

ANALISIS PERILAKU TIANG PANCANG PADA OPTIMASI STRUKTUR BREASTING DOLPHIN

TESIS

Karya tulis sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister

Oleh
Muhammad Ilham Dirgantara
NIM 25520010
Program Magister Teknik Kelautan



INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
JULI 2021

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PERILAKU TIANG PANCANG PADA OPTIMASI
STRUKTUR BREASTING DOLPHIN**

Oleh
Muhammad Ilham Dirgantara
NIM:25520010
Program Studi Magister Teknik Kelautan

Institut Teknologi Bandung

Menyetujui
Pembimbing

Tanggal 5 Agustus 2021

Rildova, Ph,D
NIP 19700401 199702 1 001

ANALISIS PERILAKU TIANG PANCANG PADA OPTIMASI STRUKTUR BREASTING DOLPHIN

Muhammad Ilham Dirgantara¹ dan Rildova²

Program Studi Magister Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi
Bandung, Jl Ganesha 10 Bandung 40132

¹dirgantaraailham@students.itb.ac.id dan ²rildova@ocean.itb.ac.id

Abstrak : Fokus dari penelitian ini yaitu terkait struktur *breasting dolphin* yang merupakan bagian dari suatu dermaga *dolphin*. *Breasting Dolphin* sebagai bagian struktur terdepan dermaga berfungsi sebagai tempat bersandarnya kapal. Sehingga *breasting dolphin* didesain agar mampu menahan beban lateral yang cukup besar dari beban akibat berthing kapal. Kemudian elemen struktur yang akan diteliti yaitu terkait pondasi struktur tiang pancang.

Tujuan dari penelitian ini yaitu mendapatkan hasil analisis perilaku tiang pancang *breasting dolphin* untuk mengetahui pengaruh diameter tiang, jumlah dan susunan tiang, serta pengaruh lokasi dalam susunan tiang terhadap ketahanan tiang vertikal pada pembebanan lateral. Pada penelitian ini dilakukan untuk kondisi lingkungan eksisting di lokasi TBBM Wayame, Ambon termasuk data tanah dengan karakteristik tanah pasir homogen. Skenario pemodelan dilakukan untuk diameter serta jumlah dan susunan tiang yang berbeda. Diameter tiang yang digunakan yaitu 559 mm, 660 mm dan 762 mm, dengan susunan tiang yang digunakan yaitu 3x3, 3x4 dan 4x4. Kemudian tingkat pembebanan berdasarkan kapasitas kapal yang digunakan yaitu kapal dengan kapasitas 1000DWT, 3000DWT, 6000DWT dan 10000DWT dengan kondisi *berthing* pada perairan tertutup. Analisis dilakukan melalui pemodelan struktur dengan menggunakan *software* SAP2000 dan *software* LPILE untuk memodelkan interaksi tanah-struktur.

Hasil penelitian menunjukkan struktur *breasting dolphin* yang dikenakan beban lateral memberikan momen pada sumbu tegak lurus dengan arah pembebanan. Momen tersebut memberikan pengaruh terhadap respon aksial tiang pancang. Tiang pada baris pertama mengalami tarik, sedangkan tiang pada baris belakang mengalami tekan. Pada tingkat pembebanan tertentu beban ultimate tiang yang mengalami tarik berpengaruh terhadap daya dukung tanah aksialnya. Nilai UCR untuk setiap baris memiliki variasi nilai yang berbeda, dengan baris belakang memiliki UCR terbesar diikuti baris ketiga serta baris pertama dan baris kedua yang memiliki UCR yang hampir sama, dengan baris pertama memiliki UCR sedikit lebih besar. Variasi UCR dalam satu susunan tiang dipengaruhi oleh variasi beban aksial yang dialami tiang pancang (tekan maupun tarik). Pembebanan lateral terhadap kelompok tiang vertikal menyebabkan tiang mengalami defleksi yang cukup besar serta momen yang menyebabkan kegagalan pada struktur sehingga kelompok tiang vertikal tidak memiliki ketahanan lateral yang cukup baik. Penambahan jumlah tiang serta diameter tiang menjadi salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan ketahanan lateral kelompok tiang vertikal.

Kata Kunci : desain, dermaga curah cair, struktur, TBBM

Abstract : The focus of this research is related to the structure of the *breasting dolphin* which is part of a *dolphin pier*. *Breasting Dolphin* as part of the leading structure of the pier serves as a place for ships to rest. So that the *breasting dolphin* is designed to be able to withstand a large enough lateral load from the load due to *berthing* of the ship. Then the structural elements to be studied are related to the foundation of the pile structure.

The purpose of this study was to obtain the results of the behavioral analysis of the *breasting dolphin* pile to determine the effect of pile diameter, number and arrangement of piles, and the effect of location in pile arrangement on the resistance of vertical piles under lateral loading. This research was conducted for the existing environmental conditions at the TBBM Wayame location, Ambon including soil data with homogeneous sand soil characteristics. Modeling scenarios were carried out for different diameters and

number and arrangement of piles. The diameters of the poles used are 559 mm, 660 mm and 762 mm, with the arrangement of the poles used are 3x3, 3x4 and 4x4. Then the level of loading is based on the capacity of the ship used of 1000DWT, 3000DWT, 6000DWT and 10000DWT with berthing conditions in closed waters. The analysis was performed by using the structural modeling software SAP2000 and software LPILE to model soil-structure interaction.

The results showed that the structure of the breasting dolphin which is subjected to lateral loads provides a moment on the axis perpendicular to the direction of loading. The moment has an effect on the axial response of the pile. The poles in the first row are in tension, while the poles in the back row are under compression. At a certain level of loading, the ultimate load of the pile experiencing tension affects the axial soil bearing capacity. The UCR values for each row have different value variations, with the back row having the largest UCR followed by the third row and the first row and second row having almost the same UCR, with the first row having a slightly larger UCR. Variations in UCR in a pile arrangement are influenced by variations in the axial load experienced by the pile (compression or tension). Lateral loading on the vertical pile group causes the pile to experience a large enough deflection and a moment that causes failure of the structure so that the vertical pile group does not have a good enough lateral resistance. The addition of the number of piles and the diameter of the pile is one way that can be done to increase the lateral resistance of the vertical pile group.

