

ABSTRAK

PERANCANGAN TIANG PANCANG UNTUK SISTEM TAMBAT DERMAGA TERAPUNG DI JAKARTA UTARA

Oleh

Fidel Hadi Bukhara

NIM : 15514061

Besarnya persentase penduduk Indonesia yang tinggal di daerah pesisir (hingga 60%), membutuhkan struktur penunjang perekonomian di daerah tersebut. Salah satu struktur penunjang tersebut adalah struktur dermaga terapung. Dermaga terapung merupakan alternatif yang menarik untuk dikembangkan. Keuntungan dari dermaga terapung ini sangat terasa di daerah yang memiliki tunggang pasang yang besar dan melayani kapal kecil seperti kapal nelayan. Dengan dermaga terapung bisa dihindari pembuatan struktur dermaga konvensional yang tinggi untuk menghindari besarnya tunggang pasang pada daerah tersebut. Selain itu kapal kecil bisa bertambat kapanpun tanpa perlu menunggu pasang karena dermaga terapung bergerak mengikuti elevasi muka air.

Dalam penelitian ini, struktur terapung yang dirancang akan di fungsikan sebagai terminal ikan. Cakupan penelitian ini adalah mengenai penerapan tiang pancang sebagai sistem tambat dari dermaga terapung, bukan menggunakan tali *mooring* seperti pada umumnya. Dalam proses penentuan properti tiang pancang, dilakukan pemodelan hidrodinamika struktur untuk menentukan respons gerak struktur, pemodelan sistem *mooring*, dan analisis daya dukung lateral tanah. Pada pemodelan sistem *mooring* dilakukan pendekatan dengan menggunakan tali *mooring* sebagai model dari tiang pancang. Maka dari itu pemodelan ini bertujuan hanya untuk mendapatkan besar gaya yang bekerja pada tiang pancang dan tidak memperhatikan respons gerak dari strukturnya. Karena pendekatan yang dilakukan ini, terjadi kesulitan dalam penentuan gaya yang digunakan untuk perancangan tiang pancang.

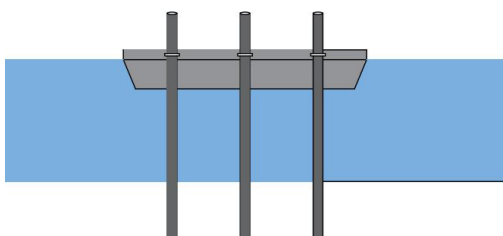
Dari hasil analisis secara keseluruhan, didapatkan properti tiang pancang yang mampu mengakomodasi respons gerak struktur akibat beban lingkungan. Properti dari tiang pancang tersebut berdiameter 1200 mm yang memiliki tebal 12 mm, untuk tiang pancang yang memiliki tegangan leleh sebesar 240 MPa. Selain itu agar tiang pancang mampu mengakomodasi gaya aksial dan lateral yang dialami perlu dipancang sedalam 14 m, dimana tiang pancang sudah mencapai tanah keras.

Kata Kunci: Dermaga terapung, Tiang pancang, Sistem tambat, Pemodelan hidrodinamik, Pemodelan sistem *mooring*, Daya dukung tanah lateral

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan dengan luas daerah daratnya sebesar 2,800,000 km² sedangkan luas lautannya yang mencapai 6,400,000 km² (Rujukan Nasional Data Kewilayahan Indonesia, 2018). Daerah pesisir merupakan daerah yang paling padat. Ada sekitar 140 juta (60%) dari penduduk Indonesia hidup di daerah pesisir (Statistik Sumber Daya Laut dan Pesisir, 2016). Dengan persentase tingkatan jumlah penduduk Indonesia yang pesat ini menyebabkan perlunya struktur penunjang perekonomian di daerah pesisir. Salah satu struktur penunjang tersebut adalah struktur dermaga terapung.

Struktur dermaga terapung merupakan salah satu alternatif yang menarik untuk dikembangkan. Ide untuk mengembangkan struktur dermaga terapung sebagai sarana pemanfaatan daerah perairan sudah mulai dikembangkan oleh Kikutake K. dari tahun 1950. Gambar 1 menunjukkan ilustrasi dermaga yang akan dirancang dalam Tugas Akhir ini.



Gambar 1 Ilustrasi struktur dermaga terapung

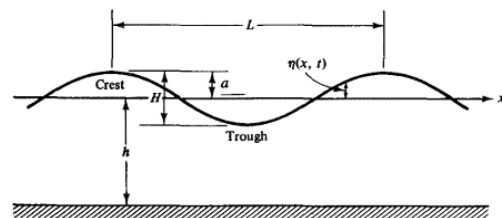
Dalam penelitian Tugas Akhir ini, struktur dermaga terapung yang akan di desain adalah dermaga terapung yang memfasilitasi kegiatan terminal perikanan dengan sistem mooring berupa

tiang pancang. Analisis yang dilakukan berupa penentuan dimensi tiang pancang untuk sistem tambat yang mampu mengakomodasi pergerakan dermaga terapung tersebut.

TEORI DAN METODOLOGI

Pada perancangan struktur terapung, **gelombang** merupakan salah satu parameter lingkungan yang harus dipertimbangkan. Banyak faktor yang menyebabkan terbentuknya gelombang, beberapa diantaranya yaitu gesekan permukaan air dengan angin, gempa, atau gaya tarik antar bumi, bulan, dan matahari.

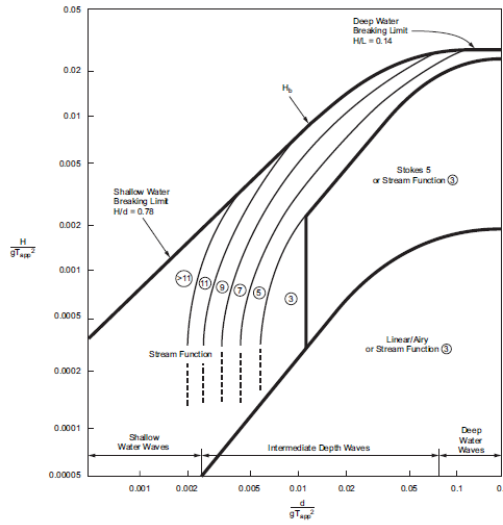
Parameter utama yang mendefinisikan gelombang adalah tinggi (H), periode (T), dan panjang gelombang (L) serta kedalaman perairan (h) dimana gelombang berpropagasi. Parameter lain seperti kecepatan dan percepatan partikel air akibat gelombang bisa dihitung secara teoritis dengan parameter utama diatas. Gambar 2 menunjukkan ilustrasi dua dimensi gelombang yang bergerak ke arah sumbu x .



