

BAB 4

ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 INPUT DATA

Dalam menganalisa pemodelan struktur *mooring dolphin* untuk kapal CPO 30,000 DWT dengan studi kasus pelabuhan Teluk Bayur digunakan bantuan program SAP2000. Adapun data-data yang diinput kedalam program antara lain:

4.1.1. Asumsi Pemodelan Struktur

Dalam melakukan pemodelan struktur tiang pondasi *mooring dolphin*, tiang dianggap sebagai *beam element* dengan menganggap *mass and weight* adalah nol, sedangkan *pilecap* dianggap sebagai *shell thick*. Adapun tanah dimodelkan sebagai spring dengan kekakuan elastis dalam arah x dan y untuk analisa kondisi linier, sedangkan untuk tanah dalam analisa nonlinier dimodelkan sebagai spring elastis-plastis dengan kekakuan berdasarkan pendekatan P-y (*soil resistance* dan *deformation*). Antara tiang dengan *pile cap* dianggap sebagai jepit dan ujung tiang pada kedalaman tertentu dianggap sebagai sendi.

Adapun beban-beban yang terjadi merupakan beban lateral terpusat pada *bollard* seperti gaya tarik, gaya arus akibat kapal, dan gaya angin akibat kapal. Sedangkan beban lainnya seperti beban hidup merupakan beban terdistribusi merata arah gravitasi dan terjadi pada *pilecap*, serta beban gempa dianggap dinamik dengan menggunakan analisa *response spectrum*.

4.1.2. Dimensi

- Kapal

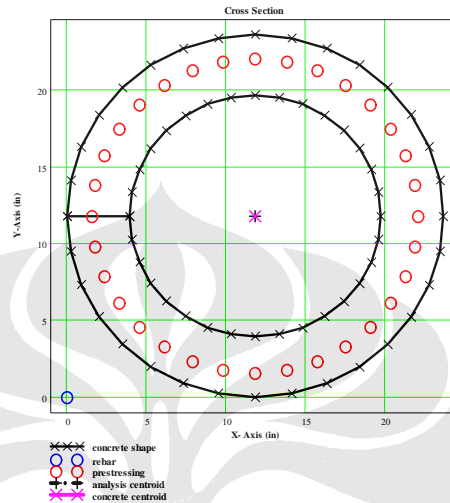
Dimensi untuk jenis kapal CPO 30,000 DWT adalah sebagai berikut:

- Panjang kapal (L) : 185 m
- Moulded breadth (B) : 28,3 m
- Moulded depth (D) : 15,2 m
- Full load draft: 10,9 m

- Tiang (Pile)

Tiang pancang yang digunakan berbentuk *pipe* dengan diameter 600 mm dan ketebalan 100 mm. Sedangkan untuk material tiang merupakan beton prategang dengan beton K-500 dan jumlah strand adalah 32 D 9.

$$f_c' = 0,0833 \times 500 \text{ MPa} = 41,65 \text{ MPa}$$



Gambar 4. 1. Penampang Tiang Pancang

- Pile Cap

Tebal *pile cap* adalah 1 m dan dimensi disesuaikan terhadap konfigurasi tiang dengan spasi antar tiang adalah 3 m.

- Bollard

Bollard dimana berfungsi sebagai penambat kapal, jenis yang digunakan adalah *steel pipe* dengan diameter 500 mm dan ketebalan 14 mm.

4.1.3. Gaya yang Terjadi

A. Pada Kapal

- Gaya tarik

Gaya tarik yang terjadi pada kapal 30,000 DWT (16590 GT) yaitu sebesar 100 ton (1000 kN).

- Gaya angin

$$R_w = \frac{1}{2} \times \rho \times C \times U^2 \times (A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta) = 28079,01 \text{ kg} = 280,8 \text{ kN}$$

Dimana:

ρ = kepadatan udara (= 0,123 kg.sec²/m⁴)

$$U = 25 \text{ knot} = 12,861 \text{ m/s}$$

$$\theta = 900$$

$$C = 0,8$$

A = luas bagian depan kapal pada permukaan laut (m²)

B = luas bagian samping kapal pada permukaan laut (m²)

$$\begin{aligned} \log A &= 0,019 + 0,628 \log DWT \\ &= 2,8306 \end{aligned}$$

$$A = 677,0677 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \log B &= 0,283 + 0,727 \log DWT \\ &= 3,537 \end{aligned}$$

$$B = 3450,382 \text{ m}^2$$

- Gaya arus

$$R_p = K \times D \times V_t^2 = 480,2974 \text{ kg} = 4,803 \text{ kN}$$

Dimana:

$$K = 1,0$$

$$D = 10,9 \text{ m} \times 185 \text{ m} \times 0,9 = 1814,85 \text{ m}^2$$

$$V_t \text{ (kecepatan arus)} = 1 \text{ knot} = 0,5144 \text{ m/s}$$

B. Pada Struktur

- Gaya angin

$$V_{\text{angin}} = 25 \text{ knot} = 12,861 \text{ m/s}$$

$$P_{\text{angin}} = \frac{V^2}{16} = 10,338 \text{ kg/m}^2$$

Dengan luas struktur (A) = 18,8 m², maka gaya angin total pada struktur adalah 194,35 kg = 1.944 kN. Dan nilai tersebut dapat diabaikan pada perhitungan struktur, karena terlalu kecil dibandingkan beban yang terjadi akibat gaya angin pada kapal.

- Gaya arus

V arus = 1 knot = 0,5144 m/s, dengan kecepatan arus demikian maka perhitungan gaya arus pada struktur tiang dapat diabaikan karena luas tiang yang terkena gaya arus sangat kecil jika dibandingkan luas kapal yang terkena gaya arus.

- Gaya gempa

Dari grafik gempa yang digunakan sebagai input pada program SAP2000 adalah:

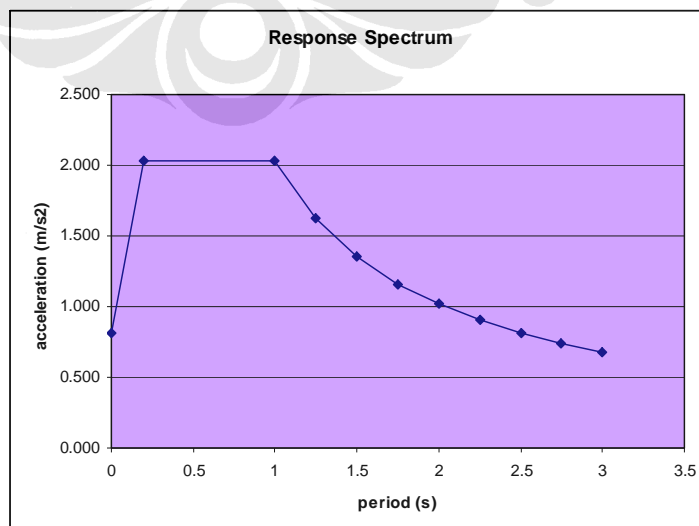
Tabel 4. 1. Periode dan Percepatan Gempa

T (s)	C ₁	Accel.
0	0.38	0.813
0.2	0.95	2.031
1	0.95	2.031
1.25	0.76	1.625
1.5	0.633333	1.354
1.75	0.542857	1.161
2	0.475	1.016
2.25	0.422222	0.903
2.5	0.38	0.813
2.75	0.345455	0.739
3	0.316667	0.677

Perhitungan C diperoleh dengan rumus:

$C = \frac{0.95}{T} \rightarrow$ tanah lunak, berdasarkan dari grafik spektrum respons gempa rencana. Maka percepatan gempa adalah:

$$\text{acceleration} = \left(\frac{C \times I}{R} \right) g$$



Gambar 4. 2. Respon Spektrum Gempa

- Beban hidup
Beban hidup (beban orang) diambil sebesar 5 kN/m^2 .

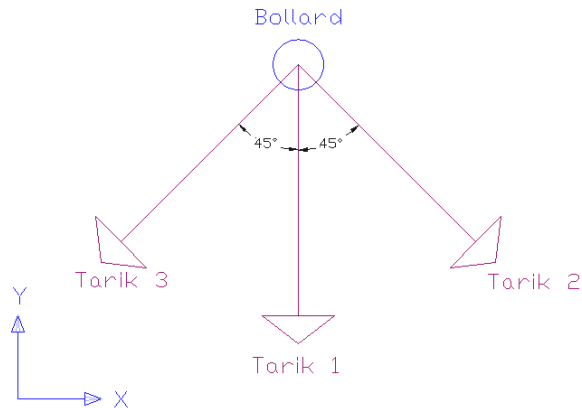
C. Kombinasi beban

Kombinasi beban tidak berfaktor untuk mengecek kapasitas tiang (tanah) meliputi:

- Beban mati (D)
- Beban hidup (L)
- Gaya gempa (E)
- Gaya tarik terdiri dari 3 kasus:
 - gaya tarik searah sumbu y (Tr1)
 - gaya tarik searah 45° terhadap sumbu y dan x positif (Tr2)
 - gaya tarik searah 45° terhadap sumbu y dan x negatif (Tr3)
- Gaya tarik akibat arus (C)
- Gaya tarik akibat angin (W)

Sedangkan kombinasi beban terfaktor yang dipakai dalam analisa untuk menentukan kapasitas elemen struktur meliputi:

- *Vacant condition* : $1,2 D + 1,6 L$
- *Earthquake condition* : $1,2 D + 0,5 L + 1 E$
- *Mooring condition* :
 - Akibat gaya tarik kapal (kasus 1): $1,2 D + 1,6 L + 1,3 \text{ Tr1}$
 - Akibat gaya tarik kapal (kasus 2): $1,2 D + 1,6 L + 1,3 \text{ Tr2}$
 - Akibat gaya tarik kapal (kasus 3): $1,2 D + 1,6 L + 1,3 \text{ Tr3}$
 - Gaya tarik akibat gaya arus pada kapal: $1,2 D + 1,6 L + 1,3 C$
 - Gaya tarik akibat gaya angin pada kapal: $1,2 D + 1,6 L + 1,3 W$



Gambar 4. 3. Arah Gaya Tarik Kapal

4.1.4. Daya Dukung Tanah

A. Daya Dukung Tanah Lateral (Spring Elastis Linier)

Untuk analisa tahanan tanah lateral yang bersifat linier elastis, tanah dimodelisasikan sebagai spring dengan jarak dalam arah vertikal adalah 3m. Dimana dengan menentukan *modulus subgrade reaction* (k_h) akan diperoleh nilai kekakuan spring. Kedalaman tanah hingga mencapai lapisan keras yaitu *stiff clay* adalah 50 m diukur dari *seabed*. Jarak dari muka air laut hingga *sea bed* adalah 9 m, akan tetapi tidak memenuhi untuk kedalaman kapal maka dari itu kedalaman harus ditambah hingga mencapai 11 m. Sedangkan jarak dari pilecap ke muka air adalah sebesar 2,5 m. Berdasarkan hasil uji NSPT, maka nilai k_h dapat ditentukan seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 2. Nilai k_h (*Modulus Subgrade Reaction*)

kedalaman lapisan	N-SPT	k_h (N/cm ³)
0 - 13	1	4
13 - 30	4	8
30 - 36	24	47
36 - 42	35	60
42 - 51	48	90
51 - 57	58	100

Nilai k_h yang didapat maka dapat diketahui nilai kekakuan spring (k_s) yaitu:

$$k_s = k_h \times A$$

Dimana : $k_h = \text{modulus subgrade reaction (kN/m}^3\text{)}$

A = luas permukaan elemen pegas yang ditinjau = panjang elemen x diameter tiang (m^2)

Nilai k_s untuk masing-masing kemiringan tiang adalah sebagai berikut:

- Tiang dengan kemiringan 1:5

Tabel 4. 3. Perhitungan k_s Untuk Kemiringan Tiang 1:5

nodal	depth (m)	k_s (MN/m)	k_s (kN/m)
1	0	3.67128	3671.28
2	3	7.34256	7342.56
3	6	7.34256	7342.56
4	9	7.34256	7342.56
5	12	13.46136	13461.36
6	15	14.68512	14685.12
7	18	14.68512	14685.12
8	21	14.68512	14685.12
9	24	14.68512	14685.12
10	27	26.61678	26616.78
11	30	86.27508	86275.08
12	33	90.2523	90252.3
13	36	110.1384	110138.4
14	39	119.3166	119316.6
15	42	165.2076	165207.6
16	45	165.2076	165207.6
17	48	198.861	198861

- Tiang dengan kemiringan 1:6

Tabel 4. 4. Perhitungan k_s Untuk Kemiringan Tiang 1:6

nodal	depth (m)	k_s (MN/m)	k_s (kN/m)
1	0	3.64968	3649.68
2	3	7.29936	7299.36
3	6	7.29936	7299.36
4	9	7.29936	7299.36
5	12	13.38216	13382.16
6	15	14.59872	14598.72
7	18	14.59872	14598.72
8	21	14.59872	14598.72
9	24	14.59872	14598.72
10	27	26.46018	26460.18
11	30	85.76748	85767.48
12	33	89.7213	89721.3
13	36	109.4904	109490.4
14	39	118.6146	118614.6
15	42	164.2356	164235.6
16	45	164.2356	164235.6
17	48	197.691	197691

- Tiang dengan kemiringan 1:7

Tabel 4. 5. Perhitungan k_s Untuk Kemiringan Tiang 1 : 7

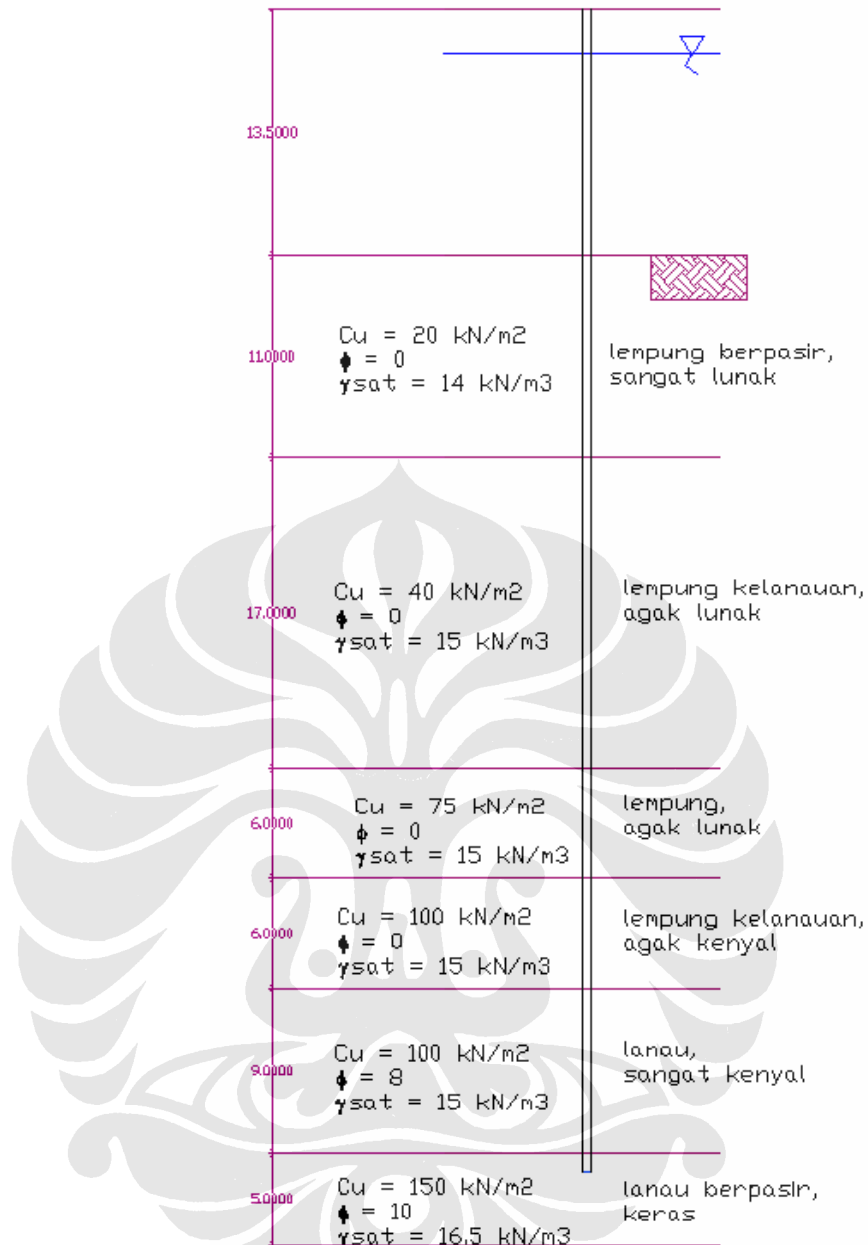
nodal	depth (m)	k_s (MN/m)	k_s (kN/m)
1	0	3.63654	3636.54
2	3	7.27308	7273.08
3	6	7.27308	7273.08
4	9	7.27308	7273.08
5	12	13.33398	13333.98
6	15	14.54616	14546.16
7	18	14.54616	14546.16
8	21	14.54616	14546.16
9	24	14.54616	14546.16
10	27	26.364915	26364.915
11	30	85.45869	85458.69
12	33	89.398275	89398.275
13	36	109.0962	109096.2
14	39	118.18755	118187.55
15	42	163.6443	163644.3
16	45	163.6443	163644.3
17	48	196.97925	196979.25

B. Daya Dukung Tanah Lateral (Spring Nonlinier)

Untuk analisa daya dukung tanah lateral nonlinier maka digunakan pendekatan P-y. Adapun nilai properti tanah eksisting adalah seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 6. Properti Tanah Eksisting

kedalaman	z	N-SPT	jenis tanah	γ sat (kN/m ³)	γ w (kN/m ³)	C_u (kN/m ²)	Φ
0 - 11	11	1	lempung berpasir, sangat lunak	14	10	20	0
11 - 28	17	4	lempung kelanauan, agak lunak	15	10	40	0
28 - 34	6	24	lempung, agak lunak	15	10	75	0
34 - 40	6	35	lempung kelanauan, agak kenyal	15	10	100	0
40 - 49	9	48	lanau, sangat kenyal	15	10	100	8
49 - 55	6	58	lanau berpasir, keras	16.5	10	150	10



Gambar 4. 4. Profil Tanah Eksisting

Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai P-y yaitu:

$$y_{50} = 2,5\varepsilon_{50}d$$

$$P_u = (3 + \gamma z / c_u + 0.5z/d)c_u \cdot d$$

$$\frac{P}{P_u} = 0,5 \left(\frac{y}{y_{50}} \right)^{1/3}$$

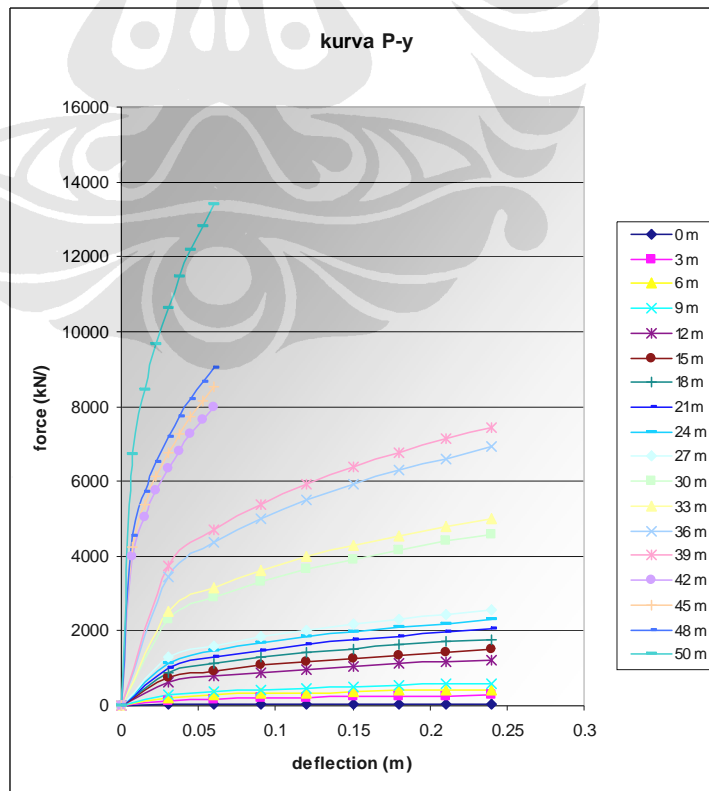
$\varepsilon_{50} = 0.02$ → soft clay

$\varepsilon_{50} = 0.005$ → stiff clay

Tabel 4. 7. Pehitungan Persamaan Kurva P - y

kedalaman (m)	c_u (kN/m ²)	P_u (kN/m)	$F = P_u \times L$ (kN)	y_{50}
0	20	36	54	0.03
3	20	91.2	273.6	0.03
6	20	146.4	439.2	0.03
9	20	201.6	604.8	0.03
12	40	412.8	1238.4	0.03
15	40	498	1494	0.03
18	40	594	1782	0.03
21	40	681	2043	0.03
24	40	768	2304	0.03
27	40	855	2565	0.03
30	75	1530	4590	0.03
33	75	1669.5	5008.5	0.03
36	100	2304	6912	0.03
39	100	2481	7443	0.03
42	100	2658	7974	0.0075
45	100	2835	8505	0.0075
48	100	3012	9036	0.0075
50	150	4470	13410	0.0075

Dengan memasukkan nilai P - y untuk tiap kedalaman kemudian diplot maka didapat grafik P - y sebagai berikut.



Gambar 4. 5. Kurva P - y di Setiap Kedalaman

C. Daya Dukung Tanah Aksial

Untuk menentukan daya dukung aksial tanah akibat pembebanan tidak terfaktor ditentukan berdasarkan persamaan: $Q_{ult} = Q_{frikasi} + Q_{ujung} - W_{tiang}$

- Tegangan efektif

$$\sigma_A = 0$$

$$\sigma_B = 11 \times (14 - 10) = 44 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_C = 44 + 17 \times (15 - 10) = 129 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_D = 129 + 6 \times (15 - 10) = 159 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_E = 159 + 6 \times (15 - 10) = 189 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_F = 189 + 9 \times (15 - 10) = 234 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_G = 234 + 6 \times (16,5 - 10) = 273 \text{ kN} / \text{m}^2$$

- Tahanan friksi antara tiang dengan tanah

- Lapisan 1 → lempung

$$\alpha = 0,85 \rightarrow \text{grafik Tomlinson}$$

$$c_a = \alpha \times c_u = 0,85 \times 20 = 17 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$Q_f = c_a \times A_s = 17 (\pi \times 0,6 \times 11) = 3877,35 \text{ kN}$$

- Lapisan 2 → lempung

$$\alpha = 0,78$$

$$c_a = 0,78 \times 40 = 31,2 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$Q_f = 31,2 (\pi \times 0,6 \times 17) = 16996,27 \text{ kN}$$

- Lapisan 3 → lempung

$$\alpha = 0,7$$

$$c_a = 0,7 \times 75 = 52,5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$Q_f = 52,5 (\pi \times 0,6 \times 6) = 3562,566 \text{ kN}$$

- Lapisan 4 → lempung

$$\alpha = 0,68$$

$$c_a = 0,68 \times 100 = 68 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$Q_f = 68 (\pi \times 0,6 \times 6) = 4614,37 \text{ kN}$$

- Lapisan 5 → lanau berpasir

$$\alpha = 0,68$$

$$c_a = 0,68 \times 100 = 68 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\phi_a = 0,75\phi = 7,5 \rightarrow \text{untuk tiang beton (tabel Broms)}$$

$$\bar{\sigma}_v = \sigma_{vE} + \sigma_{vF} / 2 = 211,5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$K_s = 1 \rightarrow \text{low Dr, } \phi_a < 28$$

$$Q_f = (c_a \times A_s) + (\bar{\sigma}_v \times K_s \times \tan \phi_a) = 10404,56 \text{ kN}$$