Keywords : Breasting dolphin, lateral load, vertical pile behavior , deflection, UCR

I. PENDAHULUAN

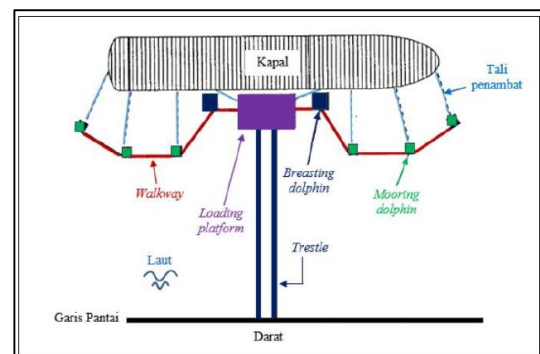
Latar Belakang

Breasting dolphin merupakan bagian struktur paling depan dalam susunan dermaga dolphin dimana fungsinya yaitu untuk meredam gaya yang diakibatkan oleh berthing kapal. breasting dolphin harus didesain dengan mempertimbangkan pondasi yang dapat meneruskan gaya tersebut. Ilustrasi breasting dolphin ditunjukkan Gambar 1.

Dari beberapa layout konfigurasi tiang *breasting dolphin* eksisting menunjukkan bahwa konfigurasi tiang pancang *breasting dolphin* sangat beragam dan tidak menunjukkan suatu kecenderungan. Oleh karena itu akan dilakukan studi mengenai perilaku tiang pada *breasting dolphin* sehingga dengan mengetahui perilaku tiang tersebut dapat menjadi pertimbangan dalam menentukan konfigurasi tiang *breasting dolphin* yang optimal.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis perilaku tiang pancang struktur *breasting dolphin* melalui pemodelan dengan menggunakan software LPILE untuk menganalisis respon tanah terhadap pembebanan lateral dan juga software SAP2000 untuk menganalisis perilaku struktur tiang pancang terhadap pembebanan lateral. Adapun pada penelitian ini pemodelan yang dilakukan untuk beberapa konfigurasi tiang berbeda, yaitu susunan tiang 3x3, 3x4 dan 4x4 dengan diameter tiang yang digunakan yaitu 457 mm, 508 mm dan 558 mm dengan ketebalan 12 mm, serta faktor pembebanan

lateral digunakan untuk kapal dengan kapasitas 1000 DWT, 3000DWT, 6000DWT dan 10000 DWT dengan asumsi kecepatan berthing pada perairan tertutup.



Gambar 1. Ilustrasi breasting dolphin

Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu mendapatkan hasil analisis perilaku tiang pancang *breasting dolphin* untuk mengetahui pengaruh diameter tiang, jumlah dan susunan tiang, serta pengaruh lokasi dalam susunan tiang terhadap ketahanan tiang terhadap beban lateral. Analisis tersebut dilakukan melalui pemodelan struktur dengan menggunakan software SAP2000 dan software LPILE untuk memodelkan interaksi tanah-struktur. Parameter yang ditinjau berupa defleksi tiang pancang, unity check ratio tiang pancang serta gaya dalam tiang pancang.

Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan pengumpulan data lingkungan untuk pembebanan pada struktur dermaga breasting dolphin.
2. Menentukan spesifikasi kapal yang digunakan pada penelitian.
3. Perhitungan pembebanan pada struktur breasting dolphin.
4. Menentukan dimensi struktur breasting dolphin berdasarkan konfigurasi tiang yang digunakan..
5. Menentukan skenario pemodelan breasting dolphin..
6. Melakukan korelasi data tanah sebagai input pada software LPILE.
7. Melakukan pemodelan interaksi tiang dengan tanah dengan menggunakan software LPILE untuk setiap konfigurasi tiang pancang..
8. Melakukan pemodelan struktur dengan menggunakan SAP2000 untuk setiap skenario konfigurasi tiang pancang.
9. Melakukan analisis perilaku tiang pancang dari hasil pemodelan LPILE dan SAP2000.
10. Menarik kesimpulan serta memberikan rekomendasi terkait penelitian yang akan dilakukan selanjutnya.

Alur dari pengerjaan penelitian ini ditunjukkan Gambar 2a dan Gambar 2b.

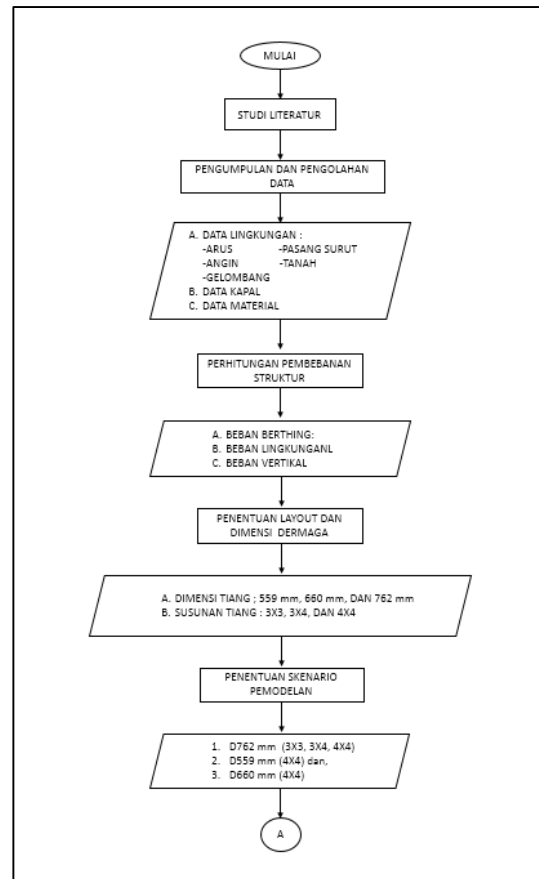
II. STUDI LITERATUR

Rollins et al (2010)

