

BAB 5

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Analisis Data

Diperlukan pengumpulan data dan analisis mengenai analisis struktur *breasting dolphin* dan *mooring dolphin* untuk kapal tanker 10.000 DWT ini. Data-data yang digunakan diantaranya, peta batimetri, data pasang surut, data arus, data angin, data tanah dan data kapal. Data-data yang telah disebutkan didapat dari berbagai sumber. Selanjutnya, data-data yang diperoleh dari hasil penelitian kemudian dianalisis dengan langkah-langkah berikut :

a. Data Peta Batimetri

Dalam menganalisa struktur *dolphin*, peta batimetri digunakan untuk menentukan elevasi struktur *dolphin* secara tepat. Selain itu, peta batimetri ini dapat digunakan untuk memperkirakan kedalaman perairan laut yang aman bagi kapal. Peta batimetri yang digunakan merupakan peta pembangunan dermaga *jetty* wilayah perairan PT. XYZ Kota Cilegon tahun 2022. Peta ini merupakan peta yang digunakan khusus untuk perencanaan dermaga *jetty* yang didapat dari sub kontraktor yang bersangkutan. Dari data yang didapat terlihat bahwa kondisi kedalaman perairan sekitar dermaga kapal tanker di Kota Cilegon, pada bagian *dolphin* memiliki kedalaman sekitar -12,89 m mLWS. Peta batimetri dapat dilihat pada Gambar 5.1 dengan koordinat 5°58'18"N, 105°59'09"E.

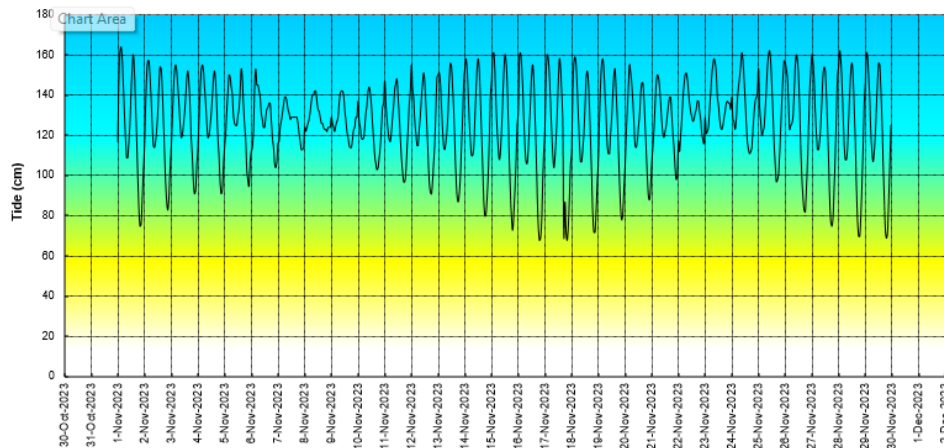


Gambar 5.1 Peta Batimetri Pembangunan Dermaga *Jetty* PT. XYZ

(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

b. Data Pasang Surut

Data pasang surut digunakan sebagai acuan untuk penetapan elevasi kontur tanah dan elevasi seluruh bangunan, sehingga kondisi kedalaman perairan dan elevasi posisi kering dari struktur struktur dermaga dapat ditentukan. Data pasang surut ini didapat dari Badan Informasi Geospasial (BIG) di stasiun pelabuhan PT. PELINDO cabang Banten. Pengukuran dilakukan selama 30 hari (01 November 2023 – 30 November 2023). Untuk mengetahui pasang surut periode berikutnya maka dilakukan analisis dengan menggunakan metode *admiralty* 29 Piantan. Berikut merupakan hasil analisis yang dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Pasang Surut Bulan November 2023

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Hasil perhitungan berdasarkan formula Surimiharja (1997) dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Elevasi Pasang Surut Berdasarkan Formula Surimiharja (1997)

Water Level Compone	Tides Components									
	S_0	M_2	S_2	N_2	K_1	O_1	M_4	MS_4	K_2	P_1
A (cm)	70,00	26,11	18,40	3,04	10,61	4,89	0,56	0,36	4,35	1,84
g^0	0	311,89	25,7	625,78	636,55	241,29	466,07	219,32	25,7	636,55
MSL	70 cm		0,70 m		Mean Sea Level					
HAT	140 cm		1,40 m		Highest Astronomical Tide					
MHWL	130 cm		1,30 m		Mean High Water Level					
MLWL	9 cm		0,09 m		Mean Low Water Level					
LAT	0 cm		0,00 m		Lowest Astronomical Tide					

(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

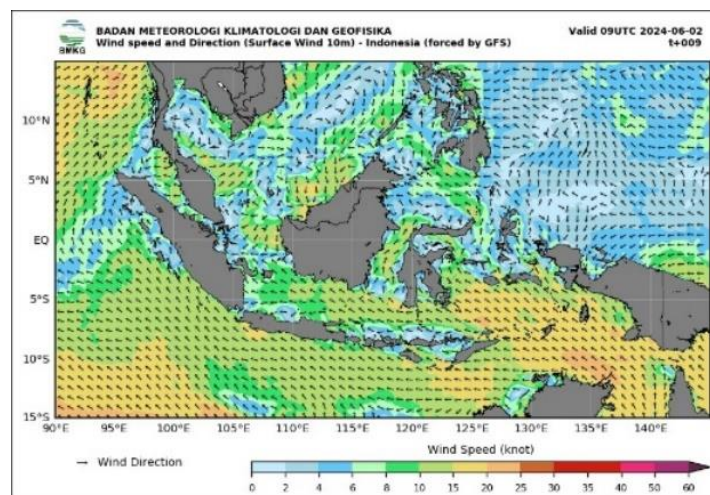
Berdasarkan analisis harmonik metode *admiralty* 29 Piantan dapat ditentukan kondisi muka air laut dari masing-masing kondisi pasang surut. Dengan mengambil LAT sebagai titik nol, maka dapat ditentukan bahwa :

- 1) Tipe pasang surut pada Lokasi ini adalah campuran dominan semi diurnal
- 2) Elevasi *Mean High Water Level* (MHWL) pada + 1,30 m mLWS
- 3) Elavasi *Mean Sea Level* (MSL) pada + 0,70 m mLWS
- 4) Elevasi *Highest Astronomical Tide* (HAT) pada $\pm 1,40$ m mLWS

c. Data Arus

Pada umumnya arus yang terjadi di sepanjang pantai disebabkan oleh perbedaan muka air pasang surut antara satu lokasi dengan lokasi yang lain, sehingga perilaku arus dipengaruhi pola pasang surut. Berdasarkan data arus yang diperoleh dari web BMKG untuk lokasi pembangunan *jetty* PT. XYZ Kota Cilegon pada bulan Juni 2025 dapat diketahui bahwa :

- 1) Kecepatan arus berkisar antara 0,5 – 1,2 m/s.
- 2) Arah arus dominan pada lokasi perencanaan mengarah dari barat daya menuju ke barat laut.
- 3) Kecepatan arus di lokasi perencanaan relatif kecil karena berada diperairan yang tertutup pulau.
- 4) Arus tidak mengganggu manuver kapal karena tidak terjadi *cross current* dan kecepatan arus juga tidak melebihi kecepatan maksimum yang diizinkan yakni 3 knot (1,5 m/s).



Gambar 5.3 Arah Arus Bulan Juni 2024

(Sumber: Data Analisa BMKG, 2025)

d. Data Angin dan Gelombang

Informasi tentang arah dan kecepatan angin sangat diperlukan dalam mempelajari proses pantai. Angin merupakan unsur pembentuk gelombang yang paling dominan. Dengan adanya angin, permukaan air laut yang tenang akan mengalami gangguan pada permukaannya sehingga menimbulkan gelombang. Data angin yang digunakan diukur dalam periode 3 jam perhari selama 5 tahun (tahun 2019 – 2023). Data ini didapatkan dari BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Kelas I Merak. Koordinat lokasi data angin 5°58'18"N, 105°59'09"E.



Gambar 5.4 Windrose Perairan Kota Cilegon

(Sumber: Data Analisa BMKG, 2025)

Berdasarkan data yang diolah menggunakan *software* WRPLOT yaitu data kecepatan rata-rata angin dan arah angin terbanyak pada tahun 2019-2023 diketahui bahwa angin dominan bertiup dari arah barat - barat daya (WSW) dengan kecepatan 12,2 – 45 m/s. Kecepatan tersebut dihitung berdasarkan kecepatan rata-rata angin dan arah angin dominan tiap bulan selama 5 tahun oleh stasiun BMKG yang berada di wilayah Serang.

Data gelombang yang diperoleh berupa data kecepatan rata-rata angin dan arah angin terbanyak pada tahun 2019-2023 yang telah diolah oleh BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Kelas I Merak, untuk tinggi gelombang maksimum sebesar 2,8 m dengan periode gelombang 16,4 s dan tinggi rerata gelombang sebesar 0,98 m dengan periode gelombang 8 s.

Data penyelidikan tanah sangat diperlukan khususnya untuk perencanaan struktur, baik untuk struktur bangunan bawah (tiang pancang), jalan atau area terbuka lain. Untuk perencanaan struktur tiang pancang, analisa data tanah dilakukan untuk mendapatkan daya dukung izin terhadap kedalaman tiang pancang. Data tanah yang dipergunakan diperoleh dari pekerjaan *soil investigation* oleh sub kontraktor di lokasi pembangunan dermaga PT. XYZ Kota Cilegon. Data yang digunakan adalah data pada titik DBH-20 koordinat 0°04'31.30"N 117°28'56.10"E yang dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Berdasarkan hasil pengeboran di lapangan didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 5.2 Data Hasil Pengeboran N-SPT

Lapis ke-i	D	Tebal lapisan (di)	N-SPT	di/N
1	0	0	0	0
2	1,5	1,5	1	1,500
3	3	1,5	2	0,750
4	4,5	1,5	8	0,188
5	6	1,5	94	0,016
6	7,5	1,5	94	0,016
7	9	1,5	97	0,015
8	10,5	1,5	98	0,015
9	12	1,5	100	0,015
10	13,5	1,5	100	0,015
11	15	1,5	100	0,015
12	16,5	1,5	100	0,015
13	18	1,5	100	0,015
14	19,5	1,5	100	0,015
15	21	1,5	100	0,015
16	22,5	1,5	100	0,015
17	24	1,5	100	0,015
18	25,5	1,5	100	0,015
19	27	1,5	100	0,015
20	28,5	1,5	100	0,015
Σ		28,5		2,680
Maka		10,63359459	SE (Tanah Lunak)	

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{N_i}} = \frac{28,5}{2,680} = 10,634$$

Tabel 5.3 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa			
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

(Sumber: SNI 1726-2019)

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa tanah tersebut termasuk kategori tanah lunak karena N sebesar $10,634 < 15$.

f. Data Kapal

Tabel 5.4 Dimensi Kapal Tanker

No	DWT (t)	<i>Displacement</i> (m)	<i>L_{OA}</i> (m)	<i>L_{BP}</i> (m)	<i>Breadth</i> (m)	<i>Depth</i> (m)	<i>Draft</i> (m)
1.	120.000	137,520	250	239	44	21	15,23
2.	80.000	90,305	228	219	32,3	20,69	14,52
3.	50.000	60,553	183,21	174	32,2	18,8	13,03
4.	10.000	12,185	114,40	107,2	18,2	10	7,98
5.	8.000	11,347	113	105,4	18,2	9,6	7,62
6.	5.000	5,774	89,96	85	14,6	7,55	6,24
7.	3.000	4,070	84,35	78,5	13	6,20	5,45
8.	1.000	1,788	64,52	61	10,3	4,5	4,03

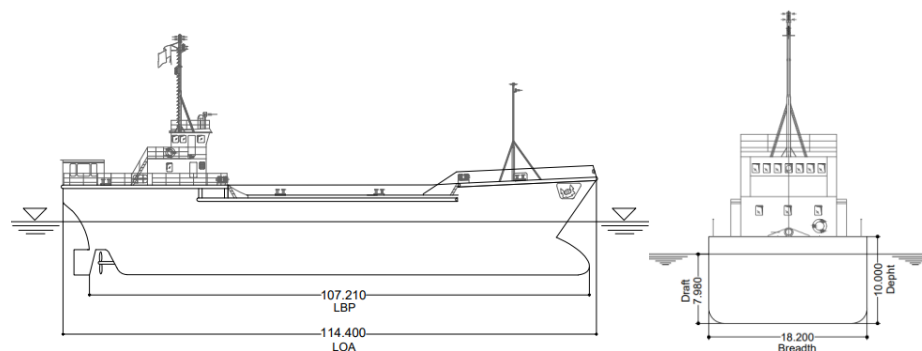
(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

Kapal tanker dengan kapasitas 10.000 DWT merupakan kapal rencana yang akan digunakan untuk perencanaan bangunan dermaga ini. Kapal tanker merupakan kapal yang dirancang untuk mengangkut minyak atau produk turunannya. Dimensi pada kapal tanker 10.000 DWT dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Gambar 5.6.

Tabel 5.5 Dimensi Kapal Tanker 10.000 DWT

<i>Dead Weight Tonnage (DWT)</i>	10.000	ton
<i>Length Over All (L_{OA})</i>	114,4	m
<i>Length Between Perpendicular (L_{BP})</i>	107,2	m
<i>Breadth (B)</i>	18,2	m
<i>Depth (d)</i>	10	m
<i>Draft (D)</i>	7,98	m

(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)



Gambar 5.6 Dimensi Kapal Tanker 10.000 DWT

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

5.2 Pedoman yang Digunakan

Dalam analisis struktur *breasting dolphin* dan *mooring dolphin* untuk kapal tanker 10.000 DWT ini, peraturan dan acuan yang digunakan diantaranya:

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2009 Tentang Kepelabuhanan.
- Standar Nasional Indonesia 03-1726-2019 Tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Digunakan untuk perhitungan beban gempa.
- Buku Perencanaan Pelabuhan, Bambang Triatmodjo 2009. Digunakan untuk perhitungan gaya yang terjadi dan kombinasi pembebanan pada struktur *Dolphin*.
- Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan* 2002, *The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan* (OCDI). Digunakan untuk perencanaan *layout* perairan dan daratan.
- Guidelines for the Design of Fenders Systems* 2002, *Permanent International Association of Navigation Congresses* (PIANC). Digunakan untuk perhitungan energi yang terjadi pada *fender*.

5.3 Kedalaman Alur Pelayaran

Alur pelayaran berfungsi sebagai jalan masuk dan keluar kapal dari dan menuju dermaga.

Diketahui :

- | | |
|---|--|
| a. Bobot Kapal (DWT) | = 10.000 ton |
| b. Berat Total Kapal (W_t) | $= \alpha \times (DWT)^\beta$
$= 2,028 \times (10.000)^{0,954}$
$= 13276,02 \text{ ton}$ |
| c. Panjang Kapal (L_{OA}) | = 114,4 m |
| d. <i>Length Between Perpendicular</i> (L_{BP}) | $= 0,852 \times L_{OA}^{1,0201}$
$= 107,2 \text{ m}$ |
| e. Lebar Kapal (B) | = 18,2 m |
| f. <i>Draft</i> (d) | = 7,98 m |
| g. Sudut merapat (Φ) | = 10° |
| h. Gravitasi Bumi | = 9,81 m/det ² |

$$\begin{aligned}
 \text{i. Kedalaman Air (h)} &= 1,1 \times d \\
 &= 1,1 \times 7,98 \\
 &= 8,78 \text{ m dibulatkan menjadi } 9 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data yang diperoleh, persamaan yang digunakan untuk mendapatkan kedalaman alur ideal adalah :

$$H = D + G + z + R$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 1) \ D &= \text{draft kapal} \\
 &= 7,98 \text{ m} \\
 2) \ G &= \text{gerakan vertikal kapal karena gelombang} \\
 &= 0,5 \times B \times \sin \alpha \\
 &= 0,5 \times 18,2 \times \sin 10^\circ \\
 &= 1,5802 \text{ m} \\
 3) \ z &= \text{squat} \\
 &= 2,4 \times \frac{\Delta \times Fr^2}{L_{pp}^2 \times \sqrt{(1-Fr^2)}}
 \end{aligned}$$

Dengan :

$$\begin{aligned}
 \Delta &= d \times L_{pp} \times B \\
 &= 7,98 \times 107,2 \times 18,2 \\
 &= 15570,92 \text{ m}^3 \\
 Fr &= \text{angka } Fraude \\
 &= \frac{V}{\sqrt{g \times h}} \\
 &= \frac{0,15}{\sqrt{9,81 \times 9}} \\
 &= 0,0160
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 z &= 2,4 \times \frac{\Delta}{L_{pp}^2} \times \frac{Fr^2}{\sqrt{(1-Fr^2)}} \\
 &= 2,4 \times \frac{15570,92}{107,2^2} \times \frac{0,0160^2}{\sqrt{(1-0,0160^2)}} \\
 &= 0,00083 \text{ m} \\
 4) \ R &= \text{ruang kebebasan bersih}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,2 \times d \\
&= 0,2 \times 7,98 \\
&= 1,596 \text{ m}
\end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
H &= d + G + z + R \\
&= 7,98 + 1,5802 + 0,00083 + 1,596 \\
&= 11,157 \text{ m}
\end{aligned}$$

Dari perhitungan kedalaman alur pelayaran untuk kapal tanker 10.000 DWT didapat kedalaman sebesar 11,157 m dan dikatakan aman karena data batimetri kondisi kedalaman perairan disekitar dermaga kapal tanker memiliki kedalaman sekitar 12,89 m mLWS.

Tabel 5.6 menunjukkan dimensi dermaga yang didapat dari subkontraktor Perencanaan Dermaga *Berth 5 Jetty PT. XYZ*.

Tabel 5.6 Dimensi Dermaga *Berth 5 Jetty PT. XYZ*

Dimensi	Nilai (m)
Panjang Dermaga	145
Lebar Dermaga	34,5
Kedalaman Dermaga	12,89
Elevasi <i>Dolphin</i>	5,6

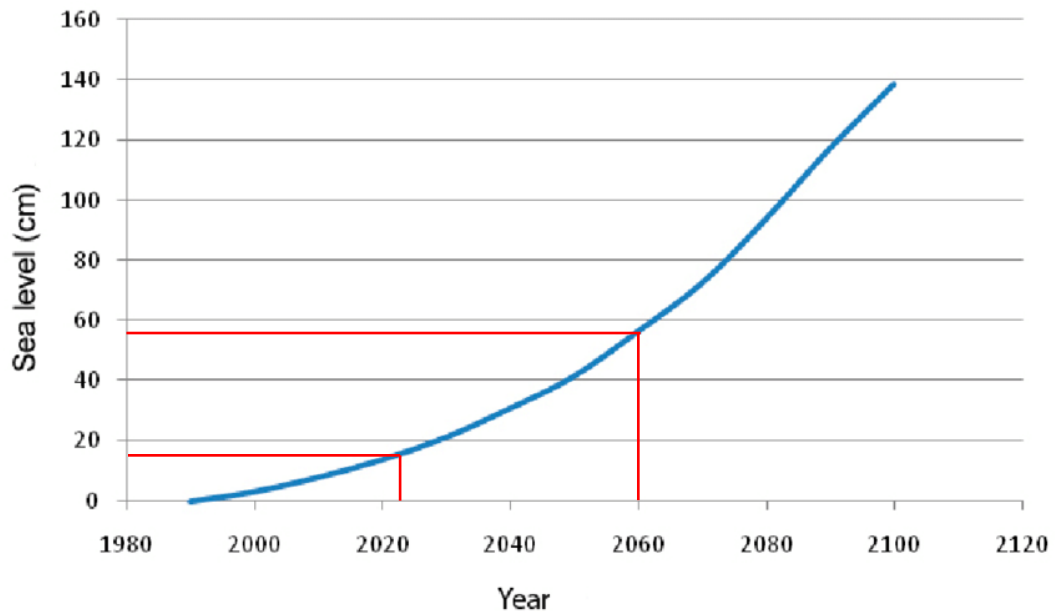
(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

5.4 Elevasi Dermaga

Elevasi dermaga didapat dari hasil perhitungan pasang surut (MHWL) ditambah tinggi gelombang yang terjadi akibat angin dan tinggi jagaan (0,5 m). Dari hasil perhitungan didapat elevasi dermaga :

Diketahui :

- Mean High Water Level* (MHWL) = 1,3 m
- Tinggi gelombang = 2,8 m
- Tinggi jagaan = 0,5 m
- Sea Level Rise* (SLR) 2025 = 0,18 m
- Sea Level Rise* (SLR) 2050 = 0,58 m
- Total *Sea Level Rise* (SLR) = 0,58 – 0,18
= 0,40 m



Gambar 5.7 Grafik *Sea Level Rise*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

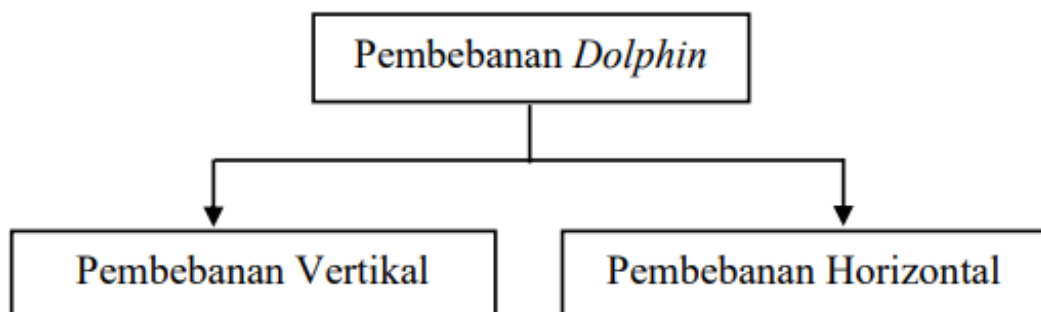
Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi dermaga} &= \text{MHWL} + \text{Tinggi gelombang} + \text{Tinggi jagaan} + \text{SLR} \\
 &= 1,3 + 2,8 + 0,5 + 0,4 \\
 &= 5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan elevasi dermaga didapat sebesar 5 m dan dikatakan aman karena data *layout* kondisi struktur *breasting dolphin* dan *mooring dolphin* dermaga *jetty* untuk kapal tanker 10.000 DWT memiliki ketinggian sekitar 5,67 m.

5.5 Perhitungan Pembebanan *Dolphin*

Pada perhitungan pembebanan struktur *dolphin* terdiri dari pembebanan vertikal dan pembebanan horizontal.

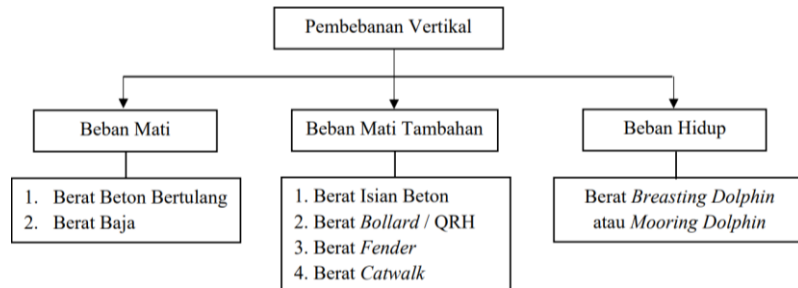


Gambar 5.8 *Flowchart* Pembebanan Struktur *Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

5.5.1 Pembebanan Vertikal

Pembebanan vertikal merupakan pembebanan yang arahnya tegak lurus bidang horizontal yang terdiri dari :



Gambar 5.9 Flowchart Pembebanan Vertikal Struktur Dolphin

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Struktur *breasting dolphin* menggunakan gaya-gaya atau pembebanan diatas. Sedangkan, struktur *mooring dolphin* tidak terdapat beban mati tambahan untuk beban *fender*.

a. Berat mati

Beban mati yang diperhitungkan dalam analisis desain adalah beban berat sendiri struktur. Dimana berat struktur terdiri dari berat jenis material baja dan beton sebagai berikut :

- 1) Berat Beton Bertulang = $2,400 \text{ kg/m}^3$
- 2) Berat Baja = $7,850 \text{ kg/m}^3$

b. Beban mati tambahan

Beban mati tambahan yang diperhitungkan dalam analisis desain adalah beban *equipment* yang bersifat permanen sebagai berikut :

1) Berat Isian Beton

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal Tiang} &= 21,00 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi Isian Beton} &= 1,50 \text{ m} \\
 \text{Diameter Luar} &= 1066,8 \text{ mm} \\
 \text{Diameter Dalam} &= \text{Diameter luar} - (\text{Tebal tiang} \times 2) \\
 &= 1066,8 - (21,00 \times 2) \\
 &= 1024,8 \text{ mm} \\
 \text{Area} &= 0,25 \times \pi \times \text{Diameter dalam}^2 \\
 &= 0,25 \times 3,14 \times 1024,8^2 \\
 &= 0,82 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= \text{Area} \times \text{Tinggi Infill Concrete} \\
 &= 0,82 \times 1,50 \\
 &= 1,24 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

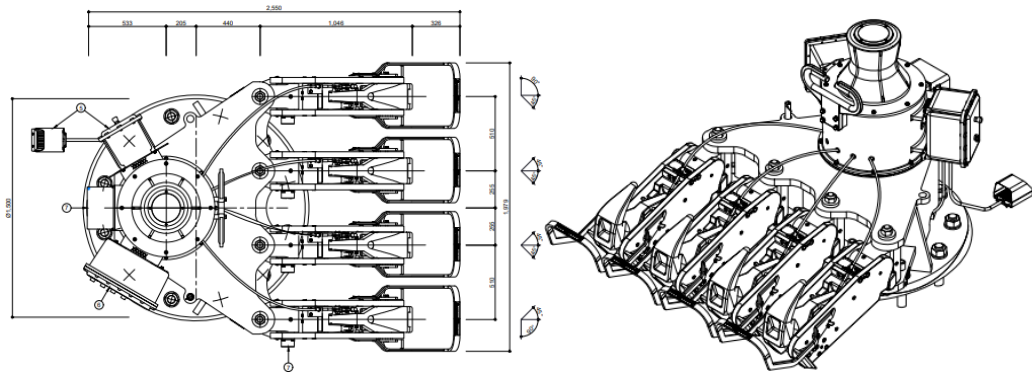
$$\begin{aligned}
 \text{Beban Isian Beton} &= \text{Volume} \times \text{Berat Beton Bertulang} \\
 &= 1,24 \times 2,4 \\
 &= 2,97 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

2) Quick Release Hook dan Bollard

a) Quick Release Hook

Berikut merupakan tipe *Quick Release Hook* yang digunakan :

Quick Release Hook 75T Triple



Gambar 5.10 *Quick Release Hook 75T Triple*

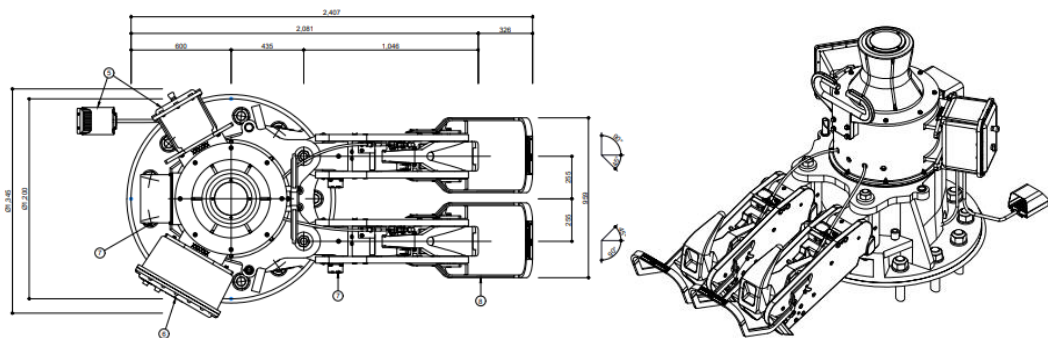
(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

$$W_{QRHTriple} = 3,3 \text{ ton}$$

$$\text{Kapasita}_{QRHTriple} = 225 \text{ ton}$$

QRH 75T Triple ini digunakan pada bangunan *Mooring Dolphin*.

Quick Release Hook 75T Double



Gambar 5.11 *Quick Release Hook 75T Double*

(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

$$W_{QRHDouble} = 2,4 \text{ ton}$$

$$\text{Kapasita}_{QRHDouble} = 150 \text{ ton}$$

QRH 75T Triple ini digunakan pada bangunan *Breasting Dolphin*.