- Lapisan 6 → lanau berpasir

$$\alpha = 0,68$$

$$c_a = 0,68 \times 100 = 68 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\phi_a = 0,75\phi = 7,5$$

$$\bar{\sigma}_v = \sigma_{vF} + \sigma_{vG} / 2 = 253,5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$K_s = 1 \rightarrow \text{low Dr, } \phi_a < 28$$

$$Q_f = (c_a \times A_s) + (\bar{\sigma}_v \times K_s \times \tan \phi_a) = 6649,57 \text{ kN}$$

- Tahanan friksi total = 46104,69 kN

- Tahanan ujung tiang → lanau

$$N_c = 16, N_q = 3,5 \rightarrow \text{grafik Meyerhof}$$

$$f_b = cN_c + \sigma_v N_q = 150 \times 16 + 273 \times 3,5 = 3355,5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$Q_b = f_b \times A = 3355,5 \times \left(\frac{1}{4} \pi \times (0,6^2 - 0,4^2) \right) = 527,081 \text{ kN}$$

- Berat sendiri tiang

$$W_p = A \times l_{\text{tiang}} \times \gamma_{\text{beton}} = 0,157 \times 63,5 \times 24 = 239,389 \text{ kN}$$

- Tahanan ijin aksial tiang

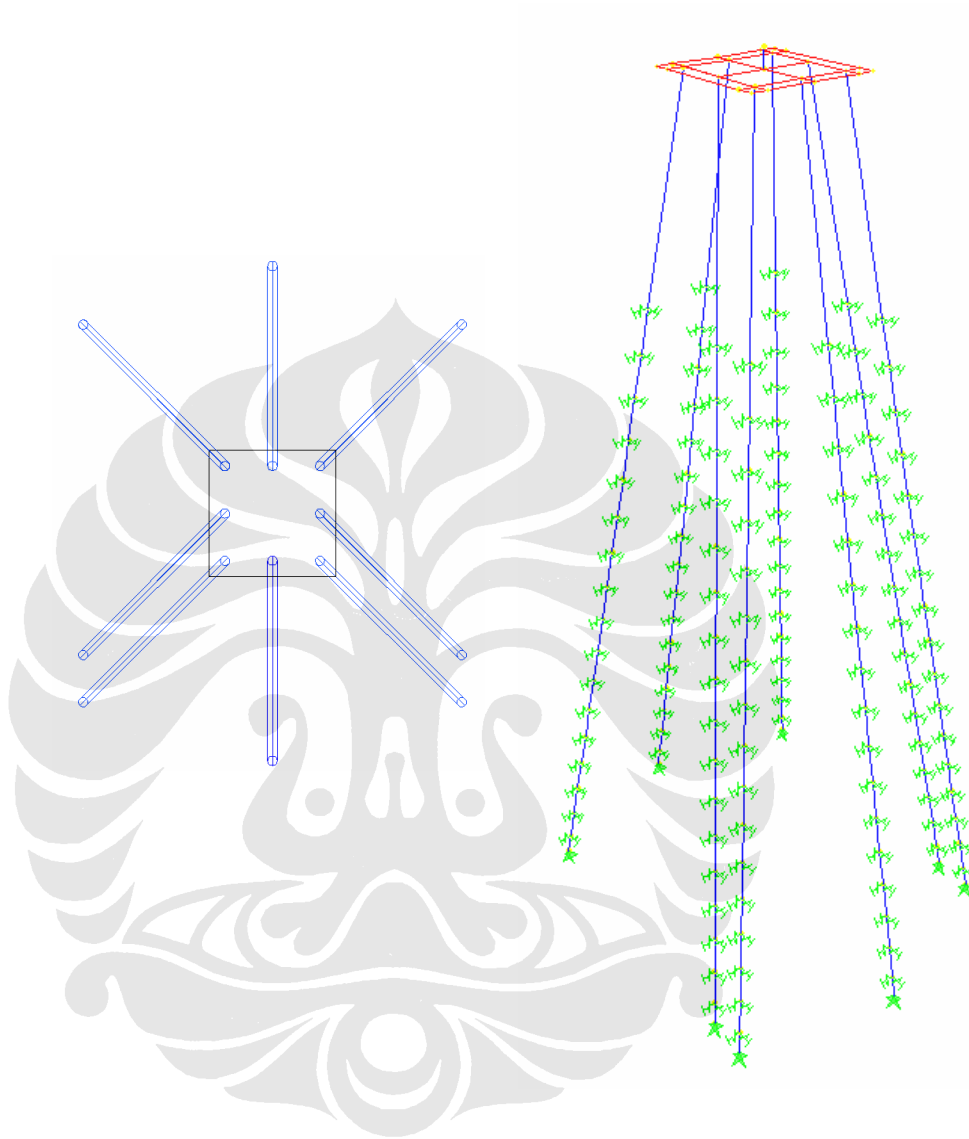
$$Q_u = Q_f + Q_b - W_p = 46392,383 \text{ kN}$$

$$Q_a = \frac{46392,4}{3} = 15464 \text{ kN}$$

4.2 HASIL SIMULASI PROGRAM

4.2.1 Konfigurasi Tiang 3 X 3

A. Modelisasi 1



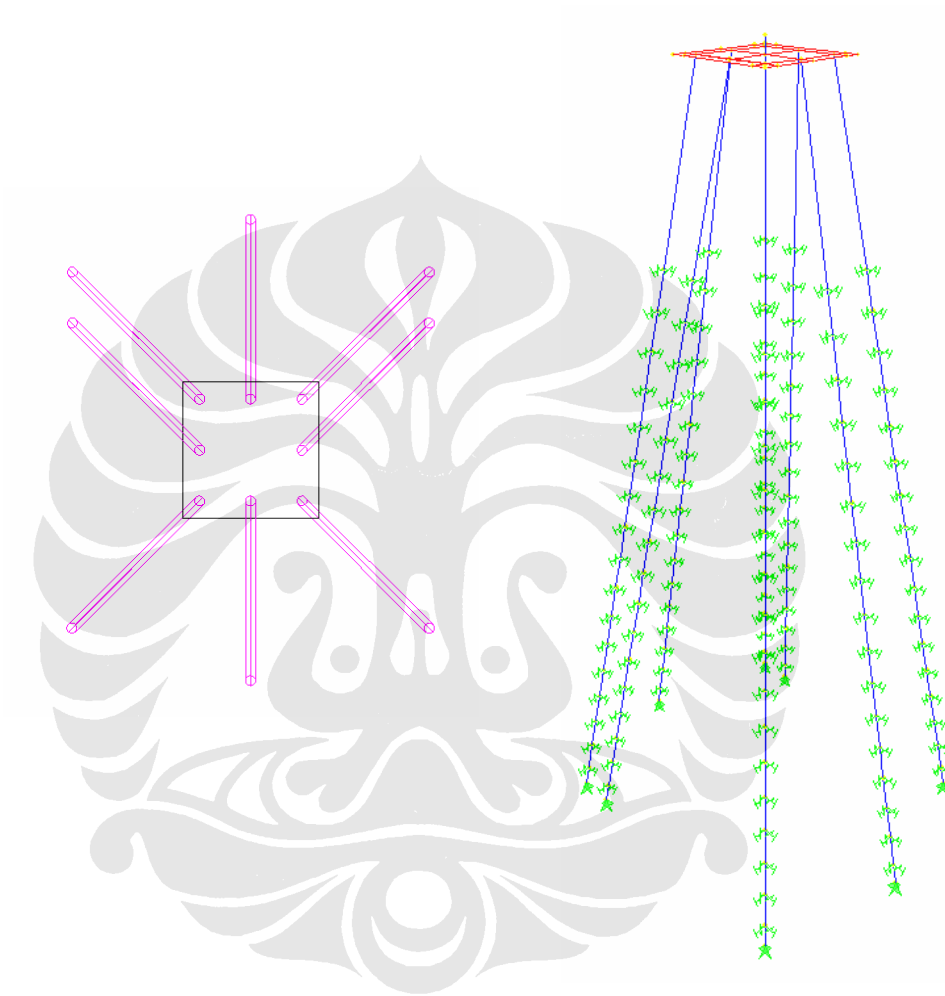
Modelisasi 1 dengan konfigurasi tiang seperti diatas. Dari analisa program SAP2000 diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4. 8. Nilai Pu, Mu serta Defleksi pada Modelisasi 1

kemiringan tiang	Pu (kN)			Mu (kN.M)			P (kN)
	tarik1	tarik2	tarik3	tarik1	tarik2	tarik3	
1:5	-1293.06	-1338.629	-1338.629	614.61	774.241	-774.24	880.311
1:6	-1306.827	-1370.19	-1370.19	698.88	840.231	-840.23	910.481
1:7	-1298.217	-1380.845	-1380.845	768.21	892.92	-892.92	924.689

kemiringan tiang	defleksi (m)		
	u ₁	u ₂	u ₃
1:5	-0.1485	-0.1340	0.0389
1:6	-0.1634	-0.1596	0.0360
1:7	-0.1755	-0.1820	0.0332

B. Modelisasi 2



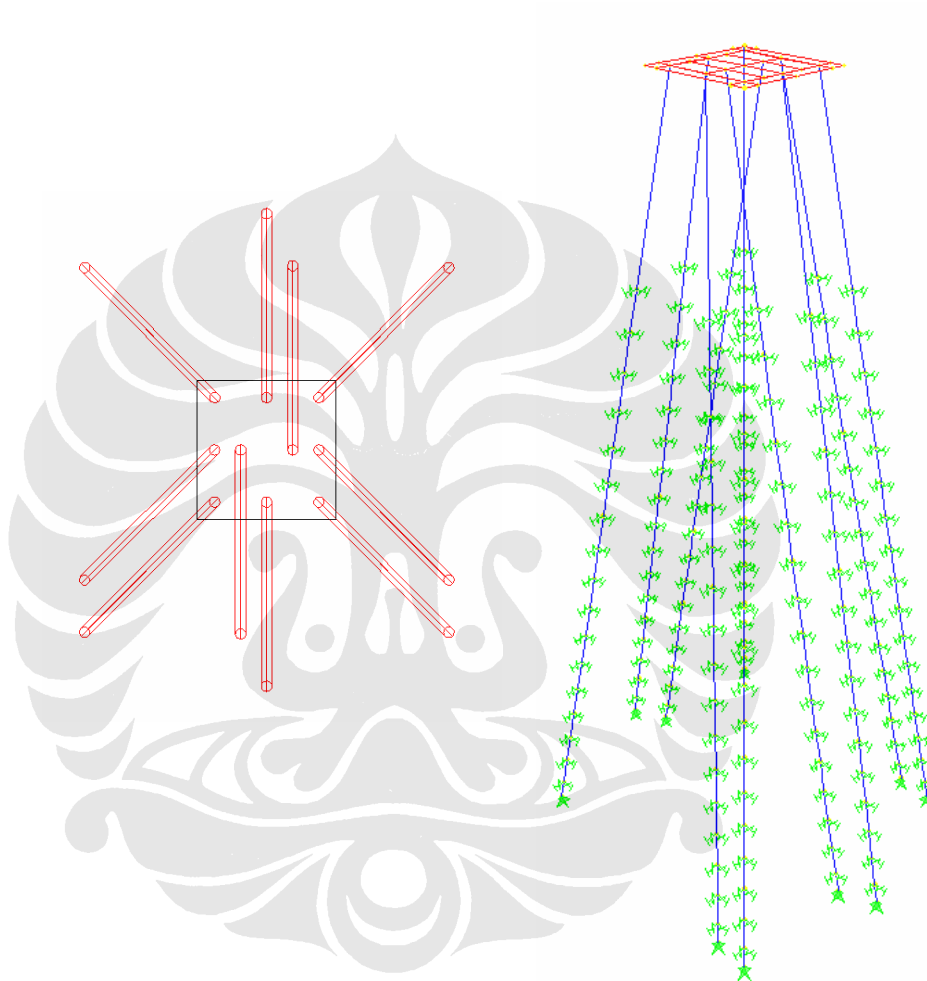
Modelisasi 2 dengan konfigurasi tiang seperti diatas. Dari analisa program SAP2000 diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4. 9. Nilai Pu, Mu serta Defleksi pada Modelisasi 2

kemiringan tiang	Pu (kN)			Mu (kN.M)			P (kN)
	tarik1	tarik2	tarik3	tarik1	tarik2	tarik3	
1:5	-1513.94	-1178.752	-1178.752	-705.72	-835.063	835.06	855.062
1:6	-1541.18	-1194.504	-1194.504	-783.3953	-896.882	896.8827	-910.481
1:7	-1550.417	-1198.331	-1198.332	-846.7186	-945.662	945.6626	-924.689

kemiringan tiang	defleksi (m)		
	u ₁	u ₂	u ₃
1:5	-0.149	-0.134	-0.039
1:6	-0.163	-0.160	-0.036
1:7	-0.176	-0.182	-0.033