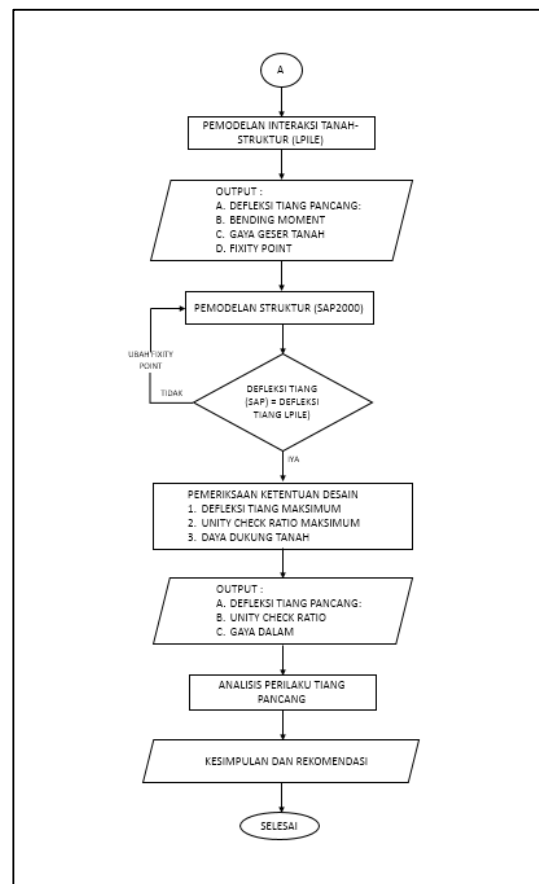
Penelitian ini meninjau perilaku kelompok tiang pancang ketika dibebani beban siklik arah lateral tiang sebagai pengaruh dari jarak antar tiang pada tanah lempung. Hasil penelitian menunjukkan ketahanan kelompok tiang terhadap beban lateral merupakan fungsi dari jarak antar tiang. Semakin kecil jarak antar tiang yaitu pada jarak $5.65D$ menuju $3.3D$, maka defleksi yang terjadi semakin besar. Serta bahwa posisi tiang pancang pada konfigurasi kelompok tiang memiliki pengaruh yang lebih signifikan dibandingkan dengan posisi tiang dalam satu baris

Chandrasekaran et al (2010)

Penelitian yang dilakukan adalah melakukan uji fisik berskala terhadap konfigurasi tiang pancang yang dibebani beban lateral pada tanah lempung. Didapatkan laju defleksi terhadap beban linear terjadi secara non linear terhadap pembebanan.



Gambar 2a. Metodologi penelitian (a)



Gambar 2b. Metodologi penelitian (b)

Untuk pengaruh jumlah tiang dalam kelompok pada tanah lempung, semakin banyak jumlah tiang maka penurunan kapasitas tahanan lateral pada tiang semakin meningkat akibat dari tumpang tindih zona tegangan (overlapping of stress zone).

Ercan (2010)

Penelitian dilakukan untuk mengetahui perilaku kelompok tiang terhadap pengaruh jarak antar tiang dan juga posisi tiang dalam kelompok tiang. penelitian dilakukan dengan analisis elemen hingga dengan menggunakan software PLAXIS 3D. Hasil penelitian menunjukknn Lokasi dan jarak tiang berpengaruh signifikan dibandingkan dengan diameter tiang dalam distribusi beban kelompok tiang. tiang pada belakang mennggung bebn lebih besar dibandingkan baris terdepan. Kemudian semakin besar jarak antar tiang, ketahanan lateral semakin meningkat.

Verma, et al (2011)

Penelitian ini dilakukan untuk menguji pengaruh kemiringan sudut tiang miring pada pondasi kelompok tiang pada jenis tanah pasir. Pengujian berkaitan dengan ketahanan pada beban lateral dan juga defleksi arah lateral. Hasil dari penelitian menunjukkan grafik tingkat pembebanan dengan defleksi tiang yang terjadi tidaklah linear. Penggunaan tiang miring meningkatkan sekitar 40%–50% ketahanan struktur terhadap pembebanan lateral dibandingkan dengan tiang vertikal.

Chore, et al (2012)

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perilaku pondasi kelompok tiang dengan menggunakan analisis elemen hingga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jarak membuat ketahanan lateral juga meningkat, Bertambahnya jarak membuat zona tegangan satu tiang ke tiang lainnya berkurang sehngga meningkatkan ketahanan lateral. Selanjutnya jumlah tiang memiliki pengaruh terhadap ketahanan defleksi, pada susunan seri, yaitu kelompok dua tiang memiliki defleksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan susunan tiga tiang. kemudian untuk kelompok tiang susunan seri diketahui lebih memiliki ketahanan lateral dibandingkan dengan susunan paralel.

III. PENGOLAHAN DATA

Pengolahan data yang dilakukan sebagai input untuk pemodelan diejalskan sebagai berikut.

Data Kapal

Kapal rencana yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapal Oil Tanker dengan kapasitas 1000 DWT, 3000 DWT, 6000 DWT dan 10000 DWT. Spesifikasi kapal tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Kapal rencana

Jenis Kapal	DWT (ton)	Displacement (ton)	LOA (m)	LPP (m)	Breadth, B (m)	Depth, H (m)	Maximum Draft, D _r (m)
Oil Tanker	1000	1580	64	58	10.20	4.50	4.00
	3000	4520	83	77	13.70	6.30	5.30
	6000	8780	108	101	17.50	8.29	6.67
	10000	14200	133	121	20.80	10.00	7.90

Data Tanah

Data tanah yang digunakan merupakan data tanah hasil pengujian N-SPT yang selanjutnya data tersebut dikorelasi untuk mendapatkan parameter-parameter tanah yang lain. Data tanah Hasil Korelasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data tanah hasil korelasi

Kedalaman (m)	N-SPT	Konsistensi Tanah	Kepadatan Relatif (%)	Berat Volume Tanah (kN/m ³)	Sudut Geser Tanah (°)	Koefisien Modulus Tanah (kN/m ²)
0 - 2	5	Loose	23	15	28	4000
2 - 4	7	Loose	30	15	29	8000
4 - 6	9	Loose	33	15	30	12000
6 - 8	20	Compact	50	17	35	50000
8 - 10	12	Compact	42	17	32	62500
10 - 12	40	Dense	70	19	42	198000
12 - 14	50	Very Dense	80	21	45	252000
14 - 16	50	Very Dense	80	21	45	288000
16 - 18	50	Very Dense	80	21	45	324000

Data Material

Material baja yang digunakan untuk tiang pancang dermaga adalah baja ASTM A252 Grade 2 serta material beton yang digunakan untuk struktur dermaga ini adalah beton dengan mutu K-450 (kuat tekan karakteristik = 450 kg/cm²). Spesifikasi material ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Material

Beton K-450			
Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c'	37.4	MPa
Massa jenis beton	ρ_c	2400	kg/m ³
Modulus elastisitas	E_c	29000	MPa
Baja ASTM A252 Grade 2			
Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Tegangan leleh baja	F_y	240	MPa
Kuat tekan maksimum	F_u	415	MPa
Massa jenis baja	ρ_s	7850	kg/m ³
Modulus elastisitas	E_s	200000	MPa

Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur terdiri dari beban yang diakibatkan oleh lingkungan seperti arus dan gelombang, kemudian beban berthing serta beban mati dan beban hidup. Beban berthing dihitung dengan asumsi perairan tertutup.