Gambar 2 Ilustrasi karakteristik gelombang

Untuk menentukan **teori gelombang** yang digunakan dalam proses desain, diperlukan parameter tinggi dan periode gelombang serta kedalaman perairan. Pemilihan teori gelombang mengacu

pada diagram yang terdapat API RP 2A seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Klasifikasi teori gelombang

Gaya lingkungan yang diterima struktur akan mempengaruhi respons geraknya. Gaya lingkungan yang akan diterima oleh sebuah struktur terapung berupa gaya gelombang dan gaya arus.

Perhitungan **gaya gelombang** bisa dilakukan dengan tiga teori, yaitu Persamaan Morisson, Teori Froude-Krylov, dan Teori Difraksi. Teori yang digunakan untuk menghitung besar gaya gelombang bergantung terhadap pola aliran yang terjadi di sekitar struktur terapung.

a. Persamaan Morisson

Persamaan Morisson digunakan untuk struktur yang berukuran relatif kecil terhadap panjang gelombang ($\frac{D}{L} < 0.2$).

$$F_T = \frac{1}{2} \rho C_D A u |u| + \rho C_I \forall \dot{u}$$

b. Teori Froude-Krylov

Teori Froude-Krylov digunakan untuk struktur yang berukuran relatif sedang

terhadap panjang gelombang ($0.2 < \frac{D}{L} < 0.5$), namun pada kondisi ini masih belum terjadi perubahan pola aliran yang signifikan.

$$F_{fk} = \int -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} n ds$$

c. Teori Difraksi

Teori Difraksi digunakan untuk struktur yang berukuran relatif besar terhadap panjang gelombang ($\frac{D}{L} > 0.5$).

$$F_{Diff} = \int -\rho \frac{\partial \phi_I}{\partial t} n ds + \int -\rho \frac{\partial \phi_D}{\partial t} n ds$$

$$F_{Diff} = F_{fk} + F_D$$

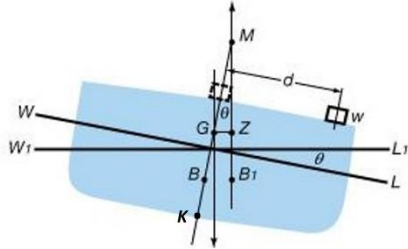
Gaya arus merupakan salah satu gaya lingkungan yang mempengaruhi struktur.

$$F_{arus} = \frac{1}{2} \rho C_D A U^2$$

Struktur terapung merupakan struktur yang dibuat di suatu perairan yang akan tetap pada posisi tertentu dalam kondisi terapung. Pada umumnya struktur terapung dibuat pada perairan yang dalam dengan tujuan mengurangi biaya konstruksi. Struktur terapung akan bergerak apabila menerima dan/atau mengeluarkan gaya. Pergerakan ini bisa menyebabkan struktur terguling dan gagal melaksanakan fungsinya. Maka dari itu diperlukan analisis kestabilan struktur terapung untuk memastikan struktur dapat beroperasi sesuai fungsinya.

Stabilitas struktur terapung adalah kemampuan struktur terapung untuk

kembali ke posisi awalnya ketika terjadi pergerakan akibat terkena gaya eksternal. Struktur terapung, pada kondisi statik, hanya mengalami dua gaya vertikal yaitu gaya berat struktur dari struktur sendiri dan gaya apung. Ilustrasi titik acuan perhitungan kestabilan struktur terapung ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Ilustrasi posisi titik pusat massa, pusat gaya apung, dan metasentris pada struktur terapung

Kestabilan dari struktur terapung ditentukan dengan melihat posisi dari titik pusat massa (G) dan titik metasentris (M) dimana, agar stabil, posisi titik metasentris harus lebih tinggi dari titik pusat massa.

$$\overline{GM} = \overline{KB} + \overline{BM} - \overline{KG}$$

Response Amplitude Operator (RAO) adalah fungsi transfer yang menghubungkan efek kondisi laut dengan pergerakan struktur. Untuk sistem yang reguler, fungsi RAO yang dikalikan dengan spektrum gelombang dalam domain frekuensi akan menghasilkan spektrum respons yang dapat dituliskan dengan,

$$S_{xx}(\omega) = [RAO(\omega)]^2 S(\omega)$$

Sistem mooring adalah suatu sistem yang digunakan untuk menahan pergerakan struktur akibat terkena gaya eksternal agar tidak terjadi perpindahan yang berlebihan. Berdasarkan konfigurasinya, pada umumnya sistem *mooring* dibagi

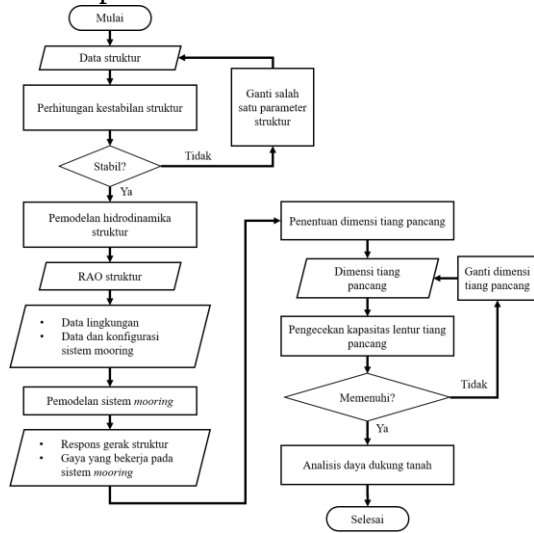
menjadi dua yaitu *taut mooring* dan *catenary mooring*.