C. Modelisasi 3



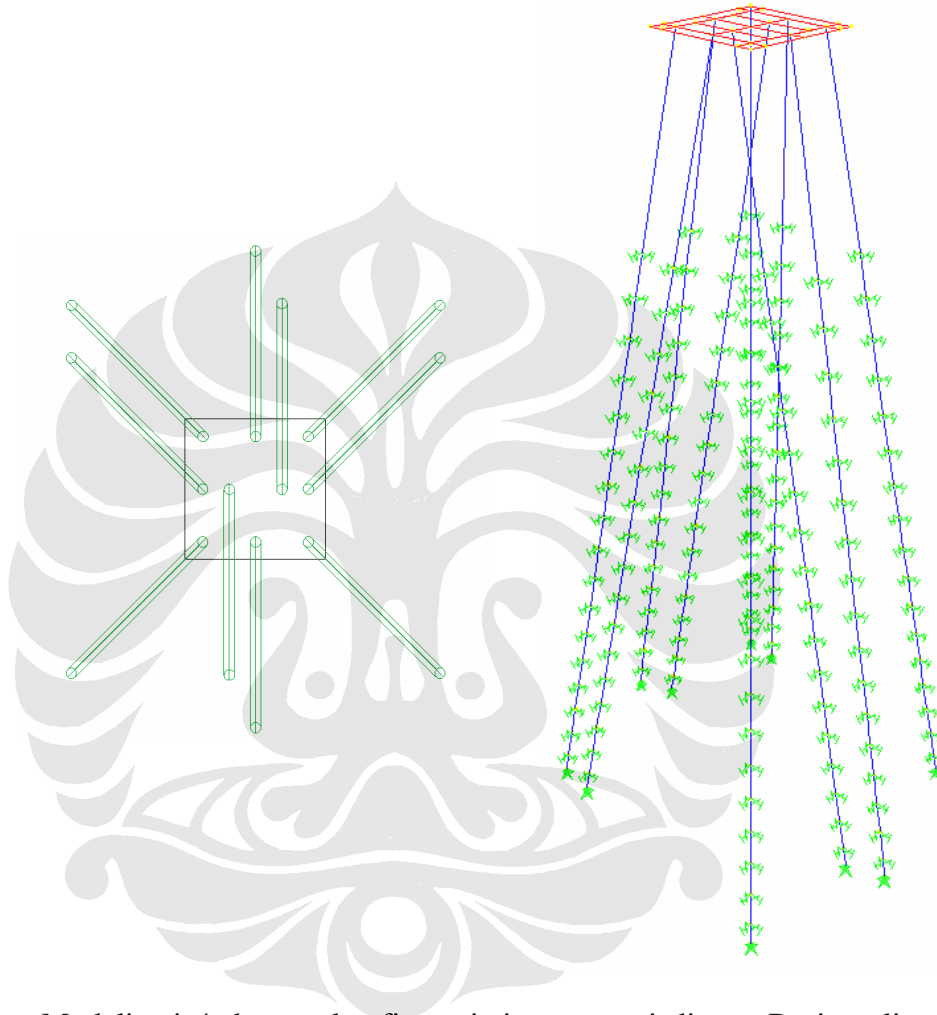
Modelisasi 3 dengan konfigurasi tiang seperti diatas. Dari analisa program SAP2000 diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4. 10. Nilai Pu, Mu serta Defleksi pada Modelisasi 3

kemiringan tiang	Pu (kN)			Mu (kN.M)			P (kN)
	tarik1	tarik2	tarik3	tarik1	tarik2	tarik3	
1:5	-1068.647	-1096.469	-1044.016	345.27	477.387	-616.95	900.591
1:6	-1129.853	-1138.653	-1070.148	411.8104	535.599	-663.0915	962.443
1:7	-1166.646	-1160.6	-1076.888	471.2405	587.828	-701.1974	998.318

kemiringan tiang	defleksi (m)		
	u ₁	u ₂	u ₃
1:5	-0.125	-0.084	0.029
1:6	-0.136	-0.103	0.026
1:7	-0.146	-0.121	0.024

D. Modelisasi 4



Modelisasi 4 dengan konfigurasi tiang seperti diatas. Dari analisa program SAP2000 diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4. 11. Nilai Pu, Mu serta Defleksi pada Modelisasi 4

kemiringan tiang	Pu (kN)			Mu (kN.M)			P (kN)
	tarik1	tarik2	tarik3	tarik1	tarik2	tarik3	
1:5	-1366.339	-1220.455	-825.687	-391.329	-537.57	-642.8935	-901.532
1:6	-1523.273	-1365.455	-948.171	462.3345	-603.839	-701.7215	-962.442
1:7	-1565.527	-1384.309	-986.503	520.0296	-652.555	-738.5396	-998.319

kemiringan tiang	defleksi (m)		
	u_1	u_2	u_3
1:5	-0.124	-0.082	-0.017
1:6	-0.136	-0.103	-0.026
1:7	-0.146	-0.121	-0.024

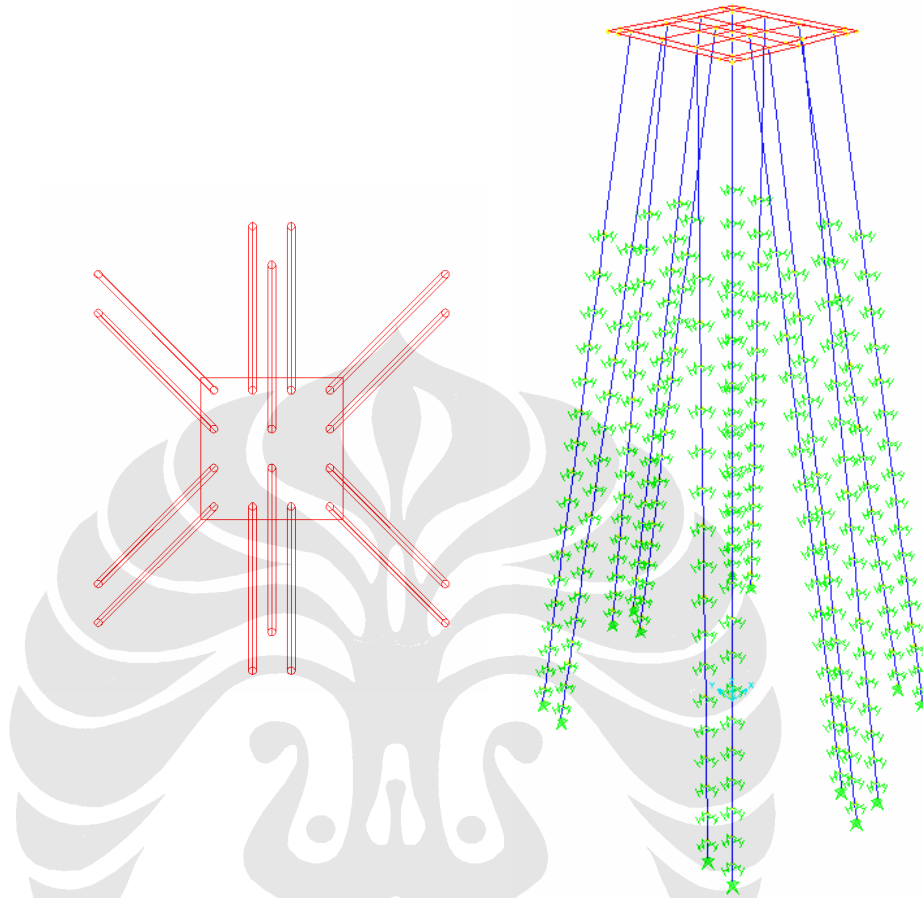
E. Analisa Pemodelan Konfigurasi Tiang 3x3

Nilai P (gaya aksial) dan M (gaya momen) maksimum dari kombinasi beban luar terfaktor yang bekerja pada tiap-tiap tiang menunjukkan bahwa akibat gaya tarik berdampak paling besar terhadap struktur tiang. Dari modelisasi-modelisasi diatas dapat dilihat bahwa semakin banyak tiang seperti pada modelisasi 3 dan 4 (10 tiang) maka momen dan gaya aksial yang terjadi pada tiang akan lebih kecil dibandingkan dengan modelisasi 1 dan 2 yang hanya terdiri dari 8 tiang. Akan tetapi, arah kemiringan tiang seperti pada modelisasi 1 dengan 2 ataupun modelisasi 3 dengan 4 juga turut mempengaruhi, dimana untuk jumlah tiang yang sama maka modelisasi 2 dan 4, momen yang terjadi lebih besar dan gaya aksial P akan lebih lebih kecil jika dibandingkan dengan modelisasi 1 dengan 3. Untuk kemiringan tiang dimana semakin besar kemiringan tiang yaitu 1:5 maka momen dan gaya aksial yang terjadi akan semakin kecil.

Nilai P dan M yang terkecil dari semua modelisasi diatas terdapat pada modelisasi 3, akan tetapi jika dibandingkan dengan diagram interaksi masih belum memenuhi syarat. Hal tersebut berarti kapasitas tiang belum memenuhi maka dari itu dilakukan modelisasi dengan jumlah tiang yang lebih banyak.