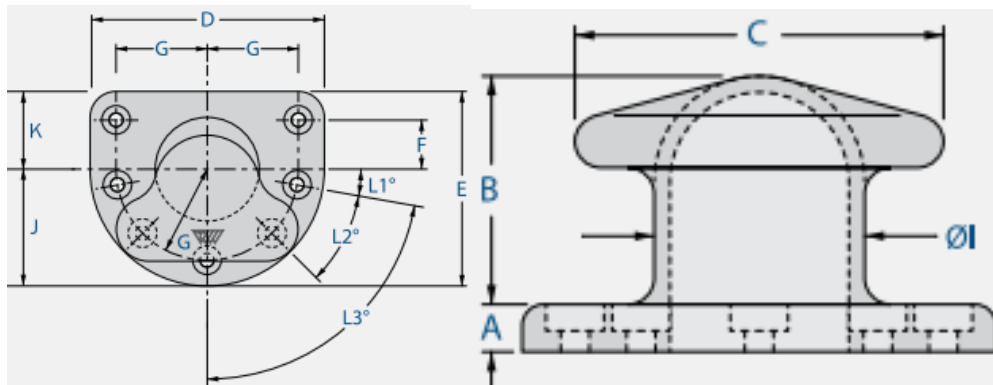
b) *Bollard*

Berat *Bollard* dihitung berdasarkan volume *Bollard* dan massa jenisnya.

Volume perhitungan dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian badan

Bollard dan sambungan *Bollard*. Sehingga, perhitungan volume *Bollard*

dapat dihitung sebagai berikut :



Gambar 5.12 Tee Bollard

(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

Tabel 5.7 Dimensi Tee Bollard

DIMENSION	BOLLARD CAPACITY (tons)											
	10	15	22.5	30	50	80	100	125	150	200	250	300
A	32	40	40	40	50	70	80	80	90	90	120	155
B	205	235	255	255	350	380	410	410	435	500	610	670
C	220	340	350	350	500	550	600	600	700	800	930	980
D	216	410	430	450	640	640	790	850	900	1000	1090	1200
E	236	335	355	375	540	550	640	700	750	850	915	925
F	75	80	90	100	150	160	175	175	200	225	250	200
G	65	155	165	175	250	250	325	325	350	375	425	475
ØI	120	160	180	200	260	280	350	350	400	450	500	500
J	118	205	215	225	320	320	395	425	450	500	545	600
K	118	130	140	150	220	230	245	275	300	350	370	325
L1°	-	30°	30°	30°	30°	15°	10°	10°	10°	-	5°	23°
L2°	-	-	-	-	-	45°	40°	40°	40°	36°	34°	26°
L3°	-	60°	60°	60°	60°	-	80°	80°	80°	72°	68°	52°
Bolts	M20	M24	M30	M30	M36	M42	M42	M48	M48	M56	M64	M64
Bolt Length	450	500	500	500	500	800	800	900	1000	1000	1375	1550
P	47	55	55	55	65	85	95	95	105	105	135	170
Quantity	4	5	5	5	5	6	7	7	7	8	8	10

P = bollard base recess mounting depth including grout

[units: mm]

(Sumber: Brosur Trelleborg, 2025)

$$\begin{aligned}
V_B &= V_S + V_F \\
&= \left(\frac{1}{2} \pi \varnothing^2 \times B\right) + (D \times E \times A) \\
&= \left(\frac{1}{2} \pi 0,26^2 \times 0,35\right) + (0,64 \times 0,54 \times 0,05) \\
&= 0,05445 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai volume *Tee Bollard*, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai beban mati *Tee Bollard* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
W_B &= \rho_{QRH} \times g \times V_B \\
&= 7850 \times 9,81 \times 0,05445 \\
&= 4192,73 \text{ kg/m}^3 \\
&= 4192,73 \times 0,0011 \\
&= 4,612 \text{ ton}
\end{aligned}$$

3) *SCN Fender*

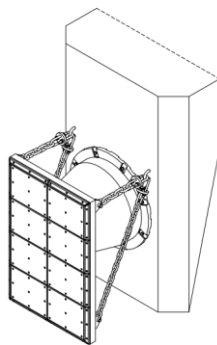
Nilai berat *fender* dapat dilihat pada tabel brosur pemilihan jenis *fender* milik fentek. Berikut merupakan tipe *SCN fender* yang digunakan :

a) *SCN fender 1600*

$$\begin{aligned}
W_{F1600} &= 4645 \text{ kg/m}^3 \\
&= 4645 \times 0,0011 \\
&= 5,1095 \text{ ton}
\end{aligned}$$

b) *SCN fender 1800*

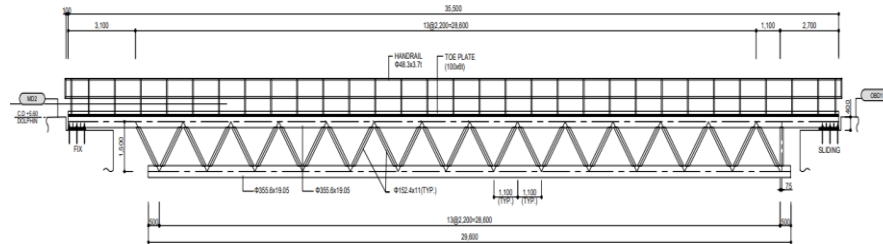
$$\begin{aligned}
W_{F1800} &= 6618 \text{ kg/m}^3 \\
&= 6618 \times 0,0011 \\
&= 7,2798 \text{ ton}
\end{aligned}$$



Gambar 5.13 *SCN fender 1600*

(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

4) Catwalk



Gambar 5.14 Catwalk

(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

a) Handrail

$$\text{Tebal} = 3,7 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Luar} = 48,3 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Dalam} = \text{Diameter luar} - (\text{Tebal} \times 2)$$

$$= 48,3 - (3,7 \times 2)$$

$$= 40,9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Area} &= (0,25 \times \pi \times \text{Diameter luar}^2) - (0,25 \times \pi \times \text{Diameter dalam}^2) \\ &= (0,25 \times 3,14 \times 48,3^2) - (0,25 \times 3,14 \times 40,9^2) \\ &= 518,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Panjang Catwalk} = 3400 \text{ mm}$$

$$\text{Volume} = \text{Area} \times \text{Panjang Catwalk}$$

$$= 518,43 \times 3400$$

$$= 1762647,11 \text{ mm}^3$$

$$\text{Berat Total} = \text{Volume} \times \text{Berat Jenis Baja}$$

$$= \frac{1762647,11}{100000000} \times 7,85$$

$$= 0,14 \text{ ton}$$

b) Grating

$$\text{Lebar catwalk} = 1,4 \text{ m}$$

$$\text{Beban grating} = 0,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Beban tributary} = \frac{\text{Lebar catwalk} \times \text{Beban grating}}{2}$$

$$= \frac{1,4 \times 0,5}{2}$$

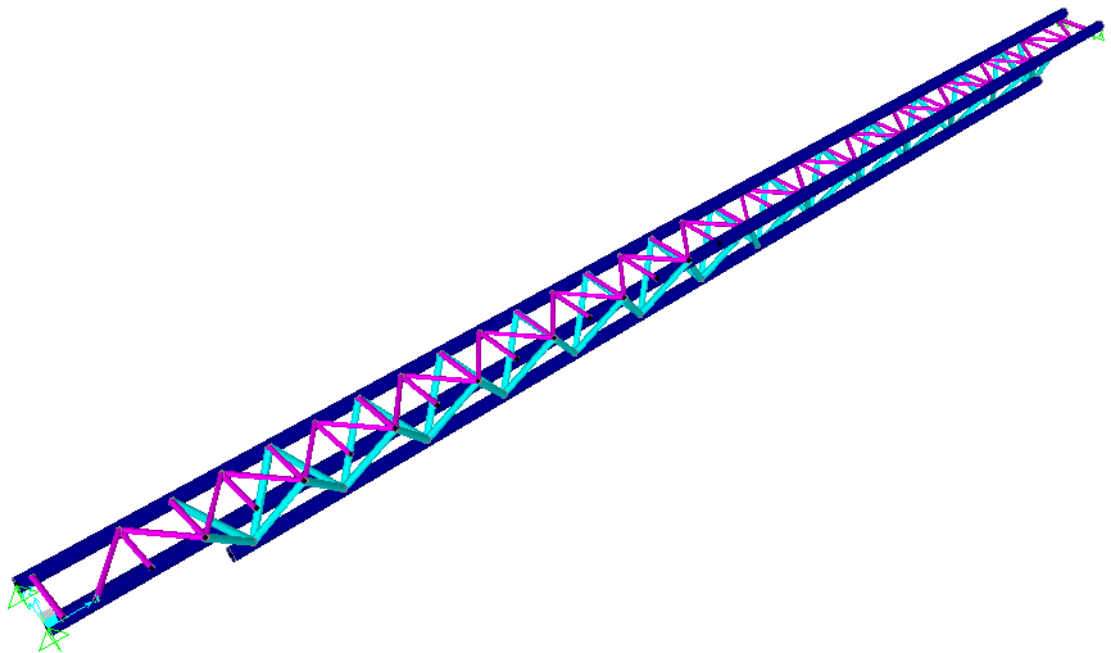
$$= 0,35 \text{ ton}$$

c) Beban hidup

Lebar *catwalk* = 1,4 m

Beban hidup = 0,25 m² (asumsi)

Beban *tributary* = $\frac{\text{Lebar } catwalk \times \text{Beban hidup}}{2}$
 $= \frac{1,4 \times 0,25}{2}$
 $= 0,175 \text{ ton}$



Gambar 5.15 Permodelan *Catwalk*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Hasil analisis berat pembebanan yang bekerja pada permodelan *catwalk* adalah sebagai berikut :

Tabel 5.8 Pembebanan *Catwalk*

Beban <i>Catwalk</i>	x	y	z
Beban Mati (DL)	0,0234	0,1661	5,8384
Beban Mati Tambahan (SDL)	0,0266	0,2311	8,5833
Beban Hidup (LL)	0,0118	0,0848	3,1157

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

c. Beban hidup

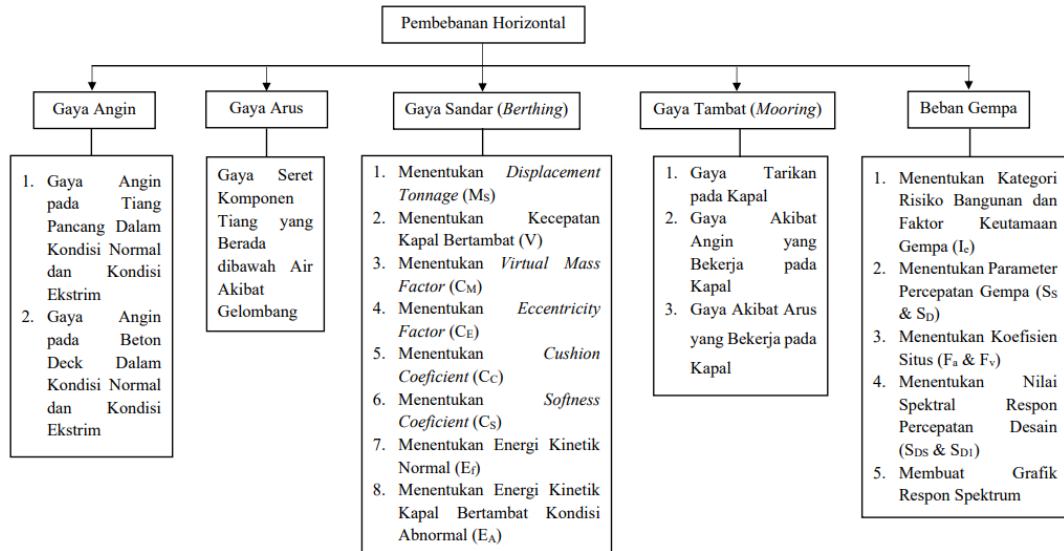
Beban hidup terdistribusi merata (UDL) adalah sebagai berikut :

1) *Breasting Dolphin* = 0,25 ton/m²

2) *Mooring Dolphin* = 0,25 ton/m²

5.5.2 Pembebanan Horizontal

Pembebanan horizontal merupakan pembebanan yang arahnya mendatar. Berikut merupakan perhitungan gaya horizontal yang akan digunakan untuk analisis permodelan struktur *dolphin* :



Gambar 5.16 Flowchart Pembebanan Horizontal Struktur *Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Struktur *breasting dolphin* menggunakan gaya-gaya atau pembebanan diatas. Sedangkan, struktur *mooring dolphin* tidak terdapat gaya sandar (*berthing*).

a. Gaya angin

1) Gaya angin tiang pipa baja

Gaya angin pada tiang pipa baja mengacu pada *API Recommended Practice 2A-WSD Cl. 2.3.2.C* sebagai berikut :

$$F = \frac{\rho}{2} \times u^2 \times C_s \times A$$

Dimana :

F = gaya angin (N)

ρ = kerapatan massa udara
= 1,211 kg/m³

u = kecepatan angin (m/s)
= 12,2 m/s (Normal)
= 45 m/s (Ekstrim)

C_s = koefisien bentuk
= 0,5 (Silinder, lihat "API RP 2A-WSD_Cl. 2.3.2.e")

$$A = \text{luas pipa baja (m}^2\text{)}$$

$$= 1,0668 \text{ m}$$

Sehingga,

Gaya angin pada kondisi normal

$$F = \frac{\rho}{2} \times u^2 \times C_s \times A$$

$$= \frac{1,211}{2} \times 12,2^2 \times 0,5 \times 1,0668$$

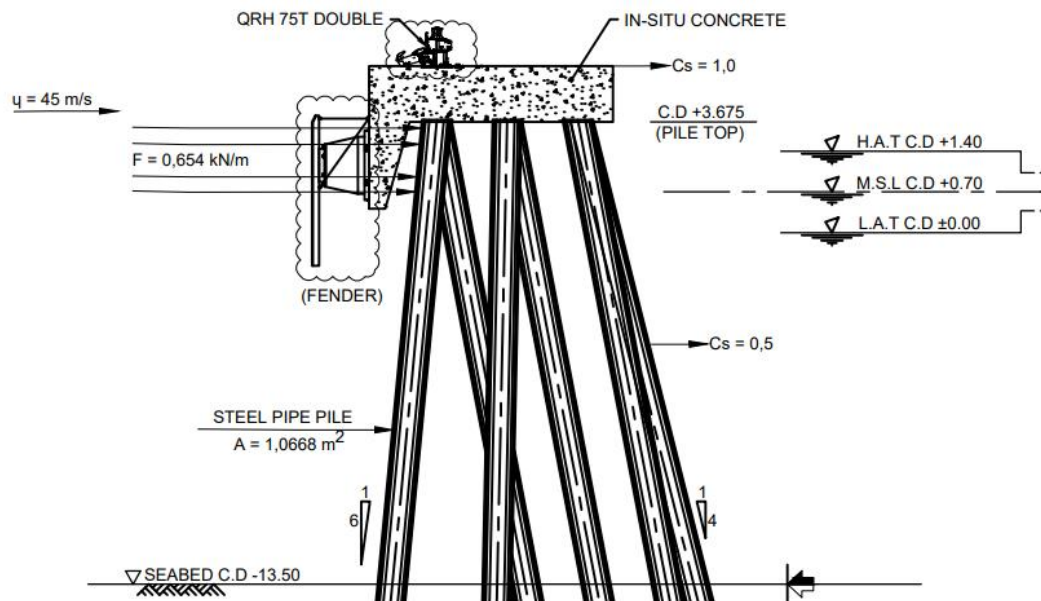
$$= 0,0480 \text{ kN/m}$$

Gaya angin pada kondisi ekstrim

$$F = \frac{\rho}{2} \times u^2 \times C_s \times A$$

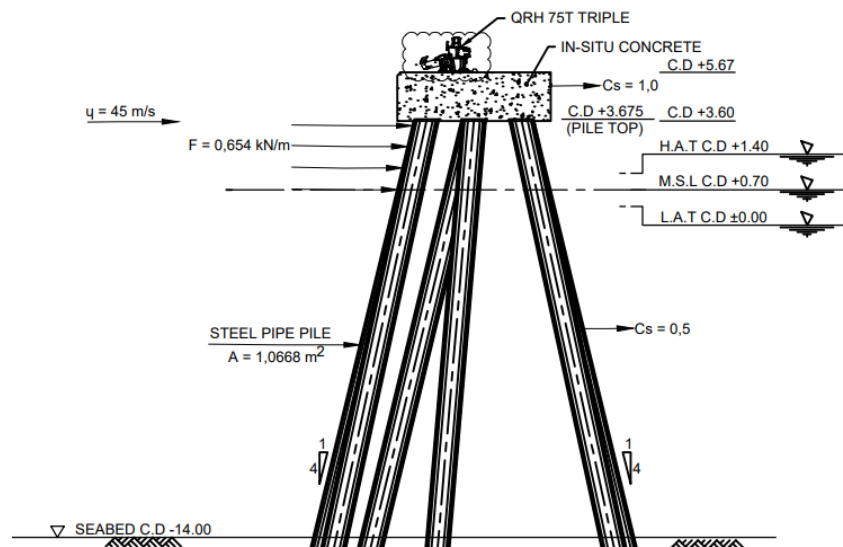
$$= \frac{1,211}{2} \times 45^2 \times 0,5 \times 1,0668$$

$$= 0,6540 \text{ kN/m}$$



Gambar 5.17 Analisa Gaya Angin pada Tiang Pancang Struktur *Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.18 Analisa Gaya Angin pada Tiang Pancang Struktur *Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

2) Gaya angin beton deck

Gaya angin pada beton deck mengacu pada *API Recommended Practice 2A-WSD Cl. 2.3.2.C* sebagai berikut :

$$F = \frac{\rho}{2} \times u^2 \times C_s$$

Dimana :

F = gaya angin (N)

ρ = kerapatan massa udara

$$= 1,211 \text{ kg/m}^3$$

u = kecepatan angin (m/s)

$$= 12,2 \text{ m/s (Normal)}$$

$$= 45 \text{ m/s (Ekstrim)}$$

C_s = koefisien bentuk

$$= 1,0 \text{ (Overall projected area of platform, lihat "API RP 2A-WSD_Cl. 2.3.2.e")}$$

Sehingga,

Gaya angin pada kondisi normal

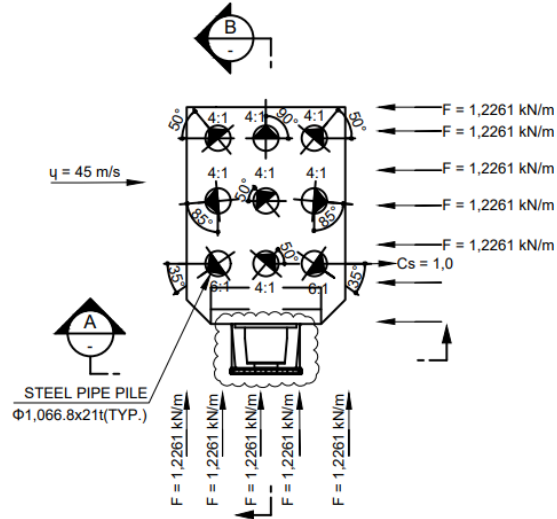
$$F = \frac{\rho}{2} \times u^2 \times C_s$$

$$= \frac{1,211}{2} \times 12,2^2 \times 1,0$$

$$= 0,0901 \text{ kN/m}$$

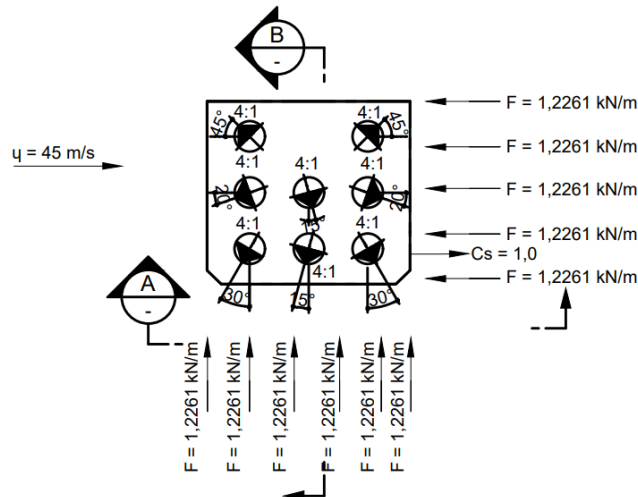
Gaya angin pada kondisi ekstrim

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{\rho}{2} \times u^2 \times C_s \\
 &= \frac{1,211}{2} \times 45^2 \times 1,0 \\
 &= 1,2261 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.19 Analisa Gaya Angin pada Beton Deck Struktur *Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.20 Analisa Gaya Angin pada Beton Deck Struktur *Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

b. Gaya arus

Gaya pada *dolphin* akibat arus dapat dihitung dengan persamaan morison sebagai berikut :

$$F_D = \frac{1}{2} \times \rho \times C_D \times D \times V^2 \times h$$

Dengan,

F_D = gaya seret komponen tiang yang berada di bawah air akibat gelombang

ρ = massa jenis air

= 1,025 kg/m³

V = kecepatan arus

= 1,2 m/s

D = diameter tiang pancang

= 1,0668 m

C_D = koefisien seret (1 untuk struktur dengan bentuk silinder, OCDI)

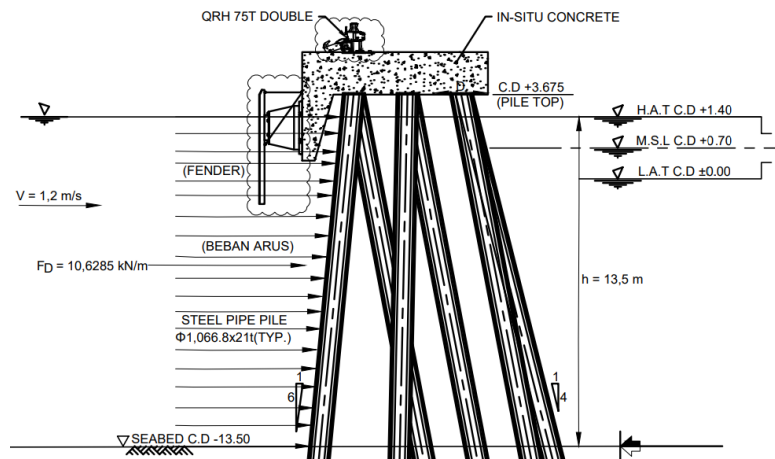
h = tinggi tiang pancang tercelup (*seabed*)

= 13,50 m (*breasting dolphin*) dan 14,00 m (*mooring dolphin*)

Sehingga,

1) Gaya arus pada struktur *breasting dolphin*

$$\begin{aligned} F_D &= \frac{1}{2} \times \rho \times C_D \times D \times V^2 \times h \\ &= \frac{1}{2} \times 1,025 \times 1 \times 1,0668 \times 1,2^2 \times 13,50 \\ &= 10,6285 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

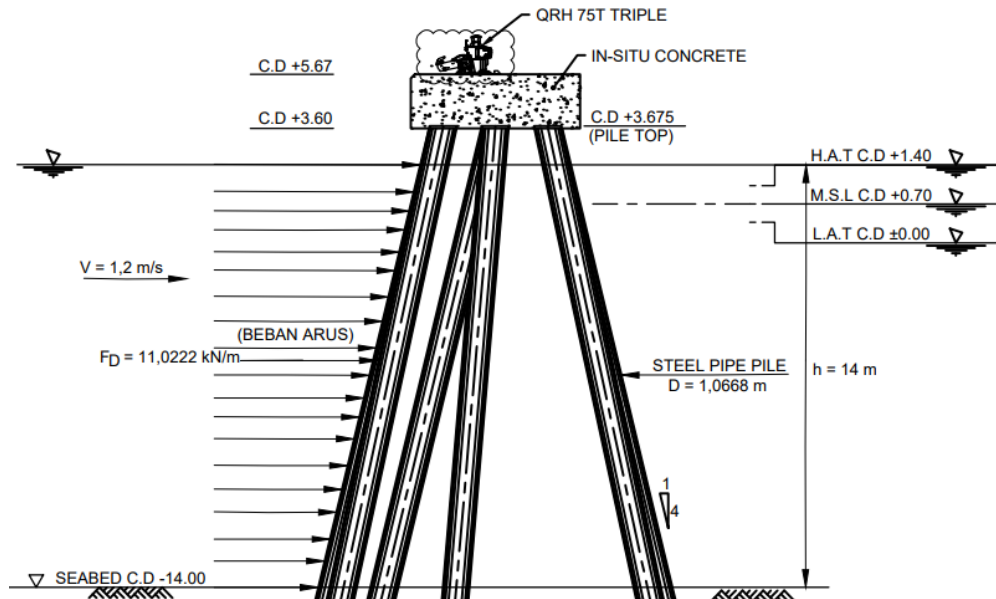


Gambar 5.21 Analisa Gaya Arus pada Struktur *Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

2) Gaya arus pada struktur *mooring dolphin*

$$\begin{aligned} F_D &= \frac{1}{2} \times \rho \times C_D \times D \times V^2 \times h \\ &= \frac{1}{2} \times 1,025 \times 1 \times 1,0668 \times 1,2^2 \times 14,00 \\ &= 11,0222 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



Gambar 5.22 Analisa Gaya Arus pada Struktur *Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

c. Gaya sandar

Besarnya energi benturan kapal yang timbul saat kapal merapat ke dermaga dapat dihitung dengan persamaan 3.3. Berikut merupakan prosedur hitungan yang digunakan :

1) Menentukan *Displacement tonnage* (M_S)

Tabel 5.9 Penentuan *Displacement Tonnage* Kapal

Type of Ship				General Cargos		Oil Tankers		Ore Carriers		
Range of tonnage in DWT				500 - 140 000		500 - 320 000		500 - 200 000		
Coeffisients				α	β	α	β	α	β	
Displacement fully loaded = DT				2,463	0,936	2,028	0,954	1,687	0,969	
Laterally projected area	Above sea level	Fully loaded	$= \alpha(DWT)^\beta$	8,770	0,496	4,964	0,522	4,390	0,548	
		Ballast loaded		9,641	0,533	5,943	0,562	5,171	0,580	
	Below sea level	Fully loaded		3,495	0,608	3,198	0,611	2,723	0,625	
		Ballast loaded		1,404	0,627	1,629	0,610	1,351	0,633	
Front area	Above sea level	Fully loaded		2,763	0,490	2,666	0,478	1,971	0,510	
		Ballast loaded		3,017	0,510	2,485	0,517	1,967	0,538	
Total Surface area bellow sea level		Fully loaded		9,260	0,639	6,162	0,673	4,760	0,702	
		Ballast loaded		4,637	0,669	3,865	0,686	3,471	0,701	
Displacement ballast loaded				$= \alpha(DT)^\beta$	0,199	1,084	0,383	1,018	1,023	
Draft ballast loaded				$= \alpha(Draft_{max})^\beta$	0,352	1,172	0,548	0,966	0,551	0,993

(sumber: *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002, hal. 17)

Displacement tonnage merupakan berat total kapal dan muatannya pada saat kapal dimuati sampai *draft* maksimum. Dengan asumsi kapal *oil tanker* 10.000 DWT, maka berdasarkan Tabel 5.9 dapat dihitung *Displacement Tonnage* sebagai berikut :

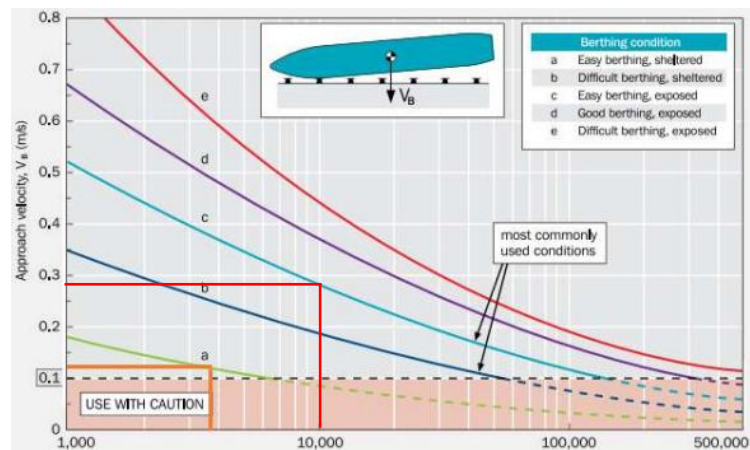
$$DT = \alpha \times (DWT)^\beta$$

$$= 2,028 \times (10.000)^{0,954}$$

$$= 13276,02 \text{ ton}$$

2) Menentukan kecepatan kapal bertambat (v)

Dengan anggapan bahwa area dermaga merupakan area terlindung dan kapal mudah bertambat, maka dapat ditentukan kecepatan kapal saat merapat ke dermaga menurut Gambar 5.23 dan Tabel 5.10 untuk kondisi c (*easy berthing, exposed*).