Parameter tanah merupakan data tanah yang diperlukan untuk melakukan perancangan geoteknik. Parameter tanah yang digunakan umumnya adalah sudut geser dalam, kohesi, berat volume tanah, dan lain-lain. Parameter tanah didapatkan dari hasil pengujian laboratorium dari sampel yang di dapatkan di lapangan. Namun, parameter tanah tidak selalu bisa didapatkan secara lengkap. Maka dari itu, untuk melengkapi data parameter tanah yang diperlukan dalam proses desain diperlukan korelasi parameter tanah. Beberapa korelasi yang digunakan adalah:

- Korelasi N-SPT Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah (c_u)
- Korelasi N-SPT Terhadap Nilai Sudut Geser Dalam (ϕ)
- Parameter Modulus of Subgrade Reaction (k)
- Parameter Regangan saat 50% (E_{50})

Pondasi tiang dapat menahan beban lateral berupa tegangan yang berada di sekitar tanah. Kemampuan tiang dalam menahan beban lateral atau beban arah horizontal tersebut disebut **daya dukung lateral**. Analisis yang banyak digunakan untuk menghitung daya dukung lateral yaitu metode transfer beban. Metode ini menggunakan kurva p-y yang menggambarkan hubungan antara besarnya beban yang bekerja dengan besarnya defleksi yang terjadi pada suatu titik. Analisis daya dukung lateral pada tugas akhir ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak LPILE.

Metodologi dari Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 5.

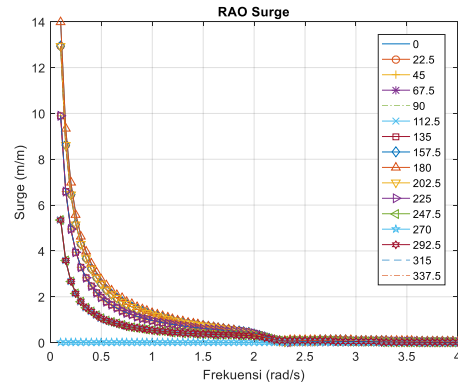


Gambar 5 Metodologi pengerjaan tugas akhir

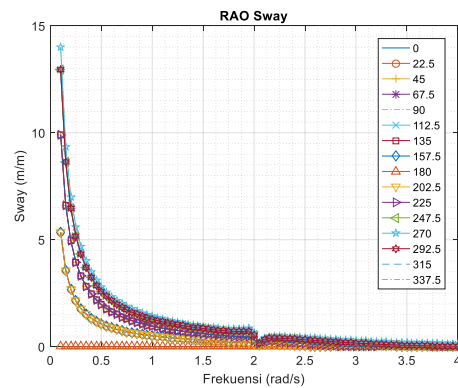
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan tiga analisis, yaitu analisis hidrodinamik struktur untuk mendapatkan respons gerak struktur, analisis sistem *mooring* untuk mendapatkan gaya yang bekerja pada *mooring*, serta analisis daya dukung lateral tanah untuk mendapatkan properti final tiang pancang dan kedalaman tiang di pancang.

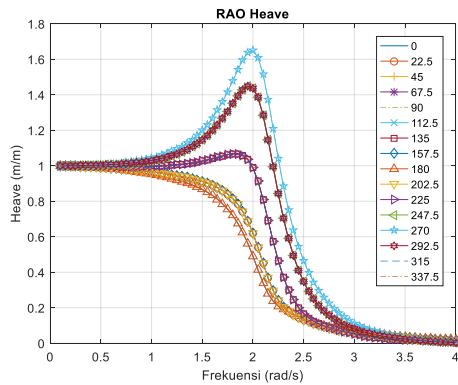
Hasil dari analisis hidrodinamik adalah *response amplitude operator* (RAO) struktur terapan untuk enam arah derajat kebebasan. Keenam arah derajat kebebasannya ialah *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 menunjukkan grafik RAO untuk keenam arah derajat kebebasan struktur.



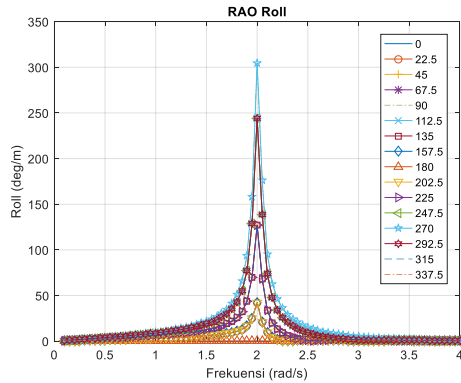
Gambar 6 RAO surge



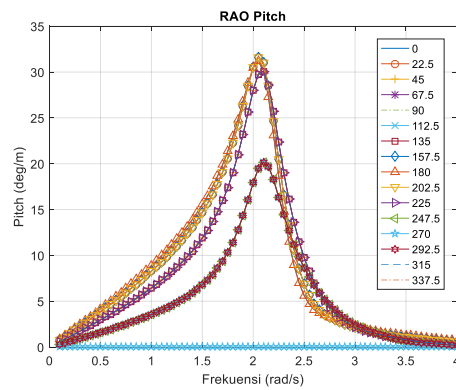
Gambar 7 RAO sway



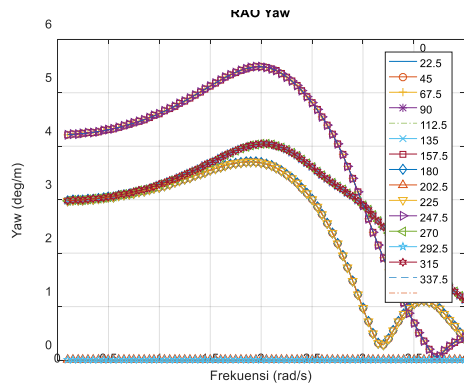
Gambar 8 RAO heave



Gambar 9 RAO roll



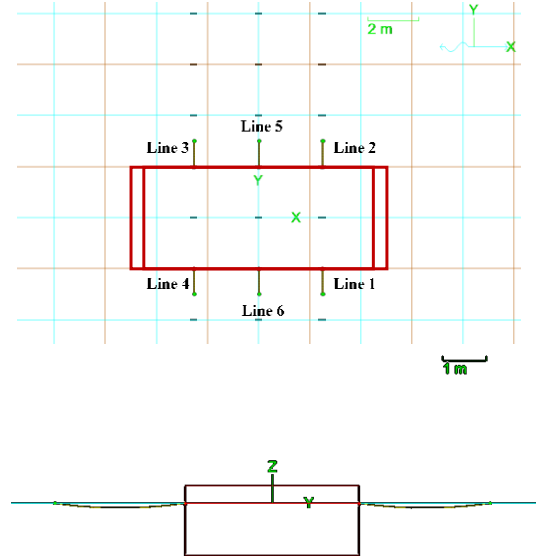
Gambar 10 RAO pitch



Gambar 11 RAO yaw

Kemudian dari analisis sistem *mooring* akan didapatkan gaya yang dialami sistem tambat. Karena keterbatasan perangkat lunak, maka pendekatan analisis ini akan dilakukan dengan memodelkan sistem *mooring*

menggunakan tali tipe *wire rope* berukuran 20 mm dan menghilangkan respons gerak *heave* seperti pada Gambar 12.



