

Analisis *Fixed Mooring Dolphin* Akibat Beban Lateral, Studi Kasus Fuel Jetty PT. Petro Storindo Energi, Sangatta Kalimantan Timur

CORNELIS, HENOCH LEINDRIO¹, HAMDHAN, INDRA NOER², KURNIADI, YESSI NIRWANA²

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional

²Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional

Email : henochcornelis@gmail.com

ABSTRAK

Fixed Mooring Dolphin terdiri dari *Mooring Dolphin* dan *Berthing Dolphin*. *Mooring Dolphin* sendiri digunakan sebagai tempat pengikat tali kapal sedangkan *Berthing Dolphin* digunakan sebagai tempat penambat kapal. Pada penelitian ini dilakukan analisis pada struktur atas dan struktur bawah menggunakan aplikasi SAP 2000 dan aplikasi Pile untuk mengetahui desain mana yang paling stabil. Pada struktur atas dilakukan analisis gaya geser, gaya vertikal, dan momen pada kemiringan dan diameter tiang yang berbeda. Pada struktur bawah dilakukan analisis defleksi, momen, dan gaya geser dan hubungan antara kedalaman dan defleksi pada diameter tiang yang berbeda. Hasil yang didapat pada kemiringan 4:1 dengan diameter 914.4 mm $P=1340.328kN$, $V=63.72kN$, dan $M=821.427kN\ m$ dan diameter 1016 mm $P=4620.918kN$, $V=71.148kN$, dan $M=1044.1257kN\ m$ adalah yang paling stabil.

Kata Kunci: *Fixed Mooring Dolphin System, Mooring Dolphin, Berthing Dolphin, Daya Dukung Pondasi.*

ABSTRACT

Fixed Mooring Dolphin consist of *mooring dolphin* and *berthing dolphin*. *Mooring dolphin* is where ship chain fastened and *berthing dolphin* is where the ship anchored. In this research, the structure is analyzed by SAP 2000 and pile software to determine which design is the most stable. Upper structure is analyzed for shear, vertical force, and moment on different pile gradient and diameter. Upper structure is analyzed for deflection, moment, shear, and influence of depth to deflection on different pile diameter. The result show that the most stable pile is design with diameter 914.4 mm, $P=1340.328kN$, $V=63.72kN$, dan $M=821.427kN\ m$ and diameter 1016 mm $P=4620.918kN$, $V=71.148kN$, dan $M=1044.1257kN\ m$ with gradient 4:1.

Key Words: *Fixed Mooring Dolphin System, Mooring Dolphin, Berthing Dolphin, Bearing Capacity.*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan minyak di pertambangan batubara di Sangatta Tanjung Bara, Kalimantan Timur ini sangat dibutuhkan karena banyaknya permintaan produksi batubara di dalam maupun di luar negeri. PT. Kaltim Prima Coal ini pun membangun Terminal Tangki Solar 75.000 m³ yang meliputi Terminal Tangki dan *Fixed Mooring Dolphin*. *Dolphin* adalah konstruksi yang digunakan untuk menambatkan kapal tanker berukuran besar yang biasanya digunakan bersama-sama dengan *pier* dan *wharf* untuk memperpendek panjang bangunan tersebut. Pada tugas akhir ini yang akan dijadikan penelitian adalah *Fixed Mooring Dolphin* dimana *fixed mooring dolphin* dibangun di laut, untuk tempat kapal bersandar pada dermaga yang dibangun pada *trestle* pada *dolphin* ini kapal ditambatkan pada bolder, dan dilengkapi dengan *fender* untuk meredam benturan kapal pada *dolphin* dan untuk menahan beban pada saat kapal merapat atau kapal digoyangkan oleh arus atau gelombang. Analisis pada tugas akhir adalah *mooring dolphin* dan *berthing dolphin* dimana akan ditinjau struktur atas dan struktur bawah dimana akan dilakukan juga dengan melakukan percobaan kemiringan dan diameter yang berbeda.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dolphin

Dolphin adalah struktur yang muncul di atas level permukaan air laut dan tidak terhubung dengan struktur dermaga atau pantai. Fungsi *dolphin* digunakan sebagai tambatan (*berthing dolphin*) atau untuk mengikat tali kapal (*mooring dolphin*). *Dolphin* terdiri dari *Berthing Dolphin* dan *Mooring Dolphin*. *Berthing Dolphin* berfungsi sebagai tempat menambat kapal sehingga diperlukan 11 tiang pancang. *Mooring Dolphin* berfungsi untuk tempat pengikat tali kapal sehingga diperlukan lebih sedikit dibandingkan dengan *Berthing Dolphin* yaitu 8 tiang pancang. Selain itu, *dolphin* juga digunakan sebagai tempat pemberi informasi pada kapal seperti batas kecepatan, atau sebagai tempat informasi navigasi. Struktur *dolphin* merupakan struktur yang terdiri dari tiang pancang ke dasar laut dan dihubungkan secara bersamaan oleh *pilecap* yang akan menjadi *platform*. Untuk pembahasan selanjutnya system ini dinamakan *Fixed Mooring Dolphin system*.

