisis dengan analisa kapasitas tiang pancang dengan dimensi 508 mm dengan tebal 12 mm menghasilkan rasio kapasitas 0,72. Hasil Analisa joint displacement pada kondisi layan atau operasional sebesar 37,09 mm dan pada kondisi gempa sebesar 13,01 mm.



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan wilayah kepulauan di Indonesia sangat diperlukan untuk pemerataan perekonomian Indonesia. Seiring dengan berjalannya otonomi daerah, maka pemerintah daerah dituntut melakukan inovasi dan terobosan diberbagai bidang. Terobosan yang dimaksud antara lain adalah peningkatan sarana dan prasarana transportasi yang bertujuan untuk menghemat biaya pembangunan. Kondisi saat ini memperlihatkan bahwa masalah utama yang dihadapi oleh wilayah-wilayah kepulauan di Indonesia pada umumnya adalah transportasi untuk mengirim komoditas dan mendatangkan bahan pokok dari wilayah lain.

Dalam rangka mendukung pengembangan wilayah dan pertumbuhan ekonomi di wilayah Sulawesi Tenggara khususnya di wilayah munse Kecamatan Wawoni Timur Kabupaten Konawe Kepulauan Provinsi Sulawesi Tenggara, maka dibutuhkan adanya infrastruktur yang mendukung aktifitas ekonomi dan pergerakan masyarakat. Salah satu infrastruktur yang vital adalah infrastruktur transportasi laut. Untuk menunjang aktifitas transportasi laut ini dibutuhkan pengembangan pelabuhan laut yang dapat menampung seluruh kegiatan operasional pelabuhan.

Kendala yang dialami Pemerintah daerah dalam hal pembangunan adalah biaya pembangunan pelabuhan yang besar. Sehingga diperlukan inovasi pembangunan sebagai salah satu alternatif pengembangan pelabuhan di pelabuhan Munse. Pembangunan dermaga yang awalnya memiliki kebutuhan $70 \times 8 \text{ m}^2$, dikembangkan alternatif pembangunan menggunakan mooring dolphin, sehingga pembangunan dermaga menjadi $40 \times 8 \text{ m}^2$ dan digunakan konstruksi mooring dolphin untuk sarana tambatnya. Dengan adanya pengembangan inovasi pembangunan mooring ini diharapkan dapat membantu memberikan solusi penghematan biaya pembangunan pelabuhan dengan tidak mengurangi kekuatan dan fungsi pelabuhan secara umum.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah perhitungan struktur mooring dolphin untuk kapasitas kapal 2000 GT.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas permasalahan dan memudahkan dalam penyusunan laporan penelitian ini maka digunakan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Perhitungan struktur dilakukan dengan menganalisis struktur mooring yang dilakukan sesuai Juknis DED Kementerian Perhubungan Tahun 2015.

2. Data-data survey topografi, hidrooceanografi dan soil investigasi dalam penelitian yang digunakan adalah hasil survey pada tahun 2019.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Tersedianya hasil perhitungan struktur mooring dolphin yang ditinjau dari rasio kapasitas tiang dan defleksi struktur yang memenuhi kriteria desain kapal 2000 GT.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pelabuhan

Pelabuhan adalah tempat yang terdiri atas daratan dan atau perairan dengan batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan pengusahaan yang di gunakan sebagai tempat kapal bersandar, naik turun penumpang dan bongkar muat barang, berupa terminal dan tempat berlabuh kapal yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi [1].

Dermaga merupakan suatu bangunan yang merupakan bagian dari pelabuhan yang digunakan sebagai tempat merapat dan menambatkan kapal-kapal yang melakukan bongkar-muat (menaikan dan menurunkan muatan). Dermaga dapat dibedakan menurut lokasinya, yaitu[2]:

1. *Wharf / Quay* : dermaga yang paralel dengan garis pantai dan biasanya berhimpit dengan garis pantai.
2. *Jetty / Pier* : Dermaga yang menjorok ke laut.
3. *Dolphin* : Struktur yang digunakan untuk tambat dan bersandar di laut lepas. Mooring Dolphin merupakan bagian dari struktur dermaga yang digunakan untuk tambat

Kriteria Perencanaan

Kriteria desain struktur mooring berdasarkan data perencanaan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Topografi dan Bathymetri,
- b. Hidrooceanografi (Pasang surut, arus dan sedimen)
- c. Data Angin,
- d. Kondisi geologi / tanah,
- e. Tinggi gelombang rencana : dalam perencanaan mooring ini digunakan tinggi gelombang rencana dengan perioda ulang 50 tahun pada perhitungan struktur

Karakteristik Kapal

Spesifikasi kapal terbesar yang akan sandar adalah kapal 2000 GT atau 1200 DWT. Adapun spesifikasinya adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Karakteristik kapal

Kriteria Kapal Rencana	
Bobot Kapal Rencana (GT)	2000
Legth Overall (L), m	62.5
Molded Breadht (B), m	12
Full Load Drafth (d), m	3.9

Dimensi Dermaga

Dimensi suatu pelabuhan ditentukan berdasarkan panjang dan lebar dermaga, kedalaman kolam pelabuhan dan luas daerah pendukung operasinya. Semua ini menentukan kemampuan pelabuhan dalam penanganan kapal dan barang. Ukuran dan bentuk konstruksi menentukan pula besar investasi yang diperlukan, sehingga penentuan struktur yang tepat akan membantu operasional pelabuhan yang efisien.