Gambar 12 Tampak atas (atas) dan tampak samping (bawah) konfigurasi *mooring* yang dimodelkan

Pemodelan sistem *mooring* ini dilakukan untuk sepuluh kondisi yang dirangkum dalam dua kasus yang ditunjukkan pada Tabel 1.

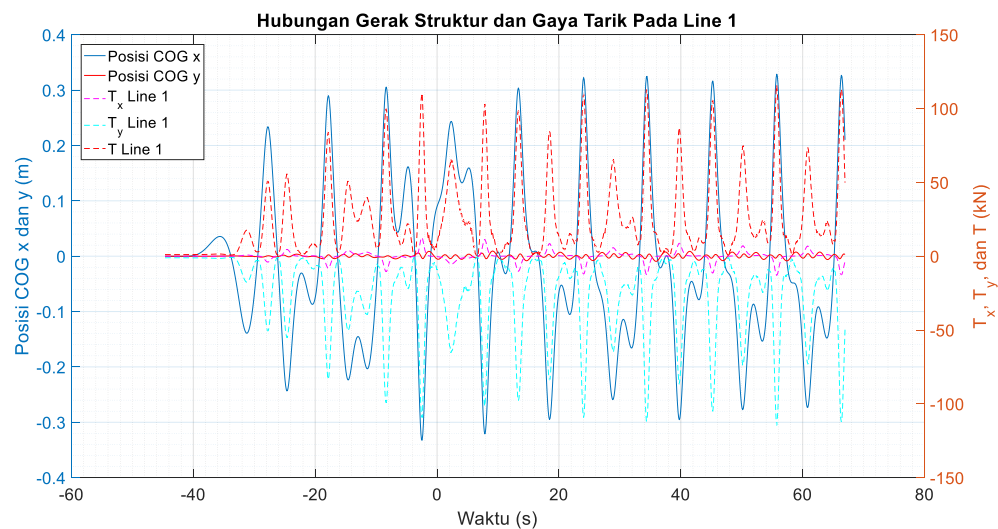
Tabel 1 Kasus pembebanan pemodelan sistem *mooring*

Kasus	Kondisi Beban Lingkungan	Arah Pembebanan (°)
1	<i>Storm</i>	180
		202.5
		225
		247.5
		270
2	Operasional	180
		202.5
		225
		247.5
		270

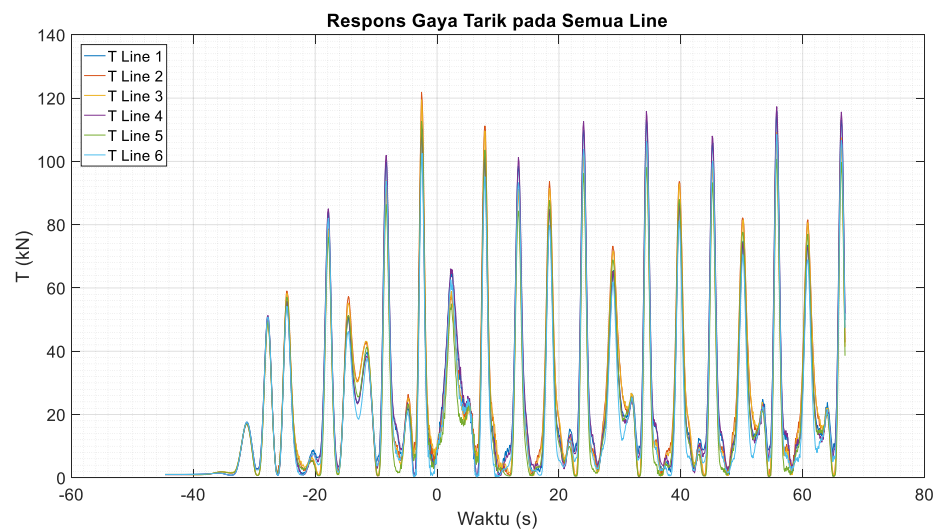
Dari pemodelan sistem *mooring* didapatkan *timeseries* dari respons gerak dan gaya pada tali untuk semua kondisi. Disini akan ditampilkan *timeseries* hubungan gerak dan gaya pada Line 1 serta *timeseries* gaya pada semua tali pada kombinasi pembebanan yang dipilih yaitu pada kasus 1 (kondisi *storm*) dengan arah beban lingkungan 225° yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14.

Dari Gambar 13 bisa dilihat hubungan antara gerak struktur dengan gaya tarik pada tali mooring, dimana gerak dan gaya tarik memiliki fasa yang sama. Dari Gambar 14 bisa didapatkan gaya maksimum yang terjadi adalah sebesar 121.858 kN

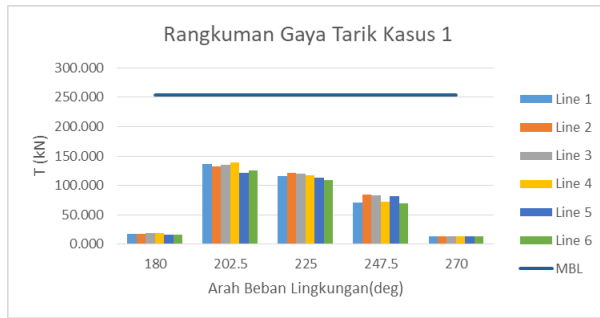
Gambar 15, Gambar 16, Tabel 2, dan Tabel 3 menunjukkan rangkuman gaya yang dialami tali untuk setiap kasus.