2.2 Gaya dari Tumbukan Kapal

Kapal yang diikat pada lokasi lepas pantai atau dekat pintu masuk pelabuhan untuk kapal, dimana terjadinya gelombang dapat terjadi dalam jangka waktu yang lama, atau kapal yang diikat pada saat cuaca buruk, maka kapal akan bergoyang akibat gaya dari gelombang, angin maupun arus.

2.2.1 Gaya Akibat Tarikan Kapal

Gaya tarik yang terjadi pada *mooring dolphin* sebaiknya ditentukan berdasarkan seperti berikut ini:

- Gaya tarik pada *bollard* adalah nilai yang berubungan dengan bobot kapal, dimana nilai yang disebutkan dan $\frac{1}{2}$ dari nilai yang disebutkan pada arah vertikal bekerja.
- Gaya tarik pada *bitt* adalah yang berhubungan dengan bobot kapal dan bekerja disegala arah.
- Gaya tarik kapal dengan bobot kurang dari 200 ton atau lebih dari 10000 ton. Untuk *mooring dolphin* yang menampung kapal pada cuaca buruk dan dibangun di area perairan dengan kondisi laut buruk, harus ditentukan dengan pertimbangan cuaca dan kondisi laut, struktur *dolphin* dan data pengukuran gaya tarik

2.2.2 Gaya Gelombang Laut

Gaya gelombang yang terjadi pada struktur dapat ditentukan dengan metode penelitian dan desain yang tepat dengan memperhatikan tipe struktur, topografi dasar laut, kedalaman air, dan karakteristik gelombang. Gaya gelombang yang bekerja pada tiang, tidak menghalangi penyebaran gelombang air, dapat dihitung sebagai penjumlahan gaya tarik yang tepat dengan kecepatan partikel air kuadrat dan gaya inersia terhadap percepatan dengan rumus sebagai berikut

$$\vec{f}_n = C_d \frac{w_0}{2g} = D\vec{u}_n u_n \Delta s + C_m \frac{w_0}{g} A \vec{\alpha}_n \Delta s \quad (1)$$

2.2.3 Gaya Akibat Angin

Apabila arah angin menuju ke dermaga, maka gaya tersebut akan berupa benturan kepada *fixed mooring dolphin*. Sedangkan apabila arah angin meninggalkan *fixed mooring dolphin* maka gaya tersebut akan mengakibatkan gaya tarikan kepada alat penambat.

Beban angin dihitung dengan persamaan:

$$R_w = \frac{1}{2} \times \rho \times C \times U^2 \times (A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta) (kg) \quad (2)$$

Maksimum gaya angin pada persamaan diatas terjadi ketika $\theta = 90^\circ$. Koefisien tekanan angin adalah 1.2 pada saat $\theta = 90^\circ$ dan gaya angina (R_w) akan menjadi:

$$R_w = 0.0738 \times B \times U^2 (kg) \quad (3)$$

2.2.4 Gaya Arus

Arus pasang adalah salah satu faktor yang harus diperhatikan seperti tekanan angin. *Fixed Mooring Dolphin System* dan fasilitas tambatan di desain tidak terpengaruh oleh arus pasang.

Di beberapa kasus gaya arus ini harus diperhatikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_p = K \times D \times V_t^2 \quad (4)$$

2.5 Daya Dukung Tiang

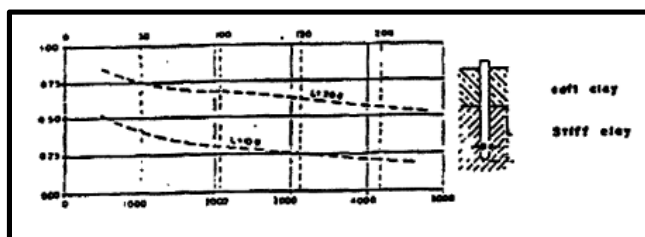
2.5.1 Daya Dukung Ijin Aksial Tiang

Beban vertikal yang terjadi pada tiang tidak boleh melebihi daya dukung ijin aksial tiang tersebut. Persamaan untuk mengecek daya dukung ijin aksial tiang adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_f + Q_b - W_p \\ Q_a &= Q_u / S_f \end{aligned} \quad (5)$$

Untuk tahan friksi pada tanah kohesi

$$\begin{aligned} C_a &= a \times C_u \longrightarrow a \text{ berdasarkan grafik Tomlinson} \\ Q_f &= C_a \times A_s \end{aligned} \quad (6)$$