Gambar 5.23 Grafik Kecepatan Kapal Bertambat

(sumber: *Guidelines for the Design of Fenders Systems*, PIANC 2002)

Tabel 5.10 Penentuan Kecepatan Kapal Bertambat

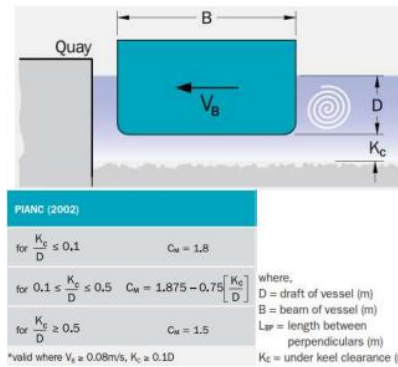
DWT	VELOCITY, V_a (m/s)				
	a	b	c	d	e
1,000	0.179	0.343	0.517	0.669	0.865
2,000	0.151	0.296	0.445	0.577	0.726
3,000	0.136	0.269	0.404	0.524	0.649
4,000	0.125	0.250	0.374	0.487	0.597
5,000	0.117	0.236	0.352	0.459	0.558
10,000	0.094	0.192	0.287	0.377	0.448
20,000	0.074	0.153	0.228	0.303	0.355
30,000	0.064	0.133	0.198	0.264	0.308
40,000	0.057	0.119	0.178	0.239	0.279
50,000	0.052	0.110	0.164	0.221	0.258
100,000	0.039	0.083	0.126	0.171	0.201
200,000	0.028	0.062	0.095	0.131	0.158
300,000	0.022	0.052	0.080	0.111	0.137
400,000	0.019	0.045	0.071	0.099	0.124
500,000	0.017	0.041	0.064	0.090	0.115

(sumber: *Guidelines for the Design of Fenders Systems*, PIANC 2002)

Dari gambar dan tabel di atas dapat diperoleh nilai v sebesar 0,287 m/dt.

3) Menentukan virtual mass factor (C_M)

Dalam menentukan C_M , digunakan peraturan standar PIANC (2002) yaitu dengan cara membandingkan nilai KC yaitu kedalaman dari dasar kapal kondisi *draft* maksimum dengan D yaitu *draft* maksimum kapal dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut :



Gambar 5.24 Perhitungan Koefisien C_M

(sumber: *Guidelines for the Design of Fenders Systems*, PIANC 2002)

$$\frac{K_c}{D}$$

Keterangan:

K_c = Kedalaman dari dasar kapal kondisi *draft* maksimum

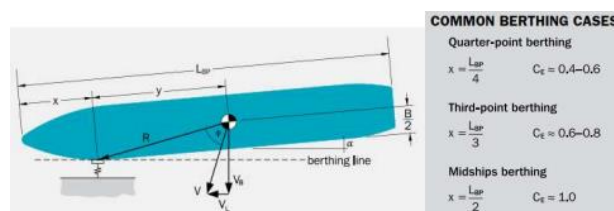
D = *Draft*

$$\text{Maka, } \frac{K_c}{D} = \frac{1,4}{7,98} = 0,1754$$

Sehingga nilai koefisien C_M sebesar:

$$\begin{aligned} C_M &= 1,875 - 0,75 \times \frac{K_c}{D} \\ &= 1,875 - 0,75 \times \frac{1,4}{7,98} \\ &= 1,7434 \end{aligned}$$

4) Menentukan *eccentricity factor* (C_E)



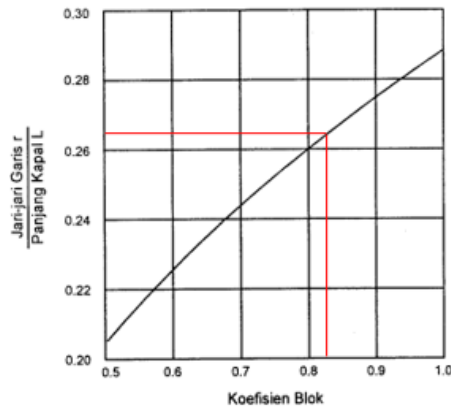
Gambar 5.25 Penentuan Koefisien C_E

(sumber: *Guidelines for the Design of Fenders Systems* PIANC, 2002)

Menghitung nilai Koefisien blok kapal (C_b) dengan persamaan 3.5

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{W}{L_{pp} \times B \times d \times \gamma_o} \\ &= \frac{13267,02}{107,2 \times 18,2 \times 7,98 \times 1,025} \\ &= 0,8318 \end{aligned}$$

Dengan koefisien blok = 0,8318



Gambar 5.26 Jari-jari Putaran disekeliling Pusat Berat Kapal

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Maka, dari gambar 5.26 berikut didapatkan rasio $\frac{1}{r} = 0,264$,

sehingga

$$\begin{aligned} r &= 0,264 \times L_{OA} \\ &= 0,264 \times 114,4 \\ &= 30,2016 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk perencanaan *dolphin*

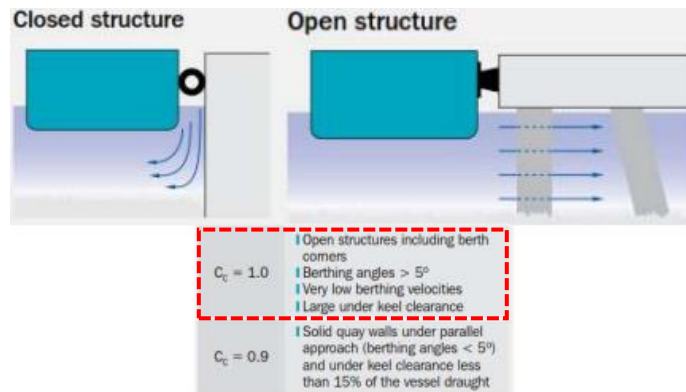
$$\begin{aligned} (l) &= \frac{1}{6} \times L_{OA} \\ &= \frac{1}{6} \times 114,4 \\ &= 19,0667 \text{ m} \end{aligned}$$

koefisien eksentritas dihitung dengan persamaan 3.10 berikut :

$$\begin{aligned} C_E &= \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2} \\ &= \frac{1}{1 + \left(\frac{19,0667}{30,2016}\right)^2} \\ &= 0,7150 \end{aligned}$$

5) Menentukan *Cushion coefficient* (C_c)

Untuk koefisien C_c dipilih berdasarkan tipe konstruksi yang digunakan pada struktur yang direncanakan. Baik merupakan tipe struktur terbuka, tertutup maupun semi terbuka. Untuk perhitungan efek dari bantalan dengan kondisi struktur dermaga berbentuk *jetty*, nilai $C_c = 1,0$.



Gambar 5.27 Penentuan Koefisien C_c

(sumber: *Guidelines for the Design of Fenders Systems* PIANC, 2002)

6) Menentukan *Softness coefficient* (C_s)

$C_s = 1.0$	Soft fenders ($\delta_f > 150\text{mm}$)
$C_s = 0.9$	Hard fenders ($\delta_f \leq 150\text{mm}$)

Gambar 5.28 Penentuan Koefisien C_s

(sumber: *Guidelines for the Design of Fenders Systems* PIANC, 2002)

Koefisien C_s ditentukan untuk mengantisipasi pengaruh deformasi elastis terhadap keadaan kapal maupun konstruksi tambatan. Ditentukan dengan asumsi tidak terjadinya deformasi, sehingga harga $C_s = 1$.

7) Menentukan Energi kinetik normal (E_f)

$$\begin{aligned}
 E_f &= \left(\frac{1}{2} \times M_s \times v^2\right) \times C_M \times C_E \times C_C \times C_S \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times 13276,02 \times 0,287^2\right) \times 1,7434 \times 0,7150 \times 1,0 \times 1,0 \\
 &= 681,5914 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

8) Menentukan energi kinetik kapal bertambat kondisi abnormal

$$EA = F_s \times E_f$$

keterangan:

F_s = faktor keamanan (Dapat dilihat pada Tabel 5.11)

E_f = energi kinetik tumbukan normal

$$EA = F_s \times E_f$$

$$= 1,75 \times 681,5914$$

$$= 1192,785 \text{ kNm}$$

Tabel 5.11 Faktor Keamanan Kapal Bertambat Abnormal

VESSEL TYPE	SIZE	F _s
Tanker, bulk, cargo	Largest	1.25
	Smallest	1.75
Container	Largest	1.5
	Smallest	2.0
General cargo	–	1.75
RoRo, ferries	–	≥ 2.0
Tugs, workboats, etc.	–	2.0

Source: PIANC 2002: Table 4.2.5.

(sumber: *Guidelines for the Design of Fenders Systems* PIANC, 2002)

9) Kemampuan fender

- a) Energi fender = 138,15 ton
- b) Reaksi fender = 144,72 ton
- c) Friksi 20% = $144,72 \times 20\%$
= 28,944 ton

d. Beban tambat pada *bollard* / QRH

1. Gaya tarikan pada kapal

Kapal rencana yang akan bertambat pada dermaga memiliki kapasitas 10.000 DWT dengan *Gross Tonnage* (GT) sebesar 13,996 ton. Dengan melihat Tabel 5.12 dapat diketahui gaya tarik kapal ini sebesar 700 kN. Gaya tarik kapal tersebut selanjutnya akan dibandingkan dengan gaya tarik kapal akibat arus dan angin.

Tabel 5.12 Gaya Tarikan pada *Bollard* Untuk Kapal 10.000 DWT

Gross tonnage (GT) of vessel (tons)	Tractive force acting on mooring post (kN)	Tractive force acting on bollard (kN)
200<GT≤500	150	150
500<GT≤1,000	250	250
1,000<GT≤2,000	350	250
2,000<GT≤3,000	350	350
3,000<GT≤5,000	500	350
5,000<GT≤10,000	700	500
10,000<GT≤20,000	1,000	700
20,000<GT≤50,000	1,500	1,000
50,000<GT≤100,000	2,000	1,000

(Sumber: *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002, hal. 25)

2. Gaya akibat angin yang bekerja pada kapal

Berdasarkan analisis data angin, didapatkan angin dominan arah barat - barat daya (WSW) dengan kecepatan 12,2 – 45 m/s. Sehingga untuk perhitungan gaya angin pada kapal digunakan angin dengan kecepatan 12,2 m/s. Perhitungan gaya angin tersebut menggunakan persamaan dari buku *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002 persamaan 2.2.11 dan 2.2.12 sebagai berikut :

$$R_X = 0,5 \times \rho_a \times U^2 \times A_T \times C_X$$

$$R_Y = 0,5 \times \rho_a \times U^2 \times A_L \times C_Y$$

keterangan :

R_X = gaya angin arah X, searah kapal (kN)

R_Y = gaya angin arah Y, tegak lurus kapal (kN)

C_X = koefisien hambatan arah X = 1,5 (lihat Tabel 5.13)

C_Y = koefisien hambatan arah Y = 2,3 (lihat Tabel 5.13)

Tabel 5.13 Koefisien Hambatan Angin

	Square cross-section	2.0
	"	1.6
	Rectangular cross-section (ratio of side lengths = 1:2)	2.3
	"	1.5
	(when one face is in contact with the ground)	1.2
	Circular cross-section (smooth surface)	1.2

(sumber: *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002, tabel 8.2.1)

ρ_a = massa jenis angin

$$= 1,23 \times 10^{-3} \text{ (t/m}^3\text{)}$$

U = kecepatan angin (m/s)

$$\begin{aligned}
A_T &= \text{luas permukaan kapal di atas permukaan air arah memanjang (m}^2\text{)} \\
&= \text{lebar kapal} \times (\text{depth} - \text{draft}) \\
&= 18,2 \times (10 - 7,98) \\
&= 36,764 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_L &= \text{luas permukaan kapal di atas permukaan air arah melintang (m}^2\text{)} \\
&= L_{OA} \times (\text{depth} - \text{draft}) \\
&= 114,4 \times (10 - 7,98) \\
&= 231,09 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

sehingga

$$\begin{aligned}
R_X &= 0,5 \times \rho_a \times U^2 \times A_T \times C_X \\
&= 0,5 \times 1,23 \times 10^{-3} \times 12,2^2 \times 36,764 \times 1,5 \\
&= 5,0479 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_Y &= 0,5 \times \rho_a \times U^2 \times A_L \times C_Y \\
&= 0,5 \times 1,23 \times 10^{-3} \times 12,2^2 \times 231,09 \times 2,3 \\
&= 48,6519 \text{ kN}
\end{aligned}$$

3. Gaya akibat arus yang bekerja pada kapal

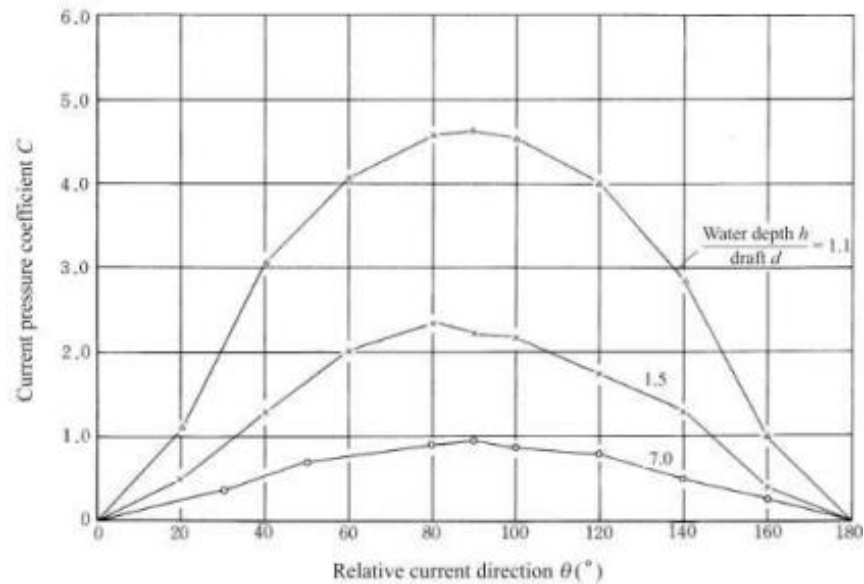
Berdasarkan analisis data arus didapatkan arus sebesar 0,5 – 1,2 m/s dengan arah arus dominan yakni arah dari barat daya menuju ke barat laut. Sehingga perhitungan gaya arus pada kapal digunakan arus sebesar 1,2 m/s. Untuk perhitungan gaya arus dapat digunakan persamaan *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002, persamaan 2.2.16 dan 2.2.17 berikut :

$$\begin{aligned}
R_f &= 0,0014 \times S \times V_x^2 \\
R &= 0,5 \times \rho_0 \times C \times V_y^2 \times B
\end{aligned}$$

keterangan:

$$\begin{aligned}
R_f &= \text{beban tambat akibat arah arus sejajar dengan kapal (kN)} \\
R &= \text{beban tambat akibat arah arus tegak lurus dengan kapal (kN)} \\
S &= \text{luasan permukaan bawah kapal tenggelam dalam keadaan penuh} \\
&= L_{OA} \times B \\
&= 114,4 \times 18,2 \\
&= 2082,08 \text{ m}^2 \\
V_x &= \text{kecepatan arus sejajar pantai (m/s)} = 0,5 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_y &= \text{kecepatan arus tegak lurus pantai (m/s)} &= 0,5 \text{ m/s} \\
 \rho_0 &= \text{massa jenis air laut (t/m}^3\text{)} &= 1,025 \text{ t/m}^3 \\
 C &= \text{koefisien tekanan arus} &= 2,1 \text{ (lihat Gambar 5.29)}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.29 Koefisien Tekanan Arus

(sumber: *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002)

$$\begin{aligned}
 B &= \text{proyeksi luas lambung kapal dibawah permukaan air (m}^2\text{)} \\
 &= L_{OA} \times \text{draft} \\
 &= 114,4 \times 7,98 \\
 &= 912,91 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

sehingga:

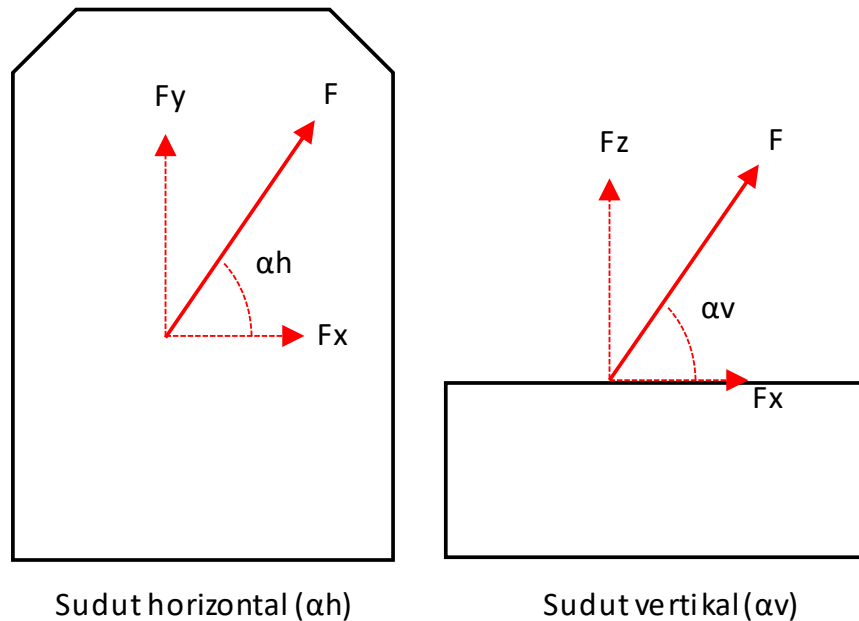
$$\begin{aligned}
 R_f &= 0,0014 \times S \times V_x^2 \\
 R_f &= 0,0014 \times 2082,08 \times 0,5^2 \\
 &= 0,7287 \text{ kN} \\
 R &= 0,5 \times \rho_0 \times C \times V_y^2 \times B \\
 R &= 0,5 \times 1,025 \times 2,1 \times 0,1 \times 912,91 \\
 &= 245,6304 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4. Total Gaya

Kemudian didapat nilai totalnya didapat sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_{\text{searah}} &= R_x + R_f \\
 &= 5,0479 + 0,7287
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5,7766 \text{ kN} \\
 F_{\text{tegak lurus}} &= R_y + R \\
 &= 48,6519 + 245,6304 \\
 &= 294,2823 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.30 Arah Beban Tambat

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Beban QRH harus dipertimbangkan pada saat arah angin dan arus meninggalkan pelabuhan atau dermaga. Di sana ada dua kondisi *bollard* / QRH yang harus dipertimbangkan, yaitu arus angin vertikal dan arus angin horizontal. Beban *mooring point* diambil 225 ton dan 150 ton untuk kapasitas QRH. Sudut vertikal dan horizontal pada tali tambat diasumsikan $0^\circ - 45^\circ$. Tabel 5.14 dan Tabel 5.15 merupakan hasil perhitungan dari pembebanan tambat :

1. Kapasitas QRH (F)
 - a) QRH 75T *Triple* = 225 ton (*Mooring Dolphin*)
 - b) QRH 75T *Double* = 150 ton (*outer Breasting Dolphin*)
2. Sudut Vertikal (α_v) $= 0^\circ - 45^\circ$
3. Sudut Horizontal (α_h) $= 0^\circ - 45^\circ$
4. Gaya Tarik Kapal Horizontal (F_h) $= F \times \cos \times \frac{\alpha_v}{180 \times \pi}$

5. Gaya Tarik Kapal Horizontal arah x (Fx) = $F_h \times \sin \times \frac{\alpha_h}{180 \times \pi}$
6. Gaya Tarik Kapal Horizontal arah y (Fy) = $F_h \times \cos \times \frac{\alpha_h}{180 \times \pi}$
7. Gaya Tarik Kapal Horizontal arah z (Fz) = $F \times \sin \times \frac{\alpha_v}{180 \times \pi}$

Tabel 5.14 Hasil Perhitungan Pembebanan Tambat pada *Mooring Dolphin*

Case	Sudut Vertikal (α_v)	Sudut Horizontal (α_h)	Fh (ton)	Fx (ton)	Fy (ton)	Fz (ton)
1	0	0	225,00	0,00	225,00	0,00
2	0	15	225,00	58,23	217,33	0,00
3	0	30	225,00	112,50	194,86	0,00
4	0	45	225,00	159,10	159,10	0,00
5	15	0	217,33	0,00	217,33	58,23
6	15	15	217,33	56,25	209,93	58,23
7	15	30	217,33	108,67	188,22	58,23
8	15	45	217,33	153,68	153,68	58,23
9	30	0	194,86	0,00	194,86	112,50
10	30	15	194,86	50,43	188,22	112,50
11	30	30	194,86	97,43	168,75	112,50
12	30	45	194,86	137,78	137,78	112,50
13	45	0	159,10	0,00	159,10	159,10
14	45	15	159,10	41,18	153,68	159,10
15	45	30	159,10	79,55	137,78	159,10
16	45	45	159,10	112,50	112,50	159,10

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Pembebanan Tambat pada *Breasting Dolphin*

Case	Sudut Vertikal (α_v)	Sudut Horizontal (α_h)	Fh (ton)	Fx (ton)	Fy (ton)	Fz (ton)
1	0	0	150,00	0,00	150,00	0,00
2	0	15	150,00	38,82	144,89	0,00
3	0	30	150,00	75,00	129,90	0,00
4	0	45	150,00	106,07	106,07	0,00
5	15	0	144,89	0,00	144,89	38,82
6	15	15	144,89	37,50	139,95	38,82
7	15	30	144,89	72,44	125,48	38,82
8	15	45	144,89	102,45	102,45	38,82
9	30	0	129,90	0,00	129,90	75,00
10	30	15	129,90	33,62	125,48	75,00
11	30	30	129,90	64,95	112,50	75,00

12	30	45	129,90	91,86	91,86	75,00
13	45	0	106,07	0,00	106,07	106,07
14	45	15	106,07	27,45	102,45	106,07
15	45	30	106,07	53,03	91,86	106,07
16	45	45	106,07	75,00	75,00	106,07

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

e. Beban gempa

Perhitungan beban gempa disesuaikan dengan SNI 1726-2019 dengan kondisi sebagai berikut :

Lokasi : Cilegon

Jenis bangunan : Dermaga

Jenis tanah : Tanah Lunak (SE)

1) Menentukan Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko dapat diperoleh dari tabel berikut menyesuaikan dengan pemanfaatan bangunan yang akan dibangun.

Tabel 5.16 Kategori Risiko Bangunan Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

(Sumber : SNI 1726:2019)

Karena bangunan yang akan dibangun merupakan fasilitas pabrik maka kategori risiko adalah kategori II, sehingga dapat diperoleh nilai faktor keutamaan gempa berdasarkan tabel berikut :

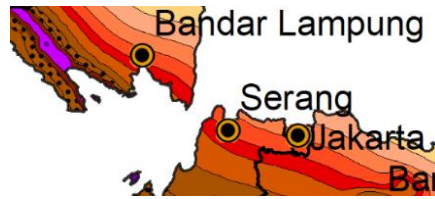
Tabel 5.17 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726:2019)

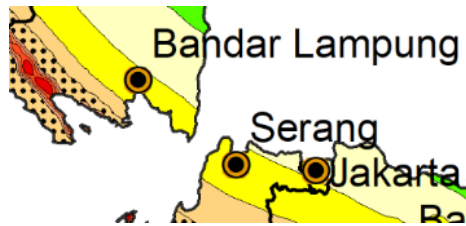
Dengan kategori II diperoleh $I_e = 1$

2) Menentukan Parameter Percepatan Gempa



Gambar 5.31 Peta S_s

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.32 Peta S_1

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Berdasarkan gambar peta S_s dan S_1 diatas Cilegon memiliki nilai S_s antara 0,8 - 0,9 g dan S_1 0,4 - 0,5 dan tanah diasumsikan sebagai Tanah Lunak (SE).

Berdasarkan tabel parameter grafik respon spektra Cilegon dengan klasifikasi Tanah Lunak (SE), didapatkan nilai sebagai berikut :

$$S_s = 0,886$$

$$S_1 = 0,431$$

$$T_L = 20 \text{ detik}$$

3) Menentukan Koefisien Situs

Untuk mementukan respon spektrum dibutuhkan faktor amplikasi periode 0,2 detik (F_a) dan 1 detik (F_v). Berikut merupakan tabel koefisien situs F_a dan F_v yang ditentukan berdasarkan klasifikasi situs :

Tabel 5.18 Koefisien Situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_{tr}) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF						

(Sumber : SNI 1726:2019)

Diketahui :

$$\text{Spektra } (x) = 0,886$$

$$S_1 = 0,75 (x_1) = 1,3 (x_2)$$

$$\begin{aligned}
S_1 &= 1,0 \text{ (} y_1 \text{)} &= 1,1 \text{ (} y_2 \text{)} \\
\text{Interpolasi nilai } F_a &= y_1 + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \times (y_2 - y_1) \\
&= 1,0 + \frac{0,886 - 0,75}{1,3 - 0,75} \times (1,1 - 1,0) \\
&= 1,191
\end{aligned}$$

Maka, nilai F_a adalah 1,191

Tabel 5.19 Koefisien Situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_a) terpetakan pada periode 1 detik, S_s					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF						

(Sumber : SNI 1726:2019)

Diketahui :

$$\begin{aligned}
\text{Spektra} &= 0,431 \\
S_1 &= 0,4 \text{ (} x_1 \text{)} &= 2,4 \text{ (} x_2 \text{)} \\
S_1 &= 0,5 \text{ (} y_1 \text{)} &= 2,2 \text{ (} y_2 \text{)} \\
\text{Interpolasi nilai } F_v &= y_1 + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \times (y_2 - y_1) \\
&= 0,5 + \frac{0,431 - 0,4}{2,4 - 0,4} \times (2,2 - 0,5) \\
&= 2,338
\end{aligned}$$

Maka, nilai F_v adalah 2,338

4) Menentukan Nilai Spektral Respon Percepatan Desain

Berikut merupakan tabel yang digunakan untuk menentukan spektral respons percepatan Cilegon.

Tabel 5.20 Koefisien Situs F_a Dan F_v Untuk Cilegon

Koefisien Situs F_a dan F_v untuk Cilegon		
Kelas Situs	F_a ($S_s = 0,886$)	F_v ($S_1 = 0,431$)
SE - Tanah Lunak	1,191	2,338

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.21 Nilai S_{DS} & S_{D1} Untuk Cilegon

Nilai S_{DS} & S_{D1} untuk Cilegon		
Kelas Situs	$S_{DS} = 2/3 (F_a \cdot S_s)$	$S_{D1} = 2/3 (F_v \cdot S_1)$
SE - Tanah Lunak	0,704	0,672

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.22 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 5.23 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2019)

Berdasarkan kedua tabel diatas diketahui bahwa penggunaan dermaga di Cilegon termasuk kedalam kategori desain seismik D dan menggunakan sistem struktur rangka beton pemikul momen.

5) Membuat Grafik Respon Spektrum

Prosedur pembuatan grafik respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2019 dan untuk pemilihan kelas situs berdasarkan asumsi yaitu kelas situs tanah lunak (SE).