Gambar 13 Grafik hubungan respons gerak dan gaya tarik pada Line 1



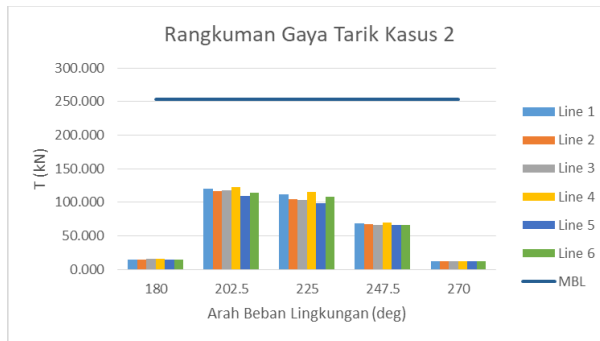
Gambar 14 Grafik respons gaya tarik pada semua line



Gambar 15 Rangkuman gaya tarik kasus 1

Tabel 2 Rangkuman gaya tarik kasus 1

Gaya Tarik Maksimum (kN)	Kasus 1					
	Arah Beban Lingkungan (deg)					
	180	202.5	225	247.5	270	
Line 1	18.022	136.063	115.819	70.825	13.148	
Line 2	18.022	131.835	121.858	84.581	13.355	
Line 3	18.444	135.428	119.450	83.121	13.355	
Line 4	18.444	138.460	117.289	71.765	13.148	
Line 5	16.306	121.067	112.660	81.420	13.355	
Line 6	16.306	124.881	108.499	68.714	13.148	



Gambar 16 Rangkuman gaya tarik kasus 2

Tabel 3 Rangkuman gaya tarik kasus 2

Gaya Tarik Maksimum (kN)	Kasus 2					
	Arah Beban Lingkungan (deg)					
	180	202.5	225	247.5	270	
Line 1	14.857	120.576	112.199	68.834	12.091	
Line 2	14.857	116.610	104.671	66.898	12.234	
Line 3	15.176	117.467	103.122	66.476	12.234	
Line 4	15.176	122.933	115.414	69.493	12.091	
Line 5	14.085	109.968	98.531	65.791	12.234	
Line 6	14.085	114.672	108.467	66.677	12.091	

Dari rangkuman diatas bisa didapatkan bahwa gaya tarik yang digunakan untuk proses desain selanjutnya adalah sebesar 121.858 kN yang terjadi pada Line 4 pada

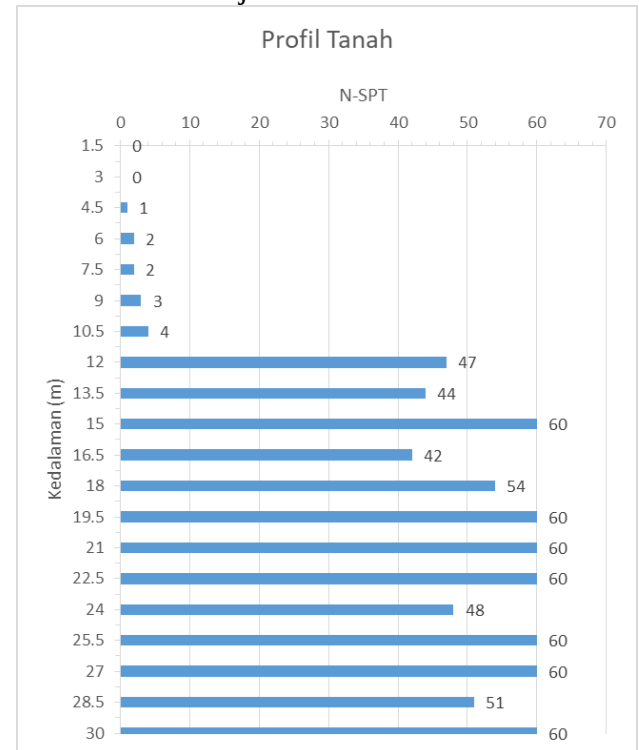
kasus 1 dengan arah beban lingkungan 225°.

Sebelum dilakukan analisis daya dukung tanah lateral akan dilakukan *preliminary* desain untuk menentukan properti tiang pancang. *Preliminary* desain ini dilakukan dengan kriteria kekuatan lentur.

$$\phi M_n \geq M_u$$

Dari kriteria kekuatan lentur ini didapatkan ukuran awal tiang pancang yang digunakan adalah berdiameter 900 mm dengan tebal 9 mm.

Analisis daya dukung tanah lateral akan dilakukan dengan perangkat lunak LPile. Dimana membutuhkan data tanah di lokasi studi. Gambar 17 menunjukkan data tanah hasil uji SPT.



Gambar 17 Hasil uji SPT di lokasi studi

Penentuan seberapa dalam tiang pancang akan dipancang ditentukan dari kedalaman tanah keras yaitu sedalam 14 m. Sehingga panjang tiang pancang yang akan dimodelkan adalah sepanjang 19.94 m dengan keterangan 14 m dibawah dasar laut dan 5.94 m diatas dasar laut. Data properti tiang pancang yang akan digunakan untuk pemodelan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Properti *preliminary* tiang pancang

Properti	Nilai
Diameter (D)	900 mm
Ketebalan (t)	9 mm
Inersia (I)	$250 \times 10^7 \text{ mm}^4$
Berat	198 kg/m
Modulus penampang (Z)	$556 \times 10^4 \text{ mm}^3$
Radius girasi (r)	315 mm

Hasil dari pemodelan analisis daya dukung tanah lateral ditunjukkan pada Gambar 18, Gambar 19, dan Gambar 20.