Gambar 1 Faktor Adhesi (a) berdasarkan Grafik Tomlinson

2.5.2 Daya Dukung Lateral Pada Tiang

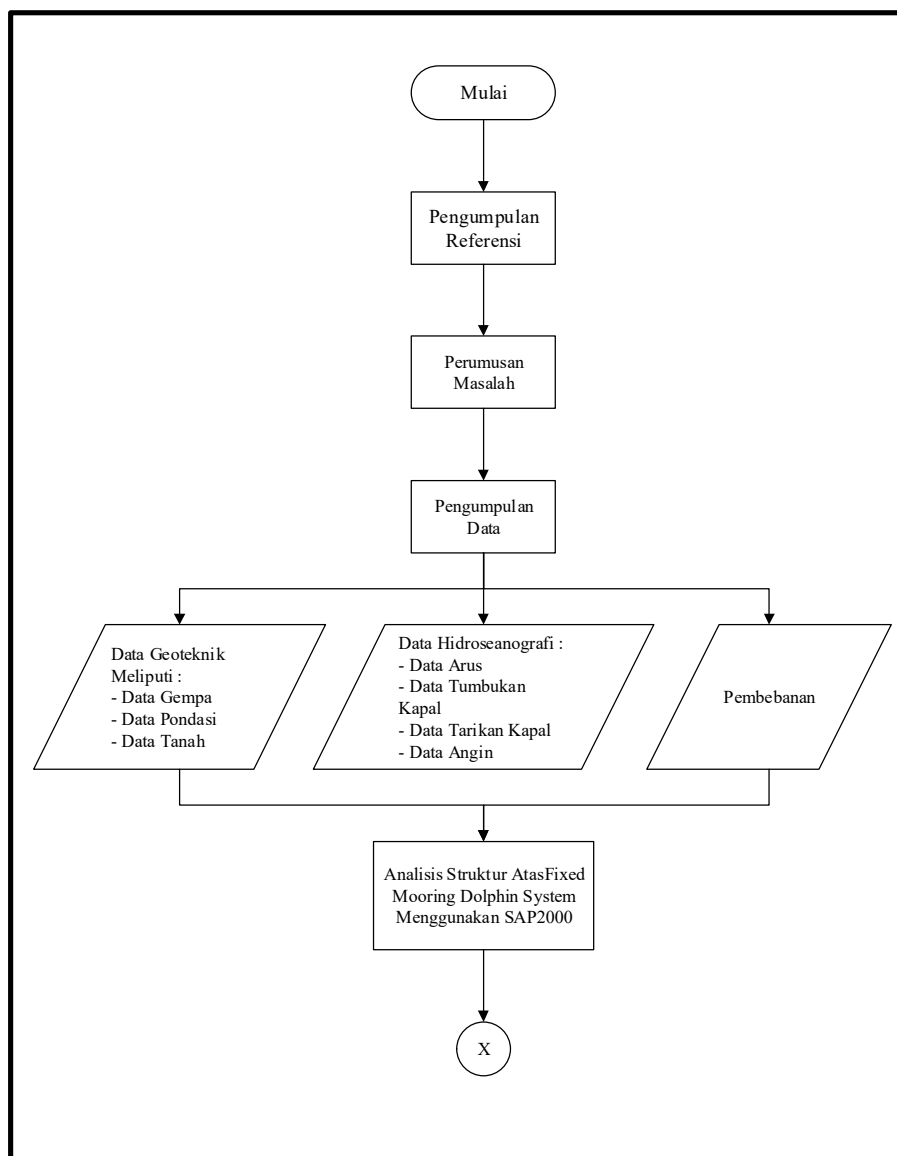
Kapasitas tiang beban lateral dibatasi dengan 3 hal yaitu :

- Kapasitas gaya geser pada tanah
- Kapasitas struktur dari tiang yang meliputi gaya geser dan momen lentur
- Deformasi pada tiang

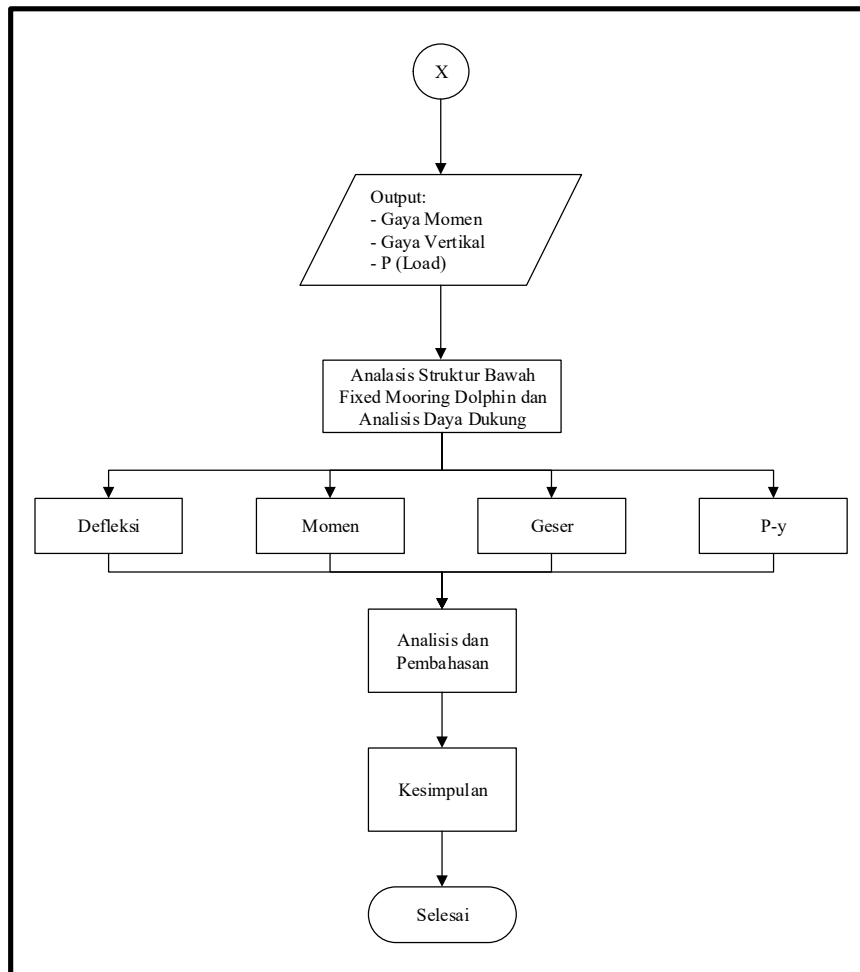
3. METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Peneltiaan

