



Perencanaan Struktur Bangunan Breasting Dolphin Kapasitas 5.000 GRT di Dermaga III Pelabuhan Ketapang Banyuwangi

Taufiq Jovi Azissi ^{1*}, Suwanto Marsudi ², Andre Primantyo Hermawan³

Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Email: joviazis1@gmail.com ¹, suwanto_m@ub.ac.id ², andre_ph@ub.ac.id ³

Abstrak

Pelabuhan Ketapang merupakan salah satu pelabuhan tersibuk di Indonesia. Volume penumpang dan kendaraan terus meningkat, sehingga breasting dolphin dengan kapasitas sandar 2.000 Gross Register Tonnage (GRT) dikembangkan menjadi 5.000 GRT. Breasting dolphin merupakan struktur yang berfungsi sebagai tempat kapal bersandar dan menahan gaya lateral. Penelitian ini bertujuan menganalisis stabilitas struktur dan pondasi breasting dolphin. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan analisis data menggunakan perangkat lunak Autodesk Robot Structural Analysis dan Fine GEO5. Analisis struktur dan pondasi mencakup pembebanan berupa beban mati, beban sandar, beban tambat, beban arus, beban angin, dan beban gempa. Hasil penelitian menunjukkan displacement sebesar 5,6 cm, faktor aman tiang tunggal 5,318, faktor aman kelompok tiang 3,60, dan faktor aman terhadap beban lateral 9,71. Pondasi menggunakan steel pipe pile berdiameter 0,8 m dengan kedalaman 49 m. Kesimpulannya, struktur dan pondasi yang direncanakan memenuhi kriteria stabilitas untuk kapal hingga kapasitas 5.000 GRT.

Kata Kunci: Breasting dolphin; Faktor aman; Pondasi; Tiang pancang

ABSTRACT

Ketapang Port is one of the busiest ports in Indonesia. The volume of passengers and vehicles has been continuously increasing, prompting the development of the breasting dolphin from a berthing capacity of 2,000 Gross Register Tonnage (GRT) to 5,000 GRT. A breasting dolphin is a structure that serves as a mooring point for ships and resists lateral forces. This study aims to analyze the stability of the breasting dolphin structure and its foundation. A quantitative method was employed, using Autodesk Robot Structural Analysis and Fine GEO5 for data analysis. The structural and foundation analysis considered dead load, berthing load, mooring load, current load, wind load, and earthquake load. The results indicate a maximum displacement of 5.6 cm, a single pile safety factor of 5.318, a group pile safety factor of 3.60, and a lateral load safety factor of 9.71. The foundation consists of steel pipe piles with a diameter of 0.8 m and a depth of 49 m. In conclusion, the planned structure and foundation meet stability criteria and are safe for vessels up to 5,000 GRT.

Keywords: Breasting dolphin; Safety factor; Foundation; Driven piles

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara yang sebagian besar daerahnya adalah perairan maka transportasi air tidak akan bisa terpisahkan dari kehidupan bangsa Indonesia dan termasuk

sistem transportasi laut (Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, 2020). Salah satu penunjang sistem transportasi ini adalah sektor pembangunan pelabuhan. Pelabuhan merupakan salah satu bagian di perairan yang terlindungi dari gelombang serta difasilitasi suatu bangunan yang disebut dermaga berupa bangunan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal untuk melakukan bongkar muat barang angkutannya dan tempat menaik-turunkan penumpang (Triatmodjo, 2010). Pelabuhan merupakan salah satu bagian dari Ilmu Bangunan Maritim, tempat dimana kapal-kapal berlabuh atau bersandar dan kemudian dilakukan bongkar muat pada barang angkutannya ditinjau dari sistemnya pelabuhan juga salah satu simpul dari mata rantai untuk kelancaran yang berhubungan antara angkutan muatan laut dengan darat (Kramadibrata, 2001). Pelabuhan adalah suatu daerah perairan tertutup dan terlindung dari alam berupa angin topan serta badai sehingga kapal-kapal dapat berlabuh untuk bongkar muat barang, pengisian bahan bakar, penumpang, perbaikan kapal dan lain hal (Mandi, 2015).

Pelabuhan Ketapang merupakan pelabuhan feri yang menghubungkan Pulau Jawa dengan Pulau Bali (Efan Dwi Nugraha dkk., 2024) yang sekaligus menjadi akses menuju salah satu destinasi wisata utama di Indonesia. Pelabuhan ini berperan dalam jalur distribusi barang dan jasa dengan terus beroperasi setiap harinya, seiring dengan meningkatnya volume lalu lintas penyebrangan penumpang dan kendaraan. Pelabuhan Ketapang menghadapi berbagai permasalahan operasional, antara lain keterbatasan kapasitas dermaga, antrean kendaraan yang panjang di loket masuk pelabuhan, keterlambatan jadwal kapal penyeberangan, dan tingginya gelombang laut yang menyebabkan kerusakan fasilitas akibat abrasi dan korosi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan pengembangan fasilitas dermaga, khususnya di Dermaga III, melalui pembangunan *breasting dolphin* dengan kapasitas sandar 5.000 GRT. *Breasting dolphin* dirancang untuk menahan benturan kapal saat berlabuh serta menahan gaya tarik akibat angin, arus, dan gelombang, sehingga mampu meningkatkan keamanan dan kapasitas sandar kapal besar (Nugraha & Pranoto, 2020). Struktur *dolphin* ini terbuat dari pipa baja yang dipancang ke lapisan tanah, menjamin kekuatan dan stabilitas pondasi.