Angin dan Gelombang

Angin dan gelombang merupakan faktor yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan suatu pelabuhan, oleh sebab itu data angin dan data gelombang sangat diperlukan. Mengingat tidak adanya data gelombang, maka dengan menggunakan windcasting data angin dapat dipergunakan untuk menentukan karakteristik gelombang, seperti tinggi gelombang. Hal ini bisa dilakukan karena angin merupakan penyebab utama terbentuknya gelombang di lautan, meskipun gelombang dapat pula disebabkan oleh macam-macam sebab, misalnya letusan gempa dasar laut, tsunami (titik episentra ada di dasar laut), gerakan kapal dan sebagainya.

Fetch didefinisikan sebagai daerah dimana gelombang dibangkitkan oleh angin yang arah dan kecepatannya dianggap tetap, atau jarak antara titik dimana angin mulai timbul sampai titik dimana tinggi gelombang mencapai maksimum. Kecepatan dan arah angin dianggap konstan bila perubahan arah tidak lebih dari 150, dan perubahan kecepatan tidak lebih dari 5 knots dari kecepatan rata-rata. Panjang fetch dihitung dengan mengukur panjang lintasan garis lurus antara lokasi studi dan garis pantai di seberang laut. Panjang fetch efektif untuk suatu arah angin utama merupakan kumulatif dari panjang fetch yang merentang/melingkup sektor sebesar -22.5^0 sampai $+22.5^0$ terhadap arah angin utama. Rumus yang digunakan untuk menghitung panjang fetch efektif adalah [4] :

$$F_{eff} = \sum F_i \cdot \cos \alpha_i / \sum \cos \alpha_i \quad \text{pers (1)}$$

dimana:

F_{eff} = panjang fetch efektif untuk suatu arah angin utama

F_i = panjang lintasan fetch ke-i untuk suatu arah angin utama

α_i = sudut simpangan lintasan ke-i dengan arah angin utama

Klasifikasi Situs Berdasarkan SNI 1726:2019

Prosedur untuk klasifikasi situs pada SNI 1726:2019 diuraikan pada Pasal 5. Profil tanah situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel klasifikasi situs pada SNI 1726:2019 berdasarkan profil tanah lapisan teratas sejauh 30 m. [5]

Tabel 2. Klasifikasi Situs SC, SD dan SE

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{60}	$\bar{S}_u$ (kPa)
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	> 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w > 40\%$, 3. Kuat geser nir alir $\bar{s}_u < 25$ kPa			

Pemodelan Struktur

Respon suatu struktur ketika menerima beban gempa dipengaruhi oleh interaksi antara struktur bangunan atas, sistem pondasi yang dipilih serta tanahtempat struktur itu berdiri. Terminologi interaksi tanah-struktur (Soil Structure Interaction atau SSI) mengacu kepada respon ketiga variabel di atas dimana pondasi dianggap sebagai bagian dari struktur. Interaksi tanah-struktur adalah suatu proses analisa struktur yang mengevaluasi respon struktur bagian atas, sistem pondasi, serta tanah pendukung dibawahnya secara bersama sama akibat rerakan tanah. Pada analisa SSI, tanah diperhitungkan sebagai bagian yang tidak terpisahkan dengan struktur bagian atas.

Ada dua hal utama terkait efek SSI terhadap struktur bangunan yaitu efek interaksi inersia serta efek interaksi kinematik. Efek-efek ini terkait dengan kekakuan dan redaman pondasi, variasi antara input gerakan pondasi sertadeformasi pondasi. Metode perhitungan untuk mengetahui efek-efek tersebut dapat dibedakan menjadi analisa langsung dan pendekatan sub-struktur. Interaksi inersia (inertial interaction) mengacu kepada gerakan tanah pondasi baik itu perpindahan maupun rotasi yang disebabkan oleh gaya inersia struktur. NIST GCR 12-917-21 menjelaskan interaksi ini dalam bentuk persamaan (2) [6] .

$$\Delta = f / k$$

pers (2)

Dimana :

Δ = perpindahan

f = gaya yang bekerja

k = kekakuan

Jika ditinjau suatu sistem struktur SDOF dengan kekakuan dan massa terjepit pada tumpuannya. Selanjutnya untuk tumpuan fleksibel yang mempunyai kekakuan pegas vertikal dalam arah z dinamakan k_z , kekakuan pegas horisontal dalam arah x adalah k_x serta rotasi pegas terhadap bidang y-y dinamakan k_{yy} . Pada kondisi normal, pondasi berperan menahan beban hidup dan beban mati bangunan diatasnya serta meneruskannya ke tanah di bawah pondasi. Pada saat terjadi gempa, pondasi berperan meneruskan gerakan tanah ke

bangunan diatasnya, menahan getaran bangunan serta meneruskannya kembali ke tanah di bawahnya. Jadi tanah dan struktur saling mempengaruhi melalui perantaraan pondasi.