1. Beban Arus

Beban arus diinput pada SAP2000 sebagai parameter kecepatan arus yaitu sebesar 0.83 m/s pada arah hilir atau x- (pada model struktur) maupun arah hulu atau x+ (pada model struktur)

2. Beban Gelombang

Beban gelombang diinput sebagai parameter tinggi, periode, serta teori gelombang yang berturut-turut yaitu 0.91 m, 4.83 s, serta teori stokes orde 2.

3. Beban Berthing

Beban berthing dihitung berdasarkan kapasitas kapal yang direncanakan. Beban berthing yang direncanakan ditunjukkan pada Tabel

Tabel 4. Beban berthing

Kapasitas Kapal	Abnormal Berthing (kN-m)	Reaksi Fender (kN)
1000 DWT	50.93	282
3000 DWT	83.86	459
6000 DWT	147	652
10000 DWT	215.88	804

4. Beban mati

Beban mati pada breasting dolphin terdiri dari beban struktural dan beban nonstruktural. Beban struktural terdiri dari beban akibat tiang pancang serta pile cap yang besarnya dihitung secara otomatis pada perangkat lunak SAP2000. Sementara beban nonstruktural terdiri dari beban akibat sistem fender yaitu sebesar 10 kN.

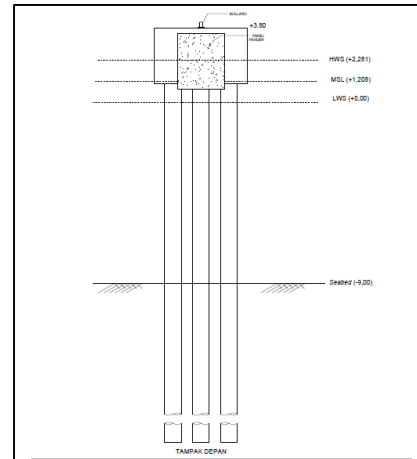
5. Beban Hidup

Beban hidup yang diterapkan pada struktur merupakan beban akibat manusia pada saat melakukan pengoperasian struktur. Beban manusia ditetapkan berdasarkan SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan Bab 8 sebagai beban terdistribusi merata (Uniformly Distributed Load, UDL) dengan intensitas 5 kN/m.

Layout dan Dimensi Dermaga

1. Kedalaman Perairan dan elevasi dermaga

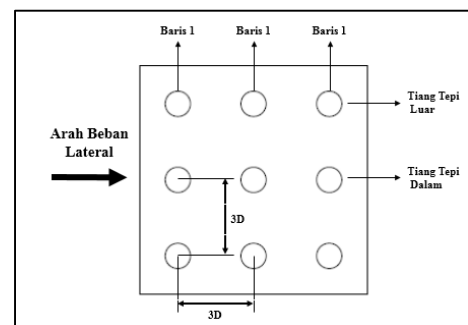
Kedalaman perairan rencana ditentukan oleh draft kapal terbesar yaitu 10000DWT, kemudian elevasi dermaga sebagai fungsi dari tinggi gelombang, tinggi pasang-surut serta freeboard. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



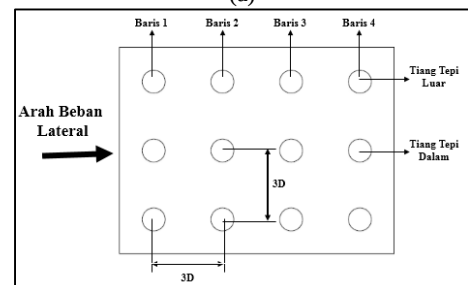
Gambar 3. Layout elevasi dermaga

2. Dimensi Pile Cap.

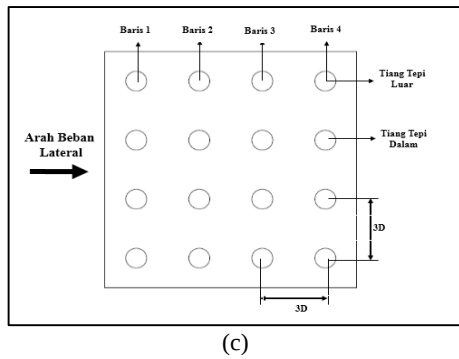
Pada penelitian ini ketebalan pile cap yang dipilih sebesar 1.5 m, dengan dimensi panjang dan lebar pile cap ditentukan oleh jarak antar pusat tiang pancang dan juga jarak dari pusat tiang pancang terluar ke tepi pilecap. Jarak antar pusat tiang pancang ditentukan sebesar 3 kali diameter tiang (3D), dan jarak dari pusat tiang terluar ke tepi pile cap ditentukan sebesar 1.5 kali diameter tiang (1.5D). susunan tiang pancang yang digunakan yaitu 3x3, 3x4 dan 4x4. Ilustrasi susunan tiang pancang ditunjukkan Gambar 4.



(a)



(b)

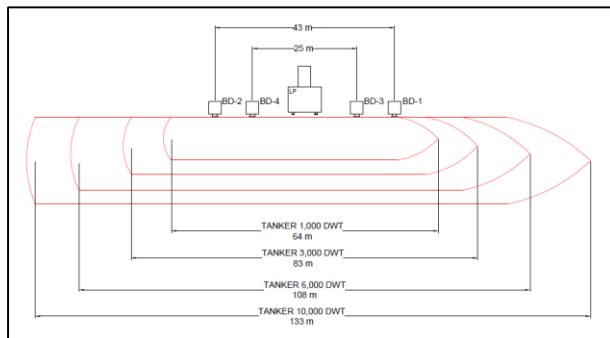


(c)
Gambar 4. Layout susunan tiang pancang

3. Dimensi Tiang Pancang

Tiang pancang yang digunakan dengan diameter 559 mm, 660 mm dan 762 mm dengan tebal 12 mm.

Layout dermaga ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5. Layout elevasi dermaga

Skenario Pemodelan

Skenario pemodelan struktur breasting dolphin pada penelitian ini ditunjukkan Tabel 5.