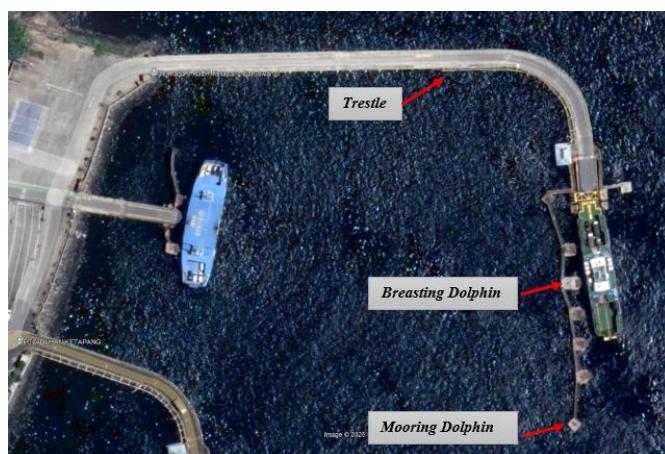
Penelitian ini difokuskan pada analisis stabilitas struktur dan pondasi *breasting dolphin* pada kondisi beban ekstrem. Tujuan analisis ini adalah untuk memastikan keamanan pondasi dan struktur. Analisis dilakukan menggunakan Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024 untuk struktur atas dan GEO5 untuk pondasi dengan mempertimbangkan kombinasi pembebanan berupa beban mati, beban sandar, beban tambat, arus, angin, dan gempa.

2. METODE

Metode Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, yaitu metode yang mengolah data numerik untuk menghasilkan perencanaan dan analisis struktur secara terukur. Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data primer dan sekunder sebagai dasar perencanaan, kemudian dilanjutkan dengan analisis struktur dan stabilitas bangunan *breasting dolphin*.

Berikut beberapa data yang digunakan :

1. Data topografi, yaitu data mengenai ketinggian permukaan tanah di sekitar lokasi.
2. Data batimetri, yaitu data kedalaman dasar laut pada area perencanaan untuk menentukan desain struktur bawah air dan jenis kapal yang dapat bersandar.
3. Data geoteknik, mencakup karakteristik tanah dan kondisi geologi bawah permukaan sebagai dasar penentuan daya dukung dan perencanaan pondasi.
4. Data oseanografi, mencakup gelombang, arus, dan pasang surut untuk menentukan kondisi hidrodinamika dan elevasi muka air laut.
5. Data angin, menggunakan data satelit NASA POWER berupa data harian selama 11 tahun (1 Januari 2013–31 Desember 2023) yang digunakan dalam analisis gelombang.
6. Data kapal, digunakan untuk menentukan kapasitas dan karakteristik kapal yang bersandar. Data diperoleh dari situs Kementerian Perhubungan.
7. Selain itu, beberapa standar perencanaan dijadikan acuan, yaitu SNI 2847:2019 (persyaratan beton struktural), SNI 1726:2019 (perencanaan ketahanan gempa), dan SNI 8460:2017 (persyaratan perancangan geoteknik).



Gambar 1. Peta Lokasi Perencanaan

Berdasarkan gambar 1 di atas, studi ini dilakukan di Pelabuhan Ketapang Dermaga III yang berada di Desa Ketapang, Kecamatan Kalipuro, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur dengan letak geografis yaitu $8^{\circ} 9' 43,20''$ LS dan $114^{\circ} 26' 40,80''$ BT. Pendekatan yang

dilakukan dalam studi ini adalah metode kuantitatif, yaitu pengumpulan data primer diatas lalu mengolah data tersebut sebagai berikut:

1. Analisis data angin harian selama 11 tahun (1 Januari 2013 – 31 Desember 2023) untuk menyusun mawar angin, menentukan arah datang gelombang, dan menghitung tinggi gelombang rencana.
2. Analisis data pasang surut guna menentukan elevasi muka air rencana (HHWL, MSL, LLWL).
3. Penentuan elevasi rencana breasting dolphin berdasarkan kombinasi pasang surut dan tinggi gelombang rencana.
4. Perencanaan struktur breasting dolphin, termasuk dimensi elemen, material, dan komponen fender sesuai kebutuhan operasional dermaga.
5. Analisis gaya-gaya yang bekerja (gaya kapal berlabuh, gelombang, arus, angin, dan beban gempa) menggunakan *Autodesk Robot Structural Analysis Professional* untuk memperoleh respons struktur.
6. Analisis stabilitas pondasi menggunakan GEO5, mencakup daya dukung tanah, penurunan, dan stabilitas terhadap geser serta guling.
7. Sintesis hasil analisis, yaitu membandingkan kinerja struktur dan pondasi terhadap kriteria desain SNI dan menentukan apakah desain memenuhi persyaratan keamanan.
8. Penarikan kesimpulan, yaitu merumuskan kelayakan desain *breasting dolphin* dan rekomendasi teknis berdasarkan seluruh hasil perhitungan dan evaluasi.