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= 0,2 \times \frac{0,672}{0,704} \\
 &= 0,191
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= \frac{0,672}{0,704} \\
 &= 0,955
 \end{aligned}$$

$$T_L = 20 \text{ detik}$$

Perhitungan spektrum respons desain mengikuti 4 kondisi berikut :

- Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , respon spektrum percepatan desain (S_a) $T < T_0$, S_a diambil dari persamaan :

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} (0,4 + 0,6 (\frac{T}{T_0})) \\
 &= 0,704 \times (0,4 + 0,6 \times (\frac{0}{0,191})) \\
 &= 0,281
 \end{aligned}$$

- b) Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , respon spektrum percepatan desain (S_a) = S_{DS}

$$T_0 \leq T \leq T_s, S_a = S_{DS}$$

$$T_0 = 0,191$$

$$T_s = 0,955$$

$$0,191 \leq 0 \leq 0,955$$

$$S_a = S_{DS}$$

$$S_a = 0,704$$

- c) Untuk periode lebih besar dari T_s ($T > T_s$), respon spektrum percepatan desain (S_a) diambil dari persamaan :

$$\begin{aligned}
 S_a &= \frac{S_{D1}}{T} \\
 &= \frac{0,672}{1} \\
 &= 0,672
 \end{aligned}$$

- d) Untuk periode lebih besar dari T_L ($T > T_L$), respon spektrum percepatan desain (S_a) diambil dari persamaan :

Diambil nilai $T = 20$ detik

$$\begin{aligned}
 S_a &= \frac{T_L \times S_{D1}}{T^2} \\
 &= \frac{20 \times 0,672}{20^2} \\
 &= 0,034
 \end{aligned}$$

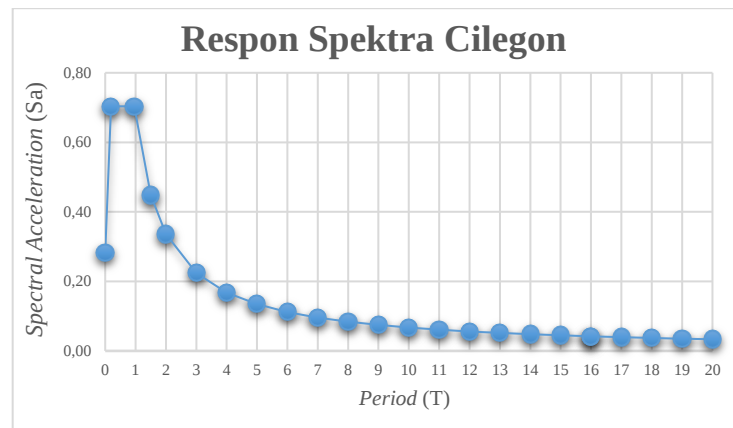
Tabel 5.24 Desain Respon Spektrum

T (Period)	Sa (Spektra Accelaration)
0,000	0,281
0,191	0,704
0,955	0,704
1,5	0,448
2,0	0,336
3,0	0,224
4,0	0,168

5,0	0,134
6,0	0,112
7,0	0,096
8,0	0,084
9,0	0,075
10,0	0,067
11,0	0,061
12,0	0,056
13,0	0,052
14,0	0,048
15,0	0,045

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Kemudian data diatas dapat digunakan untuk membuat grafik hubungan antara periode (T) dengan percepatan spektrum (S_a):



Gambar 5.33 Grafik Respon Spektra Cilegon

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

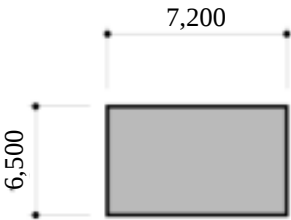
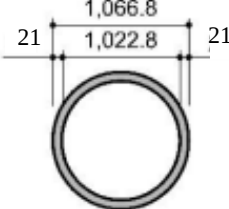
5.6 Spesifikasi *Dolphin*

5.6.1 Data Struktur *Dolphin*

Berdasarkan perencanaan *dolphin* dermaga *jetty* PT. XYZ didapat data spesifikasi *dolphin* pada dermaga sebagai berikut :

Tabel 5.25 Data Spesifikasi *Dolphin*

Bentuk	Dimensi	Keterangan
	- Lebar (W) = 9,00 m - Panjang (L) = 6,60 m - Tebal (Thk) = 2,00 m - Luas (A) = 59,4 m - Momen Inersia (I_x) = 215,622 m⁴ - Momen Inersia (I_y) = 400,95 m⁴	<i>Beton Deck Breasting Dolphin</i>

	• Lebar (W) = 6,50 m • Panjang (L) = 7,20 m • Tebal (Thk) = 2,07 m • Luas (A) = 46,8 m • Momen Inersia (Ix) = 202,176 m⁴ • Momen Inersia (Iy) = 164,775 m⁴	<i>Beton Deck Mooring Dolphin</i>
	• Diameter Luar (OD) = 1,0668 m • Diameter Dalam (ID) = 1,0248 m • Tebal Tiang (T) = 0,021 m • Luas (A) = 0,0704 m⁴ • Momen Inersia (I) = 0,0100 m⁴	<i>Steel Pile</i>

(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

5.6.2 Bahan Struktur *Dolphin*

Berikut merupakan bahan struktur yang digunakan dalam analisis *dolphin* dermaga *jetty* PT. XYZ :

a. Mutu beton

- 1) Kuat tekan beton (f_c') = 35,00 MPa
- 2) Modulus elastisitas (E_s) = 27805,57 MPa

b. Mutu baja

1) Mutu Baja Tulangan

Desain dan spesifikasi bahan untuk baja tulangan sesuai dengan ASTM A615M dan Grade 420 sebagai berikut :

- a) Kekuatan luluh minimum untuk tulangan (f_y) = 280 MPa
- b) Kekuatan tarik minimum untuk tulangan (f_u) = 420 MPa
- c) Dimensi nominal batang D10, D13, D16, D19, D22, D25, D29, D32

2) Mutu Tiang Pancang

Properti material tiang baja sesuai dengan ASTM A-252 *Grade 3* sebagai berikut :

- a) Kepadatan tiang pancang pipa baja = 77 kN/m³
- b) Kekuatan luluh minimum tiang pancang (f_y) = 280 MPa
- c) Kekuatan tarik minimum tiang pancang (f_u) = 420 MPa
- d) Modulus geser elastisitas = 80 kN/mm²
- e) Rasio Poisson (μ) = 0,3
- f) Modulus elastisitas untuk Penguatan (E_s) = 200000 MPa
- g) Koefisien ekspansi termal (α) = $12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$

c. Specific Gravity

Berdasarkan SNI 1725-2016 berikut data berat jenis yang digunakan dalam analisis *dolphin* dermaga *jetty* PT. XYZ :

- 1) Berat beton tidak bertulang (w_c) = 2,40 kN/m³
- 2) Berat baja (w_s) = 7,86 ton/m³

5.6.3 Fender yang Digunakan

Dalam pemilihan jenis *fender* digunakan brosur milik Fentek berikut merupakan langkah-langkah dalam pemilihan *fender*.

Tabel 5.26 Matriks Kesesuaian Produk *Fender* dengan Kapal Rencana

PRODUCT MATRIX
This matrix is intended as a guide to the suitability of Fentek fenders to various applications as follows:

- Generally suitable
- Possibly Suitable

	Tankers	Gas Carriers	Bulk cargo	General Cargo	Container	Subs	Passenger Ferry	Cruise Ship	High Speed Ferries	Naval Vessels	Submarines	Fishing Boats	Recreational Craft	Porticoes	Pile Guides	Lock Entrances	Dry Docks	Jetty Corners	Unloading	Bridge Protection	Tugs (Berth)	Tugs (Ship Mounted)	Page
Super Cones	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	4
Unit Element	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	10
Unit Element V-Fenders	○	○	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	16
Parallel Motion	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	18
Arch Fenders (AN)	○	○	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	22
Arch Fenders (ANP)	○	○	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	22
Cylindricals (Larger)	○	○	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	26
Cylindricals (Small)	○	○	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	26
Pneumatic Fenders	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	30
Hydro-pneumatic Fenders								○	•	•										○	○		33
Foam Fenders	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•				○	○		34
Donut Fenders	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							36
Shear Fenders						○	○	○	○	○	○	○	○	•									37
Wheel Fenders																•	•	•					38
Roller Fenders														•			•						42
UHMW Polythene	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	44
HD-PE Sliding Fenders	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	46
D & Square Fenders							•	○	•	○	•	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	48
Composite Fenders								○	○	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	50
M-Fenders													○	○			•	•	•	•	•	•	53
Block fenders													○	○			•	•	•	•	•	•	54
Cube Fenders													○	○									55
Tug Cylindricals																				•	•	•	56
Wing-D Fenders																							59
Chains & Accessories	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	○	○		○	○	○	○	○	○	○	60
Anchors	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	63

(Sumber: FENTEK Marine Fendering Systems, 2025)

Berdasarkan tabel 5.26 diatas, didapat bahwa salah satu *fender* yang cocok untuk tipe kapal tanker adalah *Super Cone*, sehingga digunakan tipe *fender* tersebut. Selanjutnya dipilih tipe *fender* berdasarkan beban *berthing* yang perlu ditahan oleh *fender*, Gambar 5.34 merupakan tipe *fender super cone* dan Tabel 5.27 ini menunjukkan performa dari tipe *fender super cone*.



Gambar 5.35 Fender Super Cone

(Sumber: FENTEK Marine Fendering Systems, 2025)

Tabel 5.27 Matriks Performa Tipe Fender Super Cone

SUPER CONE FENDERS PERFORMANCE																		
Energy Index	SCN 300	SCN 350	SCN 400	SCN 500	SCN 550	SCN 600	SCN 700	SCN 800	SCN 900	SCN 1000	SCN 1050	SCN 1100	SCN 1200	SCN 1300	SCN 1400	SCN 1600	SCN 1800	SCN 2000
E0.9 E_d	7.7	12.5	18.6	36.5	49	63	117	171	248	338	382	450	585	743	927	1382	1967	2700
R_d	59	80	104	164	198	225	320	419	527	653	720	788	941	1103	1278	1670	2115	2610
E1.0 E_d	8.6	13.9	20.7	40.5	54	70	130	190	275	375	435	500	650	825	1030	1535	2185	3000
R_d	65	89	116	182	220	250	355	465	585	725	800	875	1045	1225	1420	1855	2350	2900
E1.1 E_d	8.9	14.4	21.4	41.9	56	72	134	196	282	385	447	514	668	847	1058	1577	2244	3080
R_d	67	91	119	187	226	257	365	478	601	745	822	889	1073	1258	1459	1905	2413	2978
E1.2 E_d	9.2	14.8	22.1	43.2	58	74	137	201	289	395	458	527	685	869	1085	1618	2303	3180
R_d	68	93	122	191	231	263	374	480	617	764	843	923	1101	1291	1497	1955	2476	3056
E1.3 E_d	9.5	15.3	22.8	44.6	59	76	141	207	296	405	470	541	703	891	1113	1660	2362	3240
R_d	70	96	125	196	237	270	384	503	633	784	865	947	1129	1324	1536	2005	2538	3134
E1.4 E_d	9.8	15.7	23.5	45.9	61	78	144	212	303	415	481	554	720	913	1140	1701	2421	3320
R_d	72	98	128	200	242	276	393	515	649	803	886	971	1157	1357	1574	2055	2602	3212
E1.5 E_d	10.1	16.2	24.2	47.3	63	80	148	218	310	425	493	568	738	935	1168	1743	2480	3400
R_d	74	100	131	205	248	283	403	528	665	823	908	995	1185	1390	1613	2105	2665	3290
E1.6 E_d	10.4	16.7	24.8	48.6	65	82	151	223	317	435	504	581	755	957	1195	1784	2538	3480
R_d	75	102	133	209	253	289	412	540	681	842	929	1019	1213	1423	1651	2155	2728	3368
E1.7 E_d	10.6	17.1	25.5	50.0	67	84	155	229	324	445	516	595	773	979	1223	1826	2588	3560
R_d	77	104	136	214	259	296	422	553	697	862	951	1043	1241	1456	1690	2205	2791	3448
E1.8 E_d	10.9	17.6	26.2	51.3	68	86	158	234	331	455	527	608	790	1001	1250	1867	2657	3640
R_d	79	107	139	216	264	302	431	565	713	881	972	1067	1269	1489	1728	2255	2854	3524
E1.9 E_d	11.2	18.0	26.9	52.7	70	88	162	240	338	465	539	622	806	1023	1278	1909	2716	3720
R_d	80	109	142	223	270	309	441	578	729	901	994	1091	1297	1522	1767	2305	2917	3602
E2.0 E_d	11.5	18.5	27.6	54.0	72	90	165	245	345	475	550	635	825	1045	1305	1950	2775	3800
R_d	82	111	145	227	275	315	450	590	745	920	1015	1115	1325	1555	1805	2355	2980	3680
E2.1 E_d	11.8	19.0	29.3	55.4	74	93	169	252	355	488	565	652	847	1074	1341	2003	2851	3904
R_d	84	114	149	233	283	324	462	606	765	945	1042	1145	1361	1597	1853	2418	3060	3778
E2.2 E_d	12.1	19.4	29.0	56.7	76	96	173	258	364	501	580	669	869	1102	1376	2056	2926	4008
R_d	86	117	153	239	290	332	474	621	785	969	1069	1174	1396	1638	1901	2480	3139	3876
E2.3 E_d	12.4	19.9	29.7	58.1	77	98	177	265	374	514	595	686	891	1131	1412	2109	3002	4112
R_d	88	120	157	246	298	341	486	637	805	994	1096	1204	1432	1680	1949	2543	3219	3974
E2.4 E_d	12.7	20.3	30.4	59.4	79	102	181	271	383	527	610	703	913	1159	1447	2162	3077	4216
R_d	91	123	161	252	305	349	498	652	825	1018	1123	1233	1467	1721	1997	2605	3296	4072
E2.5 E_d	13.0	20.8	31.1	60.8	81	105	185	278	393	540	625	720	935	1188	1483	2215	3153	4320
R_d	93	125	165	256	313	358	510	668	845	1043	1150	1263	1503	1763	2045	2688	3376	4170
E2.6 E_d	13.3	21.3	31.8	62.2	83	108	189	284	402	553	640	737	957	1216	1518	2268	3228	4424
R_d	95	129	169	264	320	366	522	683	865	1067	1177	1292	1538	1804	2093	2730	3457	4268
E2.7 E_d	13.5	21.7	32.5	63.5	85	111	193	291	412	566	655	754	979	1245	1554	2321	3304	4528
R_d	97	132	173	270	328	375	534	699	885	1092	1204	1322	1574	1846	2141	2793	3537	4386
E2.8 E_d	13.8	22.2	33.2	64.9	86	114	197	297	421	579	670	771	1001	1273	1589	2374	3379	4632
R_d	100	135	177	277	335	383	546	714	905	1116	1231	1351	1609	1887	2189	2855	3616	4484
E2.9 E_d	14.1	22.6	33.9	66.2	88	117	201	304	431	592	685	788	1023	1302	1625	2427	3455	4736
R_d	102	138	181	283	343	392	558	730	925	1141	1258	1381	1645	1929	2237	2918	3696	4562
E3.0 E_d	14.4	23.1	34.6	67.6	90	120	205	310	440	605	700	805	1045	1330	1660	2480	3530	4840
R_d	104	141	185	289	350	400	570	745	945	1165	1285	1410	1680	1970	2285	2980	3775	4660
E3.1 E_d	15.9	25.4	38.1	74.4	99	132	226	341	484	668	770	886	1150	1463	1826	2728	3883	5324
R_d	114	155	204	318	385	440	627	820	1040	1282	1414	1551	1848	2167	2514	3278	4153	5126
E/R (k)	0.128	0.162	0.186	0.232	0.256	0.290	0.364	0.414	0.486	0.518	0.544	0.571	0.622	0.674	0.725	0.830	0.932	1.038
	SCN 300	SCN 350	SCN 400	SCN 500	SCN 550	SCN 600	SCN 700	SCN 800	SCN 900	SCN 1000	SCN 1050	SCN 1100	SCN 1200	SCN 1300	SCN 1400	SCN 1600	SCN 1800	SCN 2000

(Sumber: FENTEK Marine Fendering Systems, 2025)

Berdasarkan perhitungan beban *berthing* kapal diketahui nilai energi *berthing* kapal adalah 66,7968 kNm. Sehingga, dipilih tipe SCN 1600 E0.9 dengan kapasitas tahanan adalah 1382 kN dan telah memenuhi syarat gaya *berthing* maksimum.

Tabel 5.28 Data Dimensi Dari *Fender Super Cone*

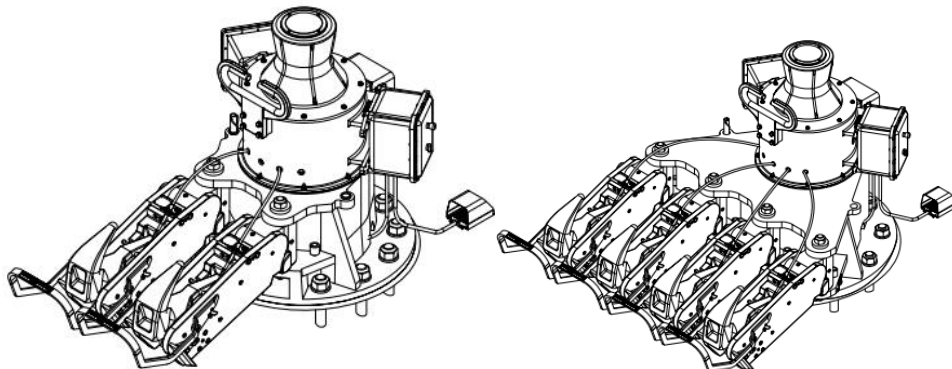
SUPER CONE FENDER DIMENSIONS											
Fender	H	ØW	ØU	C	D	ØB	Anchors	ØS	Head Bolts	Z	Weight (kg)
SCN 300	300	500	295	27-37	15	440	4-M20	255	4-M20	45	31
SCN 350	350	570	330	27-37	15	510	4-M20	275	4-M20	52	40
SCN 400	400	650	390	30-40	20	585	4-M24	340	4-M24	60	74
SCN 500	500	800	490	32-42	25	730	4-M24	425	4-M24	75	144
SCN 550	550	880	540	32-42	25	790	4-M24	470	4-M24	82	195
SCN 600	600	960	590	40-52	30	875	4-M30	515	4-M30	90	240
SCN 700	700	1120	685	40-52	35	1020	4-M30	600	4-M30	105	395
SCN 800	800	1280	785	40-52	35	1165	6-M30	685	6-M30	120	606
SCN 900	900	1440	885	40-52	35	1313	6-M30	770	6-M30	135	841
SCN 1000	1000	1600	980	50-65	35	1460	6-M36	855	6-M36	150	1120
SCN 1050	1050	1680	1030	50-65	40	1530	6-M36	900	6-M36	157	1360
SCN 1100	1100	1760	1080	50-65	40	1605	8-M36	940	8-M36	165	1545
SCN 1200	1200	1920	1175	57-80	40	1750	8-M42	1025	8-M42	180	1970
SCN 1300	1300	2080	1275	65-90	40	1900	8-M48	1100	8-M48	195	2455
SCN 1400	1400	2240	1370	65-90	50	2040	8-M48	1195	8-M48	210	3105
SCN 1600	1600	2560	1570	65-90	60	2335	8-M48	1365	8-M48	240	4645
SCN 1800	1800	2880	1765	75-100	60	2625	10-M56	1540	10-M56	270	6618
SCN 2000	2000	3200	1955	80-105	90	2920	10-M56	1710	10-M56	300	9560

All dimensions in millimetres.
Anchor and head bolt locations are equispaced on the same pitch circle diameter.

(Sumber: FENTEK Marine Fendering Systems, 2025)

5.6.4 QRH yang Digunakan

Untuk bertambat kapal, brosur milik RGEN Marine Equipment Group dijadikan acuan dalam pemilihan *Quick Release Hook* (QRH) yang akan digunakan dalam analisis *dolphin* dermaga *jetty* PT. XYZ. *Quick Release Hook* (QRH) dengan kapasitas 75T berstandar GB-ZG35CrMo ini dapat dilihat pada Gambar 5.36.



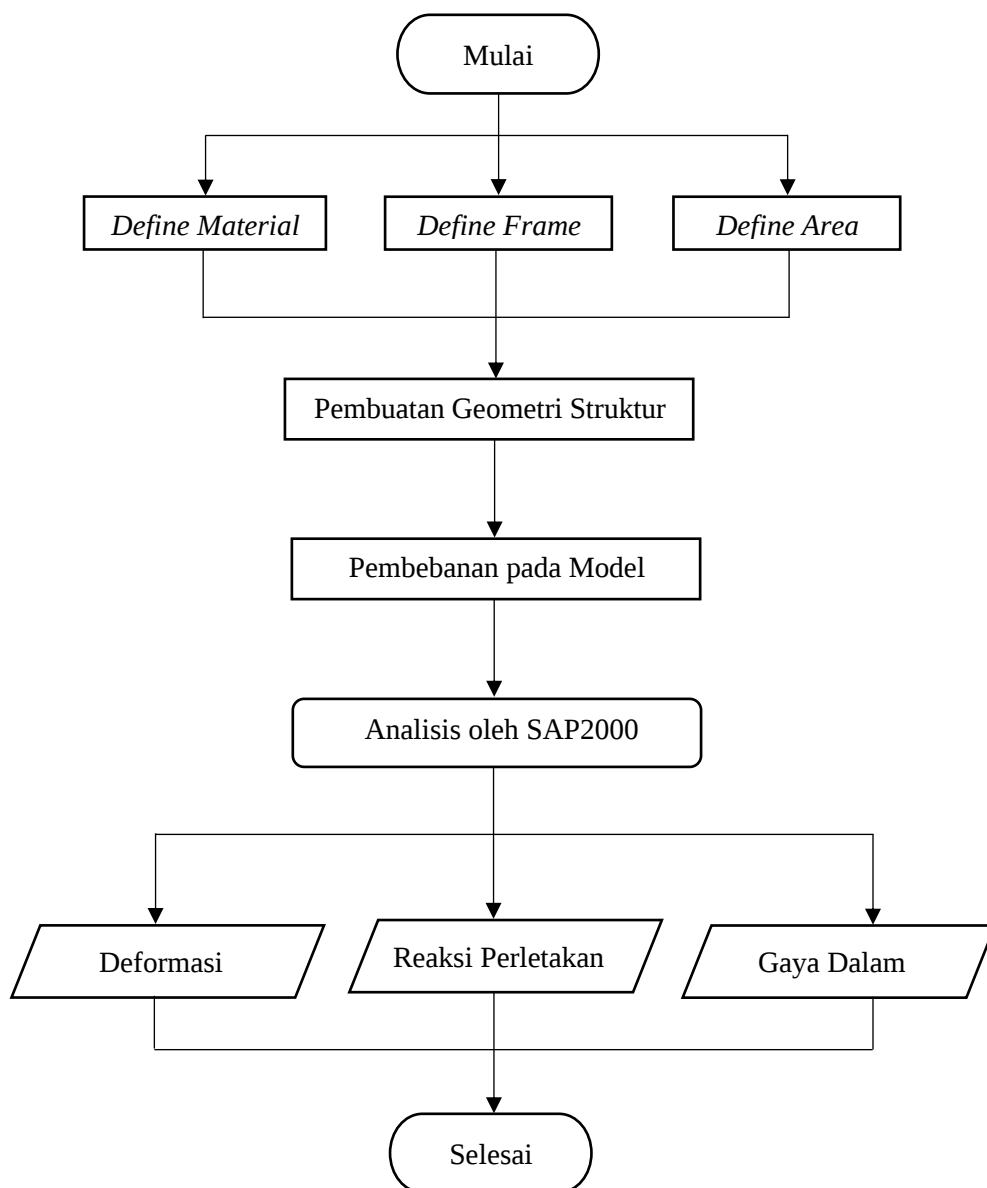
Gambar 5.36 *Quick Release Hook* 75T

(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

5.7 Analisis Struktur *Dolphin*

SAP2000 adalah *software* yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini yang akan membantu dalam proses analisis dan pemodelan struktur *dolphin*. SAP2000 sendiri merupakan *Computer and Structures Inc* (CSI) yang menggunakan prinsip

elemen hingga, sama halnya seperti *software* SACS. Output atau keluaran dari *Software* SAP2000 ini adalah defleksi, gaya dalam serta reaksi perletakan dari struktur model akibat input beban yang diberikan. Hasil *output* tersebut akan digunakan sebagai analisis kekuatan serta kelayakan struktur dermaga yang direncanakan. Sedangkan input atau masukan dari *software* ini berupa pendefinisian material, kerangka struktur dan komponen area. Kemudian dapat dilakukan pembuatan geometri struktur. Setelah model struktur dibuat, didefinisikan lagi beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Berikut ini adalah diagram alir analisis struktur *dolphin* menggunakan SAP2000 :



Gambar 5.37 Bagan Alir Analisis Permodelan *Dolphin* Menggunakan SAP2000

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

5.7.1 Perhitungan *Fixity Point*

Fixity point merupakan kedalaman dimana tiang pancang berhenti berdeformasi secara lateral. Hasil perhitungan yang telah diolah dan diperoleh dari poyek pembangunan dermaga *jetty* PT. XYZ Kota Cilegon dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.29 *Fixity Point*

Description	Pile Information	Seabed Level (mCD)	Design Seabed Level (mCD)	PoVF		Remark
				Static Analysis		
				Level (mCD)	Depth (m)	
Junction Platform1 (SBH-10)	SPP Φ1066.8x19t		-20.05	-24.15	4.10	
	SPP Φ1219.2x21t		-20.05	-24.59	4.54	
Trestle Pier (NBH-13) (SGI)	SPP Φ1066.8x19t	-1.86	-2.26	-6.71	4.45	Zone3
	SPP Φ1219.2x21t	-1.86	-2.26	-7.17	4.91	
Trestle Pier (NBH-3)	SPP Φ1066.8x19t	-8.16	-13.00	-16.18	3.18	Zone1, Zone3
	SPP Φ1219.2x21t	-8.16	-13.00	-16.63	3.63	
Trestle Pier (NBH-5)	SPP Φ1066.8x19t	-14.50	-18.50	-21.79	3.29	Zone1
	SPP Φ1219.2x21t	-14.50	-18.50	-22.24	3.74	
Trestle Pier (NBH-6)	SPP Φ1066.8x19t	-15.00	-20.00	-23.18	3.18	Zone1, Zone2
	SPP Φ1219.2x21t	-15.00	-20.00	-23.63	3.63	
Trestle Pier (NBH-7)	SPP Φ1066.8x19t	-14.00	-20.00	-23.18	3.18	
	SPP Φ1219.2x21t	-14.00	-20.00	-23.63	3.63	
Trestle Pier (NBH-8)	SPP Φ1066.8x19t	-14.00	-17.00	-20.49	3.49	
	SPP Φ1219.2x21t	-14.00	-17.00	-20.96	3.96	
Trestle Pier (NBH-9)	SPP Φ1066.8x19t	-13.50	-15.50	-19.00	3.50	
	SPP Φ1219.2x21t	-13.50	-15.50	-19.48	3.98	
Trestle Pier (NBH-10)	SPP Φ1066.8x19t	-13.50	-18.50	-21.94	3.44	
	SPP Φ1219.2x21t	-13.50	-18.50	-22.42	3.92	
Trestle Pier (NBH-11)	SPP Φ1066.8x19t	-13.25	-17.25	-20.57	3.32	
	SPP Φ1219.2x21t	-13.25	-17.25	-21.03	3.78	
Trestle Pier (NBH-12)	SPP Φ1066.8x19t	-13.00	-16.00	-19.40	3.40	
	SPP Φ1219.2x21t	-13.00	-16.00	-19.86	3.86	
Trestle Pier (NBH-13)	SPP Φ1066.8x19t	-12.75	-16.25	-19.43	3.18	
	SPP Φ1219.2x21t	-12.75	-16.25	-19.86	3.61	

(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

5.7.2 Kombinasi Pembebanan *Dolphin*

Berikut merupakan kombinasi pembebanan service dan ultimit yang diberikan pada permodelan berdasarkan Buku Perencanaan Pelabuhan oleh Bambang Triatmodjo hal 231 dan SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung :

a. Kombinasi pembebanan service

- 1) $D + SDL + LL + Env$
- 2) $D + SDL + LL + Env + B$

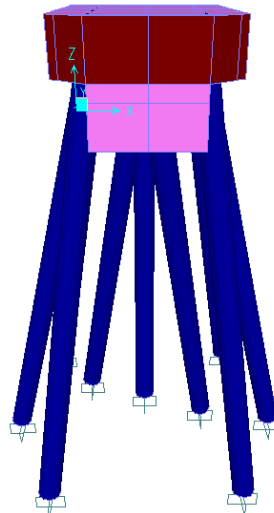
- 3) $D + SDL + LL + Env + M$
 - 4) $D + SDL + LL + E$
- b. Kombinasi pembebanan ultimit
- 1) $1,4D + 1,4SDL + 1,6LL + 1,4Env$
 - 2) $1,4D + 1,4SDL + 1,6LL + 1,4Env + 1,2B$
 - 3) $1,4D + 1,4SDL + 1,6LL + 1,4Env + 1,2M$
 - 4) $1,2D + 1,2SDL + LL + E$

5.7.3 Analisis Struktur *Breasting Dolphin*

Ketentuan analisis permodelan struktur *breasting dolphin* adalah sebagai berikut :