Tabel 5. Skenario Pemodelan

Diameter tiang (mm)	Beban Lateral (kN)	Susunan Tiang		
		3x3	3x4	4x4
559	282.00	✓	✓	✓
	459.00	✓	✓	✓
	652.00	✓	✓	✓
	804.00	✓	✓	✓
660	282.00	✓	✓	✓
	459.00	✓	✓	✓
	652.00	✓	✓	✓
	804.00	✓	✓	✓
762	282.00	✓	✓	✓
	459.00	✓	✓	✓
	652.00	✓	✓	✓
	804.00	✓	✓	✓

IV. PEMODELAN STRUKTUR

Pemodelan Interaksi Tanah-Struktur

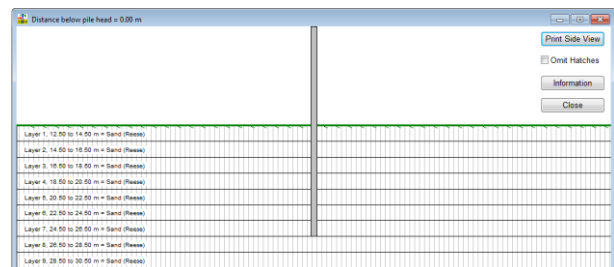
Pemodelan interaksi tanah dengan struktur dilakukan dengan menggunakan software LPILE. Pada pemodelan LPILE ini, tiang dimodelkan

sebagai tiang tunggal dengan besarnya pembebanan lateral merupakan pembagian merata untuk setiap tiang dalam satu susunan tiang. besarnya beban lateral untuk masing-masing tiang pancang ditunjukkan Tabel 6.

Tabel 6. beban lateral pertiang

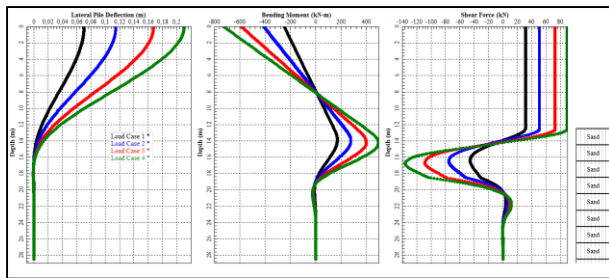
Kapasitas Kapal	Beban Lateral Total (kN)	Beban Lateral PerTiang (kN)		
		3x3	3x4	4x4
1000 DWT	282.00	31.33	23.50	17.63
3000 DWT	459.00	51.00	38.25	28.69
6000 DWT	652.00	72.44	54.33	40.75
10000 DWT	804.00	89.33	67.00	50.25

Pemodelan tiang pondasi pada LPILE dilakukan sesuai dengan dimensi dermaga yang telah ditentukan sebelumnya. Tinggi bebas pondasi tiang pancang yaitu sebesar 12.5 m dengan kondisi puncak tiang dimodelkan fixed head yang merepresentasikan kondisi dermaga yang telah terbangun. Selanjutnya panjang tiang terpancang dimodelkan sepanjang 12 m dimana kedalaman tersebut sudah mencapai tanah keras. Ilustrasi pondasi tiang terhadap kedalaman tanah ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Ilustrasi Pondasi tiang terhadap kedalaman

Tujuan dari pemodelan interaksi tanah-struktur ini yaitu untuk mendapatkan nilai fixity point atau kedalaman ketika tiang tidak berdeformasi lateral. Kedalaman dari tiang pancang dalam tanah yang menunjukkan defleksi nol akan dijadikan sebagai nilai fixity point, sedangkan untuk defleksi pada pile head akan dijadikan validasi dari nilai fixity point yang dipilih tersebut. Validasi dilakukan dengan membandingkan defleksi pada fixed head hasil dari pemodelan SAP2000 dengan hasil pemodelan LPILE. Pemodelan dilakukan untuk semua skenario pemodelan. Contoh output dari Lpile ditunjukkan Gambar 7.



Gambar 7. Perilaku lateral pondasi tiang susunan 3x3 D 559 mm

Rekap dari kedalaman fixity point beserta defleksi pile head ditunjukkan Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi kedalaman fixity awal

Diameter tiang (mm)	Beban Lateral Per Tiang (kN)	Kedalaman Fixity Point (m)	Defleksi Pile Head (m)
559	31.33	4.60	0.04
	51.00	4.60	0.06
	72.44	4.60	0.92
	89.33	4.60	0.11
660	31.33	5.10	0.03
	51.00	5.10	0.04
	72.44	5.10	0.06
	89.33	5.10	0.07
762	31.33	5.60	0.02
	51.00	5.60	0.03
	72.44	5.60	0.04
	89.33	5.60	0.05

Pemodelan Interaksi Tanah-Struktur

Pada penelitian ini pemodelan struktur menggunakan SAP2000 dan kondisi tanah dimodelkan sebagai tumpuan tiang yang bersifat fix support, sehingga kedalaman dari fix support atau dinamakan *fixity point* itulah yang akan ditinjau melalui interaksi tanah-struktur. *Fixity point* sendiri merupakan kedalaman dimana tiang pancang berhenti berdeformasi secara lateral, sehingga pada kedalaman tersebut tumpuan tiang pancang bersifat *fix support*.

Pemodelan awal dilakukan dengan menggunakan data panjang tiang berdasarkan nilai kedalaman perairan, elevasi dermaga dan *fixity point* awal yang ditentukan sebelumnya pada pemodelan dengan LPILE. Pengecekan untuk salah satu susunan tiang ditunjukkan Tabel 8.

Dari Tabel 8 didapatkan defleksi pada SAP melebihi defleksi output LPILE dan dengan error yang cukup tinggi sehingga panjang tiang belum tervalidasi dan nilai *fixity point*nya harus dikurangi. Dengan metode trial and error maka didapatkan nilai *fixity point* dengan output defleksi lateralnya sama dengan defleksi pada LPILE. Berikut data tiang pancang tervalidasi pada Tabel 9.

Tabel 8. Pengecekan defleksi

Diameter tiang (mm)	Beban Lateral Total (kN)	Defleksi pada Pile Head (m)		
		Output LPILE (1)	Output SAP2000 (2)	Error $= \frac{(2-1)}{1}$
559	282	0.071	0.083	17%
	459	0.115	0.134	17%
	652	0.167	0.191	14%
	804	0.210	0.236	12%
660	282	0.045	0.056	23%
	459	0.074	0.091	23%
	652	0.105	0.129	22%
	804	0.131	0.159	21%
762	282	0.031	0.039	24%
	459	0.051	0.063	24%
	652	0.072	0.088	22%
	804	0.089	0.109	22%

Tabel 9. Data panjang tiang model tervalidasi

Diameter tiang (mm)	Beban Lateral (kN)	Panjang Tiang (m)					
		3x3		3x4		4x4	
		Fixity Point	Panjang Pile Model	Fixity Point	Panjang Pile Model	Fixity Point	Panjang Pile Model
559	282.00	3.30	15.80	3.40	15.90	3.40	15.90
	459.00	3.30	15.80	3.40	15.90	3.40	15.90
	652.00	3.30	15.80	3.40	15.90	3.40	15.90
	804.00	3.30	15.80	3.40	15.90	3.40	15.90
660	282.00	4.05	16.55	4.15	16.65	4.15	16.65
	459.00	4.05	16.55	4.15	16.65	4.15	16.65
	652.00	4.05	16.55	4.15	16.65	4.15	16.65
	804.00	4.05	16.55	4.15	16.65	4.15	16.65
762	282.00	4.70	17.20	4.80	17.30	4.80	17.30
	459.00	4.70	17.20	4.80	17.30	4.80	17.30
	652.00	4.70	17.20	4.80	17.30	4.80	17.30
	804.00	4.70	17.20	4.80	17.30	4.80	17.30

Setelah mendapatkankondisi struktur yang sesuai dengan kondisi tanahnya, maka langkah selanjutnya yitu dengan memeriksa output struktur sesuai dengan ketentuan desain.