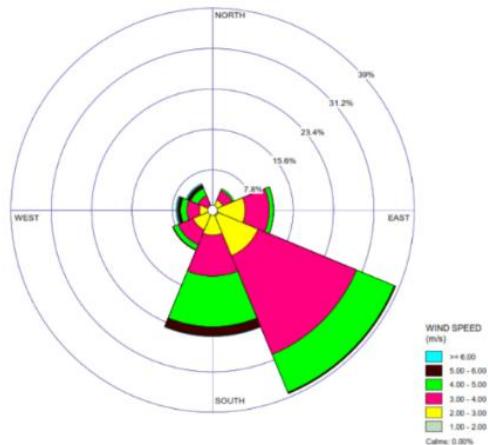
Tahapan-tahapan tersebut menghasilkan desain struktur *breasting dolphin* yang aman. Desain yang dihasilkan telah memenuhi standar yang berlaku. Selain itu, desain tersebut juga sesuai dengan kondisi lokasi penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisi Muka Air Rencana

3.1.1. Pembangkitan Gelombang

Pembangkitan gelombang umumnya faktor terbesarnya yakni terjadi karena gesekan udara dengan angin. Pembangkitan gelombang menggunakan data angin harian, data angin yang tersedia mencakup kecepatan rata-rata, arah angin, dan kecepatan maksimum harian selama 11 tahun dari tahun 2013 hingga 2023. Data angin yang digunakan adalah data angin yang diambil dari satelit melalui situs power.larc.nasa.gov (National Aeronautics and Space Administration, 2024)

**Gambar 2. Windrose Maksimum tahun 2013-2024**

Berdasarkan Gambar 2, angin dominan berasal dari arah tenggara. Koreksi angin terhadap elevasi pengukuran dilakukan pada ketinggian 10 m menggunakan persamaan 1. Hasil koreksi menunjukkan kecepatan angin sebesar 2,92 m/detik.

$$\begin{aligned} U_{(10)} &= U_{(y)} \left(\frac{10}{y}\right)^{\frac{1}{7}} & (1) \\ U_{(10)} &= 2,92 \left(\frac{10}{10}\right)^{\frac{1}{7}} \\ &= 2,92 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

Kemudian kecepatan angin dikoreksi terhadap tegangan angin sehingga berubah menjadi U_A . Nilai U_A selanjutnya digunakan untuk perhitungan pembangkitan gelombang menggunakan persamaan 2. Hasil perhitungan menunjukkan nilai U_A sebesar 2,65 m/detik.

$$\begin{aligned} U_A &= 0.71 \times U^{1,23} & (2) \\ U_A &= 0.71 \times 2,92^{1,23} \\ &= 2,65 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

Selain faktor angin, pembentukan gelombang dipengaruhi oleh waktu angin berhembus, kecepatan angin, arah datangnya angin, dan panjang angin (*fetch*). Tahapan berikutnya adalah menentukan panjang *fetch* efektif dari lokasi studi. Penentuan *fetch* dilakukan dengan menarik garis lurus sepanjang 120 km serta menggunakan interval 5° pada setiap arah mata angin (Muliati, 2020).

Tabel 1. Panjang *fetch* efektif

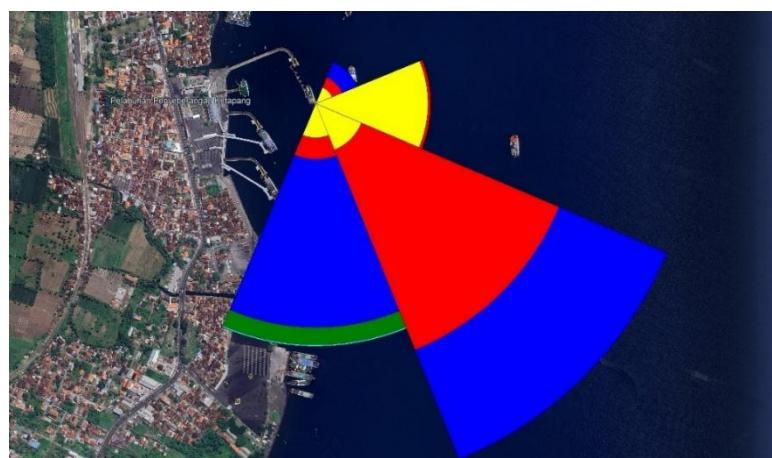
<i>Fetch</i> Arah	Panjang	
	Km	m
Utara	2,19	2.192,4
Timur Laut	30,42	30.419,8
Timur	4,25	4.245,5
Tenggara	18,02	18.015,3
Selatan	30,14	30.135,2

Dari hasil analisis, panjang *fetch* efektif pada Dermaga III Pelabuhan Ketapang untuk arah mata angin yang menuju ke pelabuhan ditunjukkan pada Tabel 1. Analisis pembangkitan gelombang kemudian dilakukan untuk memperoleh tinggi gelombang maksimum tahunan serta periode gelombang dengan menggunakan pendekatan spektrum JONSWAP (Coastal Engineering Research Center (CERC), 1984). Hasil pendekatan tersebut digunakan untuk memperkirakan tinggi gelombang maksimum dan periode gelombang tahunan yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tinggi Gelombang Signifikan Maksimum

No	Tahun	Bulan	Tanggal	Hs max (m)	Tp max (detik)
1	2013	Oktober	12	0.53	3.53
2	2014	Juli	14	0.57	3.60
3	2015	September	1	0.44	3.30
4	2016	Februari	12	0.62	3.70
5	2017	Agustus	3	0.51	3.48
6	2018	Agustus	2	0.59	3.66
7	2019	Juni	28	0.46	3.37
8	2020	Oktober	6	0.56	3.60
9	2021	September	3	0.56	3.59
10	2022	September	26	0.50	3.44
11	2023	September	6	0.51	3.48