4.2.2 Konfigurasi Tiang 4 X 4

A. Modelisasi 5



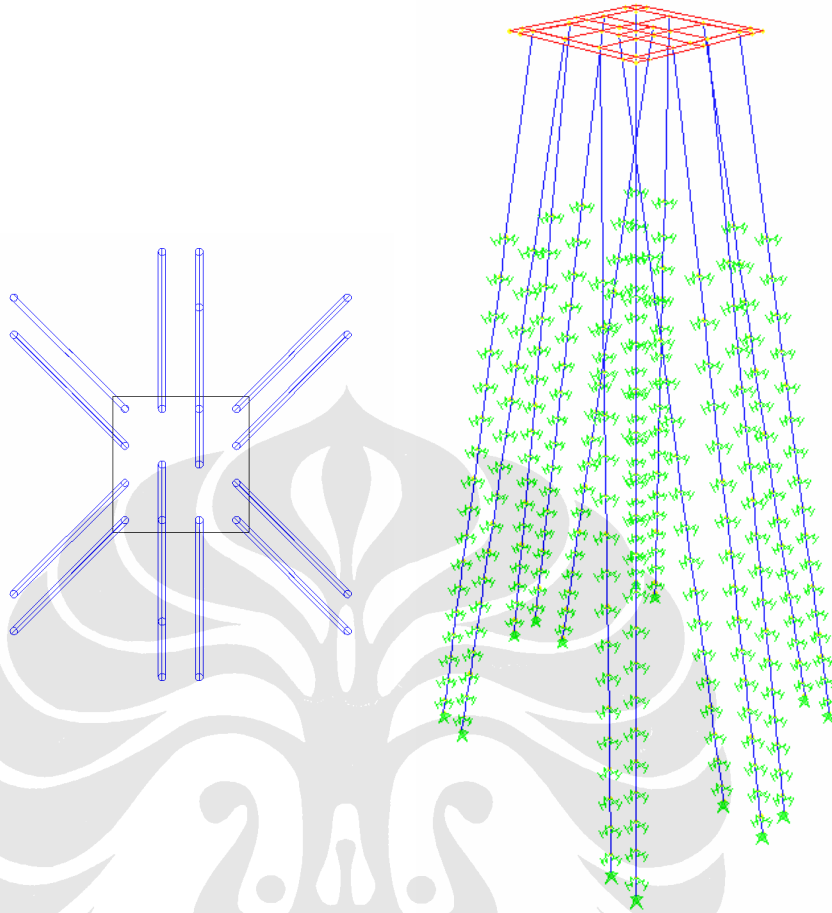
Modelisasi 5 dengan konfigurasi tiang seperti diatas. Dari analisa program SAP2000v11 maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 12. Nilai Pu, Mu serta Defleksi pada Modelisasi 5

kemiringan tiang	Pu (kN)			Mu (kN.M)			P (kN)
	tarik1	tarik2	tarik3	tarik1	tarik2	tarik3	
1:4	-1169.072	-925.44	-925.439	-312.9411	-425.064	-425.0641	-639.857
1:5	-1203.794	-949.055	-949.055	-372.608	-472.569	-472.5692	-669.024
1:6	-1211.226	-953.798	-953.798	-422.2788	-510.21	-510.2096	-676.089
1:7	-1201.945	-946.924	-946.924	-463.2124	-540.255	-540.255	-669.765

kemiringan tiang	defleksi (m)		
	u ₁	u ₂	u ₃
1:4	-0.086	-0.063	-0.025
1:5	-0.0965	-0.0801	-0.0236
1:6	-0.1050	-0.0952	-0.0218
1:7	-0.1118	-0.1084	-0.0200

B. Modelisasi 6



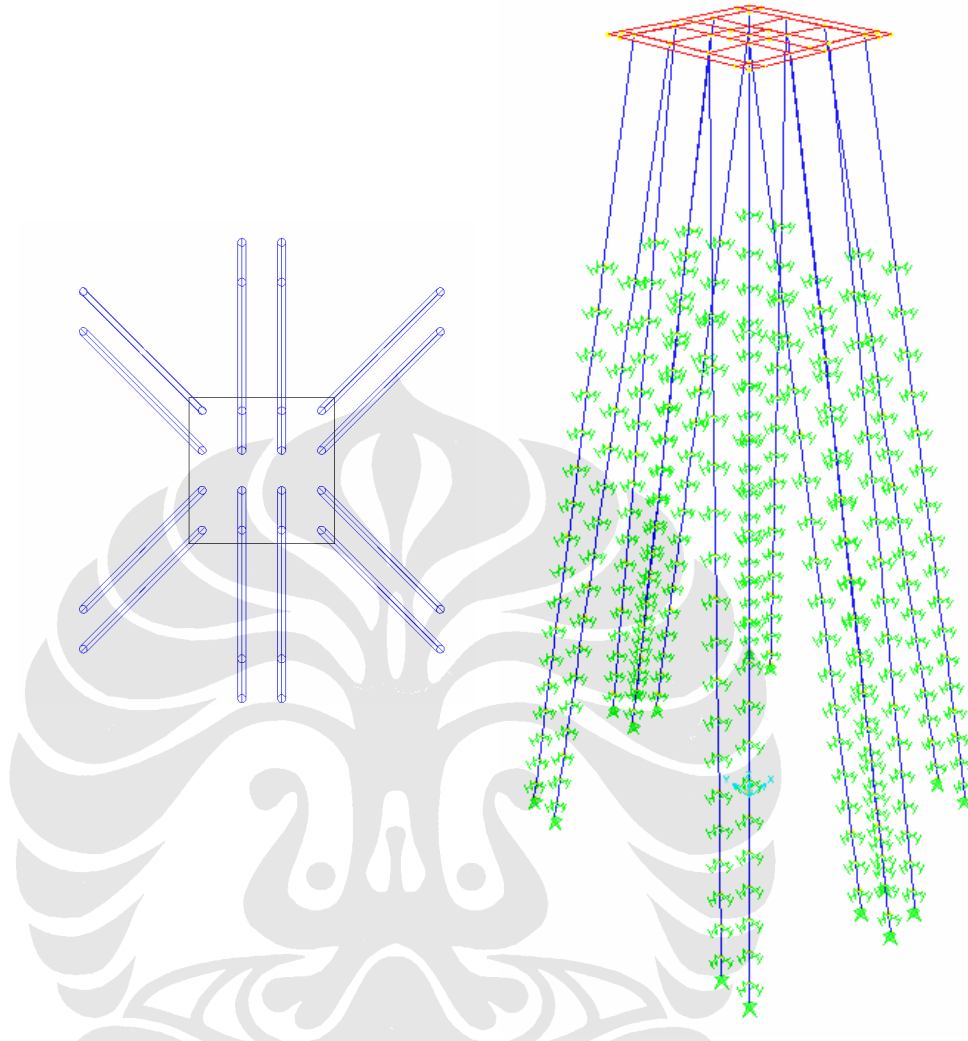
Modelisasi 6 dengan konfigurasi tiang seperti diatas. Dari analisa program SAP2000v11 maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 13. Nilai Pu, Mu serta Defleksi pada Modelisasi 6

kemiringan tiang	Pu (kN)			Mu (kN.M)			P (kN)
	tarik1	tarik2	tarik3	tarik1	tarik2	tarik3	
1:5	-1307.976	-1191.536	-881.016	-316.4056	-408.254	-482.8384	-757.831
1:6	-1341.827	-1206.531	-884.883	-367.0133	-451.645	-518.0556	-783.534
1:7	-1349.943	-1201.814	-896.982	-410.6262	-487.606	-546.0626	-789.329

kemiringan tiang	defleksi (m)		
	u ₁	u ₂	u ₃
1:5	-0.1003	-0.0701	-0.0236
1:6	-0.1085	-0.0850	-0.0217
1:7	-0.1149	-0.0984	-0.0198

C. Modelisasi 7



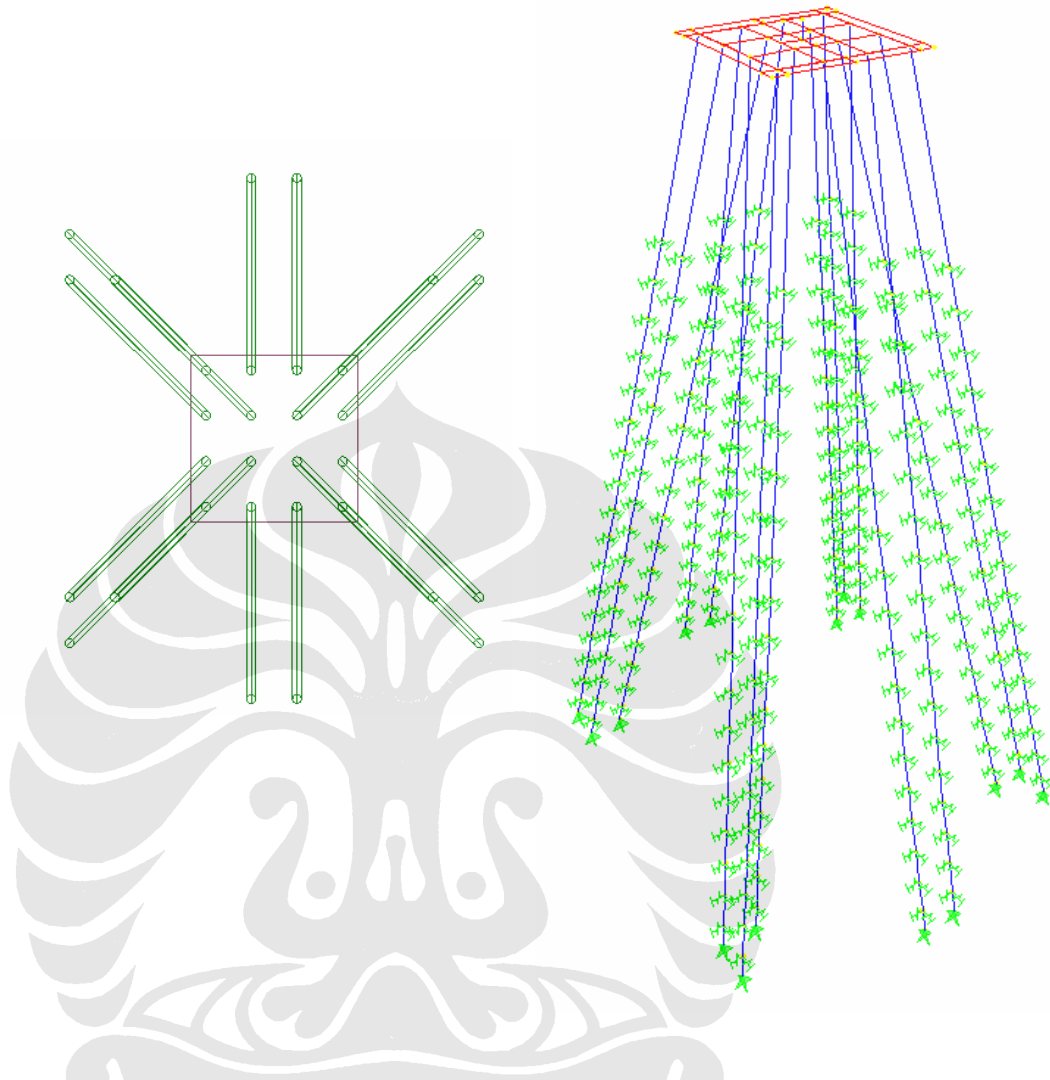
Modelisasi 7 dengan konfigurasi tiang seperti diatas. Dari analisa program SAP2000v11 maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 14. Nilai Pu, Mu serta Defleksi pada Modelisasi 7

kemiringan tiang	Pu (kN)			Mu (kN.M)			P (kN)
	tarik1	tarik2	tarik3	tarik1	tarik2	tarik3	
1:4	-913.683	-960.141	-960.14	240.3823	-344.354	-344.3542	-517.035
1:5	-952.912	-963.102	-963.102	-291.7745	-388.079	-388.0791	-521.566
1:6	-970.229	-951.731	-951.731	-336.0193	-423.267	-423.267	-528.284
1:7	-972.819	-932.35	-932.35	-373.4376	-451.73	-451.7298	-531.025

kemiringan tiang	defleksi (m)		
	u ₁	u ₂	u ₃
1:4	-0.0829	-0.0513	-0.0218
1:5	-0.0836	-0.0634	0.0192
1:6	-0.0915	-0.0764	-0.0176
1:7	-0.0977	-0.0881	-0.0163

D. Modelisasi 8



Modelisasi 8 dengan konfigurasi tiang seperti diatas. Dari analisa program SAP2000v11 maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 15. Nilai Pu, Mu serta Defleksi pada Modelisasi 8

kemiringan tiang	Pu (kN)			Mu (kN.M)			P (kN)
	tarik1	tarik2	tarik3	tarik1	tarik2	tarik3	
1:4	-778.173	-1142.436	-1142.438	-305.4026	-329.015	-329.0153	-657.257
1:5	-789.141	-1147.316	-1147.317	-355.3975	-379.269	-379.2694	-663.266
1:6	-787.022	-1131.886	-1131.886	-395.736	-419.019	-419.0194	-652.632
1:7	-777.581	-1106.42	-1106.42	-428.2062	-450.491	-450.491	-633.791

kemiringan tiang	defleksi (m)		
	u ₁	u ₂	u ₃
1:4	-0.0616	-0.0673	-0.0224
1:5	-0.0666	-0.0778	-0.0203
1:6	-0.0760	-0.0910	-0.0187
1:7	-0.0838	-0.1023	-0.0174

E. Analisa Pemodelan Konfigurasi Tiang 4 x 4

Momen, gaya aksial, serta lendutan yang terjadi pada tiang dalam modelisasi-modelisasi diatas terjadi akibat gaya tarik kapal. Untuk modelisasi 5 dan 6 dengan jumlah tiang yang sama, diperoleh momen ultimat lebih besar terjadi pada modelisasi 6. Demikian juga antara modelisasi 7 dan 8, dimana terlihat momen pada modelisasi 8 lebih kecil tetapi mengalami peningkatan gaya aksial. Sudut kemiringan tiang menunjukkan semakin vertikal (sudut kemiringan kecil) suatu tiang maka momen (M_u) yang terjadi akan semakin besar dan biasanya diikuti dengan penurunan gaya aksial (P_u).