Pemeriksaan Parameter Desain

Parameter desain yang telah dilakukan pemeriksaan sebelumnya yaitu nilai defleksi tiang yang harus memenuhi defleksi izinnnya yang berdasarkan ketentuan SNI 1729-2002 tentang Spesifikasi Bangunan Baja Struktural. Selanjutnya untuk Unity Check Ratio (UCR) dengan mengikuti ketentuan standar AISC dengan ketentuan desain LRFD mengharuskan nilai $UCR < 1$. Rekapitulasi pemeriksaan parameter desain untuk masing-masing skenario pemodelan ditunjukkan pada Tabel 10..

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan mengenai kedalaman pemancangan minimum tiang berdasarkan daya dukung aksial tanah eksisting. Kemudian dalam penentuan kedalaman pemancangan juga hatrus memperhitungkan kemampupancangan tiang dalam tanah keras. Tiang akan sulit untuk dipancang ketika nilai N-SPT sudah melebihi 40 pukulan. Oleh karena itu, pada tanahlokasi kedalaman maksimum yang dapat

ditembus tiang pancang yaitu pada kedalaman <12 m. Sehingga ketika daya dukung ting melebihi kedalaman tersebut tiang dinyatakan mengalami kegagalan yng ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 10. Pemeriksaan UCR dan defleks tiang

Diameter tiang (mm)	Beban Lateral (kN)	Rekapitulasi Pemeriksaan Parameter Desain					
		3x3		3x4		4x4	
		Defleksi	UCR	Defleksi	UCR	Defleksi	UCR
559	282.00	OKE	OKE	OKE	OKE	OKE	OKE
	459.00	NOT OKE	NOT OKE	NOT OKE	OKE	OKE	OKE
	652.00	NOT OKE	NOT OKE	NOT OKE	NOT OKE	NOT OKE	OKE
	804.00	NOT OKE	NOT OKE	NOT OKE	NOT OKE	NOT OKE	OKE
660	282.00	OKE	OKE	OKE	OKE	OKE	OKE
	459.00	OKE	OKE	OKE	OKE	OKE	OKE
	652.00	NOT OKE	NOT OKE	NOT OKE	OKE	OKE	OKE
	804.00	NOT OKE	NOT OKE	NOT OKE	OKE	OKE	OKE
762	282.00	OKE	OKE	OKE	OKE	OKE	OKE
	459.00	OKE	OKE	OKE	OKE	OKE	OKE
	652.00	OKE	OKE	OKE	OKE	OKE	OKE
	804.00	NOT OKE	OKE	OKE	OKE	OKE	OKE

Tabel 11. Pemeriksaan kedalaman pemancangan minimum

Diameter tiang (mm)	Beban Lateral (kN)	Kedalaman Pemancangan minimum (m)					
		3x3		3x4		4x4	
		Kedalaman (m)	Ket.	Kedalaman (m)	Ket.	Kedalaman (m)	Ket.
559	282.00	10.0	Tekan	8	Tekan	7.00	Tekan
	459.00	13.0	Kegagalan Tarik	10	Tekan	8.00	Tekan
	652.00	18.0	Kegagalan Tarik	11	Tarik	10.00	Tekan
	804.00	24.0	Kegagalan Tarik	14	Kegagalan Tarik	11.00	Tekan
660	282.00	7.0	Tarik	7	Tekan	7.00	Tekan
	459.00	11.0	Tekan	8	Tekan	7.00	Tekan
	652.00	20.0	Kegagalan Tarik	10	Tekan	7.50	Tekan
	804.00	24.0	Kegagalan Tarik	11	Tekan	8.00	Tekan
762	282.00	10.0	Tekan	5.00	Tekan	6.00	Tekan
	459.00	8.0	Tekan	6.00	Tekan	6.50	Tekan
	652.00	10.0	Tekan	7.00	Tekan	7.00	Tekan
	804.00	11.0	Tarik	8.00	Tekan	7.50	Tekan

Dari hasil tersebut didapatkan untuk susunan 3x3 dengan diameter 559 mm dan 660 mm serta susunan 3x4 mengalami kegagalan desain baik itu parameter defleksi dan UCR maupun daya dukung tanahnya.

V. ANALISIS DAN KESIMPULAN

Pemeriksaan Parameter Desain

analisis perilaku tiang pancang sesuai dengan output dari pemodelan struktur yang berkaitan dengan faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku tiang seperti faktor lokasi tiang dalam susunan tiang, faktor diameter, faktor jumlah dan susunan tiang serta faktor ketahanan tiang terhadap beban lateral.

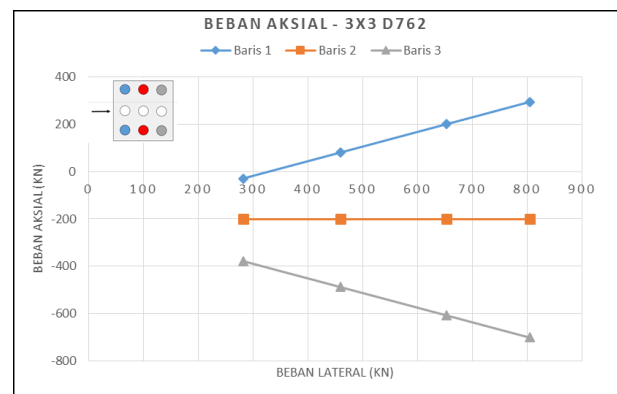
Pengaruh Lokasi Dalam Susunan Tiang

Struktur pondasi tiang pancang yang disatukan oleh suatu pilecap tebal membuat struktur menjadi satu kesatuan sehingga beban lateral pada struktur akan

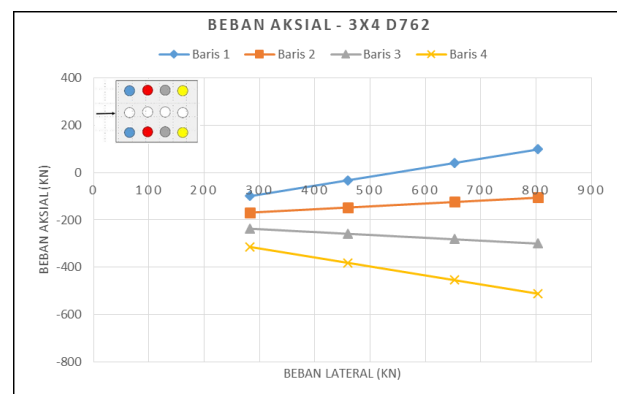
terbagi sama untuk setiap tiang. Respon tiang terhadap beban lateral, tiang akan mendapatkan besar momen yang sama, namun dengan respon beban aksial yang berbeda yaitu tarik dan tekan. Reksi beban aksial untuk susunan 3x3, 3x4 dan 4x4 ditunjukkan Gambar 8 hingga Gambar 10.