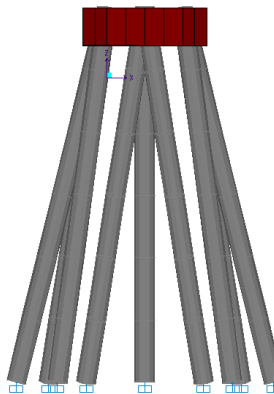
a. Gambar Permodelan

Berikut merupakan gambar permodelan dari *case* yang akan dibuat :



Gambar 5.38 Permodelan *Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

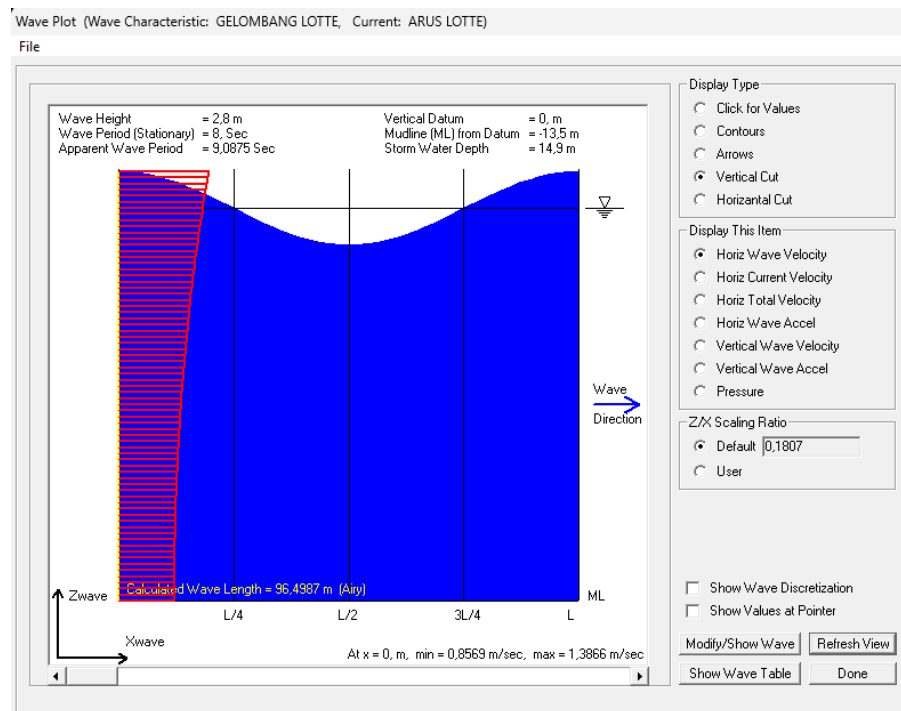


Gambar 5.39 Permodelan dengan Tumpuan *Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

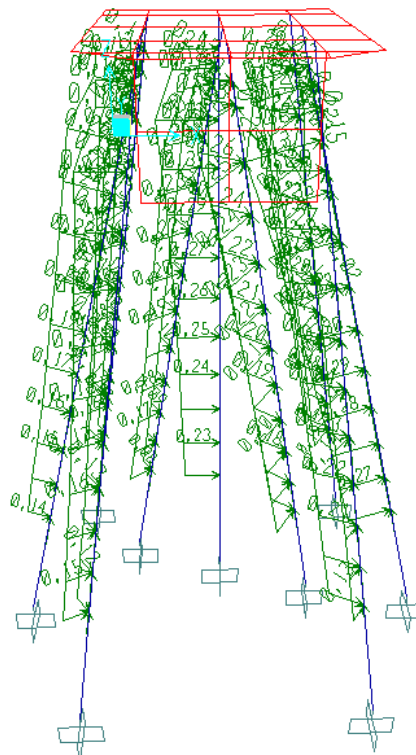
b. Permodelan pembebanan struktur *breasting dolphin*

1) Pembebanan arus dan gelombang



Gambar 5.40 Wave and Current Characteristics Breasting Dolphin

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.41 Wave Load Pattern Breasting Dolphin

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

2) Pembebanan gempa

Response Spectrum IBC 2006 Function Definition

Function Name GEMPA LOTTE **Function Damping Ratio** 0,05

Parameters

☐ Ss and S1 from USGS - by Lat./Long.
☐ Ss and S1 from USGS - by Zip Code
☒ Ss and S1 User Specified

Site Latitude (degrees) ?
 Site Longitude (degrees) ?
 Site Zip Code (5-Digits) ?
 0.2 Sec Spectral Accel, Ss 0,886
 1 Sec Spectral Accel, S1 0,431
 Long-Period Transition Period 20,

Site Class E
 Site Coefficient, Fa 1,0368
 Site Coefficient, Fv 2,4

Calculated Values for Response Spectrum Curve
 $SDS = (2/3) * Fa * Ss$ 0,6124
 $SD1 = (2/3) * Fv * S1$ 0,6896

Define Function

Period	Acceleration
0,	0,245
0,2252	0,6124
1,1261	0,6124
1,4	0,4926
1,6	0,431
1,8	0,3831
2,	0,3448
2,5	0,2758
3,	0,2299

Function Graph

OK Cancel

Gambar 5.42 Properties Response Spectrum Breasting Dolphin

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name GEMPA X **Notes** Modify/Show... **Load Case Type** Response Spectrum Design...

Modal Combination

☒ CQC GMC f1 1,
☐ SRSS GMC f2 0,
☐ Absolute Periodic + Rigid Type SRSS
☐ GMC
☐ NRC 10 Percent
☐ Double Sum

Directional Combination

☒ SRSS
☐ Absolute Scale Factor

Modal Load Case

Use Modes from this Modal Load Case MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	GEMPA LOT	9,8/2

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters

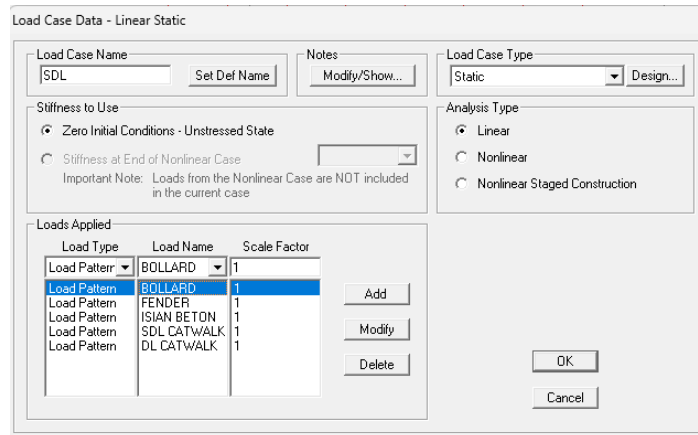
Modal Damping Constant at 0,05 Modify/Show...

OK Cancel

Gambar 5.43 Load Case Data Response Spectrum Breasting Dolphin

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

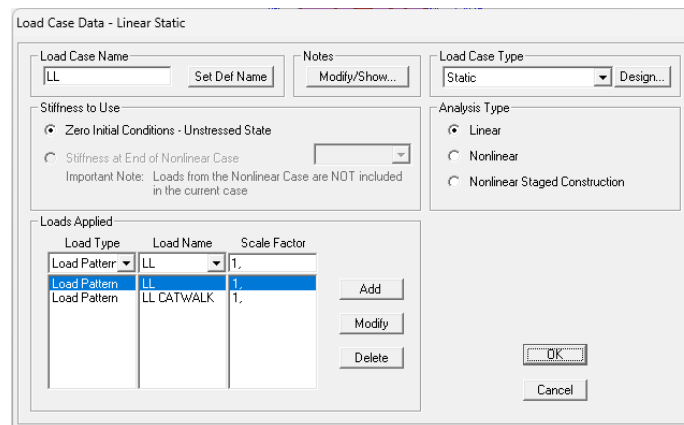
3) Beban mati tambahan



Gambar 5.44 Load Case Data SDL Breasting Dolphin

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

4) Beban hidup tambahan

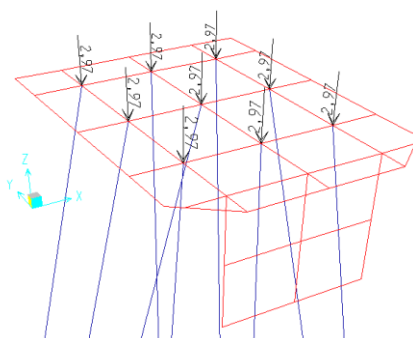
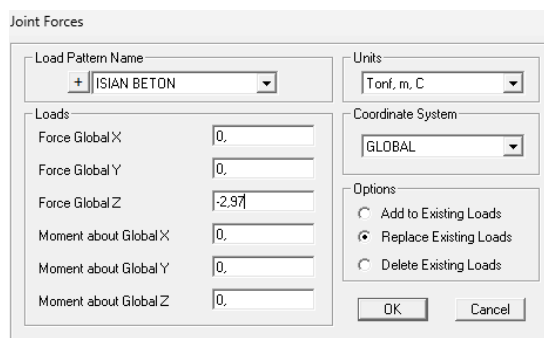


Gambar 5.45 Load Case Data LL Breasting Dolphin

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

5) Pembebanan pada struktur:

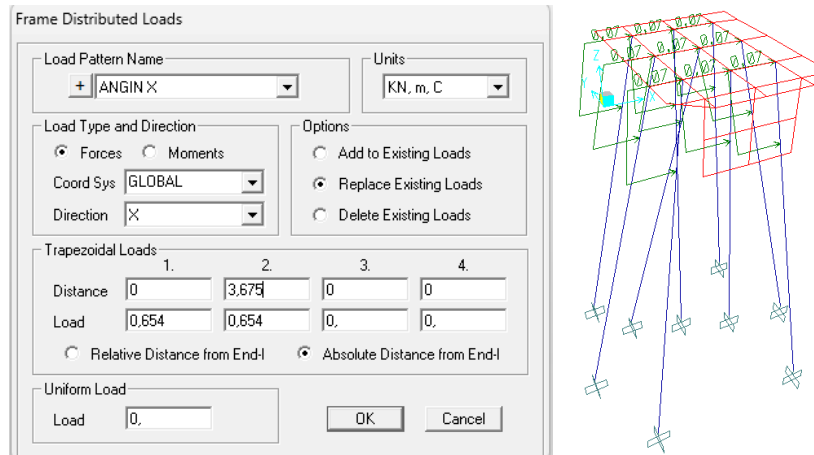
a) Beban isian beton pada *steel pile*



Gambar 5.46 Beban Isian Beton pada *Steel Pile Breasting Dolphin*

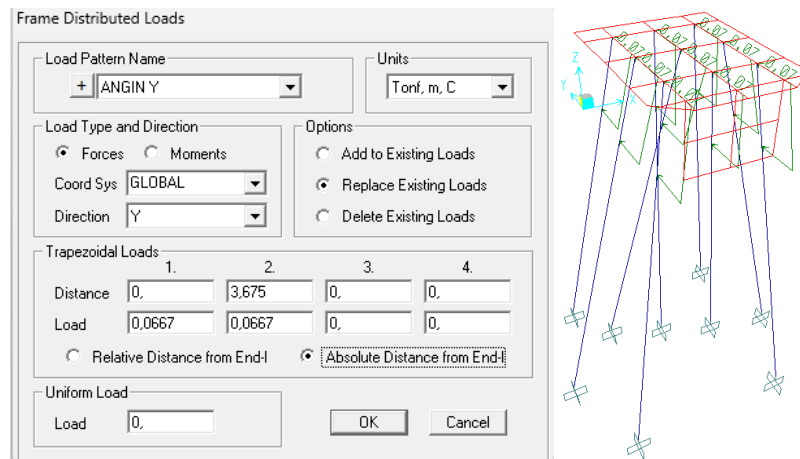
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

b) Beban angin arah x dan y pada *steel pile*



Gambar 5.47 Beban Angin Arah x pada *Steel Pile Breasting Dolphin*

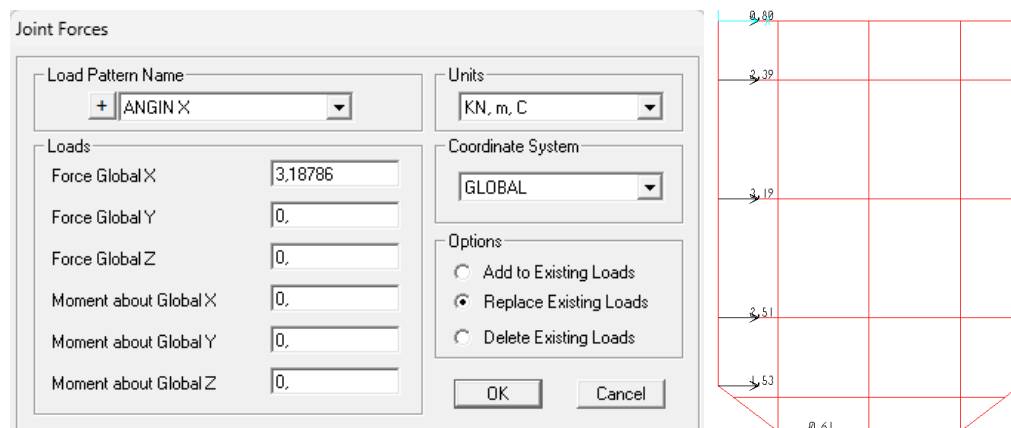
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.48 Beban Angin Arah y pada *Steel Pile Breasting Dolphin*

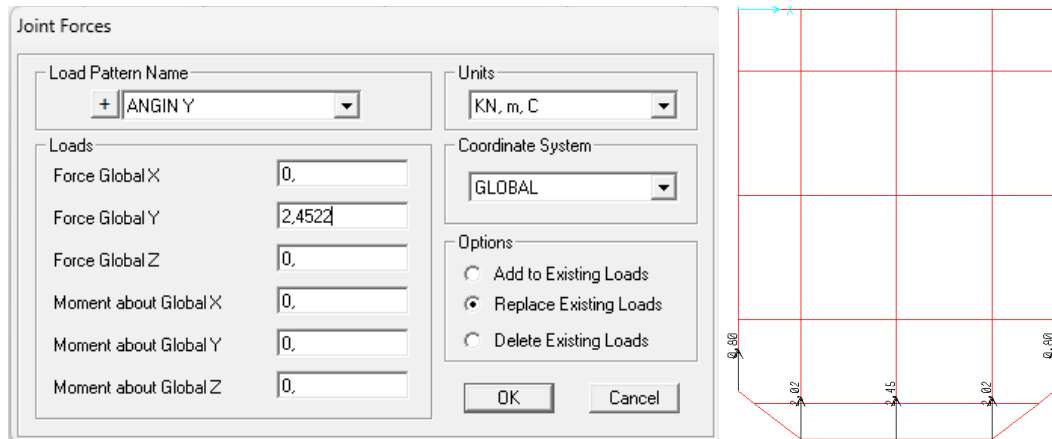
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

c) Beban angin arah x dan y pada balok



Gambar 5.49 Beban Angin Arah x pada Balok *Breasting Dolphin*

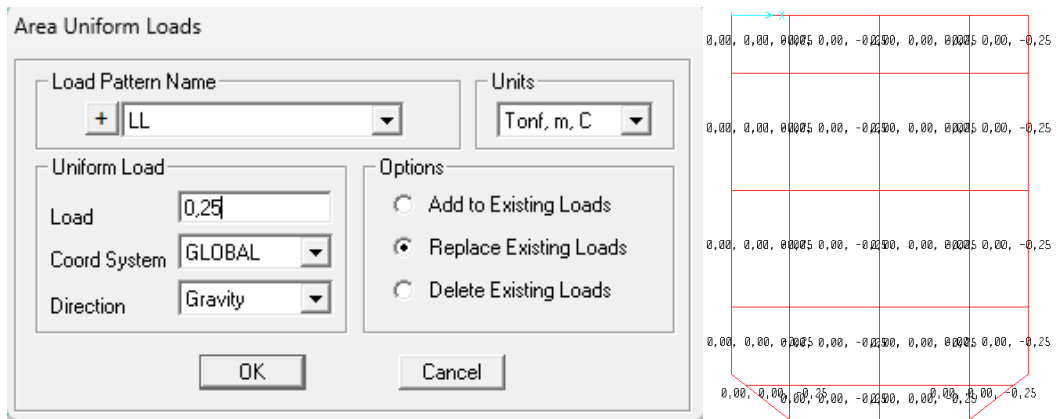
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.50 Beban Angin Arah y pada Balok *Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

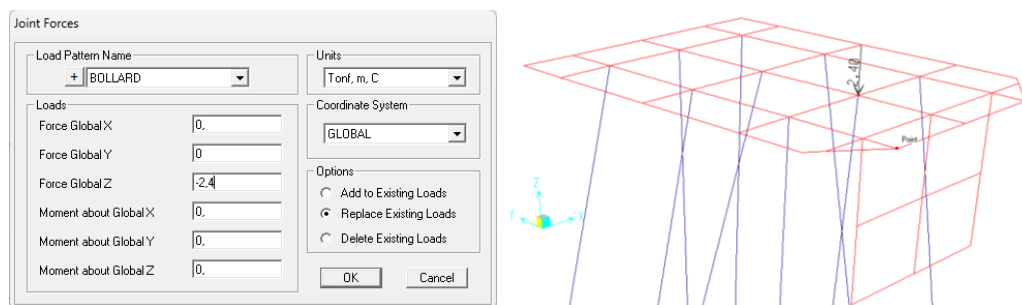
d) Beban hidup



Gambar 5.51 Beban Hidup *Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

e) Beban *bollard*



Gambar 5.52 Beban *Bollard Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

f) Beban *fender*

Joint Forces

Load Pattern Name: **FENDER**

Units: Tonf, m, C

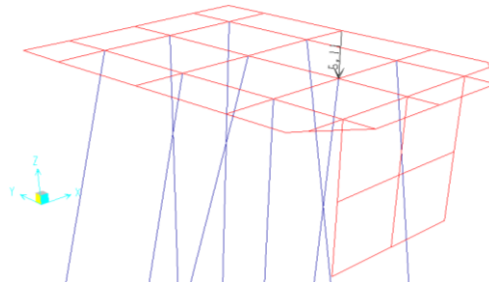
Coordinate System: GLOBAL

Options: ☐ Add to Existing Loads, ☒ Replace Existing Loads, ☐ Delete Existing Loads

OK Cancel

Limits

Force Global X	Force Global Y	Force Global Z	Moment about Global X	Moment about Global Y	Moment about Global Z
0	0	-5.1095	0	0	0



Gambar 5.53 Beban *Fender Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

g) Beban *catwalk*

Joint Forces

Load Pattern Name: **DL CATWALK**

Units: Tonf, m, C

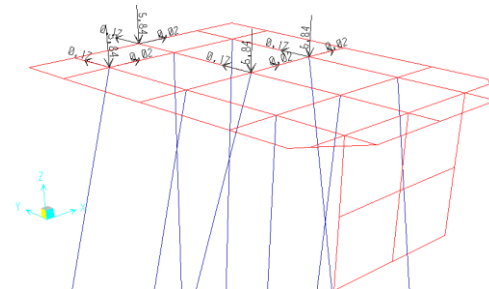
Coordinate System: GLOBAL

Options: ☐ Add to Existing Loads, ☒ Replace Existing Loads, ☐ Delete Existing Loads

OK Cancel

Limits

Force Global X	Force Global Y	Force Global Z	Moment about Global X	Moment about Global Y	Moment about Global Z
0.0234	0.1661	-5.8384	0	0	0



Gambar 5.54 Beban Mati *Catwalk Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Joint Forces

Load Pattern Name: **SDL CATWALK**

Units: Tonf, m, C

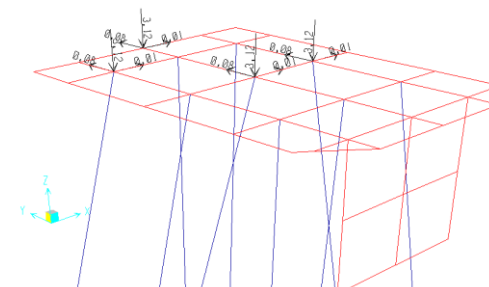
Coordinate System: GLOBAL

Options: ☐ Add to Existing Loads, ☒ Replace Existing Loads, ☐ Delete Existing Loads

OK Cancel

Limits

Force Global X	Force Global Y	Force Global Z	Moment about Global X	Moment about Global Y	Moment about Global Z
0.0266	0.2311	-8.5833	0	0	0



Gambar 5.55 Beban Mati Tambahan *Catwalk Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Joint Forces

Load Pattern Name: **LL CATWALK**

Units: Tonf, m, C

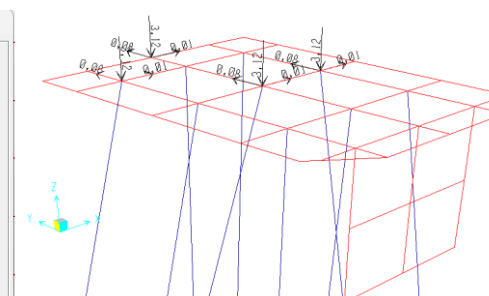
Coordinate System: GLOBAL

Options: ☐ Add to Existing Loads, ☒ Replace Existing Loads, ☐ Delete Existing Loads

OK Cancel

Limits

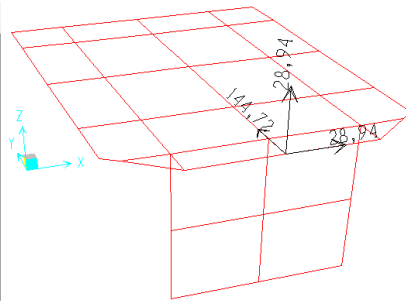
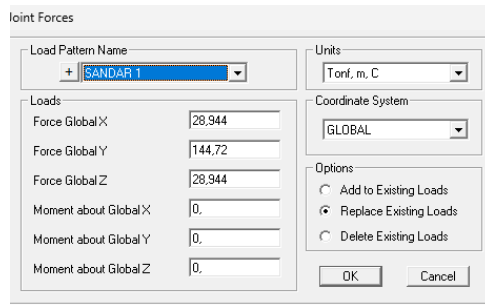
Force Global X	Force Global Y	Force Global Z	Moment about Global X	Moment about Global Y	Moment about Global Z
0.0118	0.0848	-3.1157	0	0	0



Gambar 5.56 Beban Hidup *Catwalk Breasting Dolphin*

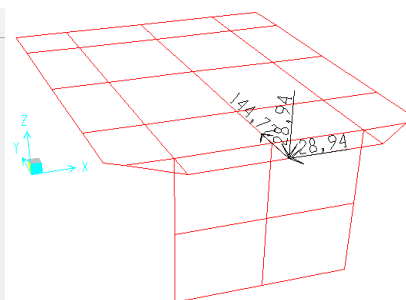
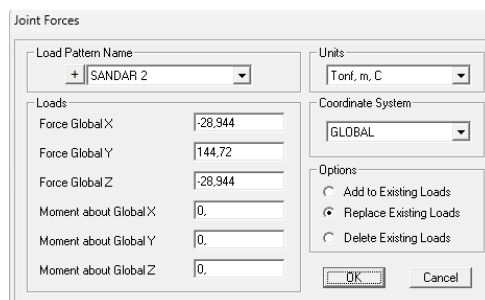
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

h) Beban sandar



Gambar 5.57 Beban Sandar 1 *Breasting Dolphin*

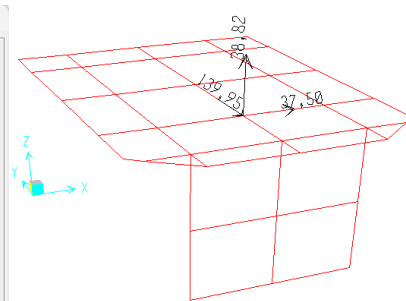
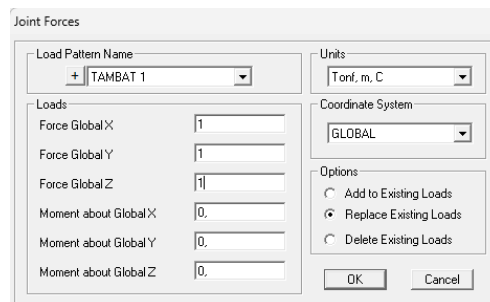
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.58 Beban Sandar 2 *Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

i) Beban tambat



Gambar 5.59 Beban Tambat 1 *Breasting Dolphin*

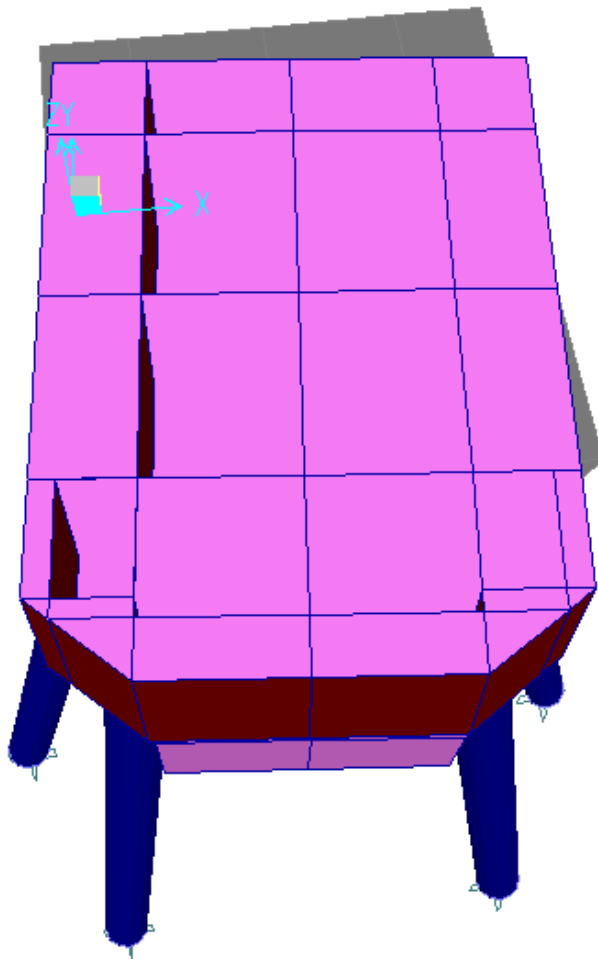
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

c. Output

Berikut terlampir hasil output – output dari proses desain dan analisis model struktur *breasting dolphin* :

1) Deformasi struktur

Deformasi struktur merupakan bentuk perubahan struktur yang terjadi akibat adanya gaya dari luar maupun dari dalam.



Gambar 5.60 *Deformed Shape Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.30 Defleksi *Breasting Dolphin*

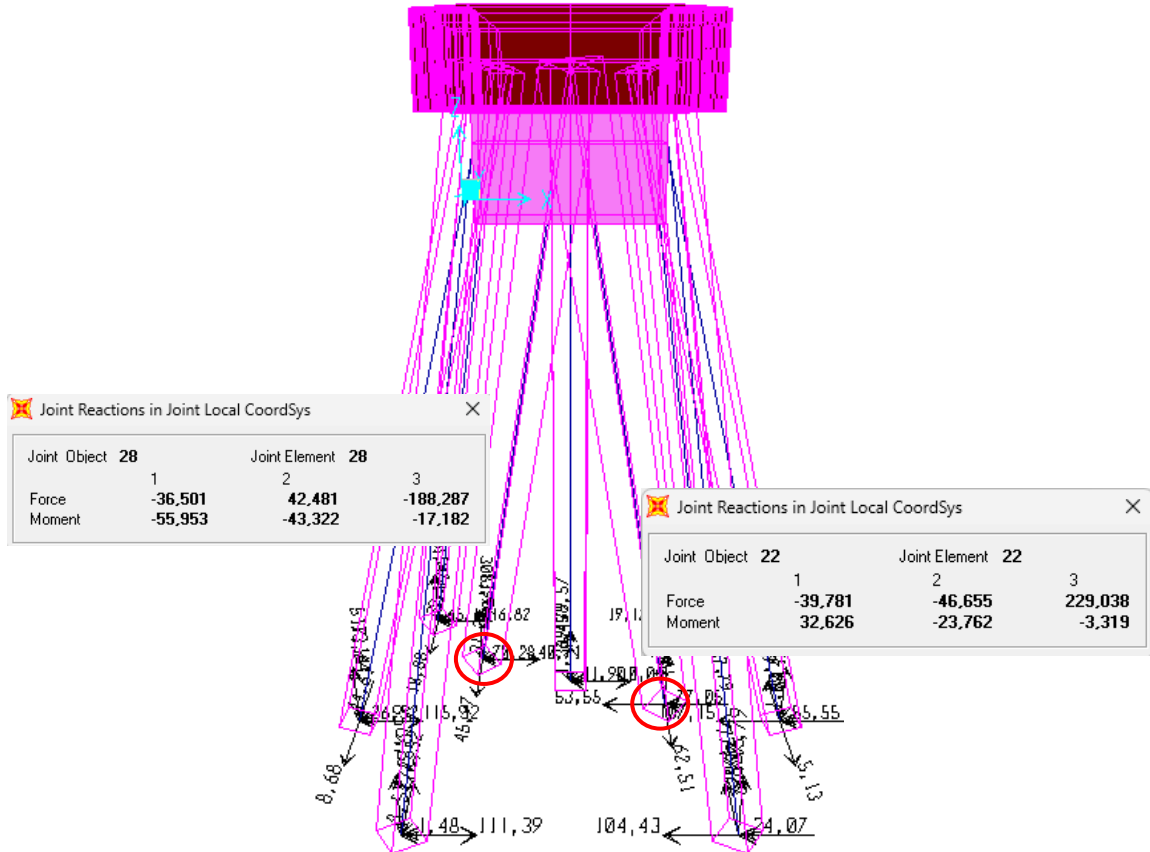
Kombinasi Beban	Case Type Text	U1 cm	U2 cm	U3 cm
Comb 1 - DL + LL + Env	Max	0,0031	-0,0013	-0,0005
	Min	0,0001	-0,0031	-0,0015
Comb 2 - DL + LL + Env + <i>Berthing</i>	Max	0,0061	0,0184	0,0015
	Min	-0,0076	0,0094	-0,0015
Comb 3 - DL + LL + Env + <i>Mooring</i>	Max	0,0182	-0,0069	0,0009
	Min	0,0001	-0,0212	-0,0041
Comb 4 - DL + LL + Gempa	Max	0,0082	0,0076	0,0004
	Min	-0,0092	-0,0124	-0,0023

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Pengecekan defleksi pada dermaga biasanya tidak lebih dari 0,6 cm dan defleksi maksimum yang didapat sebesar 0,0182 cm. Maka, defleksi struktur *breasting dolphin* dikatakan memenuhi syarat.