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis *Fixed Mooring Dolphin System* di lahan PT.Kaltim Prima Coal Sangatta Kalimantan Timur. Secara umum prosedur pengerjaan tugas akhir ini ditunjukkan dengan urutan langkah-langkah atau bagan alir pada Gambar 3a dan Gambar 3b.



Gambar 3a Bagan Alir



Gambar 3b Bagan Alir

4. ANALISIS DATA

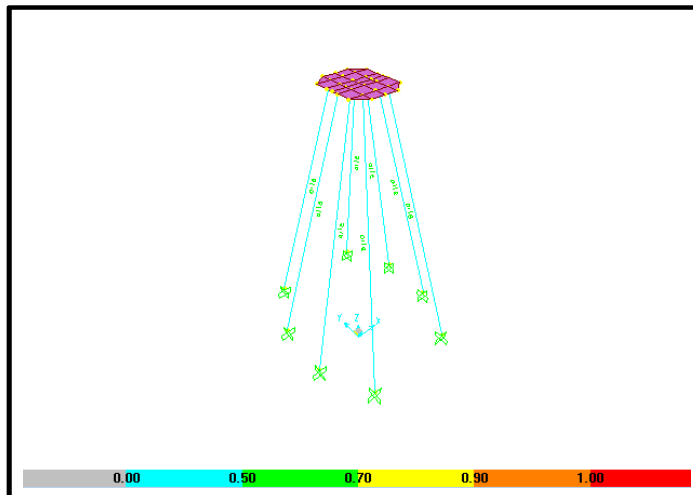
4.1 Studi Kasus

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis pada proyek Pembangunan *Fixed Mooring Dolphin* untuk kapal 80.000 DWT dengan studi kasus di Sangatta Tanjung Bara, Kalimantan Timur. Bagian struktur yang akan dianalisis meliputi gaya tarik kapal terhadap bolard, gaya tumbukan terhadap fender, gaya angin, gaya arus dan analisis daya dukung tanah. Pada penelitian ini yang akan dilakukan pemodelan adalah *Berthing Dolphin*, *Mooring Dolphin* dimana akan dilakukan variasi kemiringan dan diameter yang berbeda.

4.2 Analisa Pemodelan Tiang *Mooring Dolphin*

Pemodelan struktur didesain berdasarkan gambar teknik yang diberikan oleh konsultan perencana. Pada pemodelan mooring dolphin pondasi perteleletakan dimodelkan sebagai jepit sehingga reaksi perletakan yang digunakan adalah beban vertikal, beban geser, dan momen. Pemodelan *Mooring Dolphin* sendiri dimodelkan dalam tiga pemodelan dimana dilakukan analisis kemiringan tiang yang berbeda dengan sudut yang sama.

Mooring Dolphin yang telah di input beban-beban yang bekerja pada *Mooring Dolphin* dengan kemiringan tiang 4V:1H yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Pile *Mooring Dolphin* Kemiringan Tiang 4V:1H

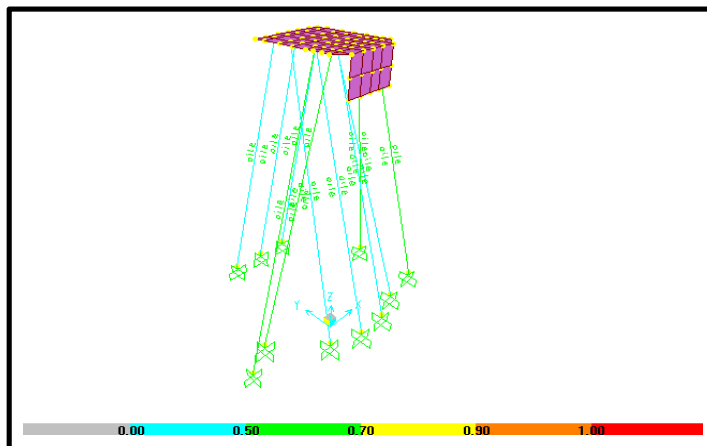
Setelah dilakukan analisa menggunakan SAP 2000, didapat gaya yang bekerja pada *Mooring Dolphin* adalah gaya geser, gaya vertikal, dan gaya momen, gaya-gaya tersebut di ambil nilai maxiumum, dalam perencanaan nilai maxium menjadi acuan. Pemodelan *Mooring Dolphin* dari analisa program SAP 2000 diperoleh sebagai berikut