Pengaruh tanah disekitar pondasi tiang dalam arah horisontal dapat dimodelkan sebagai elemen dengan kekakuan aksial saja. Elemen ini diletakkan pada salah satu sisi pondasi tiang dengan kekakuan aksial yang sama baik tekan maupun lentur. pendekatan nilai kekakuan pegas pada setiap kedalaman tiang dihitung dengan persamaan :[7]

$$K_v = a. (A_p.E_p)/l \quad \text{pers (3)}$$

Dimana :

K_v = Nilai konstanta pegas

a = distribusi efek kekakuan tanah

A_p = luas penampang netto tiang (cm^2)

l = panjang tiang (cm)

Untuk merepresentasikan perilaku struktur, model struktur dibuat dalam komponen 3 dimensi yang terbentuk dari elemen-elemen join, elemen batang, dan elemen area. Dalam permodelan struktur dilakukan beberapa pendefinisian untuk pemodelan yang diinputkan ke dalam bantuan program SAP 2000. Untuk menganalisis gaya-gaya dalam (momen lentur, gaya lintang, dan gaya normal), penurunan arah vertikal (settlement), serta pergeseran pada arah horisontal dari atau pondasi tiang, dapat dilakukan dengan menggunakan model tumpuan pegas elastis. Untuk tanah yang dimodelkan sebagai tumpuan elastis, kemampuan untuk mendukung beban, tergantung dari besarnya *modulus of subgrade reaction* dari tanah. Pemodelan tiang yang tertanam dimodelkan dengan gaya spring nonlinier.

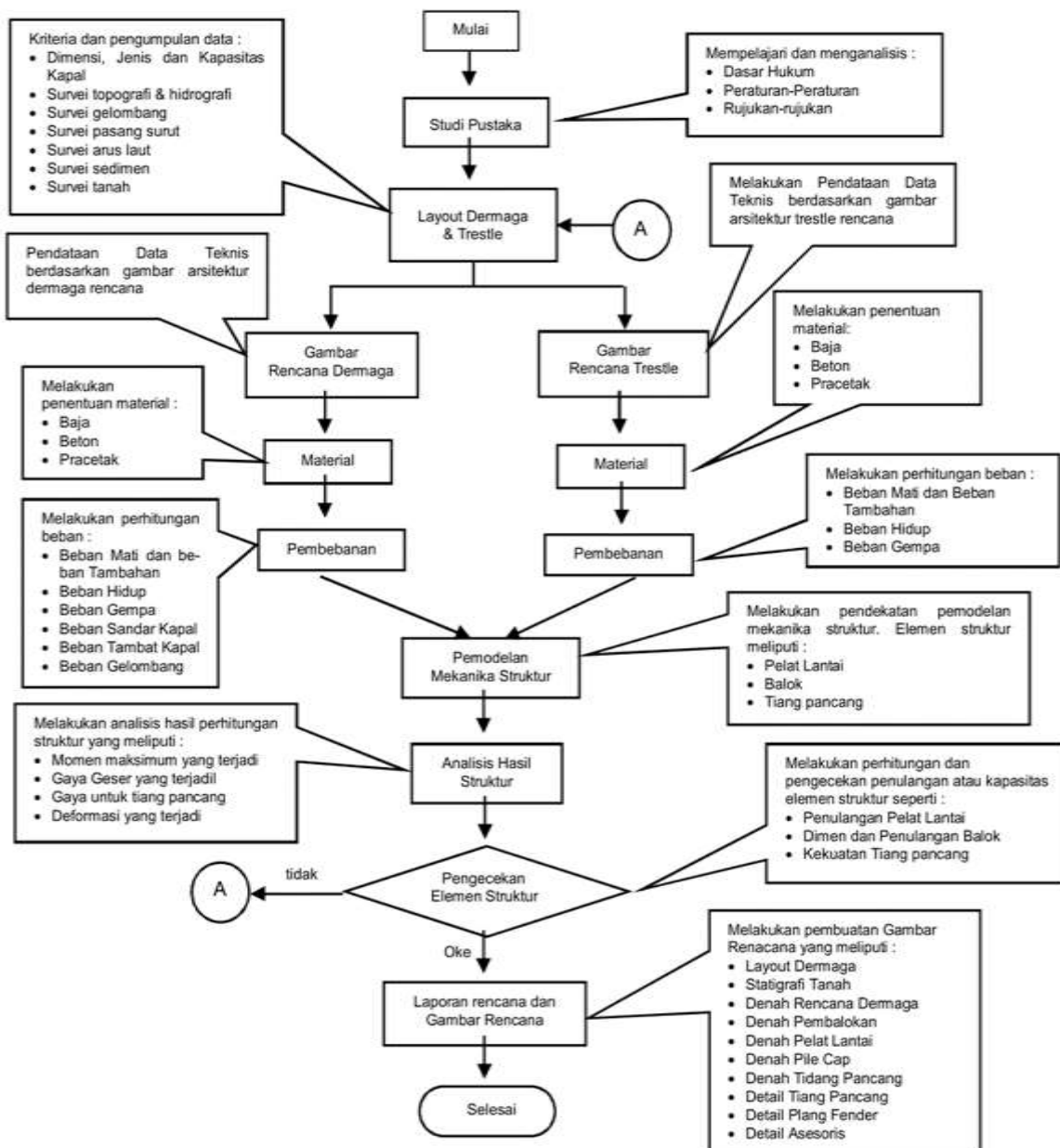
3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode desain struktur dijelaskan oleh bagan alir perencanaan seperti gambar dibawah ini, pemodelan dilakukan dengan menggunakan software SAP 2000. Perencanaan elemen dengan menggunakan Standar Nasional Indonesia. Mengacu kepada standar yang dipakai perhubungan laut untuk pembangunan fasilitas pelabuhan, yaitu dermaga dan trestle, batasan defleksi maksimum untuk kenyamanan yang terjadi, yaitu 5 cm untuk kondisi layan dan 10 cm untuk kondisi gempa. [8]