2) Reaksi perletakan

Tumpuan adalah tempat bersandarnya suatu konstruksi & tempat bekerjanya reaksi.



Gambar 5.61 Reaksi Perletakan *Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.31 Joint Reaksi *Breasting Dolphin*

Kombinasi Beban	Case Type Text	F1	F2	F3	M1	M2	M3
		Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
Comb 1 - DL + LL + Env	Max	11,7233	9,2309	98,2959	1,3652	-0,2782	3,5361
	Min	-20,2201	-10,3357	7,5418	-10,5283	-21,6257	-3,7716
Comb 2 - DL + LL + Env + <i>Berthing</i>	Max	30,0186	-2,2653	229,0294	65,9792	28,6442	23,3249
	Min	-39,7791	-46,6540	-66,8904	17,2800	-32,9870	-13,6197
Comb 3 - DL + LL + Env + <i>Mooring</i>	Max	27,3584	42,4835	220,7187	-9,5887	0,6338	10,6417
	Min	-47,9747	-8,0946	-188,3067	-70,0277	-78,0218	-34,9923
Comb 4 - DL + LL + Gempa	Max	29,7223	18,6843	172,9514	29,7162	37,8674	16,4229
	Min	-28,4678	-29,5739	-66,2294	-39,9873	-33,9104	-15,6185

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Berdasarkan analisis struktur *breasting dolphin* didapat gaya aksial (P) pada kondisi tekan sebesar 229,0294 ton dan kondisi tarik sebesar -188,3067 ton.

3) Gaya dalam

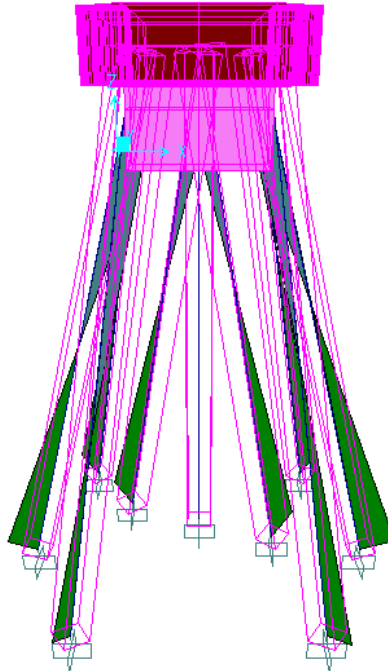
a) *Axial Force*



Gambar 5.62 *Axial Force Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

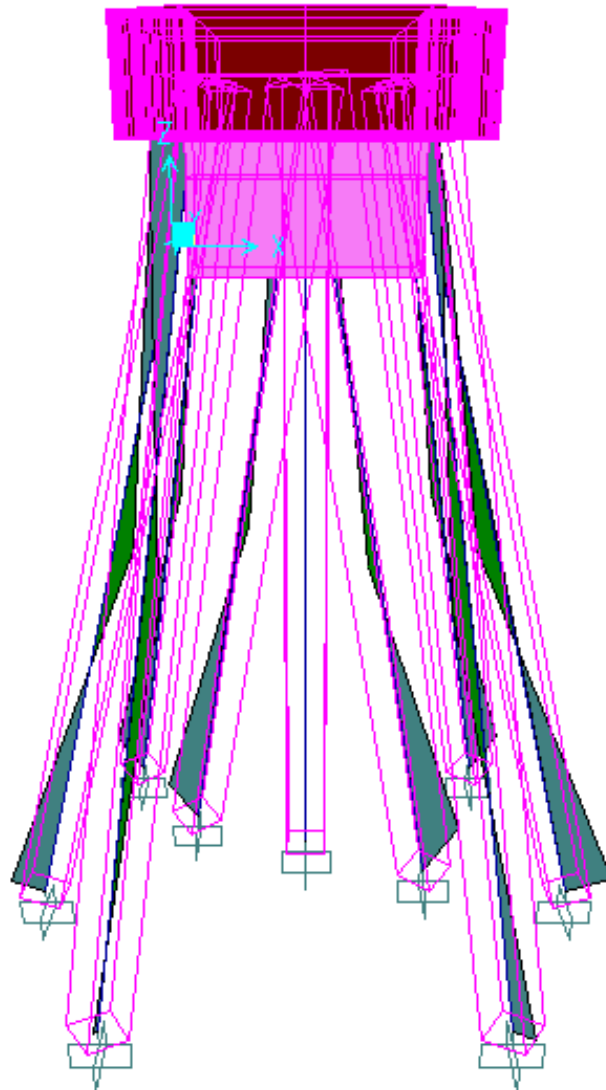
b) *Shear 2-2*



Gambar 5.63 *Shear 2-2 Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

c) *Moment 3-3*



Gambar 5.64 *Moment 3-3 Breasting Dolphin*

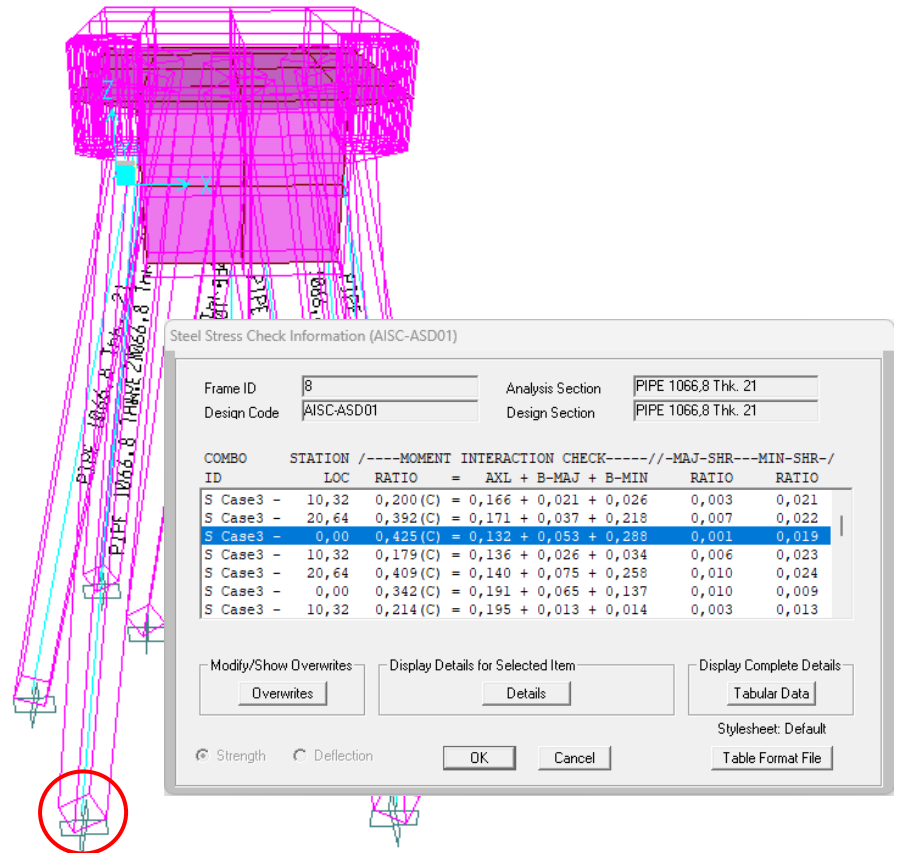
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.32 *Gaya Dalam Breasting Dolphin*

Kombinasi Beban	Case Type Text	P Tonf	V2 Tonf	V3 Tonf	T Tonf-m	M2 Tonf-m	M3 Tonf-m
Comb 1 - DL + LL + Env	Max	0,6571	3,6723	1,6668	-1,0778	20,1120	19,2428
	Min	-99,2129	-2,8900	-2,7119	-1,6254	-12,3769	-21,2013
Comb 2 - DL + LL + Env + <i>Berthing</i>	Max	77,9135	5,9157	5,6313	4,3481	65,0287	46,9278
	Min	-237,0608	-5,9691	-7,8409	-15,1564	-81,5134	-50,2344
Comb 3 - DL + LL + Env + <i>Mooring</i>	Max	203,9006	8,6741	10,6399	18,4507	106,1142	73,7796
	Min	-223,7219	-8,0491	-7,5307	1,4380	-95,1508	-80,9980
Comb 4 - DL + LL + Gempa	Max	80,3875	4,3934	4,0606	12,4265	45,6235	29,7699
	Min	-175,5969	-3,9604	-3,9117	-14,5686	-44,6811	-36,8047

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

4) Keamanan struktur



Gambar 5.65 Keamanan Struktur *Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.33 Rasio *Breasting Dolphin*

Kombinasi Beban	Ratio Unitless	Syarat Batas Unitless	Keterangan Text
Comb 1 - DL + LL + Env	0,1445	1,00	AMAN
Comb 2 - DL + LL + Env + <i>Berthing</i>	0,3428	1,00	AMAN
Comb 3 - DL + LL + Env + <i>Mooring</i>	0,4245	1,00	AMAN
Comb 4 - DL + LL + Gempa	0,2092	1,00	AMAN

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

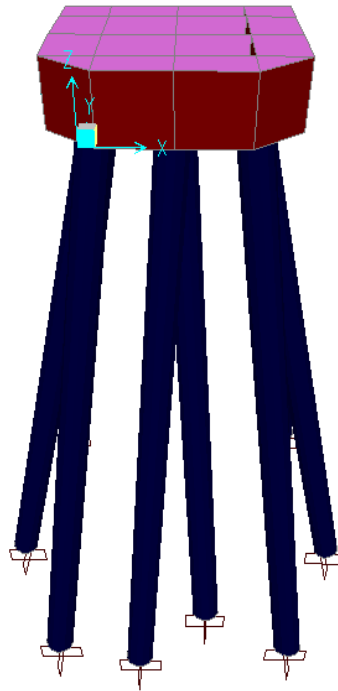
Kekuatan struktur tiang dilihat dari tiang pancang yang menopang. Apabila rasio (PMM) tiang pancang lebih dari 1,00 maka tiang pancang tersebut mengalami *overstressed* atau melebihi kapasitas kekuatannya. Berdasarkan analisis struktur *breasting dolphin* rasio terbesar didapat pada kondisi kombinasi pembebanan 3 yaitu sebesar 0,4245 dan syarat batas sebesar 1. Maka, kapasitas struktur *breasting dolphin* yang direncanakan mampu menahan beban-beban yang bekerja.

5.7.4 Analisis Struktur *Mooring Dolphin*

Ketentuan analisis permodelan struktur *mooring dolphin* adalah sebagai berikut :

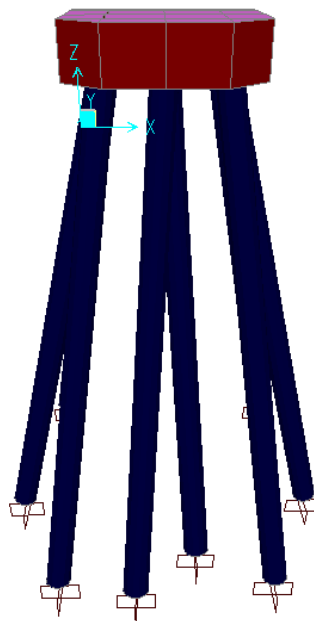
a. Gambar Permodelan

Berikut merupakan gambar langkah permodelan dari *case* yang akan dibuat :



Gambar 5.66 Permodelan *Mooring Dolphin*

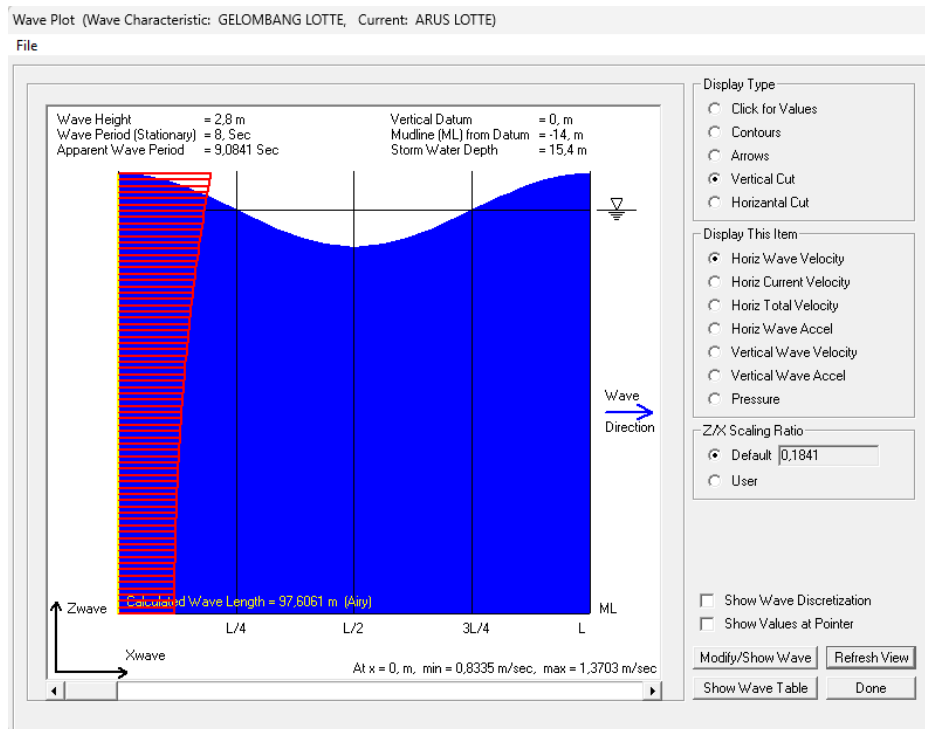
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.67 Permodelan dengan Tumpuan *Mooring Dolphin*

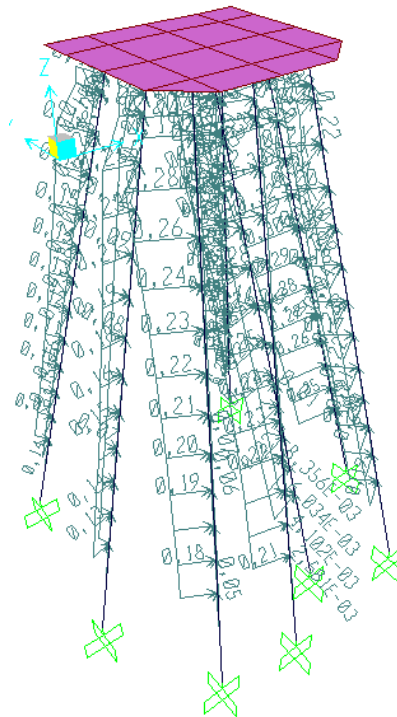
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

1) Pembebanan arus dan gelombang



Gambar 5.68 Wave and Current Characteristics Mooring Dolphin

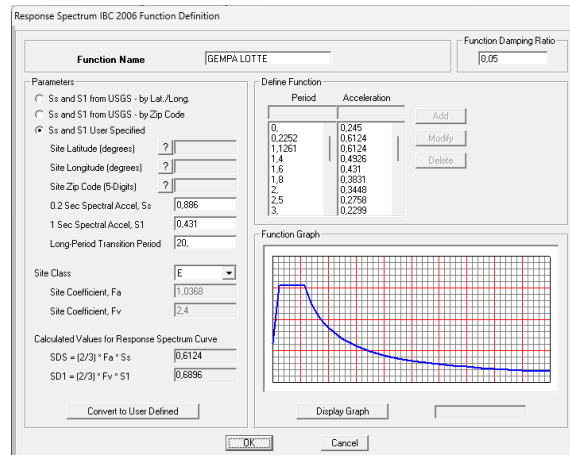
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.69 *Wave Load Pattern Mooring Dolphin*

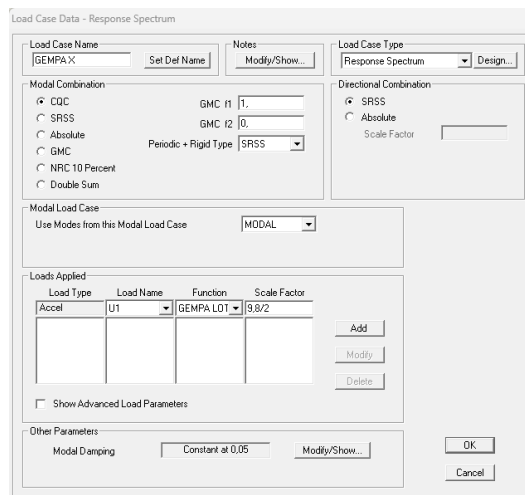
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

2) Pembebanan gempa



Gambar 5.70 *Properties Response Spectrum Mooring Dolphin*

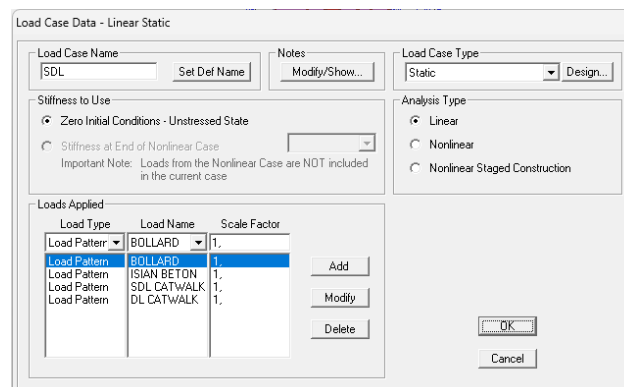
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.71 *Load Case Data Response Spectrum Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

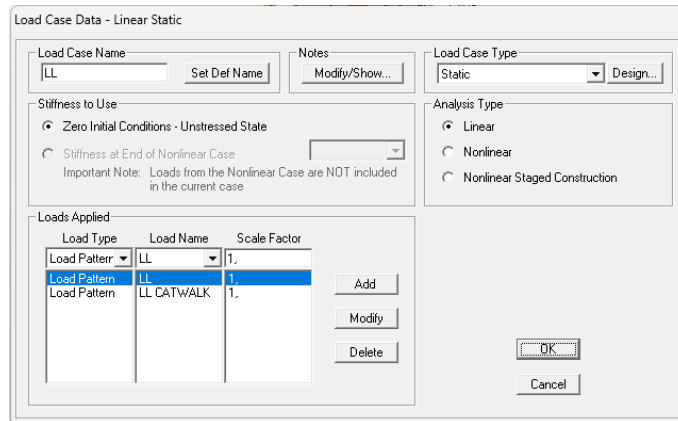
3) Beban mati tambahan



Gambar 5.72 *Load Case Data SDL Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

4) Beban hidup tambahan

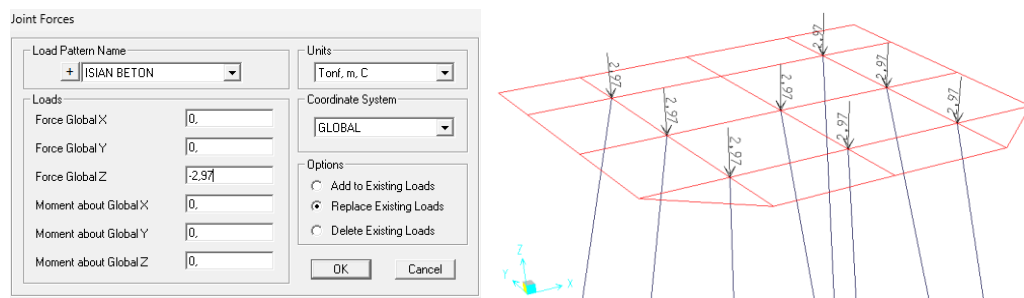


Gambar 5.73 Load Case Data LL Mooring Dolphin

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

5) Pembebanan pada struktur:

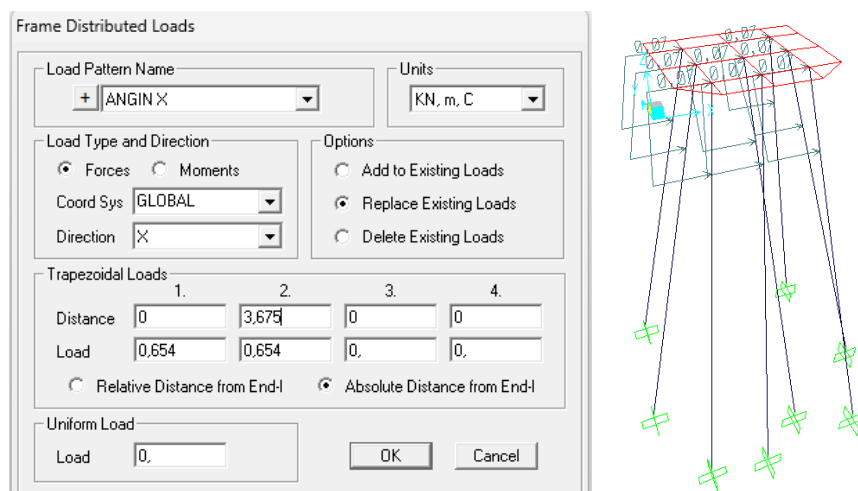
a) Beban isian beton pada *steel pile*



Gambar 5.74 Beban Isian Beton pada *Steel Pile Mooring Dolphin*

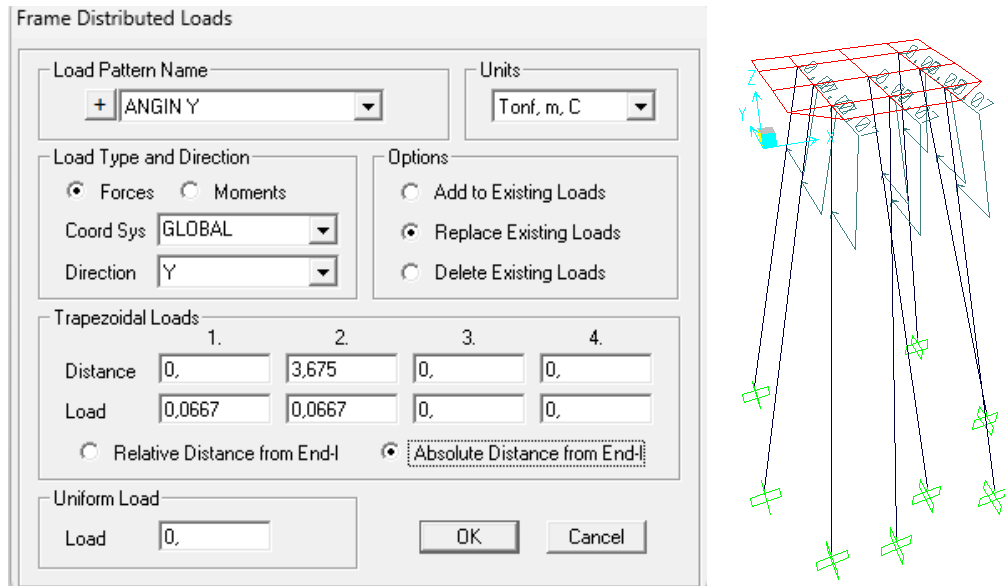
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

b) Beban angin arah x dan y pada *steel pile*



Gambar 5.75 Beban Angin Arah x *Steel Pile Mooring Dolphin*

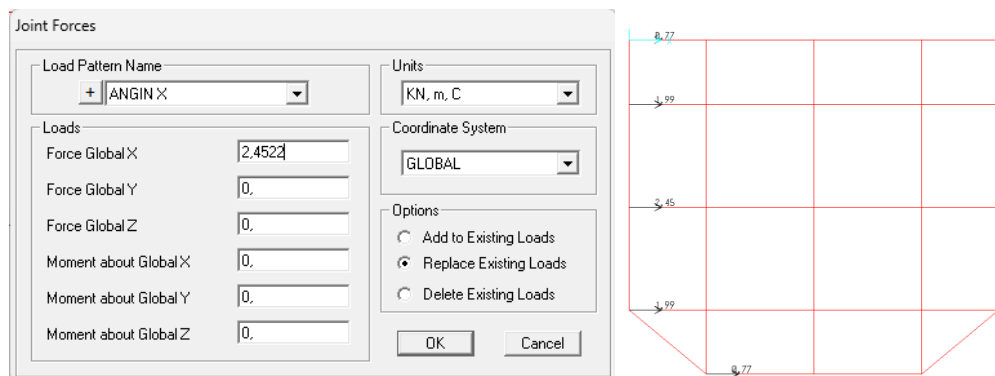
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.76 Beban Angin Arah y *Steel Pile Mooring Dolphin*

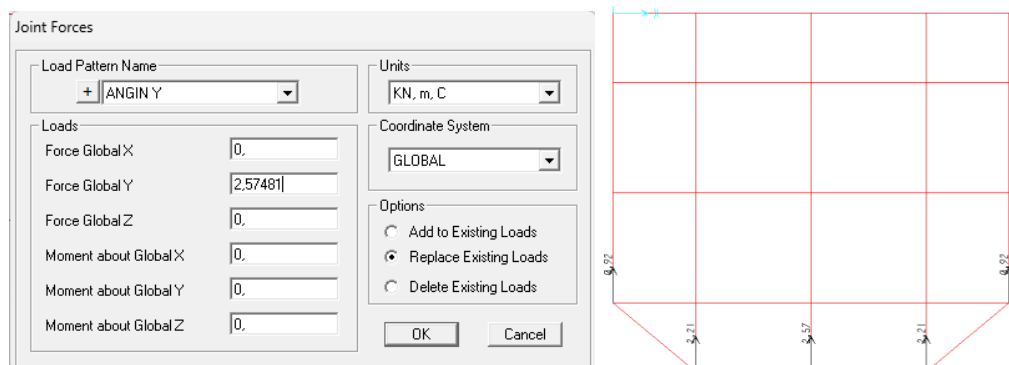
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

c) Beban angin arah x dan y pada balok



Gambar 5.77 Beban Angin arah x pada Balok *Mooring Dolphin*

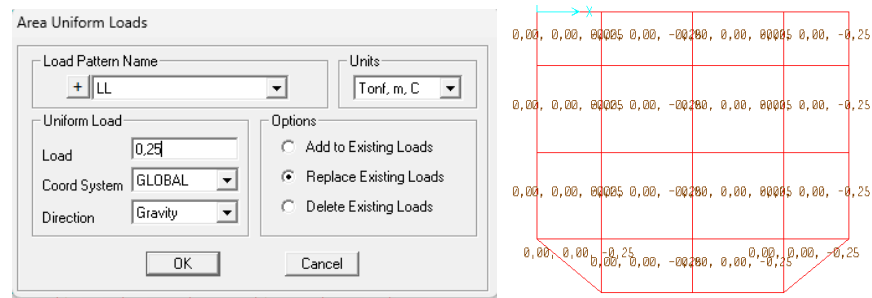
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.78 Beban Angin arah y pada Balok *Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