Untuk susunan 3x3 yang memiliki 3 baris kebelakang, tiang pada baris pertama mengalami tarik, sedangkan baris ketiga mengalami tekan yang meningkat linear terhadap tingkat pembebanan. Serta baris kedua bernilai negatif atau mengalami tekan yang konstan terhadap tingkat pembebanan. Selanjutnya untuk tiang yang memiliki 4 baris yaitu susunan 3x4 dan 4x4, tiang pada baris keempat akan mengalami tekan maksimum dibandingkan dengan baris ketiga, sedangkan baris pertama dan kedua akan mengalami tarik dengan baris pertama yang memikul tarik maksimum.

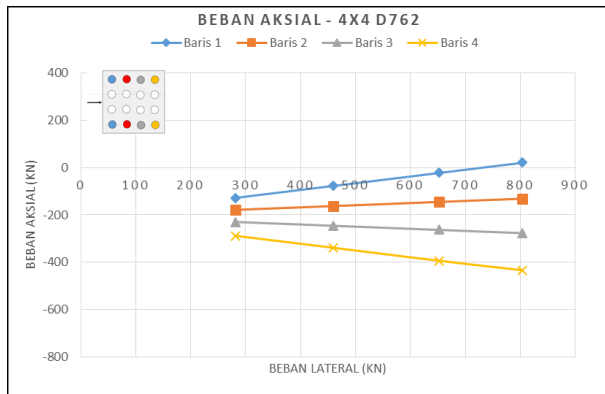
Sementara itu terkait tiang pada satu baris, didapatkan bahwa pada kondisi baris yang mengalami tarik, tiang pada tepi dalam memiliki beban aksial tarik sedikit lebih besar dibandingkn dengan tiang pada tepi luar. Sementara itu pada baris tiang yang mengalami tekan, tiang pada tepi luar akan memiliki nilai aksial tekan yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan tiang pada tepi dalam.



Gambar 8. Beban aksial susunan 3x3



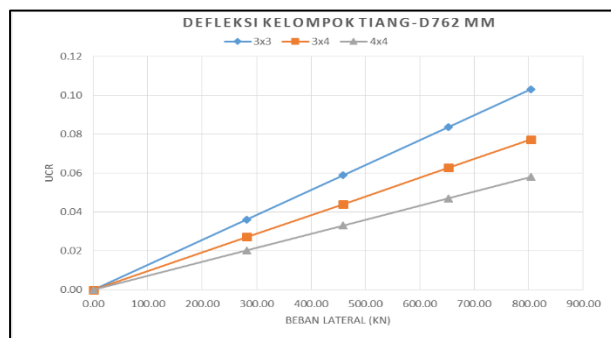
Gambar 9. Beban aksial susunan 3x4



Gambar 10. Beban aksial susunan 4x4

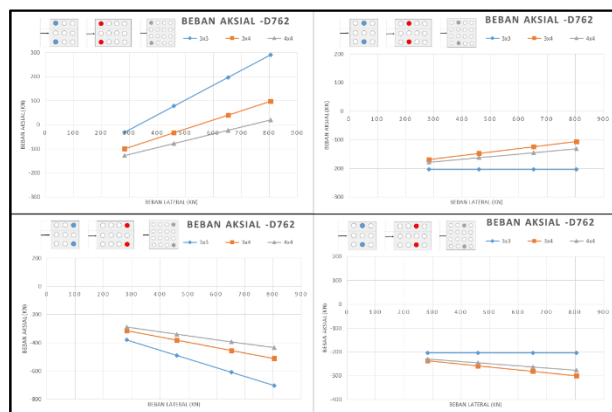
Pengaruh Jumlah dan Susunan Tiang

Defleksi yang terjadi merupakan defleksi tiang kelompok, dimana defleksi tersebut bertambah linear bersamaan dengan tingkat beban lateralnya. Kemudian untuk susunan 3x3 memiliki defleksi yang jauh lebih tinggi dibanding susunan 3x4 dan 4x4 sesuai dengan grafik pada Gambar 11.



Gambar 11. Defleksi kelompok tiang D762 mm

Selanjutnya penambahan jumlah tiang atau susunan tiang berpengaruh terhadap beban lateral yang diterima tiang dalam satu susunan tiang, dimana akan semakin menurun ketika terjadi penambahan jumlah tiang seperti yang ditunjukkan pada . nilai UCR untuk susunan 4x4 serta 3x4 jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai UCR susunan 3x3.