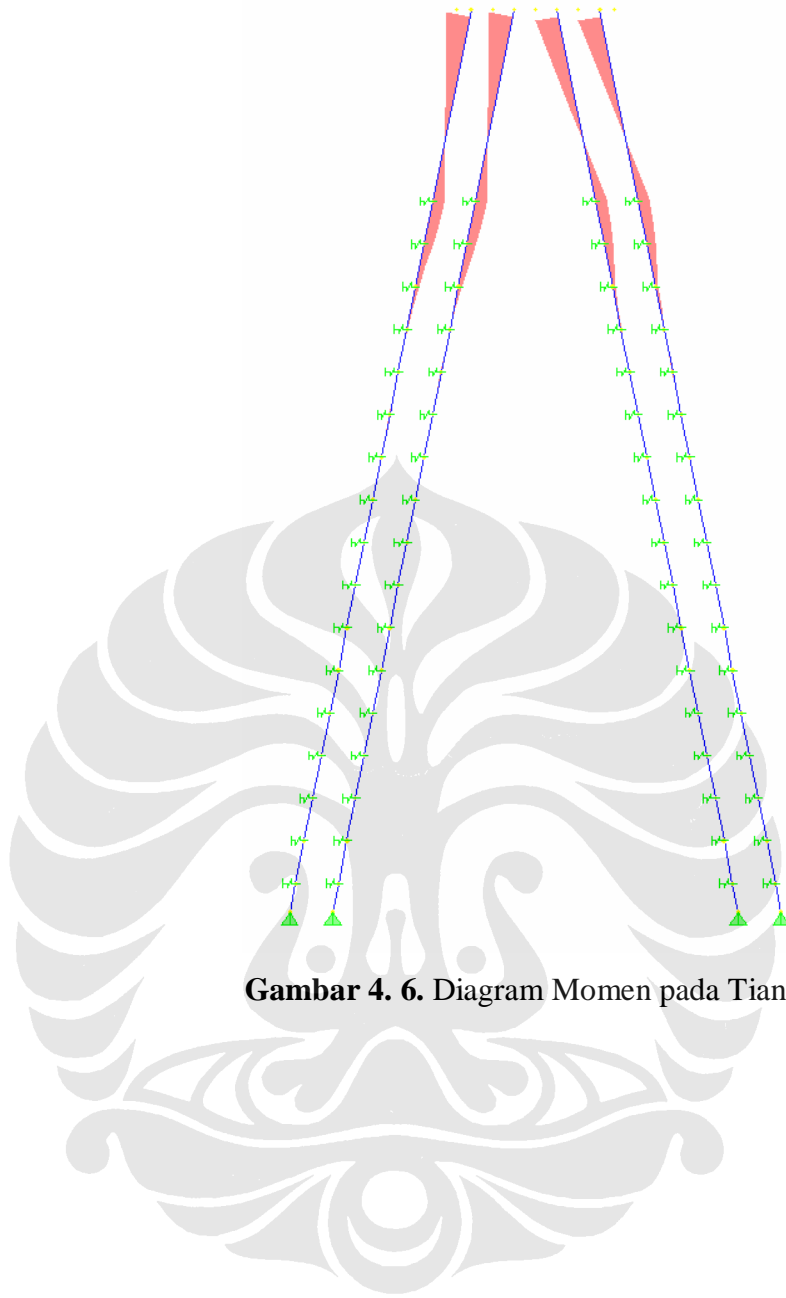
Lendutan yang terjadi pada modelisasi-modelisasi diatas menunjukkan nilai yang tidak terlalu ekstrim sehingga tidak menjadi bahan pertimbangan utama dalam penentuan desain. Sedangkan untuk kapasitas tiang, tidak semua modelisasi memenuhi kedalam diagram interaksi, hanya modelisasi 7 dan 8 yang memenuhi syarat, serta modelisasi 5 dengan kemiringan tiang 1:4.

4.3 ANALISA HASIL

4.3.1 Analisa Kapasitas Struktural Tiang (Diagram Interaksi)

Untuk mengetahui kapasitas tiang maka dilakukan pengecekan terhadap gaya dalam momen dan aksial ultimat kedalam diagram interaksi. Apabila hubungan P_u dan M_u akibat beban terfaktor terbesar masuk kedalam diagram interaksi, maka desain tersebut memenuhi kriteria.

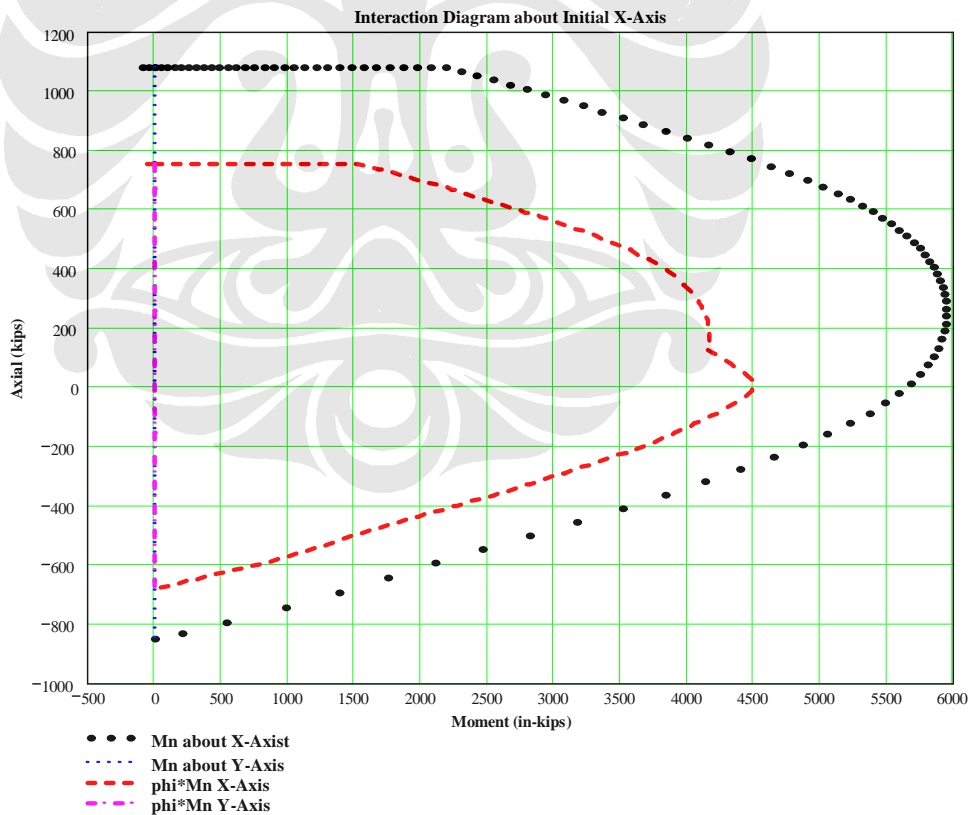
Momen ultimat yang terjadi pada struktur *mooring dolphin* diakibatkan oleh kombinasi gaya tarik dan letak momen terbesar terjadi di kepala tiang seperti pada gambar dibawah ini.