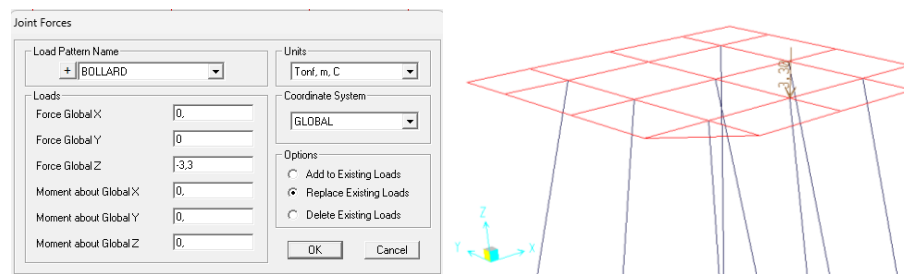
d) Beban hidup



Gambar 5.79 Beban Hidup Mooring Dolphin

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

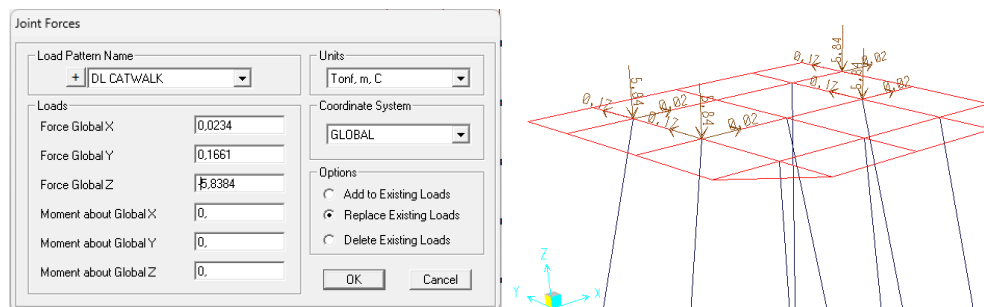
e) Beban bollard



Gambar 5.80 Beban Bollard Mooring Dolphin

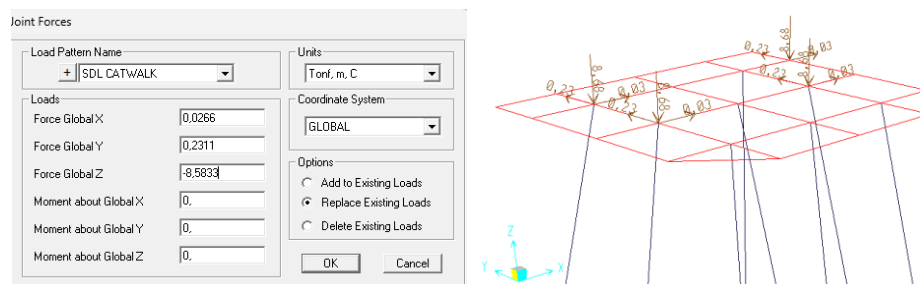
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

f) Beban catwalk



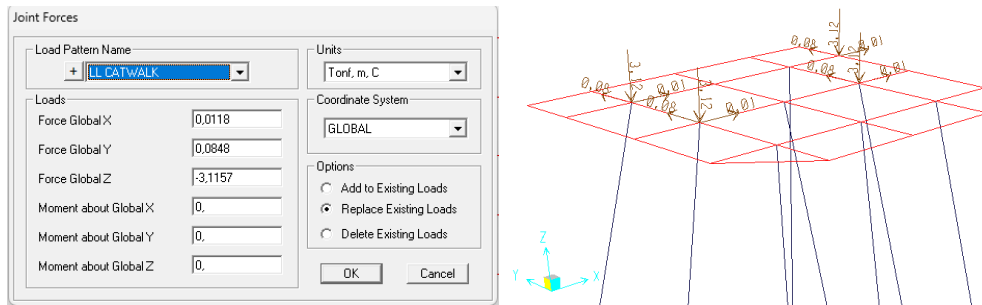
Gambar 5.81 Beban Mati Catwalk Mooring Dolphin

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.82 Beban Mati Tambahan Catwalk Mooring Dolphin

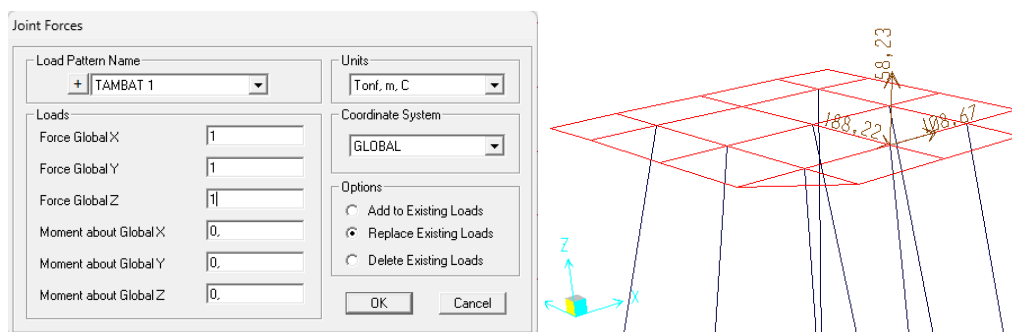
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.83 Beban Hidup *Catwalk Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

g) Beban tambat



Gambar 5.84 Beban Tambat 1 *Mooring Dolphin*

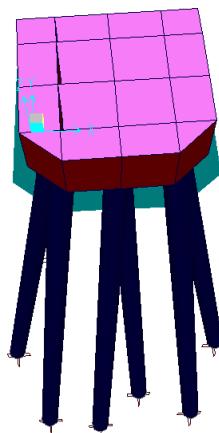
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

c. Output

Berikut terlampir hasil output – output dari proses desain dan analisis model struktur *mooring dolphin* :

1) Deformasi struktur

Deformasi struktur merupakan bentuk perubahan struktur yang terjadi akibat adanya gaya dari luar maupun dari dalam.



Gambar 5.85 *Deformed Shape Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.34 Defleksi *Mooring Dolphin*

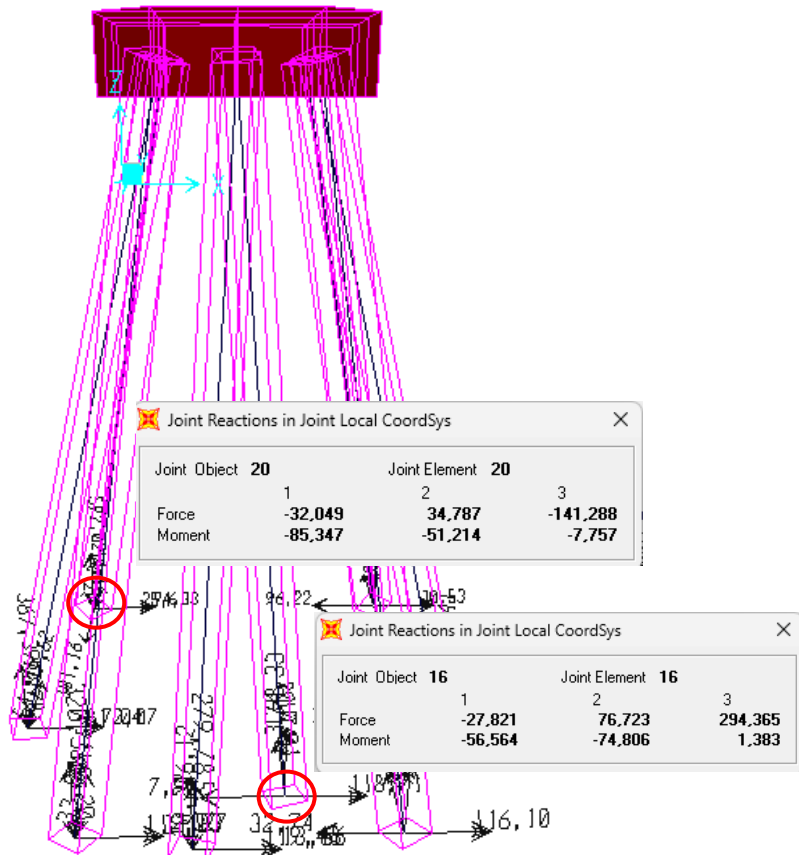
Kombinasi Beban	Case Type Text	U1 cm	U2 cm	U3 cm
Comb 1 - DL + LL + Env	Max	0,0038	0,0038	-0,0002
	Min	0,0010	0,0027	-0,0017
Comb 2 - DL + LL + Env + <i>Mooring</i>	Max	0,0293	-0,0069	0,0052
	Min	-0,0010	-0,0236	-0,0043
Comb 3 - DL + LL + Gempa	Max	0,0090	0,0098	0,0008
	Min	-0,0095	-0,0044	-0,0030

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Pengecekan defleksi pada dermaga biasanya tidak lebih dari 0,6 cm dan defleksi maksimum yang didapat sebesar 0,0293 cm. Maka, defleksi struktur *mooring dolphin* dikatakan memenuhi syarat.

2) Reaksi perletakan

Tumpuan adalah tempat bersandarnya suatu konstruksi dan tempat bekerjanya reaksi.



Gambar 5.86 Reaksi Perletakan *Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.35 Joint Reaksi *Mooring Dolphin*

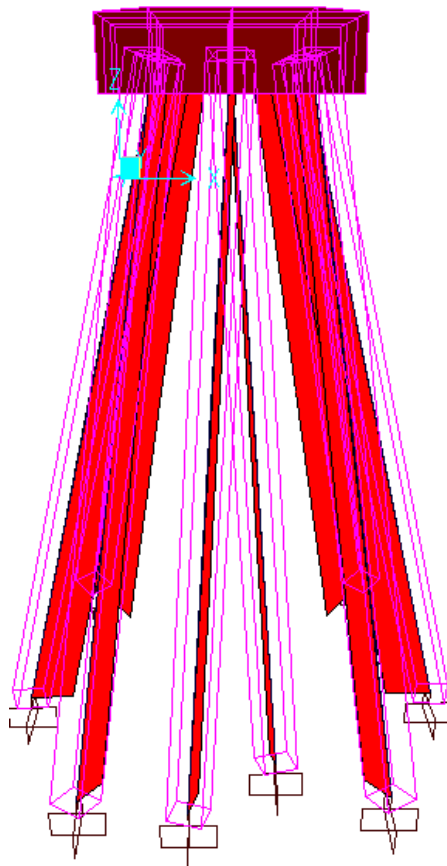
Kombinasi Beban	Case Type Text	F1 Tonf	F2 Tonf	F3 Tonf	M1 Tonf-m	M2 Tonf-m	M3 Tonf-m
Comb 1 - DL + LL + Env	Max	13,2012	7,3523	91,2070	16,4172	-2,2925	5,7413
	Min	-17,8597	-17,0207	17,3545	4,6122	-24,6547	-5,6905
Comb 2 - DL + LL + Env + <i>Mooring</i>	Max	18,0556	77,9389	294,3652	-11,8457	6,4805	21,9123
	Min	-55,2666	-6,8030	-141,2883	-89,5841	-113,8216	-36,0228
Comb 3 - DL + LL + Gempa	Max	26,5922	23,0789	142,1139	38,4358	38,7447	10,7736
	Min	-26,1647	-27,5342	-46,2510	-21,2886	-36,0176	-10,8878

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Berdasarkan analisis struktur *mooring dolphin* didapat gaya aksial (P) pada kondisi tekan sebesar 294,3652 ton dan kondisi tarik sebesar -141,2883 ton. Sedangkan, gaya lateral (H) tiang pancang Ø1066.8x21t sebesar 77,9389 ton.

3) Gaya dalam

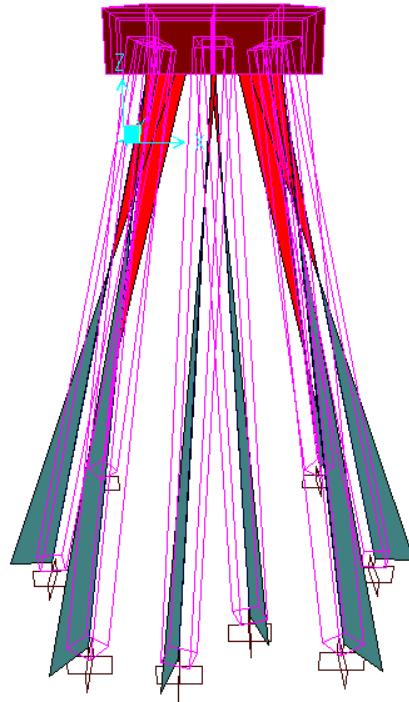
a) *Axial Force*



Gambar 5.87 *Axial Force Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

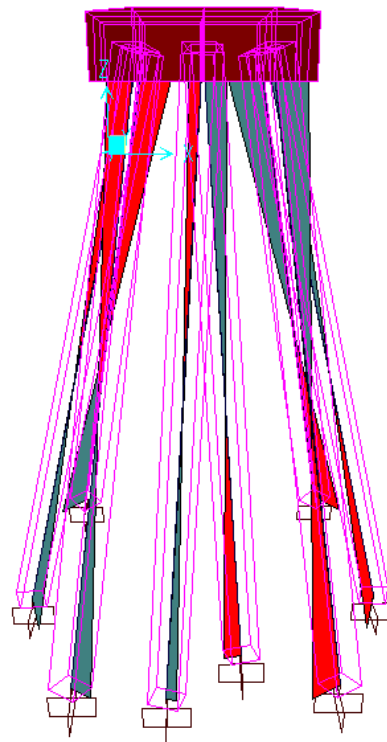
b) *Shear 2-2*



Gambar 5.88 *Shear 2-2 Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

c) *Moment 3-3*



Gambar 5.89 *Moment 3-3 Mooring Dolphin*

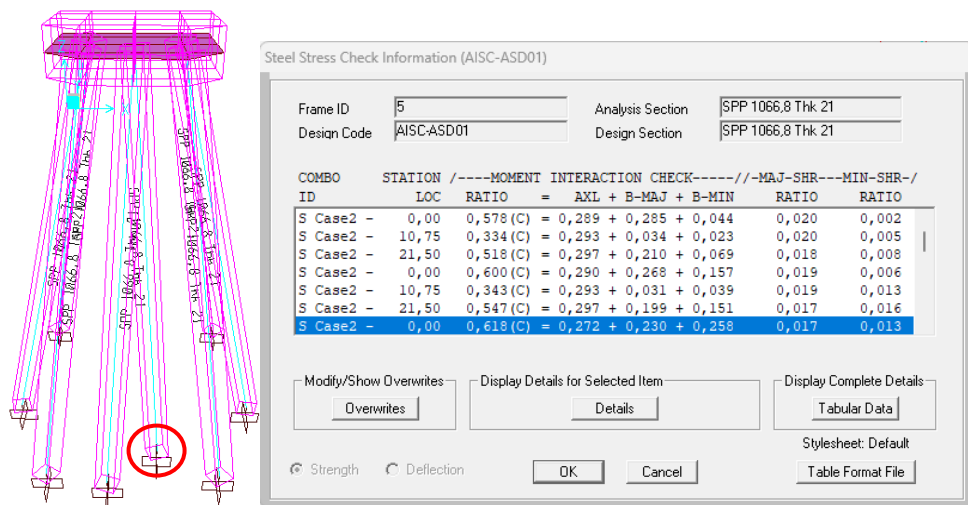
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.36 Gaya Dalam *Mooring Dolphin*

Kombinasi Beban	Case Type Text	P Tonf	V2 Tonf	V3 Tonf	T Tonf-m	M2 Tonf-m	M3 Tonf-m
Comb 1 - DL + LL + Env	Max	-9,5968	4,1782	3,2407	0,8139	20,2023	17,1698
	Min	-94,1841	-2,3914	-2,6497	-0,0865	-23,3624	-26,3936
Comb 2 - DL + LL + Env + <i>Mooring</i>	Max	156,2719	12,1280	14,6314	21,3076	153,8213	111,7071
	Min	-305,2969	-10,3054	-9,1133	-1,8461	-130,1757	-110,9492
Comb 3 - DL + LL + Gempa	Max	60,1630	5,0850	3,7252	4,8909	45,2299	39,3142
	Min	-146,8792	-5,0648	-4,1071	-3,9461	-49,9853	-49,5522

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

d) Keamanan struktur

Gambar 5.90 Keamanan Struktur *Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.37 Rasio *Mooring Dolphin*

Kombinasi Beban	Ratio Unitless	Syarat Batas Unitless	Keterangan Text
Comb 1 - DL + LL + Env	0,1407	1,00	AMAN
Comb 2 - DL + LL + Env + <i>Mooring</i>	0,6181	1,00	AMAN
Comb 3 - DL + LL + Gempa	0,2019	1,00	AMAN

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Kekuatan struktur tiang dilihat dari tiang pancang yang menopang. Apabila rasio (PMM) tiang pancang lebih dari 1,00 maka tiang pancang tersebut mengalami *overstressed* atau melebihi kapasitas kekuatannya. Berdasarkan analisis struktur *mooring dolphin* rasio terbesar didapat pada kondisi kombinasi pembebanan 2 yaitu sebesar 0,6181 dan syarat batas sebesar 1. Maka, kapasitas struktur *mooring dolphin* yang direncanakan mampu menahan beban-beban yang bekerja.

5.8 Daya Dukung Aksial Tiang Pancang

5.8.1 Daya Dukung Aksial Tiang Pancang *Breasting Dolphin*

Daya dukung aksial tiang merupakan beban izin yang dapat ditanggung oleh 1 buah tiang yang ditancapkan pada suatu lokasi dan pada kedalaman tertentu. Berikut perhitungan daya dukung aksial tiang pancang pada struktur *breasting dolphin* :

- a. Daya dukung izin tekan berdasarkan data N-SPT

Berikut perhitungan daya dukung aksial tiang pancang pada struktur *breasting dolphin* dengan metode mayerhof berdasarkan data N-SPT yang ditunjukkan pada Tabel 5.2 pada kedalaman 12 m di bawah permukaan tiang.

Diketahui :

- | | |
|--|---|
| 1) Diameter tiang (D) | $= 1,0668 \text{ m}$
$= 106,68 \text{ cm}$ |
| 2) Jari-jari tiang (r) | $= \frac{D}{2}$
$= \frac{1066,8}{2}$
$= 533,4 \text{ mm}$ |
| 3) Tebal tiang (t) | $= 0,021 \text{ m}$
$= 2,1 \text{ cm}$ |
| 4) Kuat tekan beton (f_c') | $= 35 \text{ MPa}$ |
| 5) Teg. leleh baja (σ) | $= 310 \text{ MPa}$
$= 3161,07 \text{ kg/cm}^2$ |
| 6) Teg. Aksial ijin | $= \frac{\sigma}{1,5}$
$= \frac{3161,07}{1,5}$
$= 2107,38 \text{ kg/cm}^2$ |
| 7) Modulus elastisitas untuk Penguatan (E_s) | $= 200000 \text{ MPa}$ |
| 8) Luas permukaan ujung (A_p) | $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$
$= \frac{1}{4} \times \pi \times 1,0668^2$
$= 0,8379 \text{ m}$
$= 83,7863 \text{ cm}$ |

9) Keliling segmen tiang (A_{st})	$= \pi \times \text{kedalaman} \times D$ $= \pi \times 100 \times 0,8379$ $= 40,2174 \text{ m}$
10) Berat penampang tiang pancang (m)	$= (D - t) \times t \times 0,02466$ $= (1066,8 - 21) \times 21 \times 0,02466$ $= 541,58 \text{ kg}$
11) Momen Inersia (I)	$= \frac{2}{3} \times m \times r^2$ $= \frac{2}{3} \times 541,58 \times 5,334^2$ $= 10272,50 \text{ kg/m}^2$
12) Panjang tiang pancang yang ditinjau (e)	$= \text{Seabed}$ $= 13,50 \text{ m}$
13) <i>Fixity point</i> (Z_f)	$= 3,18 \text{ m}$
14) Faktor keamanan (SF)	$= 2,5$
15) P aktual	$= 229,0294 \text{ ton}$
Penyelesaian :	
Daya dukung ujung tiang (Q_p)	$= 40 \times N \times A_p$ $= 40 \times 100 \times 0,8379$ $= 3351,4510 \text{ ton}$
Daya dukung selimut tiang (Q_s)	$= (0,5 \times A_s) \times N$ $= (0,5 \times 40,2174) \times 100$ $= 2010,8706 \text{ ton}$
Daya dukung ultimate tiang ($Q_{u_{\text{tekan}}}$)	$= Q_p + Q_s$ $= 3351,4510 + 2010,8706$ $= 5362,3217 \text{ ton}$
Daya dukung izin ($Q_{izin_{\text{tekan}}}$)	$= \frac{Q_u}{SF}$ $= \frac{5362,3217}{2,5}$ $= 2144,9286 \text{ ton}$
P aktual (229,0294 ton)	$< Q \text{ izin (2144,9286 ton) OK}$

Untuk perhitungan daya dukung tiang selengkapnya dapat dilihat pada tabel 5.38 berikut.

Tabel 5.38 Daya Dukung Tekan Tiang Berdasarkan data NSPT *Breasting Dolphin*

Depth (m)	Jenis tanah	Li (m)	Soil Parameter			Li × Fi (t/m)	ΣLi × Fi (t/m)	Ap (m ²)	As (m)	Diameter: 1,0668 m			
			N	qd (t/m ²)	Fi (t/m ²)					Qp (ton)	Qs (ton)	Qult (ton)	Qizin (ton)
0	clay	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5	clay	1,5	1	20	1	1,5	1,5	0,84	5,03	33,51	1,01	34,52	13,81
3	clay	1,5	2	40	2	3	4,5	0,84	10,05	67,03	4,02	71,05	28,42
4,5	clay	1,5	8	160	8	12	16,5	0,84	15,08	268,12	60,33	328,44	131,38
6	sand	1,5	94	3760	18,8	28,2	44,7	0,84	20,11	3150,36	945,11	4095,47	1638,19
7,5	sand	1,5	94	3760	18,8	28,2	72,9	0,84	25,14	3150,36	1181,39	4331,75	1732,70
9	sand	1,5	97	3880	19,4	29,1	102	0,84	30,16	3250,91	1462,91	4713,82	1885,53
10,5	sand	1,5	98	3920	19,6	29,4	131,4	0,84	35,19	3284,42	1724,32	5008,74	2003,50
12	sand	1,5	100	4000	20	30	161,4	0,84	40,22	3351,45	2010,87	5362,32	2144,93

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

$$\text{Modulus section tiang baja (W)} = \frac{\pi \times (D^4 - (D - 2 \times t^4))}{32 \times D}$$

$$= \frac{\pi \times (106,68^4 - (106,68 - 2 \times 2,1^4))}{32 \times 106,68}$$

$$= 119192,4339 \text{ cm}^3$$

Momen ultimate pada tiang (Mu)

$$= \sigma \times W$$

$$= 3161,07 \times 119192,4339$$

$$= 376775627 \text{ kg-cm}$$

$$= 4153,2621 \text{ ton}$$

M aktual

$$= 65,9792 \text{ ton}$$

M ultimate (4153,2621 ton)

$$> \text{M aktual (65,9792 ton) OK}$$

Kontrol terhadap kekuatan bahan (σ)

$$= \frac{P}{A} \pm \frac{M}{W}$$

$$= \frac{2144,93 \times 10^3}{8378,62} + \frac{65,97 \times 10^5}{119192,43}$$

$$= 311,36 < 2107,38 \text{ kg/cm}^2$$

$$= \frac{2144,93 \times 10^3}{8378,62} - \frac{65,97 \times 10^5}{119192,43}$$

$$= 200,64 < 2107,38 \text{ kg/cm}^2$$

Kontrol terhadap tekuk (P_{cr})

$$= \frac{\pi \times E \times I}{(e \times Zf)^2}$$

$$= \frac{\pi \times 200000 \times 192585,13}{(1350 \times 318)^2}$$

$$= 43492,1155 \text{ ton}$$

P_{cr} (43492,1155 ton)

> P aktual (229,0294 ton) **OK**

P_{cr} harus lebih besar dari gaya aksial tekan aktual struktur.

L

$$= e + Zf$$

$$= 13,50 + 3,18$$

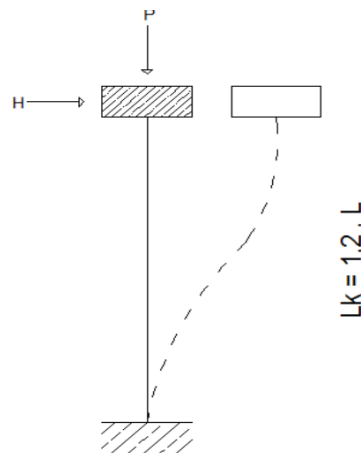
$$= 16,68 \text{ m}$$

Kontrol kelangsingan (Lk)

$$= 1,2 \times L$$

$$= 1,2 \times 16,68$$

$$= 20,016 \text{ m}$$



Gambar 5.91 Asumsi Panjang Tekuk Tiang

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

i

$$= \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$= \sqrt{\frac{10272,49}{83,7862}}$$

$$= 11,0726 \text{ cm}$$

$$= 0,1107 \text{ m}$$

λ

$$= \frac{Lk}{i}$$

$$= \frac{20,016}{0,1107}$$

$$= 180,7697$$

Angka kelangsingan batas (λ_g)	$= \sqrt{\frac{E}{0,7 \times f_c'}} \times \pi$	
	$= \sqrt{\frac{200000}{0,7 \times 35}} \times \pi$	
	$= 283,8453$	
λ_g (283,8453)	$> \lambda$ (180,7697)	OK
λ_s	$= \frac{\lambda}{\lambda_g}$	
	$= \frac{180,7698}{283,8454}$	
	$= 0,6368$	

Dengan nilai $0.183 < \lambda_s < 1$, maka nilai ω dihitung sebagai berikut:

ω	$= \frac{1,41}{1,593 - \lambda_s}$	
	$= \frac{1,41}{1,593 - 0,6368}$	
	$= 1,4746$	
$P_{\text{tekan izin (beban tetap)}}$	$= \frac{\sigma_{\text{Aksial izin}} \times A}{\omega}$	
	$= \frac{2107,38 \times 0,8379}{1,4746}$	
	$= 1197,3416 \text{ ton}$	
$P_{\text{tekan izin}}$ (1197,34 ton)	$> P_{\text{tekan terjadi}}$ (229,03 ton)	OK

$P_{\text{tekan izin (beban sementara)}}$	$= \frac{\sigma_{\text{Aksial izin}} \times A}{\omega}$	
	$= \frac{3161,07 \times 0,8379}{1,4746}$	
	$= 1796,0124 \text{ ton}$	
$P_{\text{tekan izin}}$ (1796,0124 ton)	$> P_{\text{tekan terjadi}}$ (229,03 ton)	OK

b. Daya dukung izin tarik

Diketahui:

1) Diameter tiang pancang (D)	$= 1,067 \text{ m}$
2) Tebal tiang pancang (t)	$= 0,021 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
3) \text{ Nilai N-SPT (N)} &= 100 \\
4) \text{ Berat (W}_p\text{)} &= B_{\text{baja}} \times D \times t \times N \\
&= 7,85 \times 1,0668 \times 0,021 \times 100 \\
&= 17,5862 \text{ ton} \\
5) \text{ Daya dukung selimut tiang (Qs)} &= (0,5 \times A_s) \times N \\
&= (0,5 \times 40,2174) \times 100 \\
&= 2010,8706 \text{ ton}
\end{aligned}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
\text{Daya dukung izin (Q}_{\text{ulttarik}}\text{)} &= 0,7 \times Q_s + W_p \\
&= 0,7 \times 2010,8706 + 17,5862 \\
&= 1425,20 \text{ ton}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Daya dukung izin (Q}_{\text{izintarik}}\text{)} &= \frac{Q_u}{\text{SF}} \\
&= \frac{1425,20}{2,5} \\
&= 570,08 \text{ ton}
\end{aligned}$$

Perhitungan daya dukung tarik tiang berdasarkan data N-SPT struktur *breasting dolphin* pada masing-masing kedalaman bisa dilihat pada Tabel 5.39.