Dari hasil pembangkitan gelombang didapat rata-rata tinggi gelombang maksimum diatas 0.5 m dan periode yang didapat diatas 3 detik. Kemudian dengan hasil tinggi gelombang maksimum yang didapat melalui pendekatan *JONSWAP* dilanjutkan dengan membuat grafik mawar gelombang untuk merepresentasikan arah gelombang yang berada di lokasi studi. Pada hasil mawar gelombang maka gelombang dominan berasal dari arah tenggara sedangkan untuk gelombang tertinggi dari arah timur laut seperti pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Mawar Gelombang pada Pelabuhan Ketapang periode 2013-2023

3.1.2. Gelombang rencana

Gelombang rencana diprediksi dengan dua metode distribusi guna mencari kesalahan absolut rerata yang kecil untuk dipilih hasil terbaik dari kesalahan absolut rerata data tersebut (Triatmodjo, 2010). Metode tersebut yakni distribusi *Gumbel* (Fisher-Tippet Tipe I) dan distribusi *Weibull*. Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil pendekatan kedua metode memiliki nilai yang relatif berdekatan, namun metode *Weibull* menghasilkan nilai yang sedikit lebih besar dibandingkan metode *Fisher-Tippet* Tipe I. Berdasarkan perbandingan tersebut, metode distribusi yang dipilih untuk analisis gelombang rencana di Dermaga III Pelabuhan Ketapang adalah distribusi *Fisher-Tippet* Tipe I.

Tabel 3. Kesalahan Absolut Rerata

No	Tahun	HSm	HSm FT-1	HSm Weibull	KA FT-1 (%)	KA Weibull (%)
1	2016	0.62	0.64	0.64	3.69	4.47
2	2018	0.59	0.59	0.60	0.36	0.54
3	2014	0.57	0.57	0.57	0.10	1.20
4	2020	0.56	0.55	0.56	2.52	0.77
5	2021	0.56	0.54	0.55	4.17	1.91
6	2013	0.53	0.52	0.54	1.85	1.12
7	2017	0.51	0.51	0.53	0.62	4.47
8	2023	0.51	0.50	0.53	1.49	3.24
9	2022	0.50	0.49	0.52	0.81	5.22
10	2019	0.46	0.48	0.52	2.96	11.09
11	2015	0.44	0.46	0.51	5.04	16.90
Kesalahan Absolut Rerata (%)					2.15	4.63

Tabel 4. Hasil Perhitungan Tinggi Gelombang Metode *Fisher-Tippet I*

Kala Ulang (tahun)	H _{sr} Utara (m)	H _{sr} Timur Laut (m)	H _{sr} Timur (m)	H _{sr} Tenggara (m)	H _{sr} Selatan (m)
2	0.041	0.350	0.148	0.352	0.440
5	0.083	0.402	0.164	0.366	0.458
10	0.111	0.436	0.174	0.375	0.469
25	0.146	0.479	0.187	0.387	0.484
50	0.172	0.510	0.196	0.396	0.495
100	0.197	0.542	0.206	0.405	0.506

Berdasarkan Tabel 4, ditetapkan gelombang rencana dengan kala ulang 100 tahun pada lokasi studi ini, yang dihitung dari lima arah kedatangan gelombang menuju Dermaga III Pelabuhan Ketapang. Penentuan gelombang rencana dengan kala ulang 100 tahun ini sejalan dengan praktik desain bangunan pantai dan pelabuhan, di mana gelombang ekstrem 100 tahunan digunakan sebagai dasar perencanaan struktur (Setyandito dkk., 2021). Hasil analisis menunjukkan tinggi gelombang dengan arah dominan berasal dari arah Tenggara sebesar 0,405 m, sedangkan tinggi gelombang maksimum 0,542 m yang berasal dari arah Timur Laut.

3.1.3. Bangunan Breasting Dolphin

Elevasi *breasting dolphin* rencana dihitung dari penjumlahan faktor-faktor diatas yakni kenaikan muka air laut akibat, pasang surut air laut, kenaikan muka air laut akibat gelombang (Hanun dkk., 2024). Perhitungan kenaikan muka air laut yang disebabkan oleh gelombang ditunjukkan pada persamaan 3. Sedangkan perhitungan kenaikan muka air laut karena angin ditunjukkan pada persamaan 4.

$$\begin{aligned} H_b &= 0,542 \text{ m (gelombang arah Timur Laut kala ulang 100 tahun)} \\ T_0 &= 3,88 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_w &= 0,19 \times \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] \times H_b \quad (3) \\ &= 0,19 \times \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{0,542}{9,81 \times 3,88^2}} \right] \times 0,542 \\ &= 0,171 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang } fetch = 30.419 \text{ m}$$