Hasil pemodelan menunjukkan besar defleksi maksimum yang terjadi adalah

sebesar 24.05 cm dan besar momen maksimum yang terjadi adalah sebesar 1080 kNm. Tiang pancang perlu memenuhi kriteria tegangan lentur. Tegangan lentur dihitung dengan persamaan berikut,

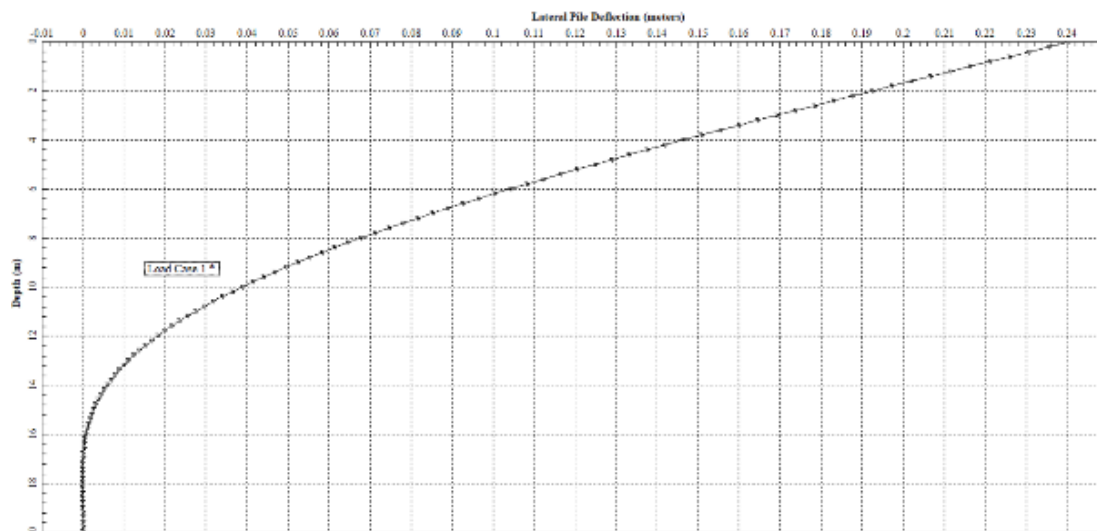
$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Sehingga,

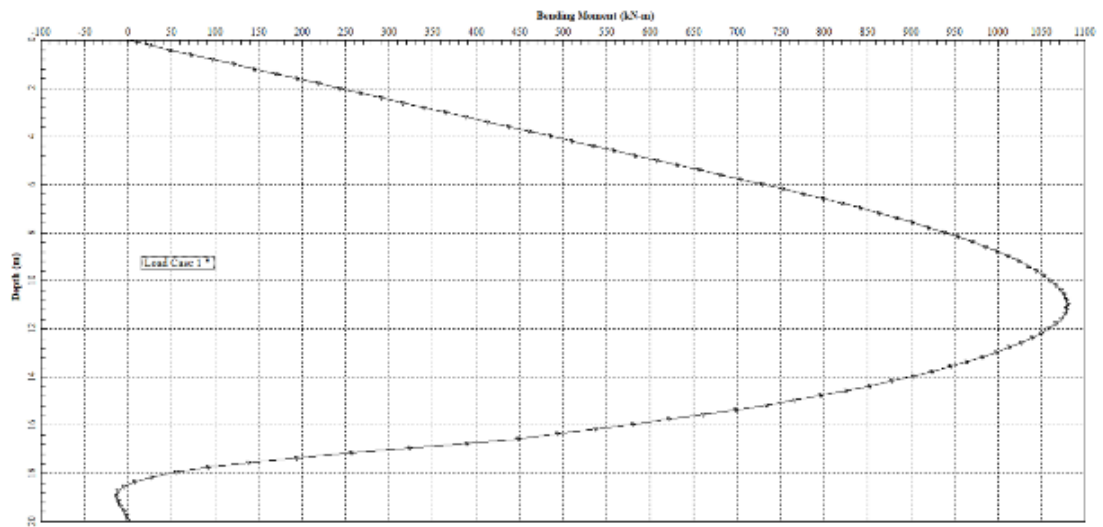
$$\sigma = \frac{1080 \times \left(\frac{0.9}{2}\right)}{2.5 \times 10^{-6}} = 194.38 \text{ MPa}$$

Dengan tegangan leleh material baja yang dipilih sebesar 240 Mpa maka tiang pancang memenuhi kriteria kekuatan lentur.

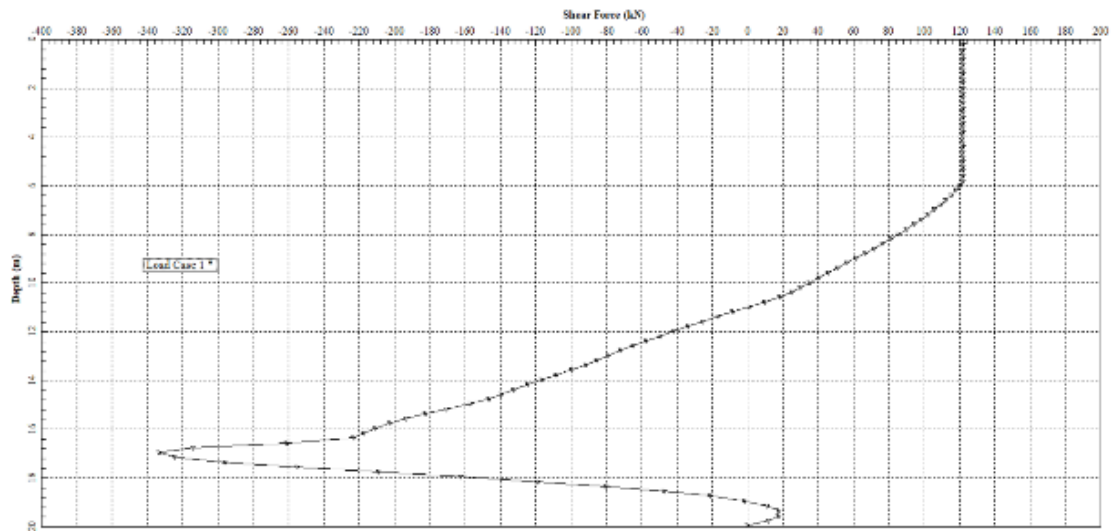
Berdasarkan BS 5950-1: 2000 defleksi izin untuk kantilever adalah sebesar $L/180$, dengan panjang tiang pancang dari puncak sampai ke fixity point nya yang ditunjukkan pada Gambar 18 sebesar 16.949 m didapatkan defleksi izinnya sebesar 9.42 cm. Sehingga, harus dilakukan pemilihan ulang properti tiang pancang karena defleksi dari tiang pancang melebihi defleksi maksimum yang diizinkan.