Tabel 5.39 Daya Dukung Tarik Tiang Berdasarkan data N-SPT *Breasting Dolphin*

Depth (m)	Jenis tanah	Li (m)	N	As (m)	Wp (kg)	Diameter: 1,0668 m		
						Qs (ton)	Q _{ulttarik} (ton)	Q _{izintarik} (ton)
0	clay	1,5	0	0	0	0,00	0,00	0
1,5	clay	1,5	1	5,02718	0,18	1,01	0,88	0,35
3	clay	1,5	2	10,0544	0,35	10,05	7,39	2,96
4,5	clay	1,5	8	15,0815	1,41	60,33	43,64	17,45
6	sand	1,5	94	20,1087	16,53	945,11	678,11	271,24
7,5	sand	1,5	94	25,1359	16,53	1181,39	843,50	337,40
9	sand	1,5	97	30,1631	17,06	1462,91	1041,09	416,44
10,5	sand	1,5	98	35,1902	17,23	1724,32	1224,26	489,70
12	sand	1,5	100	40,2174	17,59	2010,87	1425,20	570,08

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

c. Jumlah tiang yang diperlukan

Diketahui :

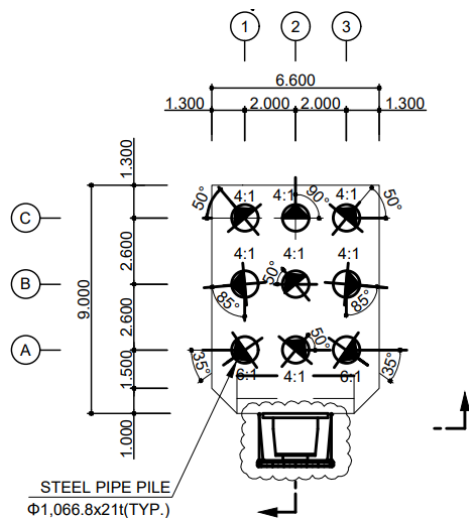
$$\begin{aligned}
1) \text{ Gaya aksial yang terjadi (P)} &= 229,0294 \text{ ton} \\
2) \text{ Daya dukung izin tekan tiang (P}_{\text{all}}\text{)} &= 1197,3416 \text{ ton}
\end{aligned}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 np &= \frac{P}{P_{all}} \\
 &= \frac{229,0294}{1197,3416} \\
 &= 0,1913 \text{ tiang}
 \end{aligned}$$

Maka, dipakai 1 tiang

d. Efisiensi kelompok tiang



Gambar 5.92 Dimensi Beton Deck dan Jarak Tiang *Breasting Dolphin*

(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

Diketahui :

- 1) Ukuran penampang tiang (D) = 130 cm
- 2) Jarak antar tiang (s) = 200 cm
- 3) θ = $\arctan \left(\frac{D}{s} \right)$
 $= \arctan \left(\frac{130}{200} \right)$
 $= 23,02^\circ$
- 4) Jumlah tiang dalam 1 kolom (m) = 3 buah
- 5) Jumlah tiang dalam 1 baris (n) = 3 buah
- 6) Jumlah tiang yang dipakai = 9 buah
- 7) Gaya aksial (P) = 229,0294 ton
- 8) Daya dukung izin tekan tiang (P_{all}) = 1197,34 ton

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \Theta \times \frac{(n-1) \times 2 + (m-1) \times 2}{90 \times m \times n} \\ &= 1 - 33,02^\circ \times \frac{(3-1) \times 2 + (3-1) \times 2}{90 \times 3 \times 3} \\ &= 0,6738 \end{aligned}$$

Daya dukung vertikal kelompok tiang adalah

$$\begin{aligned} P &= E_g \times \text{jumlah } pile \times \text{daya dukung tiang} \\ &= 0,6738 \times 9 \times 1197,34 \\ &= 7261,3323 \text{ ton} > 229,0294 \text{ ton} \quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

Mengacu pada Tabel 5.31 didapat daya dukung aksial tekan struktur *breasting dolphin* sebesar 229,0294 ton. Sehingga, dapat disimpulkan daya dukung aksial tiang pancang struktur *breasting dolphin* masih dalam batas aman.

e. Beban maksimum tiang pada kelompok tiang

Diketahui :

- | | |
|---|---|
| 1) Gaya aksial yang terjadi (P_u) | = 229,0294 ton |
| 2) Momen yang bekerja tegak lurus sumbu x (M_x) | = 65,9792 ton |
| 3) Momen yang bekerja tegak lurus sumbu y (M_y) | = 37,8674 ton |
| 4) Jarak tiang arah sumbu x terjauh ($X_{\max}$) | = 1 m |
| 5) Jarak tiang arah sumbu y terjauh ($Y_{\max}$) | = 1,3 m |
| 6) Banyak tiang dalam satu baris arah sumbu x (n_x) | = 3 buah |
| 7) Banyak tiang dalam satu baris arah sumbu y (n_y) | = 3 buah |
| 8) Jumlah tiang (n_p) | = 9 buah |
| 9) Jumlah kuadrat X (ΣX^2) | = $3 \times 3 \times 1^2$
= 9 m ² |
| 10) Jumlah kuadrat Y (ΣY^2) | = $3 \times 3 \times 1,3^2$
= 15,21 m ² |

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} P_{\text{maks}} &= \frac{P_u}{n_p} \pm \frac{M_y \times X_{\max}}{n_y \times \Sigma X^2} \pm \frac{M_x \times Y_{\max}}{n_x \times \Sigma Y^2} \\ &= \frac{229,0294}{9} + \frac{37,8674 \times 1}{3 \times 9} + \frac{65,9792 \times 1,3}{3 \times 15,21} \\ &= 28,7299 \text{ ton} < 1197,34 \text{ ton} \quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

$$= \frac{229,0294}{9} - \frac{37,8674 \times 1}{3 \times 9} - \frac{65,9792 \times 1,3}{3 \times 15,21}$$

$$= 22,1654 \text{ ton} < 1197,34 \text{ ton} \quad (\text{Memenuhi})$$

Mengacu pada analisis perhitungan daya dukung izin tekan tiang didapat sebesar 1197,34 ton. Sehingga, dapat disimpulkan beban maksimum tiang pada kelompok tiang struktur *breasting dolphin* masih dalam batas aman.

5.8.2 Daya Dukung Aksial Tiang Pancang *Mooring Dolphin*

Berikut perhitungan daya dukung aksial tiang pancang pada struktur *mooring dolphin* :

- a. Daya dukung izin tekan berdasarkan data N-SPT

Berikut perhitungan daya dukung aksial tiang pancang pada struktur *mooring dolphin* dengan metode mayerhof berdasarkan data N-SPT yang ditunjukkan pada Tabel 5.2 pada kedalaman 12 m di bawah permukaan tiang.

Diketahui :

- | | |
|---|------------------------------|
| 1) Diameter tiang (D) | = 1,0668 m |
| | = 106,68 cm |
| 2) Jari-jari tiang (r) | $= \frac{D}{2}$ |
| | $= \frac{1066,8}{2}$ |
| | = 533,4 mm |
| 3) Tebal tiang (t) | = 0,021 m |
| | = 2,1 cm |
| 4) Kuat tekan beton (fc') | = 35 MPa |
| 5) Teg. leleh baja (σ) | = 310 MPa |
| | = 3161,07 kg/cm ² |
| 6) Teg. Aksial ijin | $= \frac{\sigma}{1,5}$ |
| | $= \frac{3161,07}{1,5}$ |
| | = 2107,38 kg/cm ² |
| 7) Modulus elastisitas untuk Penguatan (Es) | = 200000 MPa |

8) Luas permukaan ujung (A_p)	$= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$ $= \frac{1}{4} \times \pi \times 1,0668^2$ $= 0,8379 \text{ m}$ $= 83,7863 \text{ cm}$
9) Keliling segmen tiang (A_{st})	$= \pi \times \text{kedalaman} \times D$ $= \pi \times 100 \times 0,8379$ $= 40,2174 \text{ m}$
10) Berat penampang tiang pancang (m)	$= (D - t) \times t \times 0,02466$ $= (1066,8 - 21) \times 21 \times 0,02466$ $= 541,58 \text{ kg}$
11) Momen Inersia (I)	$= \frac{2}{3} \times m \times r^2$ $= \frac{2}{3} \times 541,58 \times 5,334^2$ $= 10272,50 \text{ kg/m}^2$
12) Panjang tiang pancang yang ditinjau (e)	$= \text{Seabed}$ $= 13,50 \text{ m}$
13) <i>Fixity point</i> (Z_f)	$= 3,18 \text{ m}$
14) Faktor keamanan (SF)	$= 2,5$
15) P aktual	$= 294,3652 \text{ ton}$
Penyelesaian :	
Daya dukung ujung tiang (Q_p)	$= 40 \times N \times A_p$ $= 40 \times 100 \times 0,8379$ $= 3351,4510 \text{ ton}$
Daya dukung selimut tiang (Q_s)	$= (0,5 \times A_s) \times N$ $= (0,5 \times 40,2174) \times 100$ $= 2010,8706 \text{ ton}$
Daya dukung ultimate tiang ($Q_{u_{\text{tekan}}}$)	$= Q_p + Q_s$ $= 3351,4510 + 2010,8706$ $= 5362,3217 \text{ ton}$

$$\begin{aligned}
 \text{Daya dukung izin (Qizin}_{\text{tekan}}) &= \frac{Q_u}{SF} \\
 &= \frac{5362,3217}{2,5} \\
 &= 2144,9286 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

P aktual (294,3652 ton) < Q izin (2144,9286 ton) **OK**

Untuk perhitungan daya dukung tiang selengkapnya dapat dilihat pada tabel 5.40 berikut.

Tabel 5.40 Daya Dukung Tekan Tiang Berdasarkan data N-SPT *Mooring Dolphin*

Depth (m)	Jenis tanah	Li (m)	Soil Parameter			Li × Fi (t/m)	ΣLi × Fi (t/m)	Ap (m ²)	As (m)	Diameter: 1,0668 m			
			N	qd (t/m ²)	Fi (t/m ²)					Qp (ton)	Qs (ton)	Qult (ton)	Qizin (ton)
0	clay	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5	clay	1,5	1	20	1	1,5	1,5	0,84	5,03	33,51	1,01	34,52	13,81
3	clay	1,5	2	40	2	3	4,5	0,84	10,05	67,03	4,02	71,05	28,42
4,5	clay	1,5	8	160	8	12	16,5	0,84	15,08	268,12	60,33	328,44	131,38
6	sand	1,5	94	3760	18,8	28,2	44,7	0,84	20,11	3150,36	945,11	4095,47	1638,19
7,5	sand	1,5	94	3760	18,8	28,2	72,9	0,84	25,14	3150,36	1181,39	4331,75	1732,70
9	sand	1,5	97	3880	19,4	29,1	102	0,84	30,16	3250,91	1462,91	4713,82	1885,53
10,5	sand	1,5	98	3920	19,6	29,4	131,4	0,84	35,19	3284,42	1724,32	5008,74	2003,50
12	sand	1,5	100	4000	20	30	161,4	0,84	40,22	3351,45	2010,87	5362,32	2144,93

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus section tiang baja (W)} &= \frac{\pi \times (D^4 - (D - 2 \times t^4))}{32 \times D} \\
 &= \frac{\pi \times (106,68^4 - (106,68 - 2 \times 2,1^4))}{32 \times 106,68} \\
 &= 119192,4339 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen ultimate pada tiang (Mu)} &= \sigma \times W \\
 &= 3161,07 \times 119192,4339 \\
 &= 376775627 \text{ kg-cm} \\
 &= 4153,2621 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\text{M aktual} = 38,4358 \text{ ton}$$

M ultimate (4153,2621 ton) > M aktual (38,4358 ton) **OK**

$$\begin{aligned}
 \text{Kontrol terhadap kekuatan bahan } (\sigma) &= \frac{P}{A} \pm \frac{M}{W} \\
 &= \frac{2144,93 \times 10^3}{8378,62} + \frac{38,44 \times 10^5}{119192,43}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 288,25 < 2107,38 \text{ kg/cm}^2 \\
&= \frac{2144,93 \times 10^3}{8378,62} - \frac{38,44 \times 10^5}{119192,43} \\
&= 223,75 < 2107,38 \text{ kg/cm}^2 \\
\text{Kontrol terhadap tekuk (P}_{cr}\text{)} &= \frac{\pi \times E \times I}{(e \times Zf)^2} \\
&= \frac{\pi \times 200000 \times 192585,13}{(1400 \times 318)^2} \\
&= 40992,3991 \text{ ton} \\
P_{cr} (40992,3991 \text{ ton}) &> P \text{ aktual (294,3652 ton) OK} \\
P_{cr} \text{ harus lebih besar dari gaya aksial tekan aktual struktur.} \\
L &= e + Zf \\
&= 1400 + 3,18 \\
&= 17,18 \text{ m} \\
\text{Kontrol kelangsingan (Lk)} &= 1,2 \times L \\
&= 1,2 \times 17,18 \\
&= 20,616 \text{ m} \\
i &= \sqrt{\frac{I}{A}} \\
&= \sqrt{\frac{10272,49}{83,7862}} \\
&= 11,0726 \text{ cm} \\
&= 0,1107 \text{ m} \\
\lambda &= \frac{Lk}{i} \\
&= \frac{20,616}{0,1107} \\
&= 186,1885 \\
\text{Angka kelangsingan batas (}\lambda_g\text{)} &= \sqrt{\frac{E}{0,7 \times f_c'}} \times \pi \\
&= \sqrt{\frac{200000}{0,7 \times 35}} \times \pi
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_g (283,8453) &= 283,8453 \\
 &> \lambda (180,7697) \quad \text{OK} \\
 \lambda_s &= \frac{\lambda}{\lambda_g} \\
 &= \frac{186,1885}{283,8454} \\
 &= 0,6560
 \end{aligned}$$

Dengan nilai $0.183 < \lambda_s < 1$, maka nilai ω dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \omega &= \frac{1,41}{1,593 - \lambda_s} \\
 &= \frac{1,41}{1,593 - 0,6560} \\
 &= 1,5047
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tekan izin (beban tetap)}} &= \frac{\sigma_{\text{Aksial izin}} \times A}{\omega} \\
 &= \frac{2107,38 \times 0,8379}{1,5047} \\
 &= 1173,4352 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{tekan izin (1173,4352 ton)}} > P_{\text{tekan terjadi (294,37 ton)}} \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tekan izin (beban sementara)}} &= \frac{\sigma_{\text{Aksial izin}} \times A}{\omega} \\
 &= \frac{3161,07 \times 0,8379}{1,5047} \\
 &= 1760,1528 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{tekan izin (1760,1528 ton)}} > P_{\text{tekan terjadi (294,37 ton)}} \quad \text{OK}$$

b. Daya dukung izin Tarik

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Diameter tiang pancang (D)} &= 1,067 \text{ m} \\
 2) \text{ Tebal tiang pancang (t)} &= 0,021 \text{ m} \\
 3) \text{ Nilai N-SPT (N)} &= 100 \\
 4) \text{ Berat (W}_p\text{)} &= B_{\text{J}_{\text{baja}}} \times D \times t \times N \\
 &= 7,85 \times 1,0668 \times 0,021 \times 100 \\
 &= 17,5862 \text{ ton} \\
 5) \text{ Daya dukung selimut tiang (Qs)} &= (0,5 \times A_s) \times N
 \end{aligned}$$

$$= (0,5 \times 40,2174) \times 100$$

$$= 2010,8706 \text{ ton}$$

Penyelesaian :

$$\text{Daya dukung izin (Qult}_{\text{tarik}}) = 0,7 \times Q_s + W_p$$

$$= 0,7 \times 2010,8706 + 17,5862$$

$$= 1425,20 \text{ ton}$$

$$\text{Daya dukung izin (Qizin}_{\text{tarik}}) = \frac{Q_u}{SF}$$

$$= \frac{1425,20}{2,5}$$

$$= 570,08 \text{ ton}$$

Perhitungan daya dukung tarik tiang berdasarkan data N-SPT struktur *mooring dolphin* pada masing-masing kedalaman bisa dilihat pada Tabel 5.41.

Tabel 5.41 Daya Dukung Tarik Tiang Berdasarkan data N-SPT *Mooring Dolphin*

Depth (m)	Jenis tanah	Li (m)	N	As (m)	Wp (kg)	Diameter: 1,0668 m		
						Qs (ton)	Qult _{tarik} (ton)	Qizin _{tarik} (ton)
0	clay	1,5	0	0	0	0,00	0,00	0
1,5	clay	1,5	1	5,02718	0,18	1,01	0,88	0,35
3	clay	1,5	2	10,0544	0,35	10,05	7,39	2,96
4,5	clay	1,5	8	15,0815	1,41	60,33	43,64	17,45
6	sand	1,5	94	20,1087	16,53	945,11	678,11	271,24
7,5	sand	1,5	94	25,1359	16,53	1181,39	843,50	337,40
9	sand	1,5	97	30,1631	17,06	1462,91	1041,09	416,44
10,5	sand	1,5	98	35,1902	17,23	1724,32	1224,26	489,70
12	sand	1,5	100	40,2174	17,59	2010,87	1425,20	570,08

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

c. Jumlah tiang yang diperlukan

Diketahui :

- 1) Gaya aksial yang terjadi (P) = 294,3652 ton
- 2) Daya dukung izin tekan tiang (P_{all}) = 1173,4352 ton

Penyelesaian :

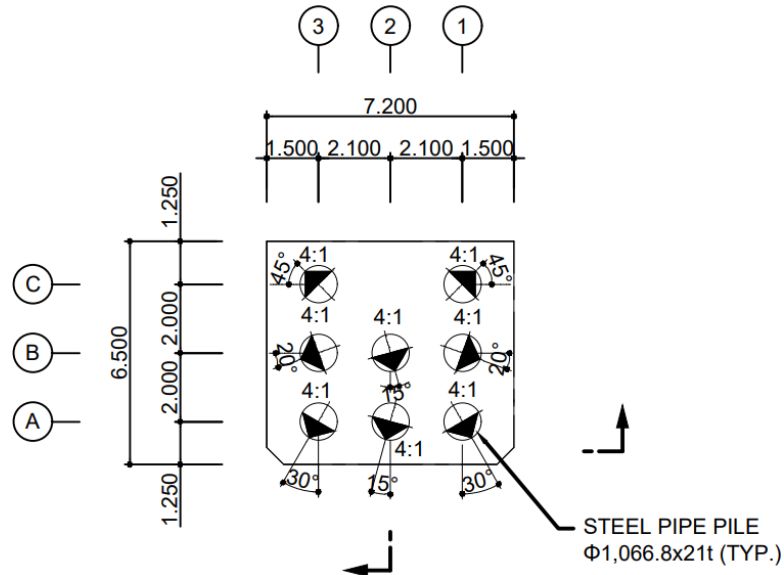
$$n_p = \frac{P}{P_{\text{all}}}$$

$$= \frac{294,3652}{1173,4352}$$

$$= 0,2509 \text{ tiang}$$

Maka, dipakai 1 tiang

d. Efisiensi kelompok tiang



Gambar 5.93 Dimensi Beton Deck dan Jarak Tiang *Mooring Dolphin*

(Sumber: Data Perencanaan Proyek PT. XYZ, 2025)

Diketahui :

- 1) Ukuran penampang tiang (D) = 150 cm
- 2) Jarak antar tiang (s) = 210 cm
- 3) Θ = $\arctan \left(\frac{D}{s} \right)$
 $= \arctan \left(\frac{150}{210} \right)$
 $= 35,54^\circ$
- 4) Jumlah tiang dalam 1 kolom (m) = 3 buah
- 5) Jumlah tiang dalam 1 baris (n) = 3 buah
- 6) Jumlah tiang yang dipakai = 8 buah
- 7) Gaya aksial (P) = 294,3652 ton
- 8) Daya dukung izin tekan tiang (P_{all}) = 1173,4352 ton

Penyelesaian :

$$Eg = 1 - \Theta \times \frac{(n - 1) \times 2 + (m - 1) \times 2}{90 \times m \times n}$$

$$= 1 - 35,54^\circ \times \frac{(3 - 1) \times 2 + (3 - 1) \times 2}{90 \times 3 \times 3}$$

$$= 0,6490$$

Daya dukung vertikal kelompok tiang adalah

$$P = E_g \times \text{jumlah } pile \times \text{daya dukung tiang}$$

$$= 0,6490 \times 8 \times 1173,4352$$

$$= 6092,57 \text{ ton} > 294,3652 \text{ ton} \quad (\text{Memenuhi})$$

Mengacu pada Tabel 5.35 didapat daya dukung aksial tekan struktur *mooring dolphin* sebesar 294,3652 ton. Sehingga, dapat disimpulkan daya dukung aksial tiang pancang struktur *mooring dolphin* masih dalam batas aman.

e. Beban maksimum tiang pada kelompok tiang

Diketahui :

- 1) Gaya aksial yang terjadi (P_u) = 294,3652 ton
- 2) Momen yang bekerja tegak lurus sumbu x (M_x) = 38,4358 ton
- 3) Momen yang bekerja tegak lurus sumbu y (M_y) = 38,7447 ton
- 4) Jarak tiang arah sumbu x terjauh ($X_{\max}$) = 1,1 m
- 5) Jarak tiang arah sumbu y terjauh ($Y_{\max}$) = 1 m
- 6) Banyak tiang dalam satu baris arah sumbu x (n_x) = 3 buah
- 7) Banyak tiang dalam satu baris arah sumbu y (n_y) = 3 buah
- 8) Jumlah tiang (n_p) = 8 buah
- 9) Jumlah kuadrat X (ΣX^2) = $3 \times 3 \times 1,1^2$
= 10,89 m²
- 10) Jumlah kuadrat Y (ΣY^2) = $3 \times 3 \times 1^2$
= 9 m²

Penyelesaian :

$$P_{\text{maks}} = \frac{P_u}{n_p} \pm \frac{M_y \times X_{\max}}{n_y \times \Sigma X^2} \pm \frac{M_x \times Y_{\max}}{n_x \times \Sigma Y^2}$$

$$= \frac{294,3652}{8} + \frac{38,7447 \times 1,1}{3 \times 10,89} + \frac{38,4358 \times 1}{3 \times 9}$$

$$= 39,5237 \text{ ton} < 1173,4352 \text{ ton} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$= \frac{294,3652}{8} - \frac{38,7447 \times 1,1}{3 \times 10,89} - \frac{38,4358 \times 1}{3 \times 9}$$

$$= 34,0676 \text{ ton} < 1173,4352 \text{ ton} \quad (\text{Memenuhi})$$

Mengacu pada analisis perhitungan daya dukung izin tekan tiang didapat sebesar 1173,4352 ton. Sehingga, dapat disimpulkan beban maksimum tiang pada kelompok tiang struktur *mooring dolphin* masih dalam batas aman.

5.9 Kontrol Defleksi Tiang Vertikal dan Rotasi Tiang

5.9.1 Defleksi dan Rotasi Tiang *Breasting Dolphin*

- a. Menentukan nilai defleksi ujung tiang ujung jepit

$$\begin{aligned} y_o &= \frac{4 \times H \times \beta (e \times \beta + 1)}{kh \times D} \\ &= \frac{4 \times 116,46 \times 0,6363 (0,1 \times 0,6363 + 1)}{205164,98 \times 1,0668} \\ &= 0,0014405 \text{ m} \\ &= 1,4405 \text{ mm} < 6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan Mc Nulty (1956) bahwa nilai defleksi tidak lebih dari 6 mm.

- b. Menentukan nilai rotasi tiang

$$\begin{aligned} \Theta &= \frac{2 \times H \times \beta^2 (1 + 2 \times e \times \beta)}{kh \times D} \\ &= \frac{2 \times 116,46 \times 0,6363^2 (1 + 2 \times 0,1 \times 0,6363)}{205164,98 \times 1,0668} \\ &= 0,000485712 \end{aligned}$$

Pada perhitungan menggunakan metode Broms didapatkan nilai defleksi pada struktur *breasting dolphin* sebesar 1,4404 mm dan nilai rotasi tiang sebesar 0,000486. Dimana nilai defleksi pada hasil analisis permodelan struktur *breasting dolphin* sebesar 0,1820 mm yang ditunjukkan dalam Tabel 5.31. Nilai defleksi tersebut masih dalam batas aman sesuai dengan saran dari Mc Nulty (1956) bahwa deformasi lateral izin tiang adalah 6 mm untuk gempa rencana dan 12,5 mm untuk gempa kuat dalam kondisi tiang tunggal dan *fixed-head*.

5.9.2 Defleksi dan Rotasi Tiang *Mooring Dolphin*

- a. Menentukan nilai defleksi ujung tiang ujung jepit

$$\begin{aligned} y_o &= \frac{4 \times H \times \beta (e \times \beta + 1)}{kh \times D} \\ &= \frac{4 \times 116,46 \times 0,6441 (0,1 \times 0,6441 + 1)}{210203,41 \times 1,0668} \end{aligned}$$

$$= 0,001424 \text{ m}$$

$$= 1,424 \text{ mm} < 6 \text{ mm}$$

Berdasarkan Mc Nulty (1956) bahwa nilai defleksi tidak lebih dari 6 mm.

b. Menentukan nilai rotasi tiang

$$\Theta = \frac{2 \times H \times \beta^2 (1 + 2 \times e \times \beta)}{kh \times D}$$

$$= \frac{2 \times 116,46 \times 0,6441^2 (1 + 2 \times 0,1 \times 0,6441)}{210203,41 \times 1,0668}$$

$$= 0,000486$$

Pada perhitungan menggunakan metode Broms didapatkan nilai defleksi pada struktur *mooring dolphin* sebesar 1,4241 mm dan nilai rotasi tiang sebesar 0,000486. Dimana nilai defleksi pada hasil analisis permodelan struktur *mooring dolphin* sebesar 0,2930 mm yang ditunjukkan dalam Tabel 5.34. Nilai defleksi tersebut masih dalam batas aman sesuai dengan saran dari Mc Nulty (1956) bahwa deformasi lateral izin tiang adalah 6 mm untuk gempa rencana dan 12,5 mm untuk gempa kuat dalam kondisi tiang tunggal dan *fixed-head*.

5.10 Tegangan Lentur Tiang

a. Menentukan nilai tegangan lentur tiang *breasting dolphin*

Diketahui :

- | | |
|---|---------------------------|
| 1) Gaya aksial yang terjadi (P) | = 137,67 ton |
| 2) Luas penampang (A) | = 837,86 m |
| 3) Momen yang bekerja tegak lurus sumbu x (M_x) | = 19,73 ton |
| 4) Momen yang bekerja tegak lurus sumbu y (M_y) | = 106,17 ton |
| 5) Jarak tiang arah sumbu x terjauh(C_1) | = 10,31 m |
| 6) Jarak tiang arah sumbu y terjauh(C_2) | = 10,31 m |
| 7) Momen inersia penampang x (I_x) | = 10272,49 m ⁴ |
| 8) Momen inersia penampang y (I_y) | = 10272,49 m ⁴ |

Penyelesaian

$$\sigma_I = \frac{P}{A} \pm \frac{M_x \times C_1}{I_x} \pm \frac{M_y \times C_2}{I_y}$$

$$= \frac{137,67}{837,86} \pm \frac{19,73 \times 10,31}{10272,49} \pm \frac{106,17 \times 10,31}{10272,49}$$

$$= 0,42$$

Pada perhitungan tegangan lentur didapatkan sebesar 0,42. Dimana nilai rasio pada hasil analisis permodelan struktur *breasting dolphin* sebesar 0,4245 yang ditunjukkan dalam Tabel 5.33.

b. Menentukan nilai tegangan lentur tiang *mooring dolphin*

Diketahui :

- | | |
|---|---------------------------|
| 1) Gaya aksial yang terjadi (P) | = 297,49 ton |
| 2) Luas penampang (A) | = 837,86 m |
| 3) Momen yang bekerja tegak lurus sumbu x (M_x) | = 100,25 ton |
| 4) Momen yang bekerja tegak lurus sumbu y (M_y) | = 58,65 ton |
| 5) Jarak tiang arah sumbu x terjauh(C_1) | = 10,31 m |
| 6) Jarak tiang arah sumbu y terjauh(C_2) | = 10,31 m |
| 7) Momen inersia penampang x (I_x) | = 10272,49 m ⁴ |
| 8) Momen inersia penampang y (I_y) | = 10272,49 m ⁴ |

Penyelesaian

$$\begin{aligned}\sigma_I &= \frac{P}{A} \pm \frac{M_x \times C_1}{I_x} \pm \frac{M_y \times C_2}{I_y} \\ &= \frac{297,497}{837,86} \pm \frac{100,25 \times 10,31}{10272,49} \pm \frac{58,65 \times 10,31}{10272,49} \\ &= 0,615\end{aligned}$$

Pada perhitungan tegangan lentur didapatkan sebesar 0,615. Dimana nilai rasio pada hasil analisis permodelan struktur *mooring dolphin* sebesar 0,6181 yang ditunjukkan dalam Tabel 5.37.