$$V = 5,28 \text{ m/s (kecepatan angin terbesar arah tenggara)}$$

$$d = 9 \text{ m (kedalaman laut)}$$

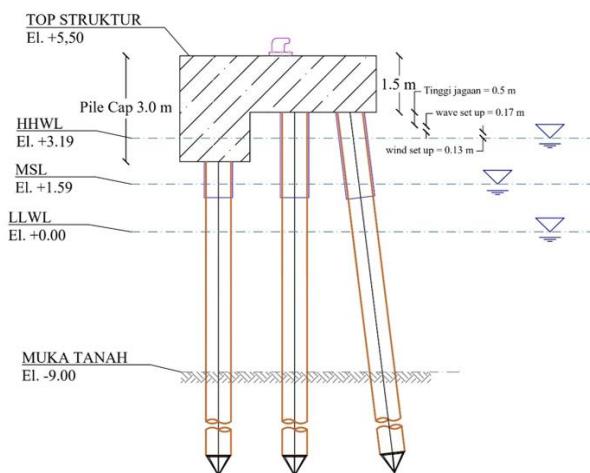
$$c = 3,5 \times 10^{-6}$$

$$\Delta h = fetch \times c \times \frac{v^2}{2gd} \quad (4)$$

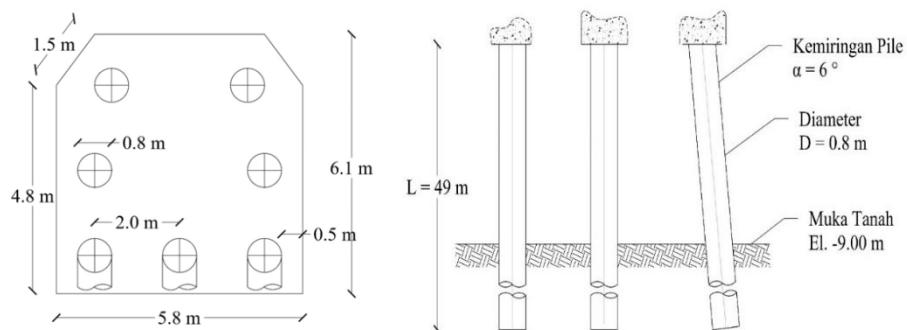
$$\Delta h = 30419 \times 3,5 \times 10^{-6} \frac{5,28^2}{2 \times 9,81 \times 9} = 0,13 \text{ m}$$

Elevasi muka air rencana ditunjukkan pada Gambar 4. Elevasi tersebut diperoleh dari penjumlahan HHWL sebesar 3,19 meter, *wind set-up* 0,13 meter, *wave set-up* 0,17 meter, dan tinggi jagaan 0,50 meter, sehingga menghasilkan elevasi muka air rencana +3,99 meter yang dibulatkan menjadi +4,00 meter. Berdasarkan elevasi tersebut, elevasi bangunan *breasting dolphin* rencana ditetapkan pada +5,50 meter di atas muka air laut.

Menurut (Hardianto dkk., 2024), jarak antar *pile* minimum yaitu 2,5 kali diameter *pile* yang digunakan. Pada gambar 5 diatas struktur *pile cap* memiliki dimensi tiang pancang dan jarak antar tiang. Terdapat 7 buah tiang pancang dengan diameter tiang pancang yang digunakan adalah 0,8 meter, dengan jarak antar as tiang sebesar 2,5 kali diameter, sehingga diperoleh jarak 2 meter antar sumbu tiang pancang. Kemiringan tiang pancang yakni sebesar 6° dan panjangnya 49 m. Jarak dari tepi tiang ke tepi *pile cap* direncanakan sebesar 0,5 m untuk memastikan perlindungan dan distribusi beban yang memadai. Ketebalan *pile cap* sebesar 1,5 meter, sedangkan dimensi keseluruhan *pile cap* yang direncanakan adalah 5,8 meter untuk panjangnya dan 6,1 meter untuk lebarnya.



Gambar 4. Detail Elevasi Breasting Dolphin



Gambar 5. Dimensi Pile Cap dan Tiang Pondasi Breasting Dolphin

3.2. Pembebanan Struktur Breasting Dolphin

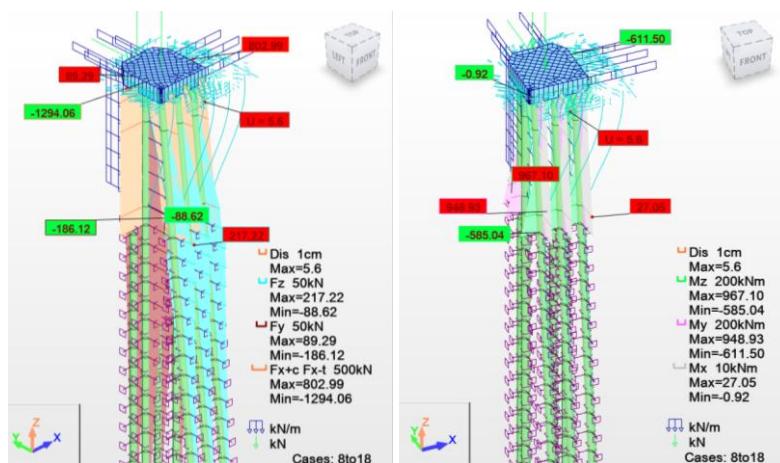
Dalam perencanaan bangunan pelabuhan mengacu pada kombinasi pembebanan ketentuan POLB WDC 5.0 (Moffatt & Nichol, 2021) pada perencanaan *breasting dolphin* dermaga III Pelabuhan Ketapang. Penerapan *Ultimate Limit State* (ULS) dan *Serviceability Limit State* (SLS) dalam kombinasi pembebanan diatas sangat penting sehingga dapat memastikan keamanan pada struktur bangunan rencana. Terdapat enam beban dan sebelas kombinasi pembebanan yang akan digunakan seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Kombinasi Pembebanan POLB WDC 5.0

Kombinasi Pembebanan	D _L	W _L	B _L	M _L	C _L	EQ _x	EQ _y
Kondisi <i>Ultimate Limit State</i> (ULS)							
ULS 1	1.2	1.0	-	-	1.2	-	-
ULS 2	0.9	1.0	-	-	1.2	-	-
ULS 3	1.2	1.0	1.6	-	1.2	-	-
ULS 4	1.2	1.0	-	1.6	1.2	-	-
Kondisi <i>Serviceability Limit State</i> (SLS)							
SLS 5	1.0	0.6	-	-	1.0	-	-
SLS 6	0.6	0.6	-	-	1.0	-	-
SLS 7	1.0	0.45	1.0	-	1.0	-	-
SLS 8	1.0	0.6	-	1.0	1.0	-	-