Tabel 3. Batas defleksi kenyamanan untuk dermaga dan trestle

Struktur	Batas Defleksi	
	Layan	Gempa
Dermaga	5,0 cm	10,0 cm
Trestle	5,0 cm	10,0 cm

(Sumber: Standar Hubla, 2015)



Gambar 1. Metode desain struktur [8]

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Lokasi

Lokasi studi terletak di Kabupaten Konawe Kepulauan, Provinsi Sulawesi Tenggara. Saat ini untuk mencapai lokasi studi dapat ditempuh dengan menggunakan kapal ro-ro atau kapal rakyat dari Pelabuhan Kendari menuju Pelabuhan Langara selama sekitar 3-4 jam, dilanjutkan dengan jalan darat menuju ke Munse sejauh kurang lebih 45 km atau 1,5 jam perjalanan.



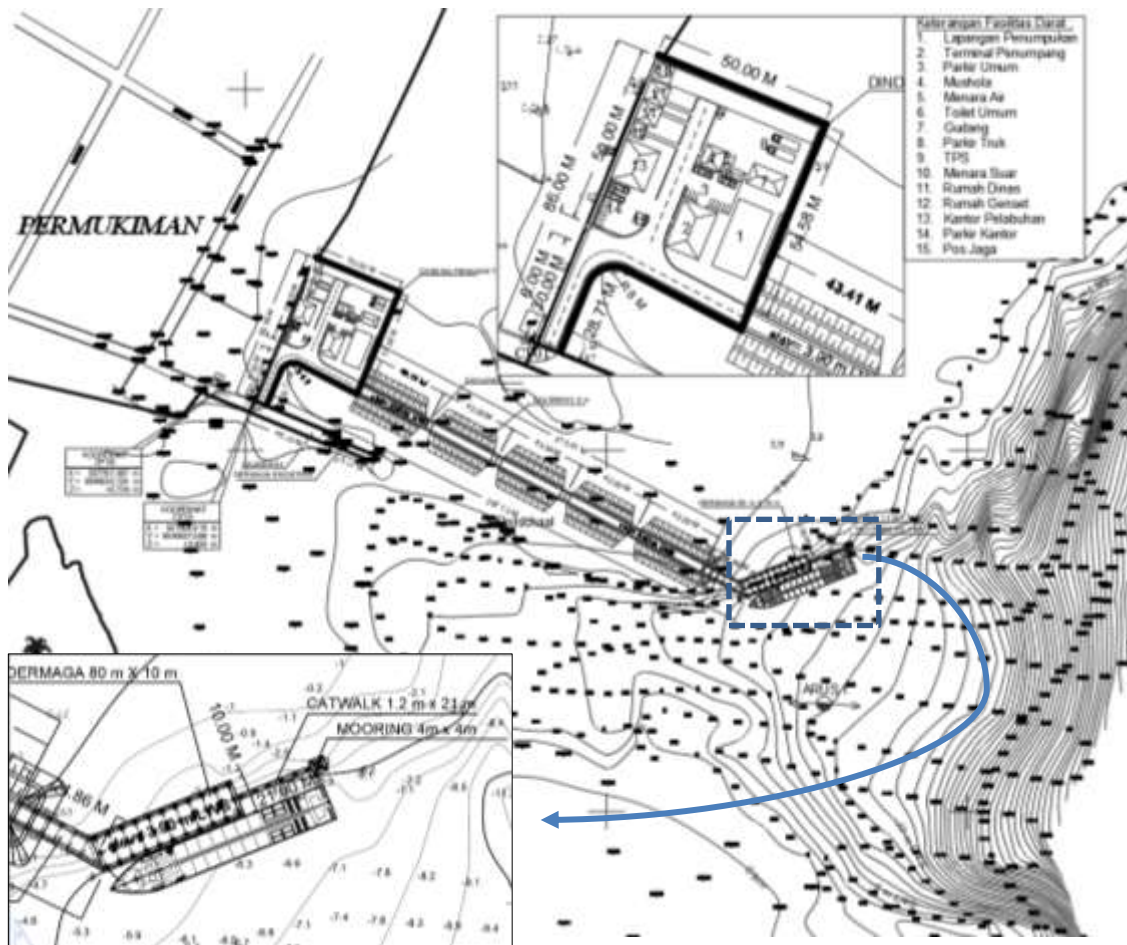
Gambar 2. Lokasi Studi

4.2 Pengumpulan Data

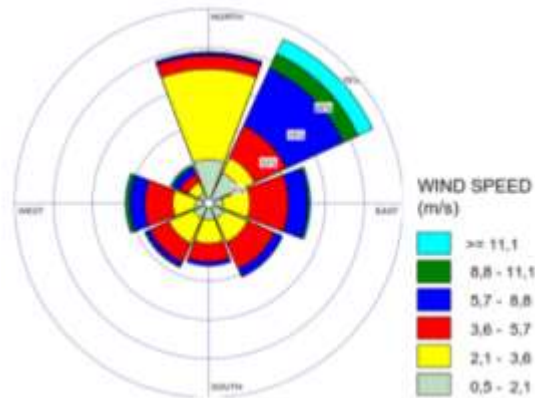
Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data topografi, bathymetri, hidrooceanografi, soil investigasi berupa data boring dan data angin yang digunakan untuk pemodelan gelombang. Data pasang surut didapatkan dari pengamatan 30 hari, dan dianalisis menggunakan metode admiralty dan least square. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan grafik pasang surut global dari BIG, dan digunakan adalah hasil analisis dengan hasil tunggal pasang terbesar yaitu dengan metode least square. Adapun grafik pengamatannya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Nilai Pasang Surut Metode Admiralty

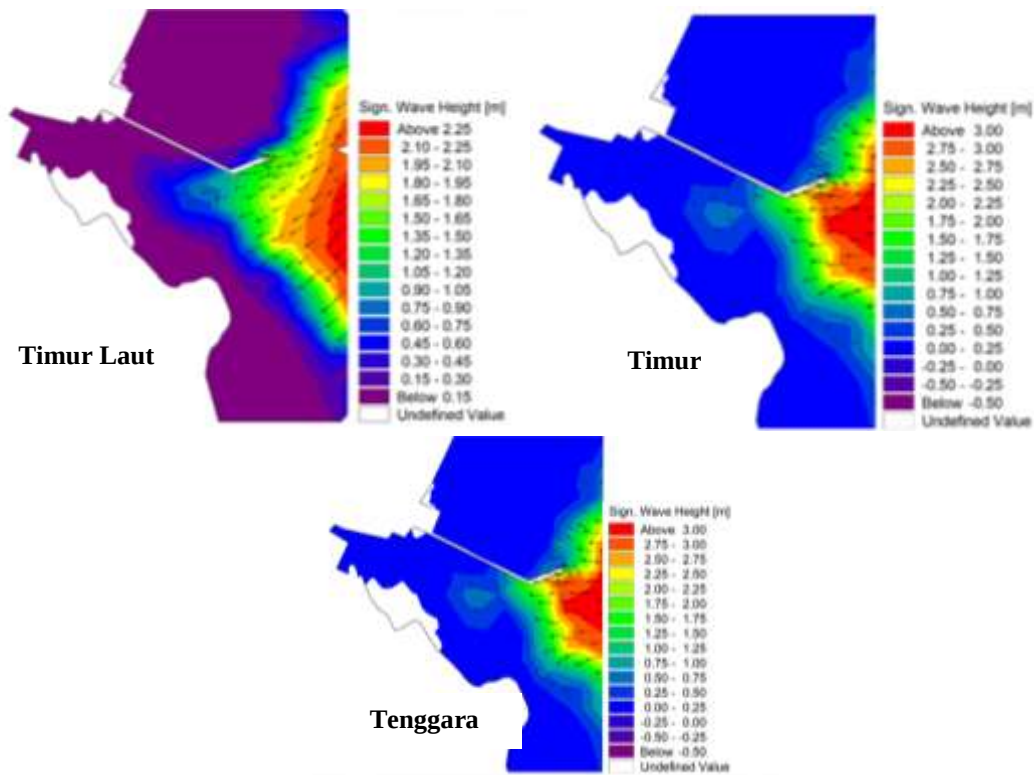
Jenis Elevasi		Elevasi (m)	Elevasi (m) (LWS)
Highest High Water Level	(HWS)	2,65	2,00
Mean High Water Level	(MHWS)	2,32	1,87
Mean Sea Level	(MSL)	1,74	1,08
Mean Low Water Level	(MLWS)	0,82	0,17
Lowest Low Water Level	(LWS)	0,65	0.00
Tunggang Pasut (HWS-LWS)			2,00


Gambar 3. Peta Topografi, Bathymetri dan Layout Rencana Pelabuhan Munse

Data arah dan kecepatan angin di lokasi Pelabuhan munse diambil dari data angin perairan munse dari tahun 2009 – 2018.



Gambar 4. Windrose Total Perairan Munse 2009-2018



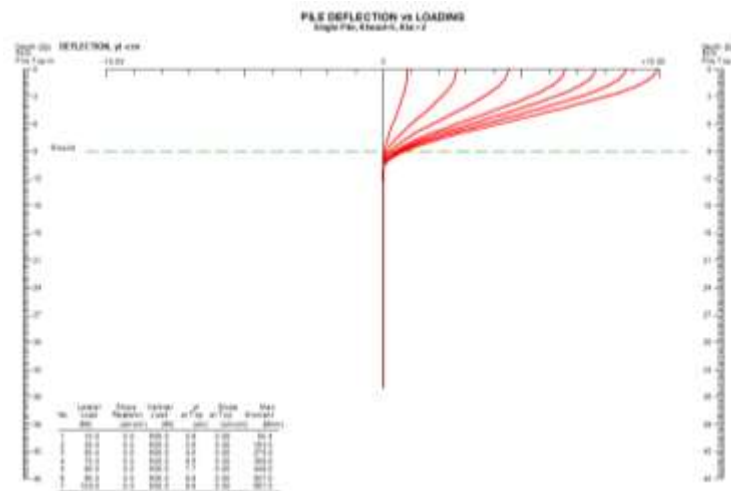
Gambar 5. Pemodelan Perambatan Gelombang Periode 50 Tahun