Tabel 1 Nilai P, Vertikal, dan Momen pada Model *Mooring Dolphin*

Kemiringan Tiang	P (kN)	V (kN)	M (kN m)
4V:1H	1340.328	63.72	821.427
5V:1H	1137.756	53.132	567.314
6V:1H	1237.915	54.612	652.3192

4.3 Analisa Pemodelan Tiang *Berthing Dolphin*

Pemodelan *Berthing Dolphin* mengikuti gambar rencana yang dilakukan konsultan dan membandingkan dengan kemiringan yang berbeda-beda. Dimana *Berthing Dolphin* lebih banyak menerima beban dibandingkan *Mooring Dolphin*. Pemodelan *Berthing Dolphin* dimodelkan juga dalam tiga pemodelan dimana dilakukan analisis kemiringan tiang yang berbeda dengan sudut yang sama



Gambar 5 Pile *Berthing Dolphin* Kemiringan Tiang 4V:1H

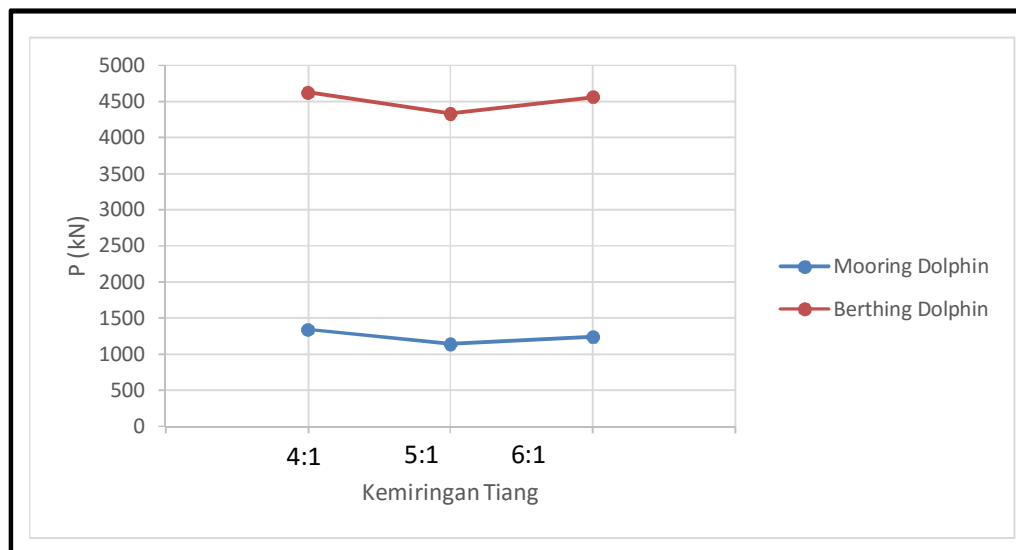
Setelah dilakukan analisa menggunakan SAP 2000, didapat gaya yang bekerja pada *Mooring Dolphin* adalah gaya geser, gaya vertikal, dan gaya momen, gaya-gaya tersebut di ambil nilai maximum, dalam perencanaan nilai maximum menjadi acuan. dapat dilihat pada tabel 2 dengan kemiringan tiang yang berbeda.

Tabel 2 Nilai P (Gaya Geser), Vertikal, dan Momen pada Model *Berthing Dolphin*

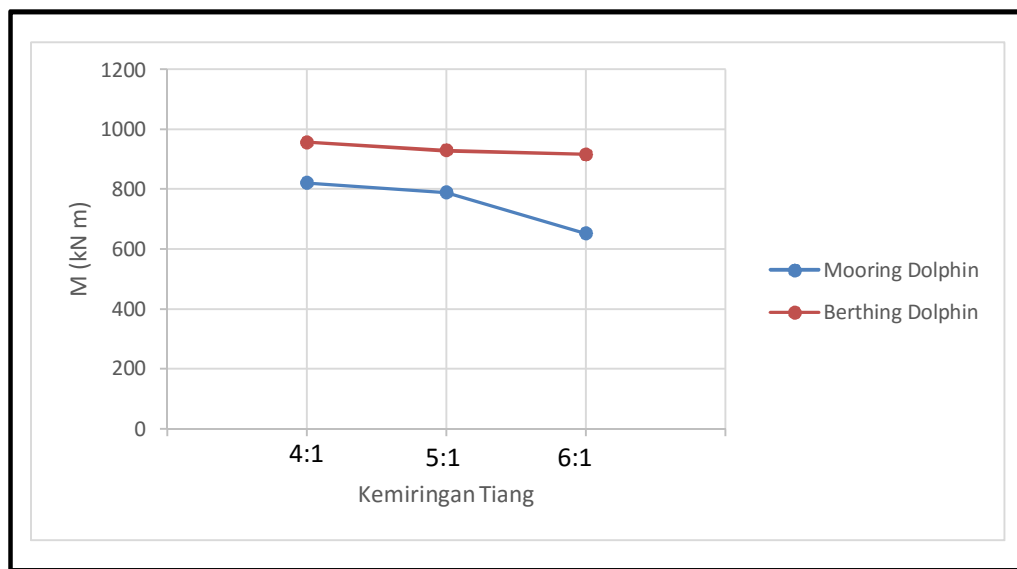
Kemiringan Tiang	P (kN)	V (kN)	M (kN m)
4V:1H	4620.918	71.148	956.7095
5V:1H	4331.215	63.126	929.7016
6V:1H	4560.049	69.709	916.4628