Kombinasi Pembebaan	D _L	W _L	B _L	M _L	C _L	EQ _x	EQ _y
Kondisi Ultimate Limit State (ULS) dengan Gempa							
ULS 9	1+K	-	-	-	-	1.0	-
ULS 10	1+K	-	-	-	-	-	1.0
ULS 11	1+K	-	-	-	-	1.0	0.3

Pada kondisi pembebaan maksimum, gaya (F) dan momen (M) yang bekerja pada breasting dolphin mencapai nilai tertinggi pada kombinasi tertentu. Dari berbagai variasi beban yang terjadi, kombinasi pembebaan ULS 3 (1,2 DL + 1,0 WL + 1,6 BL + 1,2 CL) dan ULS 11 (1,025 DL + 1,0 EQx + 0,3 EQy) merupakan kombinasi yang paling berpengaruh terhadap struktur breasting dolphin. Pembebaan tersebut berasal dari beban mati (berat fender dan bollard), beban angin, beban sandar, beban arus, serta beban gempa. Hasil analisis kombinasi pembebaan ditunjukkan pada Gambar 6, di mana diperoleh displacement maksimum sebesar 5,6 cm. Nilai ini masih berada di bawah batas defleksi horizontal maksimum menurut (British Standards Institution, 2010), yaitu 10 cm.

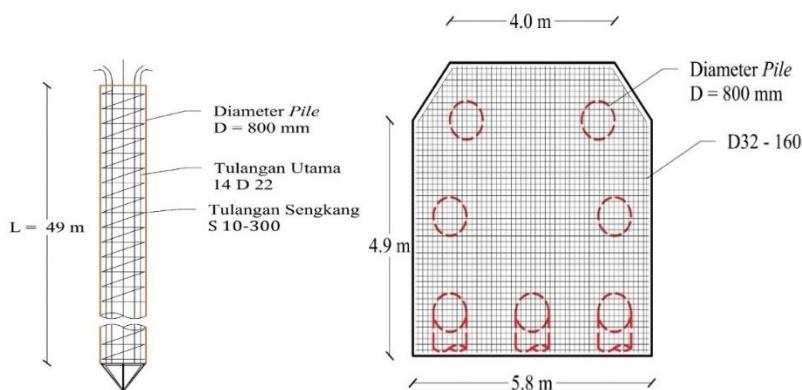


Gambar 6. Gaya dan Momen Kombinasi Pembebaan

3.3. Analisis Tulangan Breasting Dolphin

Pile cap luas tulangan sebesar 28.160 mm^2 dimana tulangan atas dan bawah yang digunakan yaitu baja ulir dengan diameter 32 mm sebanyak 32 batang dengan dimensi ketebalan *pile cap* 1,5 m lebar 5,8 m. Mutu baja yang digunakan dalam penulangan *pile cap* menggunakan $f_y = 400 \text{ MPa}$. Sesuai dengan hasil analisis gaya diatas, gambar 7 menunjukan dimensi *pile cap* yang digunakan dalam perencanaan struktur atas. Perhitungan untuk penulangan pondasi menunjukan penggunaan tulangan utama baja ulir dengan diameter 22 berjumlah 14 batang. Tulangan sengkang baja polos diameter 10 mm. Menurut SNI 2847:2019 jarak antar tulangan sengkang maksimal yakni 300 mm sehingga apabila jarak melebihi 300

mm maka yang digunakan yakni 300 mm (Badan Standarisasi Nasional, 2019). Gambar 7 menunjukkan dimensi penulangan pada *pile*.



Gambar 7. Penulangan *Pile Cap* dan Tiang Pancang *Breasting Dolphin*

3.4. Daya Dukung Tiang

3.4.1. Daya Dukung Tiang Pancang

Analisis daya dukung tiang pancang dilakukan dari hasil *Standard Penetrasion Test* (SPT) dan juga menggunakan analisis *software* GEO5. Perhitungan ini untuk mencari kapasitas ultimit pada tiang pancang yang dapat dihitung secara empiris dari hasil nilai N uji SPT. Menggunakan rumus Meyerhof (1956) untuk menentukan daya dukung ultimit (Q_u) berdasarkan nilai N uji SPT (N_b) sebesar 60 pukulan, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 5, persamaan 6, dan persamaan 7.

$$\text{Luas dasar tiang } (A_b) = \pi \times (r)^2 \quad (5)$$

$$\text{Daya dukung tiang tunggal } (Q_u) = 1291,67 \text{ ton} / 3 \quad (6)$$

$$\text{Daya dukung tiang ijin } (Q_u) = 430,56 \text{ ton} / 80,962 \text{ ton} = 5,318 \quad (7)$$

Maka, didapat hasil *safety factor* yakni sebesar 5,318 dimana hasil tersebut lebih besar dari *safety factor* (3) yang telah ditentukan 8460:2017 (Badan Standardisasi Nasional, 2017) dan dikatakan aman. Kapasitas dukung kelompok tiang menggunakan rumus Converse-Labarre sehingga didapat daya dukung kelompok tiang sebesar 2040,45 ton dan beban vertikal yang didapat sebesar 566,732 ton. Maka, didapat hasil *safety factor* yakni sebesar 3,600 dimana hasil tersebut lebih besar dari *safety factor* (3) dan dikatakan aman.