Tabel 5. Tinggi Gelombang Depan Dermaga

Perioda Ulang	Timur Laut		Timur		Tenggara	
	Hs (m)	T (s)	Hs (m)	T (s)	Hs (m)	T (s)
2	1.30	6.38	1.98	6.60	1.11	4.95
25	2.13	8.31	2.51	8.35	1.94	6.94
50	2.33	8.92	2.83	8.73	2.35	7.50

4.3 Perhitungan Struktur

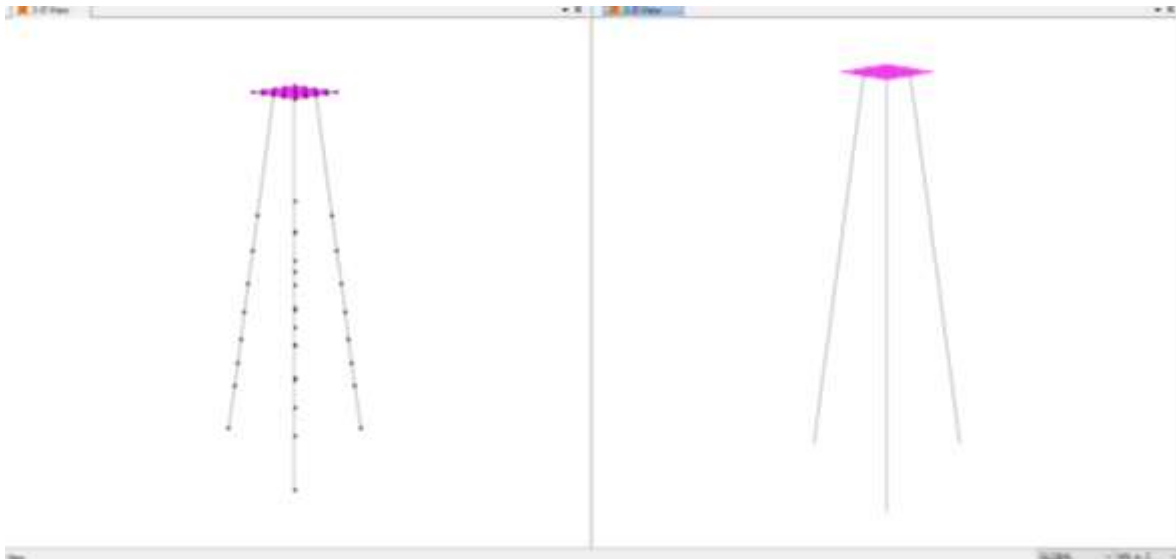
Untuk merepresentasikan perilaku struktur, model struktur dibuat dalam komponen 3 dimensi yang terbentuk dari elemen-elemen join, elemen batang, dan elemen area. Untuk tanah yang dimodelkan sebagai tumpuan elastis, kemampuan untuk mendukung beban, tergantung dari besarnya modulus of subgrade reaction dari tanah. Pemodelan tiang yang tertanam dimodelkan dengan gaya spring nonlinier. Pemodelan mooring yang direncanakan dengan dimensi 4 m x 4 m.



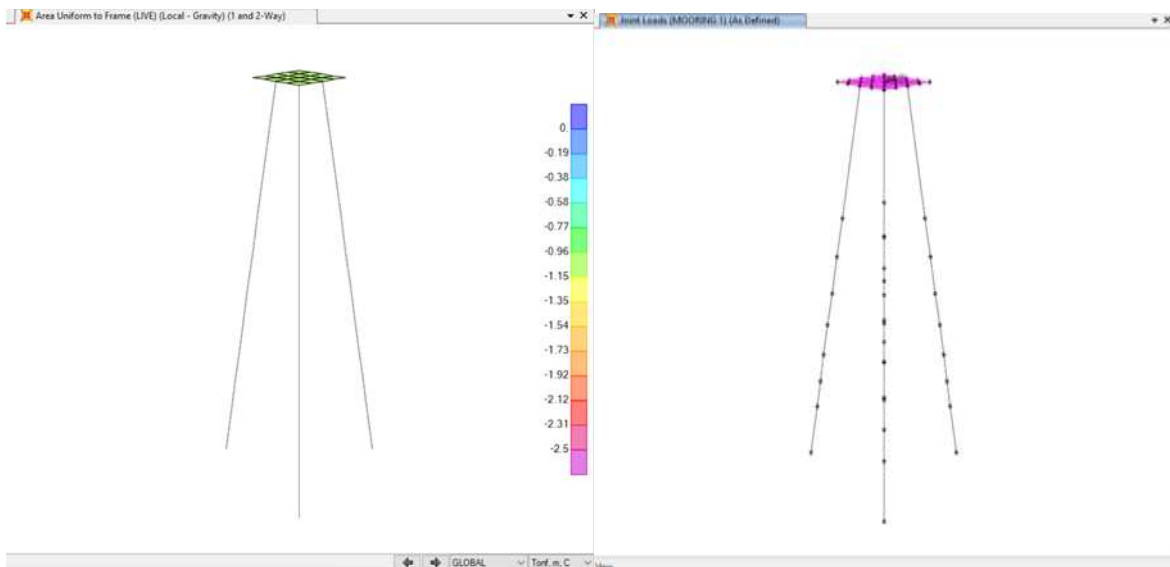
Gambar 6. Pemodelan Tiang Yang Tertanam pada Struktur Mooring