4.4 Analisis Pemodelan *Mooring Dolphin* dan *Berthing Dolphin* pada kemiringan tiang

Pemodelan pada struktur *Berthing Dolphin* dan *Mooring dolphin* dengan kemiringan tiang yang berbeda. Gaya momen serta lendutan yang terjadi pada tiang dalam modelisasi terjadi akibat gaya tarik kapal dan gaya bentur kapal. Pada kemiringan tiang 4V:1H dan 5V:1H diperoleh nilai momen yang besar dibandingkan dengan kemiringan tiang 6V:1H. Sudut kemiringan tiang menunjukkan semakin vertikal suatu tiang maka momen yang terjadi akan semakin besar. Hubungan antara kemiringan tiang terhadap gaya geser pada *mooring dolphin* dan *berthing dolphin* dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6 Hubungan Kemiringan Tiang Terhadap P (geser)



Gambar 7 Hubungan Kemiringan Terhadap M (momen)

4.5 Pengaruh Diameter Tiang Terhadap *Mooring Dolphin* dan *Berthing Dolphin*.

Tiang-tiang pada *Mooring Dolphin* dan *Berthing Dolphin* menggunakan profil baja berbentuk lingkaran dengan diameter 914.4 mm dan 1016 mm, dari diameter tersebut diperoleh gaya-gaya yang bekerja pada tiang seperti gaya P (geser), gaya M (momen), dan gaya V (vertikal) pada tabel 3.

Tabel 3 Nilai P (gaya geser), Vertikal, dan Momen pada Model *Mooring Dolphin* dan *Berthing Dolphin* terhadap diameter

	Diameter (mm)	P (kN)	V (kN)	M (kN m)
<i>Mooring Dolphin</i>	812.8	1335.249	55.106	73.142
	914.4	1340.328	63.72	821.427
	1016	1357.773	73.142	924.945
<i>Berthing Dolphin</i>	914.4	4527.079	60.047	783.0338
	1016	4620.918	71.148	956.7095
	1066.8	4655.601	76.728	1044.1257

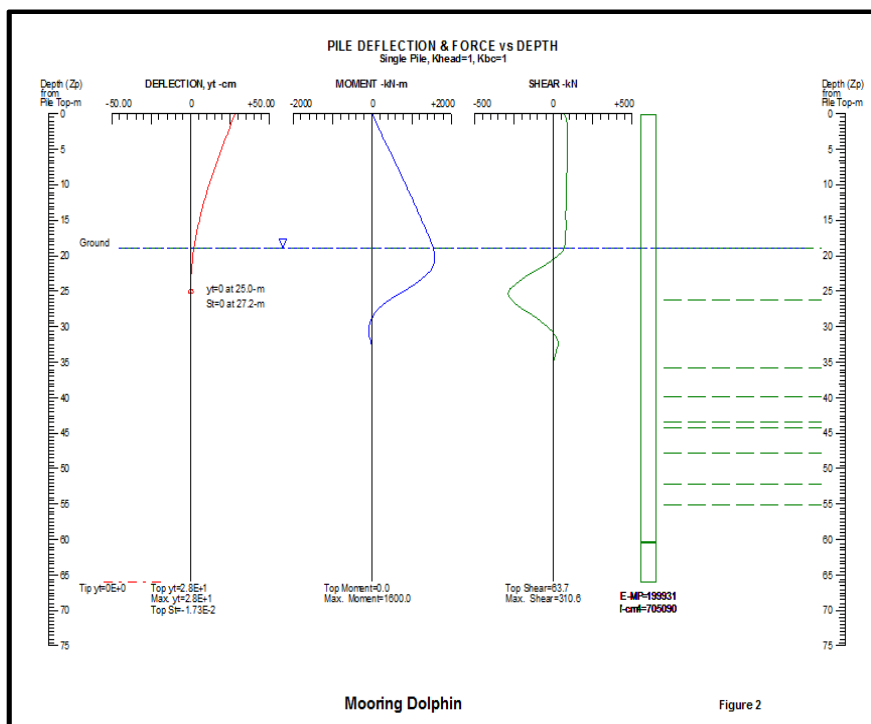
4.6 Parameter Tanah

Mendesain suatu pondasi parameter tanah adalah tahap yang sangat diperlukan, apabila salah dalam menentukan parameter tanah untuk mendesain pondasi akan mengakibatkan kesalahan fatal pada struktur yang ada di atasnya. Oleh karena itu, parameter tanah harus akurat jika ada kesalahan maka desain pondasi akan berakibat fatal. Jumlah lapisan tanah yang dapat di *input* pada perangkat lunak maksimal berjumlah 10 lapisan, lapisan dibuat menjadi 10 lapis dengan mengkategorikan jenis tanah yang mendekati antara lapisan satu dengan yang lainnya.