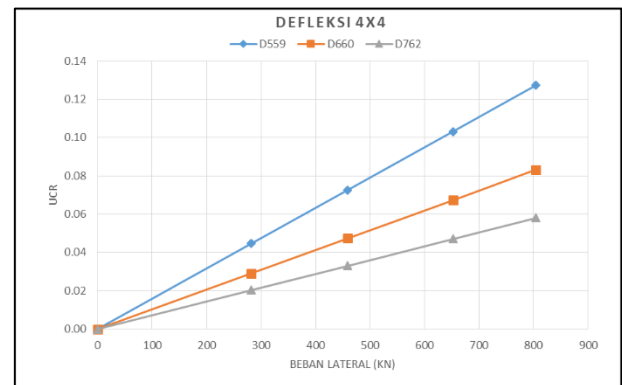


Gambar 12. UCR kelompok tiang 3x3 3x4 dan 4x4

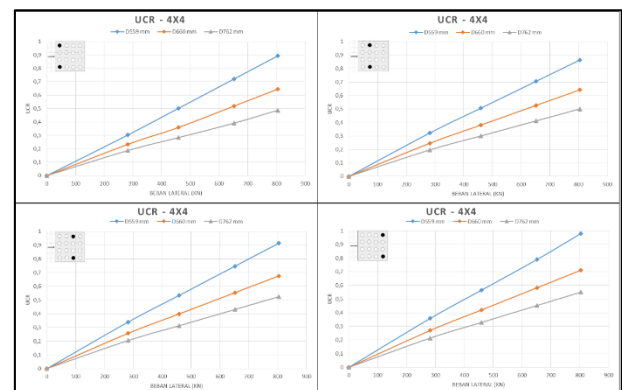
Pengaruh Diameter Tiang

Diameter tiang pancang berkaitan dengan kapasitas tiang pancang yang dimiliki baik itu kapasitas aksial tekan dan tarik maupun kapaitas momen tiang pancang. Semakin besar diameter tiang maka semakin besar pula kapasitas tiang pancang yang dimilikinya. Selain itu diameter tiang berkaitan dengan kapasitas tahanan aksial tanah baik itu tahanan friksi maupun atahanan ujung tiang. Semakin besar diameter tiang maka tahanan aksial yang dimiliki pun semakin besar.

Seperti yang ditunjukkan Gambar 13, perbandingan defleksi untuk masing-masing diameter, semakinbesar diameter tiang maka defleksi yang terjadi semakin menurun. Serta pada grafik UCR pada Gambar 14 . nilai UCR untuk diameter 559 mm lebih besar dibandingkan dengan diameter 660 mm dan 762 mm.



Gambar 13. Defleksi kelompok tiang 4x4



Gambar 14. UCR kelompok tiang 4x4

Kesimpulan

Kesimpulan yang dicapai dalam penelitian ini:

1. Pemeriksaan parameter desain yaitu defleksi, UCR serta daya dukung tanah pada pembebanan lateral menunjukkan beberapa konfigurasi tiang pancang mengalami defleksi pada arah lateral yang cukup besar dan struktur mengalami kegagalan desain ($UCR > 1$) serta kedalaman

pemancangan minimum yang melebihi kemampuan pancang dari tiang pancang baja.

2. Beban lateral menyebabkan tiang mengalami aksial tarik maupun tekan. Pada susunan tiang yang memiliki empat baris yaitu 3x4 dan 4x4, tiang pada baris pertama akan mengalami aksial tarik paling besar dibandingkan dengan baris kedua, sedangkan tiang pada baris keempat akan mengalami aksial tekan yang lebih besar dibandingkan dengan tiang pada baris ketiga.
3. Nilai UCR terbesar yaitu pada baris keempat diikuti oleh baris ketiga dan baris kedua serta pertama memiliki nilai UCR yang relatif sama, dengan nilai UCR ada baris pertama sedikit lebih besar.
4. tiang pada pembebanan lateral untuk struktur tiang vertikal, tiang akan mengalami beban ultimate (Q_{ult}) tekan maupun tarik. Untuk kondisi tanah pasir beberapa skenario struktur mengalami tahanan tarik lebih berpengaruh dibandingkan dengan tahanan tekan tanahnya.
5. Ketahanan lateral tiang vertikal dapat ditingkatkan melalui penambahan tiang serta penambahan diameter tiang. Penambahan jumlah tiang menyebabkan beban lateral yang dialami setiap tiang menurun serta penambahan diameter tiang membuat kapasitas tiang pancang baik itu aksial maupun momen mengalami peningkatan.

Rekomendasi

Beberapa hal yang dapat diperhatikan dalam studi lanjutan atau pengembangan dari studi ini antara lain:

1. Diharapkan pada penelitian selanjutnya digunakan variasi penggunaan tiang miring sebagai solusi dari ketahanan lateral dari tiang vertikal untuk mengetahui pengaruh penggunaannya dan dibandingkan dengan analisis perilaku tiang vetikal yang disampaikan pada penelitian ini.
2. Menggunakan jenis tanah yang lain seperti tanah lempung (homogen) atau tanah lempung pasir (heterogen) sehingga dapat dibandingkan dengan kondisi tanah pasir yang dilakukan pada penelitian ini.
3. Tingkat pembebanan lateral pada penelitian ini mengasumsikan dermaga berada pada daerah tertutup sehingga kecepatan *berthing* kapalnya minimum, untuk penelitian lanjutan diharapkan dapat mencoba untuk menggunakan kondisi perairan yang lain yang ditentukan pada British Standart mengenai kondisi *berthing* kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ameratunga, J. Sivakugan, N. Das, Braja M. 2016. *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. India: Springer.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2010). *Minimum Design Load of Building and Other Structure*. Virginia: American Society of Civil
- British Standard. (1988). BS 6349-2 Code of practice for the design of Quay Wall, Jetties, and Dolphin. London: BSI.
- British Standard. (1994). BS 6349-4 Code of Practice for Design of Fendering and Mooring System. London: BSI.
- British Standard. (2000). BS 6349-1 Code of Practice for General Criteria. London: BSI.
- Chandrasekaran, S.S., Boominathan. A. Dodagoudar G.R. 2010. Group Interaction Effects on Laterally Loaded Piles in Clay. *Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 2010.136:573-582
- Das, Braja M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*. Stamford: CENGAGE Learning
- Ercan, Enil. 2010. *Behaviour Of Pile Groups Under Lateral Loads*. Thesis. Middle East Technical University.
- H.S. Chore, R.K. Ingle , V.A. Sawant. 2012. *Parametric Study Of Laterally Loaded Pile Groups Using Simplified F.E. Models. Coupled Systems Mechanics*, Vol. 1, No. 1 (2012) 1-7.
- Meyerhof, G.G. (1956), *Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils*, *Journal of the soil mechanics and foundation division*, ASCE, Vol. 82, No. SM1, January, pp. 1-19.
- Rollins, K.M., Olsen, R.J., Egbert, J.J., Jensen, D.H., Olsen, K.G., and Garrett, B.H. (2006). *Pile Spacing Effects on Lateral Pile Group Behavior: Load Tests*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 132, No. 10, p. 1262-1271
- Thoresen, Carl A. 2014. *Port Designers Handbook*. London: ICE Publishing
- Tomlinson, M., Woodward, J.. 2008. *Pile Design and Construction Practice*. US and Canada.: Taylor & Francis e-Library
- Triatmodjo, Bambang. 2010. *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset
- US Army Corps of Engineer. 1984. *Shore Protection Manual*. Washington D.C.: US Army Corps of Engineer.
- Verma, A.K, Hirani, R. Karsan. 2011. *Lateral load carrying capacity of model pile groups*. B.V.M. Engineering College, V.V.Nagar, Gujarat, India.