Gambar 18 Grafik kedalaman terhadap defleksi lateral



Gambar 19 Grafik kedalaman terhadap momen



Gambar 20 Grafik kedalaman terhadap gaya geser

Dengan *trial* dan *error* didapatkan properti tiang pancang final ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Properti final tiang pancang

Properti	Nilai
Diameter (<i>D</i>)	1.2 m
Tebal (<i>t</i>)	12 mm
Modulus penampang (<i>Z</i>)	$132 \times 10^5 \text{ mm}^3$
Momen inersia (<i>I</i>)	$7.9 \times 10^9 \text{ mm}^4$
Area penampang (<i>A</i>)	$4.479 \times 10^4 \text{ mm}^2$

Hasil pemodelan dengan properti tiang pancang final ditunjukkan pada Gambar 21, Gambar 23, dan Gambar 22.

Hasil pemodelan menunjukkan besar defleksi maksimum yang terjadi adalah sebesar 8.57 cm dan besar momen maksimum yang terjadi adalah sebesar 1123 kNm.

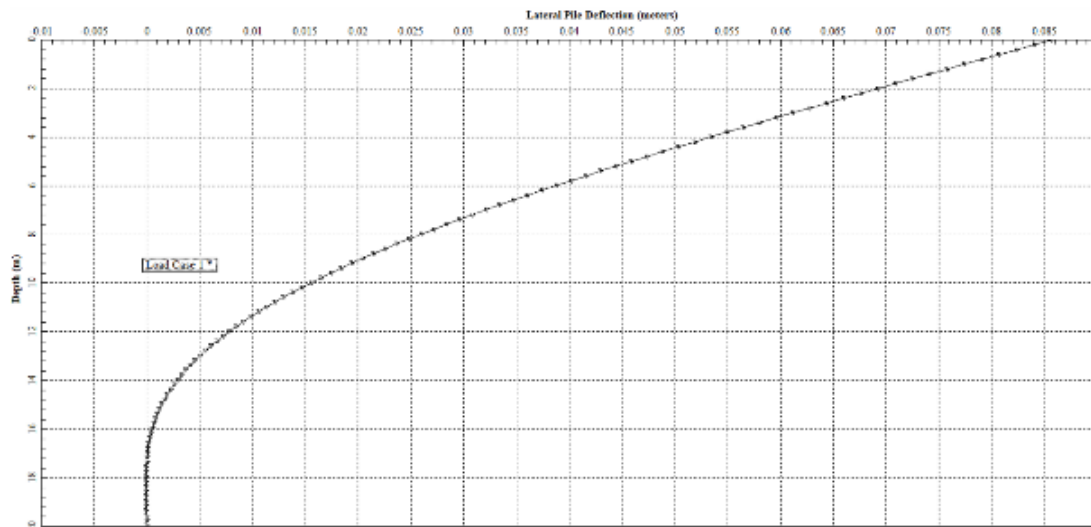
Tegangan lentur akibat momen yang dialami tiang pancang dihitung dengan persamaan berikut sehingga,

$$\sigma = \frac{1123 \times \left(\frac{1.2}{2}\right)}{7.9 \times 10^{-6}} = 85.25 \text{ MPa}$$

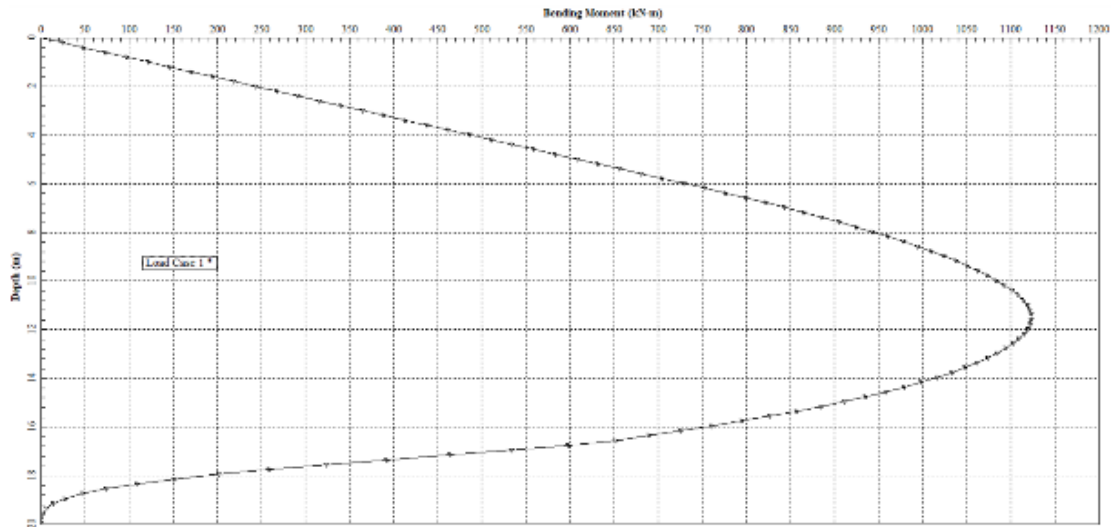
Dengan tegangan leleh material baja yang dipilih sebesar 240 Mpa maka tiang pancang memenuhi kriteria kekuatan lentur.

Dengan defleksi izin untuk kantilever adalah sebesar $L/180$, dengan panjang tiang pancang dari puncak sampai ke fixity point nya yang ditunjukkan pada Gambar 21 sebesar 17.1484 m didapatkan defleksi izinnnya sebesar 9.53 cm. Sehingga, tiang pancang memenuhi batas defleksi.