Input pembebanan merupakan proses memasukan beban-beban yang bekerja pada sebuah model struktur yaitu beban vertical dan beban horizontal. Beban Mati / Berat sendiri struktur yang dimodelkan telah dihitung oleh Program SAP2000 itu sendiri dengan memasukan self weight pada pada beban mati = 1. Beban mati tambahan adalah beban plat

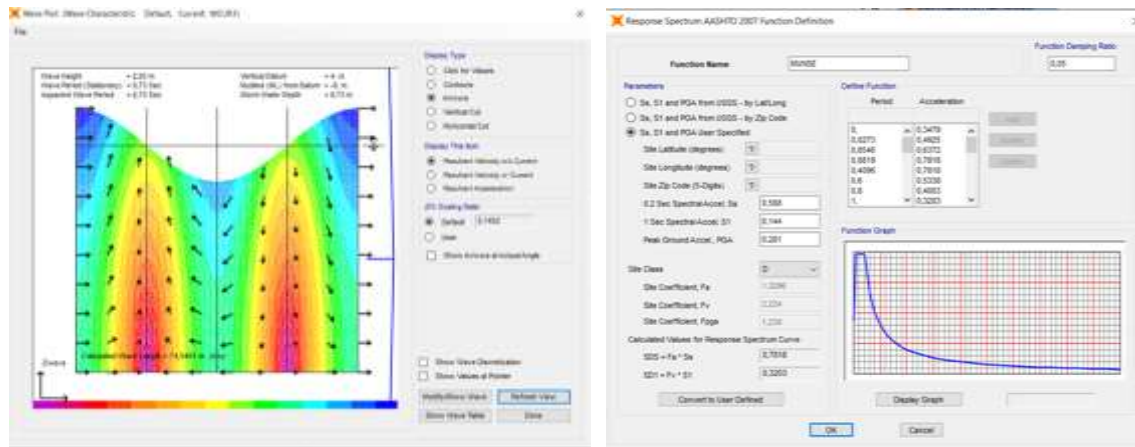
mooring. Input beban arus dan gelombang pada SAP 2000 menggunakan auto-lateral load dari API WSD2000.



Gambar 7. Pemodelan Mooring

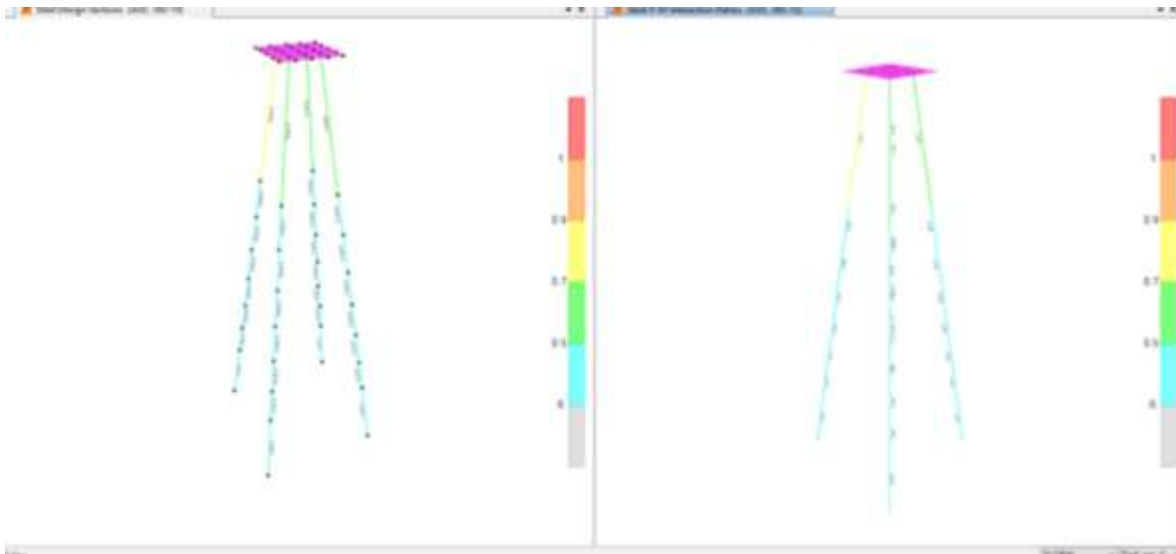


Gambar 8. Beban Hidup dan Beban Mooring



Gambar 9. Beban Arus Gelombang dan Gempa

Beban gempa didapatkan dari analisis respon spektrum. Adapun grafik respon spectrum mengacu pada SNI 2833 : 2016 dimana percepatan gempa sesuai dengan peta hazard gempa 2017 [3]. Hasil klasifikasi jenis tanah sesuai SNI didapat bahwa kondisi tanah di BH 1 dan BH 2 memiliki kriteria tanah Sedang (SD) ($15 < N < 50$). Berikut merupakan respon spektrum yang digunakan di Pelabuhan Munse. Kekuatan elemen struktur baja yang berupa elemen tiang pancang pada dermaga dianalisis menggunakan program SAP 2000.