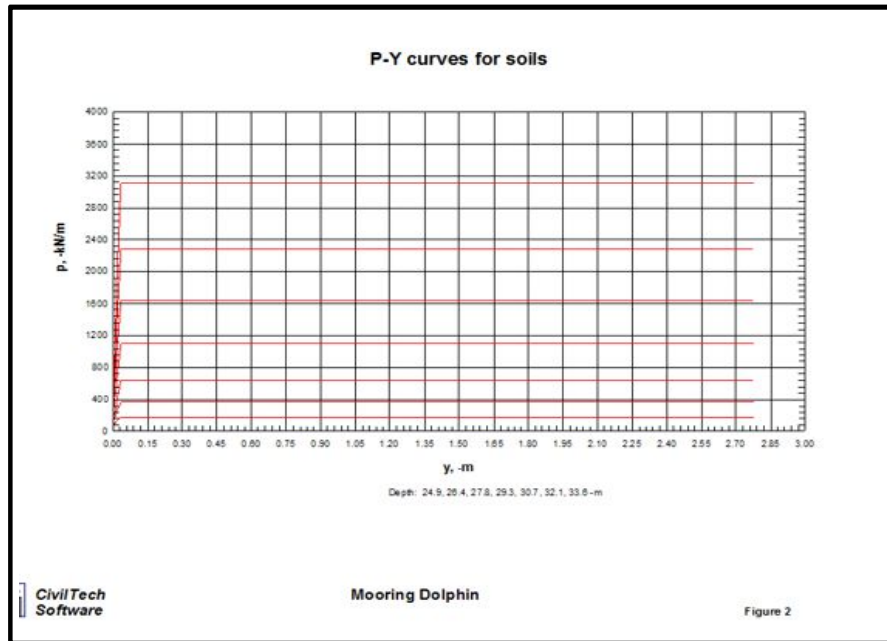
Tabel 4 Hasil Rekap Parameter Tanah

Lapisan	Kedalaman (M)	Tipe Tanah	γ -kN/m ³	Nspt	C-kN/m ³
1	0	soft clay	15.5	2	40
2	7.3	stiff clay	19	10	50
3	17	stiff clay	19	15	40
4	21	stiff clay	19	25	41
5	24.5	stiff clay	19	30	41
6	25.5	stiff clay	19	25	53
7	29	stiff clay	19	35	41
8	33.45	stiff clay	19	30	43
9	36.3	stiff clay	19	32	48
10	60.45	stiff clay	19	35	52

Parameter yang dibutuhkan sudah diinput, langkah selanjutnya *running* aplikasi pada arah vertikal maupun arah lateral. Dalam analisis daya dukung dengan aplikasi *Pile*, dilakukan percobaan dengan diameter yang berbeda dapat dilihat pada Gambar dan Gambar 10

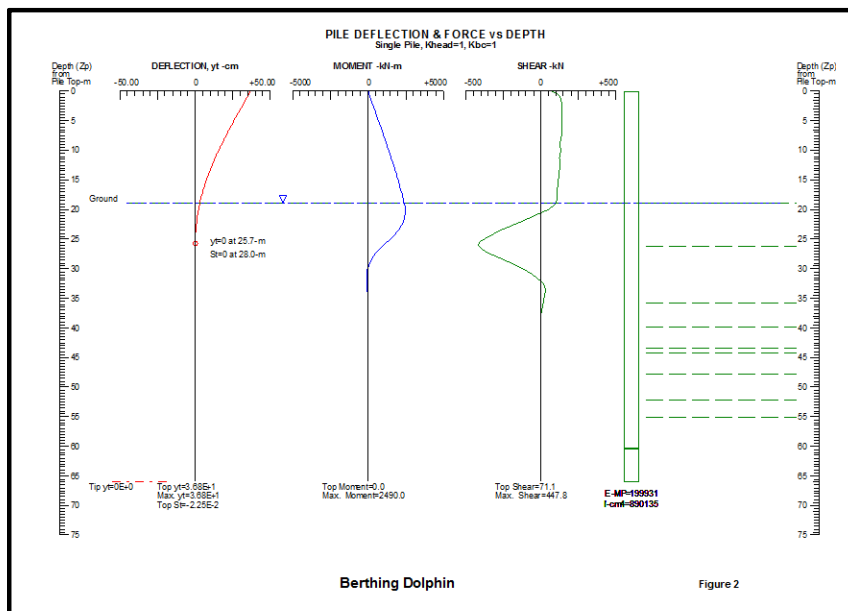


(a)