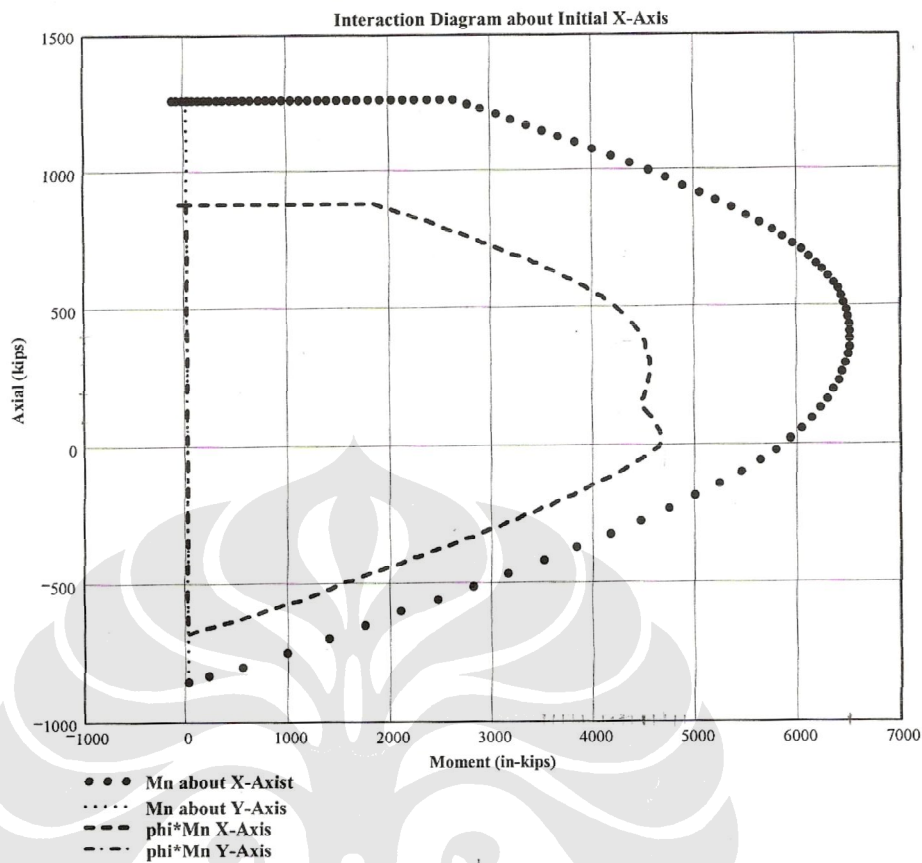
Gambar 4. 6. Diagram Momen pada Tiang

Tabel 4. 16. Mu dan Pu terhadap Diagram Interaksi

modelisasi	jumlah tiang	kemiringan tiang	Pu max (kips)			Mu max (kips.in)			diagram interaksi D=0.6m, t=0.1m	diagram interaksi D=0.6m, t=0.12m
			tarik1	tarik2	tarik3	tarik1	tarik2	tarik3		
1	8 tiang	1:5	-290.69	-300.94	-300.94	5439.789	6852.611	-6852.61	tidak	tidak
		1:6	-293.79	-308.03	-308.03	6185.634	7436.668	-7436.66	tidak	tidak
		1:7	-291.85	-310.43	-310.43	6799.191	7903.008	-7903	tidak	tidak
2	8 tiang	1:5	-340.35	-264.99	-264.99	-6246.13	-7390.93	7390.93	tidak	tidak
		1:6	-346.47	-268.54	-268.54	-6933.63	-7938.07	7938.08	tidak	tidak
		1:7	-348.55	-269.40	-269.40	-7494.09	-8369.81	8369.82	tidak	tidak
3	10 tiang	1:5	-240.24	-246.50	-234.70	3055.86	4225.228	-5460.43	tidak	tidak
		1:6	-254.00	-255.98	-240.58	3644.829	4740.452	-5868.85	tidak	tidak
		1:7	-262.27	-260.91	-242.09	4170.83	5202.719	-6206.12	tidak	tidak
4	10 tiang	1:5	-307.17	-274.37	-185.62	-3463.55	-4757.9	-5690.09	tidak	tidak
		1:6	-342.45	-306.97	-213.16	4092.005	-5344.43	-6210.76	tidak	tidak
		1:7	-351.94	-311.21	-221.77	4602.65	-5775.6	-6536.63	tidak	tidak
5	14 tiang	1:4	-262.82	-208.05	-208.05	-2769.76	-3762.13	-3762.13	memenuhi	memenuhi
		1:5	-270.62	-213.36	-213.36	-3297.86	-4182.59	-4182.59	tidak	memenuhi
		1:6	-272.29	-214.42	-214.42	-3737.48	-4515.74	-4515.74	tidak	memenuhi
		1:7	-270.21	-212.88	-212.88	-4099.78	-4781.66	-4781.66	tidak	memenuhi
6	14 tiang	1:5	-294.05	-267.87	-198.06	-2800.43	-3613.35	-4273.48	tidak	memenuhi
		1:6	-301.66	-271.24	-198.93	-3248.34	-3997.39	-4585.18	tidak	memenuhi
		1:7	-303.48	-270.18	-201.65	-3634.35	-4315.68	-4833.06	tidak	memenuhi
7	16 tiang	1:4	-205.40	-215.85	-215.85	2127.563	-3047.79	-3047.79	memenuhi	memenuhi
		1:5	-214.22	-216.51	-216.51	-2582.42	-3434.79	-3434.79	memenuhi	memenuhi
		1:6	-218.12	-213.96	-213.96	-2974.02	-3746.23	-3746.23	memenuhi	memenuhi
		1:7	-218.70	-209.60	-209.60	-3305.2	-3998.15	-3998.15	memenuhi	memenuhi
8	16 tiang	1:4	-174.94	-256.83	-256.83	-2703.04	-2912.03	-2912.03	memenuhi	memenuhi
		1:5	-177.41	-257.93	-257.93	-3145.53	-3356.81	-3356.82	memenuhi	memenuhi
		1:6	-176.93	-254.46	-254.46	-3502.56	-3708.63	-3708.63	memenuhi	memenuhi
		1:7	-174.81	-248.73	-248.73	-3789.94	-3987.18	-3987.18	memenuhi	memenuhi



Gambar 4. 7. Diagram Interaksi Pile D = 600 mm T = 100 mm Type C



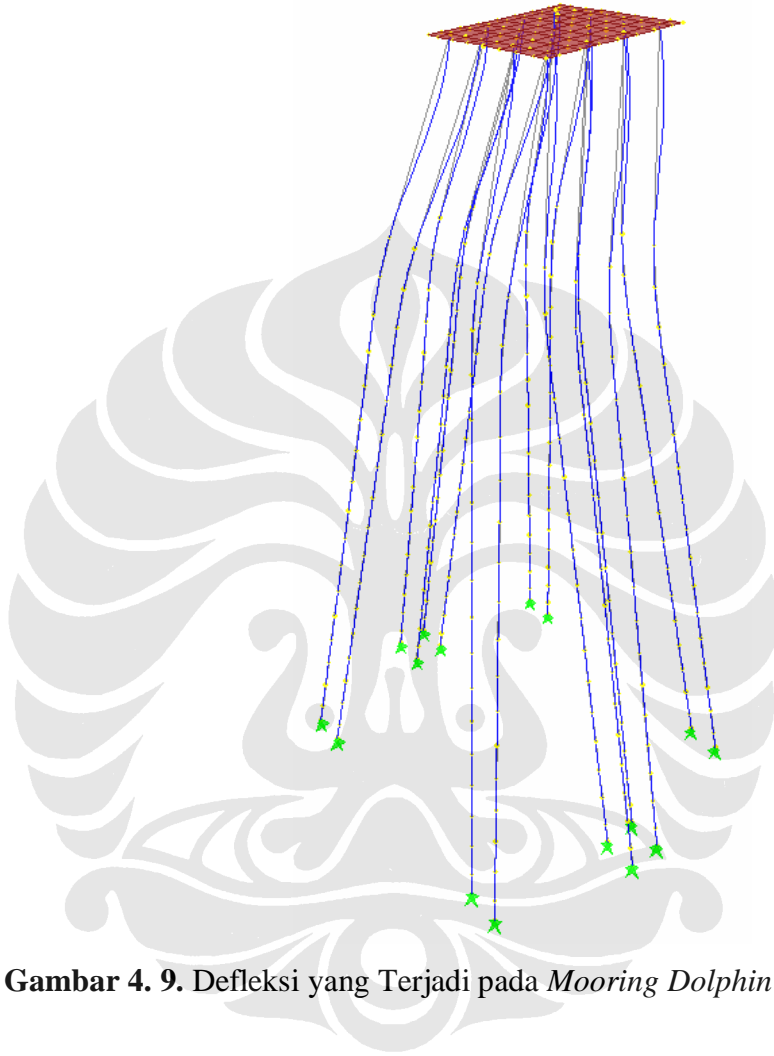
Gambar 4. 8. Diagram Interaksi Pile D = 600 mm T = 120 mm Type C

Dari semua modelisasi, ternyata hanya dua modelisasi yaitu modelisasi 7 dan 8 yang masuk kedalam diagram interaksi dengan ketebalan tiang 0.1 m, sedangkan untuk modelisasi 5 yang memenuhi hanya untuk kemiringan 1:4. Apabila ketebalan tiang diperbesar menjadi 0.12 m maka modelisasi 5, 6, 7 dan 8 memenuhi syarat. Hal tersebut berarti untuk memperbesar kapasitas tiang dapat dilakukan dengan memperbesar dimensi tiang.

Dari desain yang memenuhi kapasitas struktural tiang, maka desain yang dianggap efisien adalah modelisasi 5 dimana jumlah tiang lebih sedikit dibandingkan dengan modelisasi 7 dan 8, walaupun kemiringan tiang cukup besar yaitu 1:4.

4.3.2 Analisa Lendutan

Analisa tiang terhadap lendutan berdasarkan beban tidak terfaktor. Pada desain *mooring dolphin*, gaya yang mengakibatkan lendutan terbesar adalah akibat gaya tarik kapal seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 9. Defleksi yang Terjadi pada *Mooring Dolphin* (Akibat Gaya Tarik)

Tabel 4. 17. Lendutan (Akibat Gaya Tarik)

modelisasi	kemiringan tiang	defleksi (m)		
		u ₁	u ₂	u ₃
1	1:5	-0.1485	-0.1340	0.0389
	1:6	-0.1634	-0.1596	0.0360
	1:7	-0.1755	-0.1820	0.0332
2	1:5	-0.149	-0.134	-0.039
	1:6	-0.163	-0.160	-0.036
	1:7	-0.176	-0.182	-0.033
3	1:5	-0.125	-0.084	0.029
	1:6	-0.136	-0.103	0.026
	1:7	-0.146	-0.121	0.024
4	1:5	-0.124	-0.082	-0.017
	1:6	-0.136	-0.103	-0.026
	1:7	-0.146	-0.121	-0.024
5	1:4	-0.086	-0.063	-0.025
	1:5	-0.0965	-0.0801	-0.0236
	1:6	-0.1050	-0.0952	-0.0218
	1:7	-0.1118	-0.1084	-0.0200
6	1:5	-0.1003	-0.0701	-0.0236
	1:6	-0.1085	-0.0850	-0.0217
	1:7	-0.1149	-0.0984	-0.0198
7	1:4	-0.0829	-0.0513	-0.0218
	1:5	-0.0836	-0.0634	-0.0192
	1:6	-0.0915	-0.0764	-0.0176
	1:7	-0.0977	-0.0881	-0.0163
8	1:4	-0.0616	-0.0673	-0.0224
	1:5	-0.0666	-0.0778	-0.0203
	1:6	-0.0760	-0.0910	-0.0187
	1:7	-0.0838	-0.1023	-0.0174

Nilai defleksi yang terjadi pada setiap modelisasi tidak terlalu besar dan memenuhi defleksi yang diijinkan sehingga tidak menyebabkan terjadinya kegagalan struktur akibat defleksi. Dilihat dari tabel diatas, maka desain yang memiliki nilai defleksi relatif kecil diantara semua modelisasi yang dibuat terdapat pada modelisasi 7 dan 8.

4.3.3 Analisa Daya Dukung Aksial

Tabel 4. 18. Output Nilai P Tidak Terfaktor

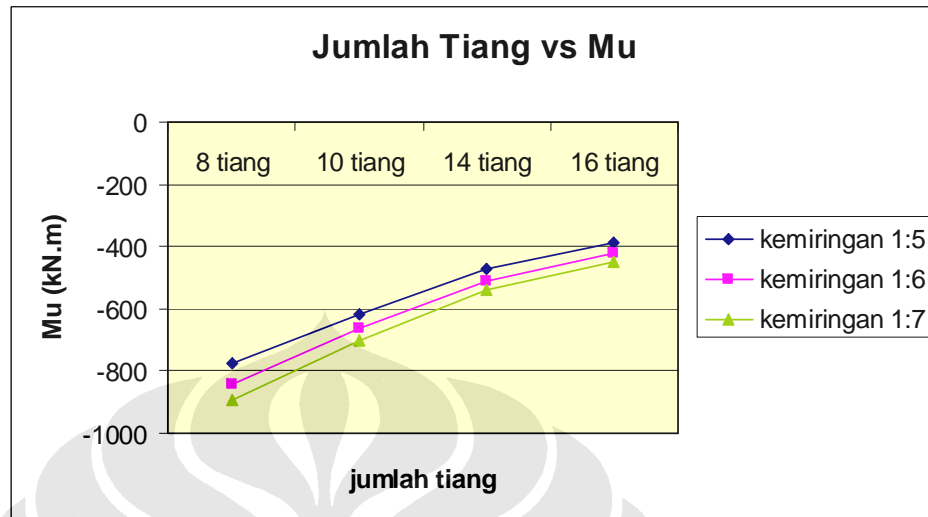
modelisasi	kemiringan tiang	P (kN)
1	1:5	880.311
	1:6	910.481
	1:7	924.689
2	1:5	855.062
	1:6	-910.481
	1:7	-924.689
3	1:5	900.591
	1:6	962.443
	1:7	998.318
4	1:5	-901.532
	1:6	-962.442
	1:7	-998.319
5	1:4	-639.857
	1:5	-669.024
	1:6	-676.089
6	1:7	-669.765
	1:5	-757.831
	1:6	-783.534
7	1:7	-789.329
	1:4	-517.035
	1:5	-521.566
8	1:6	-528.284
	1:7	-531.025
	1:4	-657.257
8	1:5	-663.266
	1:6	-652.632
	1:7	-633.791

Untuk mengetahui kapasitas tanah yang dibebani, maka perlu dilakukan pengecekan terhadap daya dukung aksial tanah tersebut. Meskipun untuk struktur *mooring dolphin* gaya terbesar terjadi bukan akibat gaya aksial melainkan gaya lateral. Berdasarkan nilai tahanan ijin aksial yaitu sebesar 15644 kN, maka tahanan aksial P akibat beban tidak terfaktor pada semua modelisasi memenuhi kriteria.

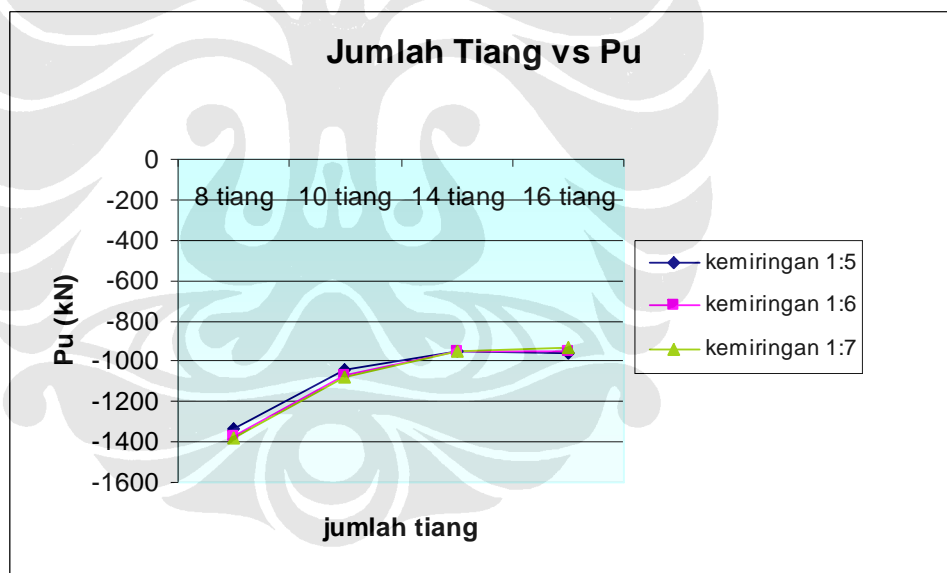
4.3.4 Analisa Jumlah Tiang dan Arah Kemiringan

Hubungan antara jumlah tiang terhadap nilai M_u dan P_u yang terjadi cukup berpengaruh. Semakin banyak jumlah tiang dalam suatu konfigurasi maka beban yang terjadi pada struktur akan diterima masing-masing tiang lebih kecil,

sehingga nilai Mu yang terjadi akan semakin kecil, demikian juga halnya dengan Pu.