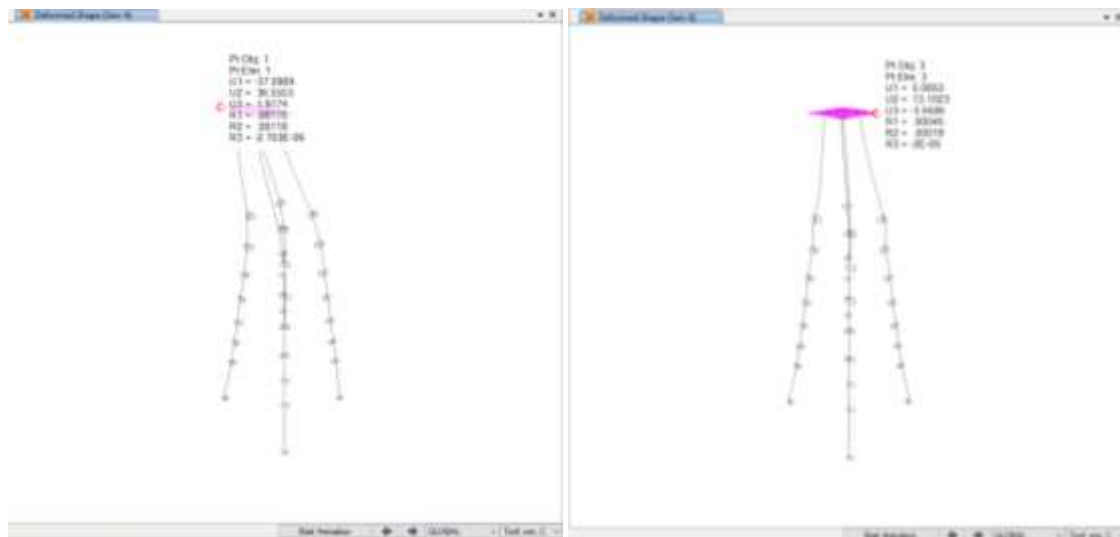


Gambar 10. Rasio Kapasitas Tiang Pancang Mooring

Gambar diatas menunjukkan bahwa tiang pancang masih memenuhi kapasitas beban ultimate yang ditunjukan dengan warna kuning dalam rentang rasio 0,7 – 0,9. Kapasitas tiang pancang baja pada mooring yang menggunakan diameter 508 mm dengan

tebal 12 mm memiliki nilai rasio maksimum yang terjadi 0,72. Nilai tersebut tidak melebihi batas yang diizinkan dengan limit 0,95 sehingga tiang pancang aman untuk memikul kombinasi beban ultimit.

Analisis *displacement* digunakan untuk melihat pergerakan translasi ujung (top) mooring ditunjukkan oleh nilai U1 dan U2. Nilai terbesar digunakan untuk menganalisis nilai displacement pada stuktur mooring tersebut.



Gambar 10. Joint Deflection Tiang Pancang Mooring

Hasil joint displacement kondisi gempa sebesar 13,01 mm dan kondisi layan 37,09 mm. Batas defleksi maksimum untuk kenyamanan mooring adalah 50 mm untuk kondisi layan atau operasional dan 100 mm untuk kondisi gempa. Maka dapat disimpulkan defleksi tiang saat operasional dan saat kondisi gempa masih dibawah batas izinnnya sehingga struktur dikatakan aman.

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis kapasitas tiang menunjukkan bahwa rasio kapasitas tiang baja dengan dimensi 508 mm dengan tebal 12 mm sebesar 0,72.
2. Hasil joint displacement kondisi layan atau operasional sebesar 37,09 mm dan kondisi gempa sebesar 13,01 mm. sehingga dapat disimpulkan defleksi tiang saat

operasional dan saat kondisi gempa masih dibawah batas izin defleksi sehingga struktur dikatakan aman dan nyaman.

5.2 Saran/Rekomendasi

Dari hasil analisa dan kesimpulan yang diperoleh, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian dengan perbandingan alternatif inovasi lain terhadap pengurangan biaya struktur dermaga.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap efektivitas pemilihan struktur mooring untuk keperluan kegiatan cargo.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang – Undang Republik Indonesia No.17 Tahun 2008 tentang Pelayaran.
- [2] Triatmodjo, B. 2010. *Perencanaan Pelabuhan*. Penerbit BETA OFFSET Edisi Pertama, Yogyakarta.
- [3] SNI-2833-2016. 2016. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [4] Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Penerbit BETA OFFSET Edisi Pertama, Yogyakarta.
- [5] SNI 03-1726-2012. 2012. *Tata Cara Perhitungan Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [6] NIST CGR 12-917-21. 2012. *Soil - Structure Interaction for Building Structure*. U.S. Department of Commerce : National Institute of Standards and Technology.
- [7] Sosrodarsono, Suyono, dan Nakazawa, Kazuto, 2000, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, Pradnya Paramitha, Jakarta
- [8] Direktorat Jenderal Perhubungan Laut. 2015. *Tata Cara Perhitungan Struktur Fasilitas Pelabuhan Laut*.