3.4.2. Defleksi Tiang Pancang

Perhitungan defleksi pada tiang diameter 0,8 m dapat menggunakan metode Broms. Pada metode ini digunakan untuk menganalisis defleksi tiang lateral yang tertanam dalam tanah.

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastis tiang } (E_p) &= 4700 \times \sqrt{33,3} \quad (8) \\ &= 27121981,53 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia } (I_p) &= \frac{3,14 \times 0,8^4}{64} = 0,0201 \text{ m}^4 \quad (9) \\ \text{Kekakuan lentur } (E_l) &= E_p \times I_p \quad (10) \\ &= 27121981,53 \times 0,0201 = 545537 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Panjang tiang L sebesar 49 m dengan nilai α sebesar 0,464 menghasilkan nilai $\alpha L = 22,753$.

Karena $\alpha L > 4$, maka tiang tersebut dikategorikan sebagai tiang pancang panjang.

$$\begin{aligned} \text{Defleksi ujung jepit } (\gamma_0) &= \frac{0,93 \times 272,879}{11779^{3/5} \times (545537)^{2/5}} \quad (11) \\ &= 4,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

3.4.3. Penurunan Ujung Tiang Pancang

Pergerakan vertikal ke bawah yang dialami oleh ujung atau seluruh panjang tiang pancang setelah dipasang, akibat beban dari struktur di atasnya. Pada tiang dukung ujung, beban struktur didistribusikan sepenuhnya ke lapisan tanah keras yang berada di dasar atau ujung bawah tiang. Penurunan tiang dihitung menggunakan metode Poulos & Davis didapat Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penurunan pada tiang pancang tunggal adalah sebesar 1,34 mm. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penurunan kelompok tiang adalah sebesar 9,553 mm. Metode ini digunakan karena secara luas diakui dalam analisis fondasi tiang, sebagaimana dirujuk dalam literatur (Oemar dkk., 2021).

3.4.4. Tiang Pancang Miring

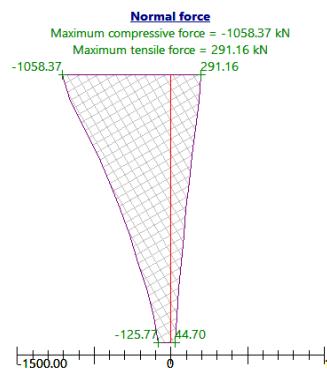
Menurut (Hardiyatmo, 2010) dalam buku analisis dan perancangan fondasi II, ditentukan bahwa kemiringan tiang berkisar antara 1H : 12V – 5H : 12V. Dalam perencanaan bangunan ini kemiringan yang digunakan yakni 6° . Untuk menahan gaya lateral dengan baik, maka tiang yang dimiringkan adalah baris tiang paling belakang. Berdasarkan hasil analisis daya dukung tiang pancang miring (H_u) didapat sebesar 810,687 kN dan beban horizontal (H_{max}) yang diterima tiang pancang sebesar 83,478 kN. Maka, didapat hasil *safety factor* yakni sebesar 9,711 dimana hasil tersebut lebih besar dari *safety factor* (3) dan dikatakan aman.

3.4.5. Pondasi Tiang dengan GEO5

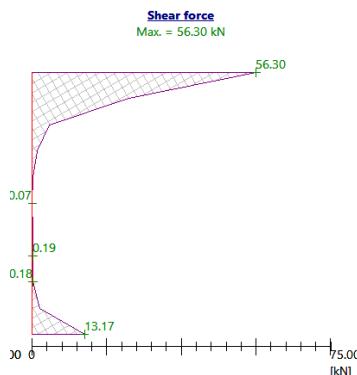
Analisis software GEO5 dalam analisis kapasitas tiang tunggal maupun kelompok tiang. Program ini menerapkan beberapa pendekatan teoritis seperti NAVFAC DM 7.2 dan metode Broms dalam menghitung daya dukung aksial dan lateral. Kapasitas dari daya dukung pada lokasi ini didapatkan dari hasil pengujian lapangan dengan menggunakan hasil uji *Standart Penetration Test* (SPT).

Distribusi gaya aksial atau gaya normal di sepanjang tiang pancang ditunjukkan pada Gambar 8. Beban terbesar terjadi di bagian atas tiang dengan gaya tekan sebesar $-1058,37$ kN,

kemudian berkurang hingga ke dasar tiang dengan sisa gaya sebesar $-125,77$ kN. Hal ini menunjukkan bahwa sebesar $932,60$ kN telah didistribusikan ke tanah melalui skin friction sepanjang panjang tiang. Dengan demikian, $125,77$ kN merupakan sisa gaya tekan yang belum tersalurkan melalui friksi dan akan diteruskan ke bawah. Sementara itu, $44,70$ kN adalah sisa gaya tarik di ujung tiang setelah sebagian gaya tertahan oleh friksi di sepanjang tiang.



Gambar 8. Diagram Gaya Normal



Gambar 9. Diagram Gaya Geser

Gaya geser maksimum terjadi pada bagian atas tiang, yaitu sebesar $56,30$ kN, lalu mengecil seiring kedalaman tanah, sehingga sebagian besar gaya geser disalurkan ke tanah melalui skin friction. Angka $13,17$ kN menunjukkan gaya geser sisa di bagian dekat dasar tiang setelah sebelumnya turun dari $41,01$ kN ke $0,07$ kN. Kemudian naik kembali akibat redistribusi beban atau reaksi tanah yang tidak merata, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.