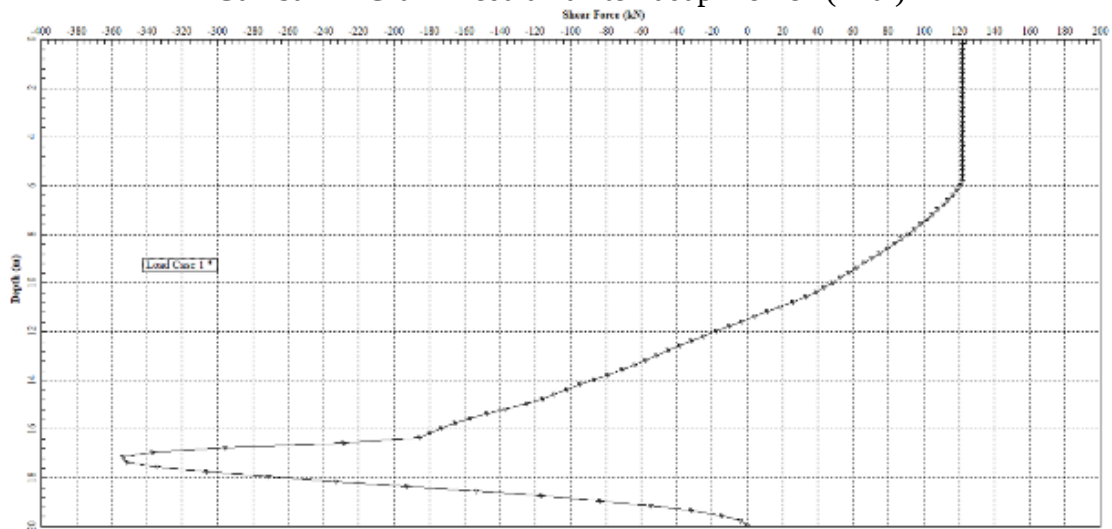
Maka tiang pancang yang dipilih untuk studi kasus ini berdiameter 1200 mm dengan ketebalan 12 mm.



Gambar 21 Grafik kedalaman terhadap defleksi lateral (final)



Gambar 22 Grafik kedalaman terhadap momen (final)



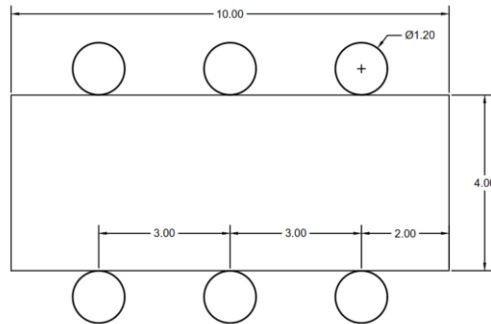
Gambar 23 Grafik kedalaman terhadap gaya geser (final)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Pemodelan sistem *mooring* yang dilakukan kurang merepresentasikan keadaan aslinya untuk arah pembebanan yang tegak lurus dengan arah memanjang tali *mooring* (pada studi ini arah 180°). Karena untuk menahan gaya arah sumbu x (tali memanjang ke arah sumbu y) tali akan berdeformasi ke arah sumbu x, namun tali juga akan berdeformasi ke arah sumbu y. Hal ini tidak sesuai dengan keadaan aslinya, dimana tiang pancang bisa berdeformasi ke satu sumbu saja.
2. Gaya pada sistem tambat yang dialami tiang pancang akibat respons gerak struktur diambil dari kondisi *storm* dengan arah beban lingkungan 225° sebesar 121.858 kN yang terjadi pada Line 2.
3. Properti tiang pancang:
 - a. Diameter : 1200 mm

- b. Tebal : 12 mm
- c. Tegangan leleh : 240 MPa
(ASTM A 252 – Grade 2)
- d. Jumlah : 6 unit



Gambar 24 Tampak atas struktur

- 4. Ilustrasi tampak atas sistem tambat studi ini ditunjukkan pada Gambar 24.
- 5. Tiang pancang harus dipancang hingga kedalaman 14 m dibawah dasar laut untuk mengakomodasi gaya lateral akibat pergerakan struktur terapung

Saran yang dapat diaplikasikan untuk penelitian yang serupa selanjutnya:

- 1. Untuk hasil yang lebih akurat, baiknya data lingkungan perlu didapatkan dengan survey secara langsung di lokasi rencana.
- 2. Pemodelan transformasi gelombang yang dilakukan dalam Studi Kasus ini dilakukan secara unilateral. Ada baiknya dilakukan pemodelan yang berbeda untuk setiap arah gelombang.
- 3. Pemodelan struktur terapung yang dilakukan dalam studi ini merupakan pendekatan dari keadaan aslinya. Baiknya digunakan perangkat lunak lain yang dapat lebih merepresentasikan keadaan aslinya.
- 4. Melakukan analisis beban tambahan akibat kapal yang bertambat pada dermaga terapung ini, serta beban

operasional di atas dermaga terapung.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2016. Statistik Sumber Daya Laut dan Pesisir. Badan Pusat Statistik
- Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman Republik Indonesia. 2018. Rujukan Nasional Data Kewilayahan Indonesia.
- American Petroleum Institute. 2007. Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform-Working Stress Design. SAI GLOBAL.
- . 2005. Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures. API Publishing Services.
- DNV. 2010. DNV-OS-E301 Position Mooring. Det Norske Veritas.
- Faltinsen, O.M. 1990. Sea Loads on Ships and Offshore Structures. Cambridge University Press, Melbourne.
- Thoresen, Carl A. 2003. Port Designer's Handbook: Recommendations and Guidelines. Thomas Telford Publishing.
- Suripin. 2004. Sistem Drainase Kota yang Berkelanjutan.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2015. SNI 03-1729-2015 tentang Spesifikasi Bangunan Baja Struktural. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Salim, HangTuah. Mekanika Gelombang Air. Penerbit ITB, Bandung.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). 2003. The Study for Development of the Greater Jakarta

- Metropolitan Ports in the Republic of Indonesia. OCDI.
- British Standard. 2000. Steelwork Design Guide to BS 5950-1: 2000. BCSA limited, London.
- Nippon Steel & Sumitomo Metal Corp. 2016. Steel Pipe Piles Catalogue. Nippon Steel & Sumitomo Metal Corp.
- Terzaghi, Karl. 1943. Theoretical Soil Mechanics. John Willey and Sons, inc., New York.
- Das, Braja M. 2016. Principle of Foundation Engineering 8th Edition. Cengage Learning, Stamford.
- Terzaghi, K. and Peck, R. 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice 2nd Edition, John Wiley, New York.
- Meyer, Barry J. and Reese, Lymon C. 1979. Analysis of Single Piles Under Lateral Loading. The University of Texas, Austin.