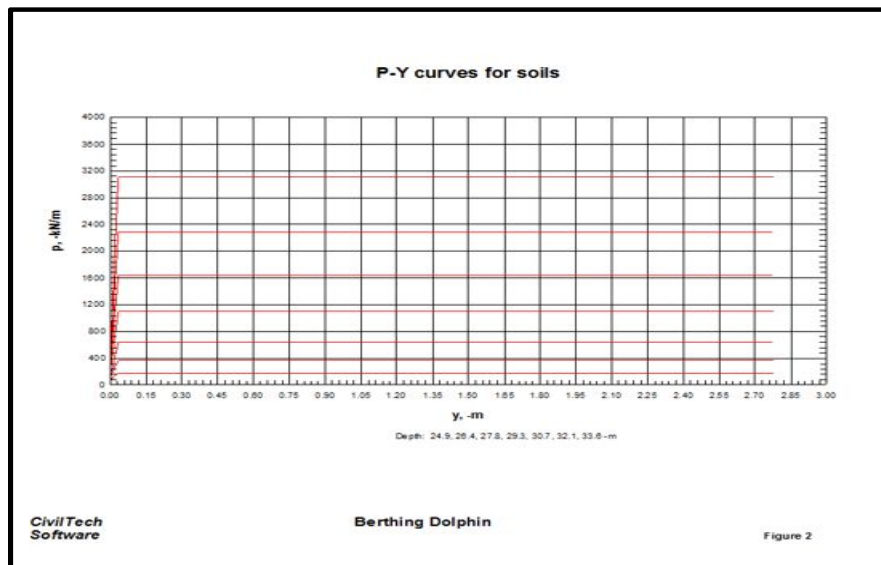


(b)

Gambar 9 Mooring Dolphin diameter 914.4 mm beserta hasil defleksi, momen, dan geser (a), (b) dan Hasil kurva P-Y



(a)



(b)

Gambar 10 *Berthing Dolphin* diameter 1016 mm beserta hasil defleksi, momen, dan geser (a), (b) dan Hasil kurva P-Y

5. KESIMPULAN

Pemodelan tiang dengan kemiringan yang berbeda berdasarkan studi kasus *Fixed mooring dolphin*, dilakukan untuk mengetahui desain mana yang paling stabil. Kemiringan 4V:1H diameter 914.4 mm dengan nilai $P = 1340.328\text{kN}$, $V = 63.72\text{kN}$, $M = 821.427\text{kN}$ dan diameter 1016 mm dengan nilai $P = 4620.918\text{kN}$, $V = 71.148\text{kN}$, $M = 956.7095\text{kN}$ adalah yang paling stabil dan memenuhi kriteria desain. Faktor yang mempengaruhi momen *ultimate* pada tiang, semakin banyak tiang, semakin kecil momen yang terjadi dan apabila tiang lebih sedikit maka momen yang terjadi akan semakin besar. Sudut kemiringan tiang semakin vertikal suatu tiang maka momen yang terjadi akan semakin besar, dan sebaliknya semakin besar sudut kemiringan tiang maka momen akan semakin kecil. Pada struktur bawah pemodelan dilakukan pada kemiringan 4V:1H pemodelan tiang dengan diameter yang berbeda dilakukan untuk mengetahui sifat defleksi, momen, dan gaya geser yang lebih efisien pada suatu desain dengan diameter 914.4 mm dengan nilai $P = 1340.328\text{kN}$, $V = 63.72\text{kN}$, $M = 821.427\text{kN}$ dan diameter 1016 mm dengan nilai $P = 4620.918\text{kN}$, $V = 71.148\text{kN}$, $M = 956.7095\text{kN}$. Hasil ini akan diinput pada program aplikasi *pile* untuk mendapatkan nilai defleksi, momen, dan geser pada pile pada diameter 914.4 mm dengan hasil defleksi = 25 cm, momen = 1800kN-m, dan geser = -250kN dan pada diameter 1016 mm dengan hasil defleksi=26 cm, momen=2500 kN-m, dan geser = -470kN adalah yang paling efisien dan memenuhi kriteria desain.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Standardisasi Nasional. RSNI Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
- Bowles, J.E. 1996, "*Foundation Analysis and Design (5th Edition)*", New York : McGraw-Hill
- Braja, M Das, *Principles Of Geotechnical Engineering* edisi 7
- Das, Braja M. 2006, "*Principles of Geotechnical Engineering Fifth Edition*", California : Thomson.
- Dean, E.T.R, "*Offshore Geotechnical Engineering*", London : Thomas Belford
- Geotechnical Engineering Office. 2006, *Foundation Design and Construction* Hongkong: Geo Publication
- Kadimadibrata, Soedjono. 1985 *Perencanaan Pelabuhan* Bandung: Ganeca Exact
- Royal HaskoningDHV, Feed Report Mooring Structure
- The Overseas Coastal Area Development Institute Of Japan. 1991, *Technical Standards for port and Harbour Facilities in Japan*