3.4.6. Rekapitulasi Daya Dukung Tiang

Tabel 6. Rekapitulasi Daya Dukung

No	Bangunan	SF (GEO5)	SF1 (T. Tunggal)	SF2 (Kel. Tiang)	SF3 (Lateral)
1	Breasting Dolphin	6,74	5,318	3,600	9,711

Pada analisis daya dukung tiang diatas didapat dalam Tabel 6 di atas. Hasil perhitungan dengan *software* GEO5 memberikan *safety factor* sebesar $6,74$, sehingga stabilitas tiang

pancang yang sangat baik terhadap beban aksial dan nilai tersebut melebihi batas minimum standar ($SF \geq 3$). Perhitungan manual pada tiang tunggal menghasilkan *safety factor* 5,318. Sementara itu, pendekatan kelompok tiang memberikan *safety factor* 3,600. Terhadap beban lateral, nilai *safety factor* sebesar mencapai 9,711, yang menunjukkan ketahanan tinggi terhadap gaya horizontal seperti arus, angin, dan tumbukan kapal.

4. PENUTUP

Simpulan dan Saran

Dari hasil analisis perencanaan *breasting dolphin* di Dermaga III Pelabuhan Ketapang, dapat disimpulkan bahwa struktur dan pondasi memenuhi kriteria stabilitas dan aman untuk melayani kapal hingga kapasitas 5.000 GRT. Pergeseran maksimum struktur sebesar 5,6 cm masih di bawah batas toleransi, dan faktor keamanan pondasi lebih dari 3, sehingga pondasi steel pipe pile berdiameter 0,8 m dan panjang 49 m dapat menahan beban yang bekerja secara aman. Saran untuk penelitian selanjutnya, pengolahan data angin sebaiknya tidak hanya mengandalkan data satelit, tetapi juga menggunakan data lapangan, misalnya hasil pengamatan dari stasiun meteorologi setempat, guna memperoleh hasil yang lebih akurat. Selain itu, validasi hasil analisis struktur menggunakan Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024 sebaiknya dilakukan dengan lebih dari satu perangkat lunak analisis struktur, sehingga memungkinkan perbandingan hasil yang dapat meningkatkan keandalan dan akurasi perencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 – Persyaratan Perancangan Geoteknik*. www.bsn.go.id
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*.
- British Standards Institution. (2010). *BS 6349-2:2010 – Maritime Structures – Part 2: Code of Practice for the Design of Quay Walls, Jetties and Dolphins*. BSI Standards Publication.
- Coastal Engineering Research Center (CERC). (1984). *Shore Protection Manual Volume II*. U.S. Army Corps of Engineering.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Laut. (2020). *Transportasi Laut Pegang Peranan Strategis untuk Merajut Keberagaman Indonesia dan Mendorong Pertumbuhan Ekonomi*. https://kemenhub.go.id/post/read/transportasi-laut-pegang-peranan-strategis-untuk-merajut-keberagaman-indonesia-dan-mendorong-pertumbuhan-ekonomi?utm_source=chatgpt.com

- Efan Dwi Nugraha, Indah Ayu Johanda Putri, & Akhmad Kasan Gupron. (2024). Pengaruh Kualitas E-Ticketing terhadap Kepuasan Konsumen PT ASDP Cabang Ketapang Banyuwangi. *Ocean Engineering : Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*, 3(3), 154–168. <https://doi.org/10.58192/ocean.v3i3.2532>
- Hanun, A. S., Ismunarti, D. H., & Helmi, M. (2024). Kajian Elevasi Lantai Dermaga Berdasarkan Integrasi Pengaruh Pasang Surut, Gelombang dan Kenaikan Muka Laut di Pelabuhan Tanjung Emas Kota Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(4), 368–374. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i4.16872>
- Hardianto, Y., Islam, I. M., Setiabudi, B., & Nurdiana, A. (2024). *Jurnal Sipil dan Arsitektur Perencanaan ulang rumah susun tenaga pendidik Universitas Gadjah Mada dengan konsep building information modeling (bim) 5D*. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/pilars>
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Analisis dan Perancangan Fondasi II* (2 ed.). Gadjah Mada University Press.
- Kramadibrata, S. (2001). *Perencanaan Pelabuhan*. Penerbit ITB.
- Mandi, N. B. R. (2015). *Pelabuhan Perencanaan dan Perancangan Konstruksi Bangunan Laut dan Pantai*. ARTI FOUNDATION.
- Moffatt, & Nichol. (2021). *Port of Long Beach Wharf Design Criteria POLB WDC Version 5.0*.
- Muliati, Y. (2020). *Rekayasa Pantai* (1 ed.). Penerbit Itenas.
- National Aeronautics and Space Administration. (2024). *POWER: Prediction of Worldwide Energy Resources (Version 2.4.6)*. <https://power.larc.nasa.gov/>
- Nugraha, W. T., & Pranoto, Y. (2020). Analisis Pondasi Tiang Pancang Breasting Dolphin dan Mooring Dolphin pada Dermaga Tipe Jetty. *Jurnal Momen*, 03.
- Oemar, F., Rahmat Utama, T., & Wijaksono, P. (2021). *Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Bore Pile pada Pembangunan Proyek Fly Over Martadinata Kota Tangerang* (Vol. 20, Nomor 1).
- Setyandito, O., Armono, H. D., & Yuwono, N. (2021). Uji model fisik stabilitas unit lapis lindung pemecah gelombang Pelabuhan Sanur. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*. <https://doi.org/10.35760/dk.2021.v20i2.5073>
- Triatmodjo, B. (2010). *Perencanaan Pelabuhan*. Beta Offset Yogyakarta.