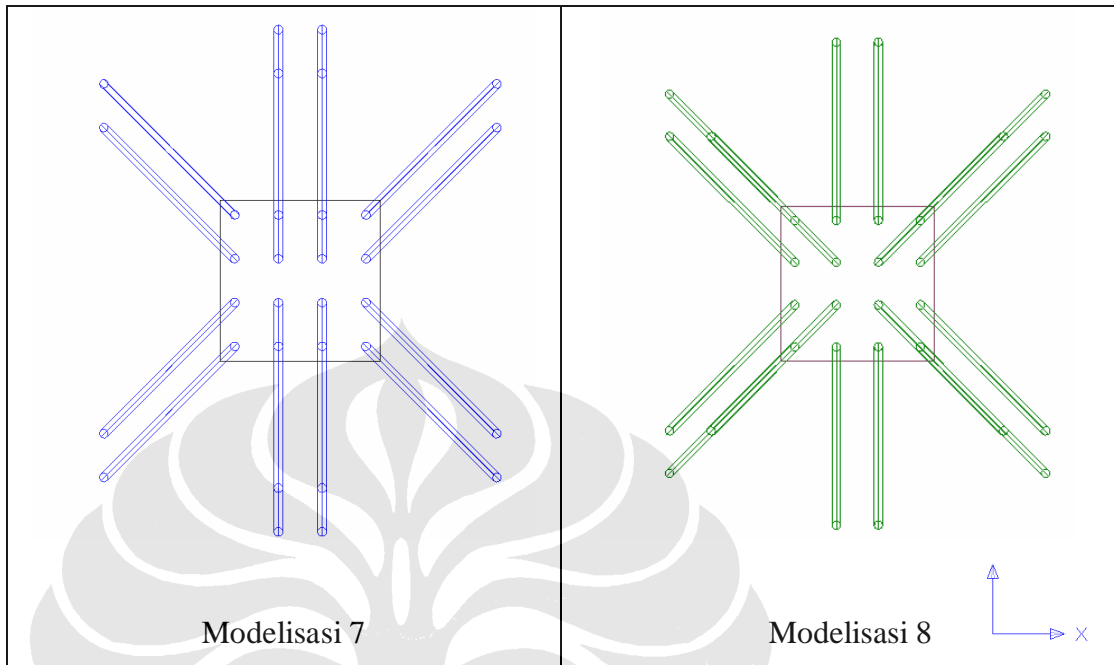
Gambar 4. 10. Hubungan Jumlah Tiang terhadap Mu



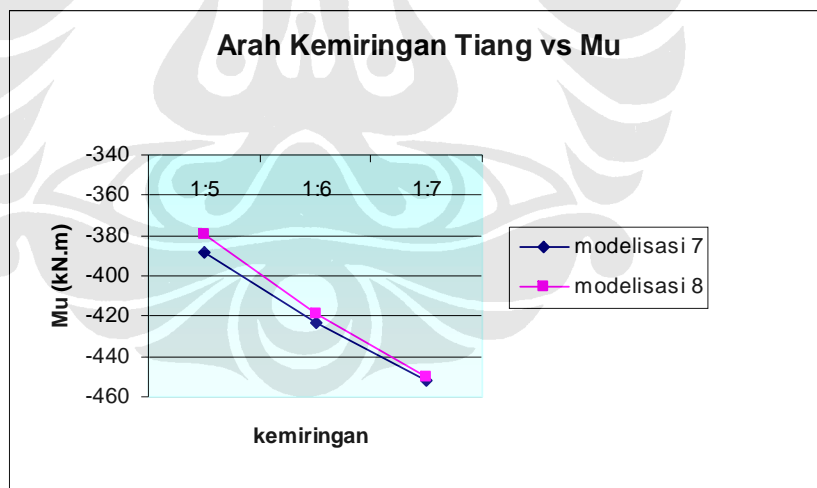
Gambar 4. 11. Hubungan Jumlah Tiang Terhadap Pu

Dengan jumlah tiang yang sama, desain konfigurasi tiang belum tentu sama. Arah kemiringan tiang turut mempengaruhi tahanan tiang terhadap gaya yang bekerja yang pada akhirnya berpengaruh terhadap Mu yang dihasilkan. Sebagai contoh diambil modelisasi 7 dan 8 dimana mempunyai jumlah tiang yang sama, tetapi arah kemiringan berbeda. Dapat disimpulkan, bahwa berdasarkan grafik dibawah ini, modelisasi 8 lebih efisien dibandingkan modelisasi 7 karena nilai Mu yang terjadi lebih kecil. Berdasarkan hal ini, maka untuk struktur *mooring*

dolphin dengan kemiringan tiang searah 45° terhadap sumbu x akan lebih efisien dibandingkan dengan tiang searah 90° terhadap sumbu x.



Gambar 4. 12. Perbandingan Arah Kemiringan Tiang Pada Modelisasi 7 dan 8



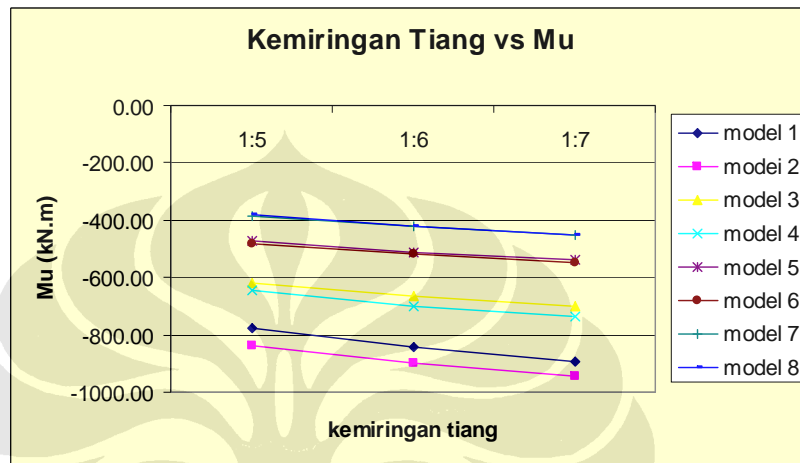
Gambar 4. 13. Arah Kemiringan Tiang Terhadap Mu

4.3.5 Analisa Sudut Kemiringan

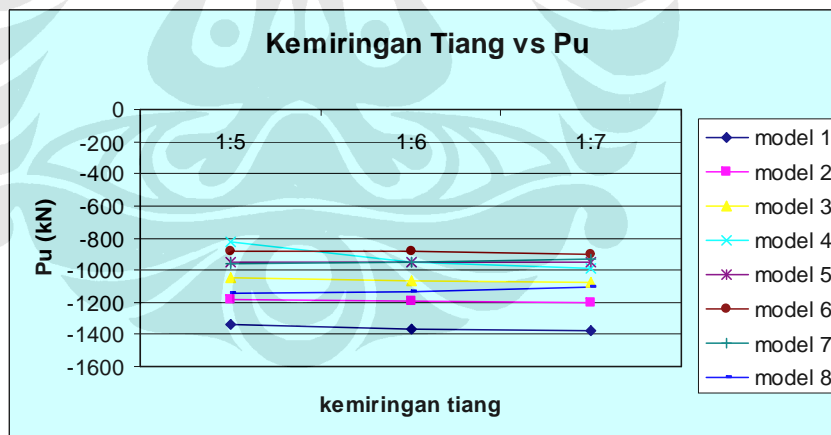
Semakin besar sudut kemiringan tiang maka nilai Mu semakin kecil demikian pula dengan Pu. Akan tetapi, perubahan Pu tidak terlalu signifikan

(grafik cenderung datar), sedangkan Mu perbedaan yang terjadi cukup signifikan (grafik relatif curam).

Nilai Mu yang paling kecil terdapat pada modelisasi 8, sedangkan nilai Pu terdapat pada modelisasi 6. Hal ini menunjukkan bahwa untuk suatu konfigurasi tiang dimana Mu terjadi cukup kecil maka tidak diikuti dengan nilai Pu yang kecil pula.



Gambar 4.14. Sudut kemiringan tiang terhadap Mu

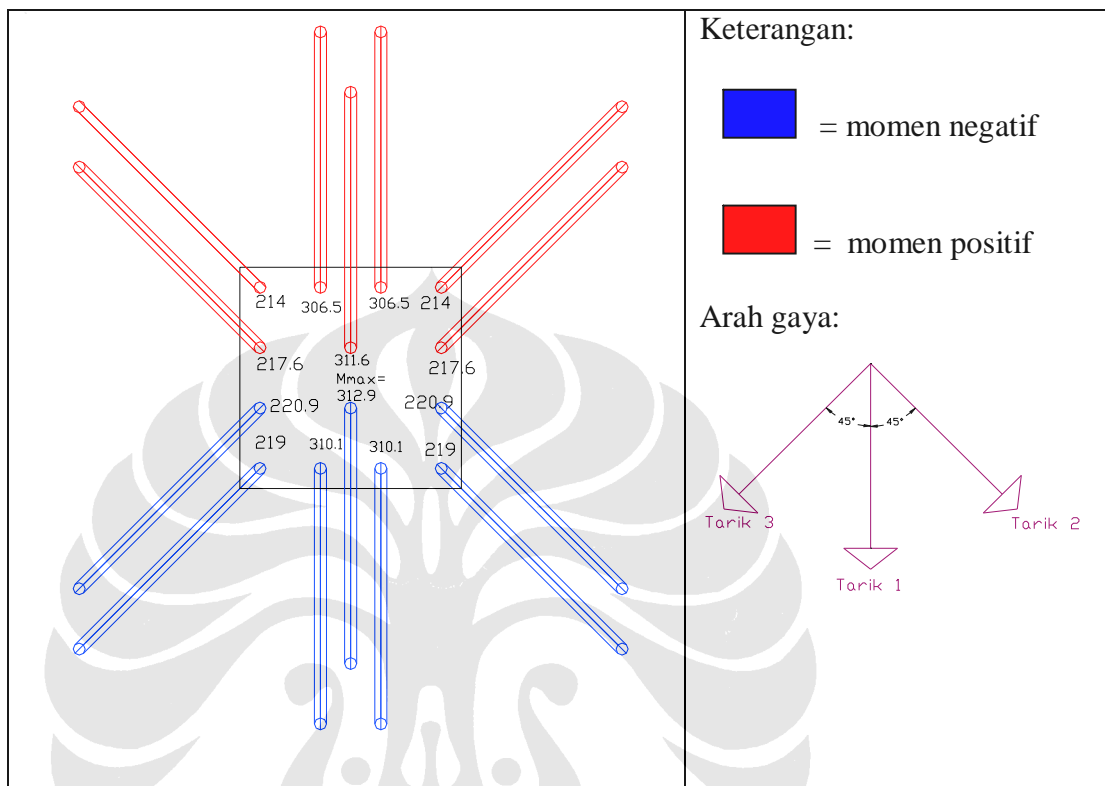


Gambar 4.15. Sudut kemiringan tiang terhadap Pu

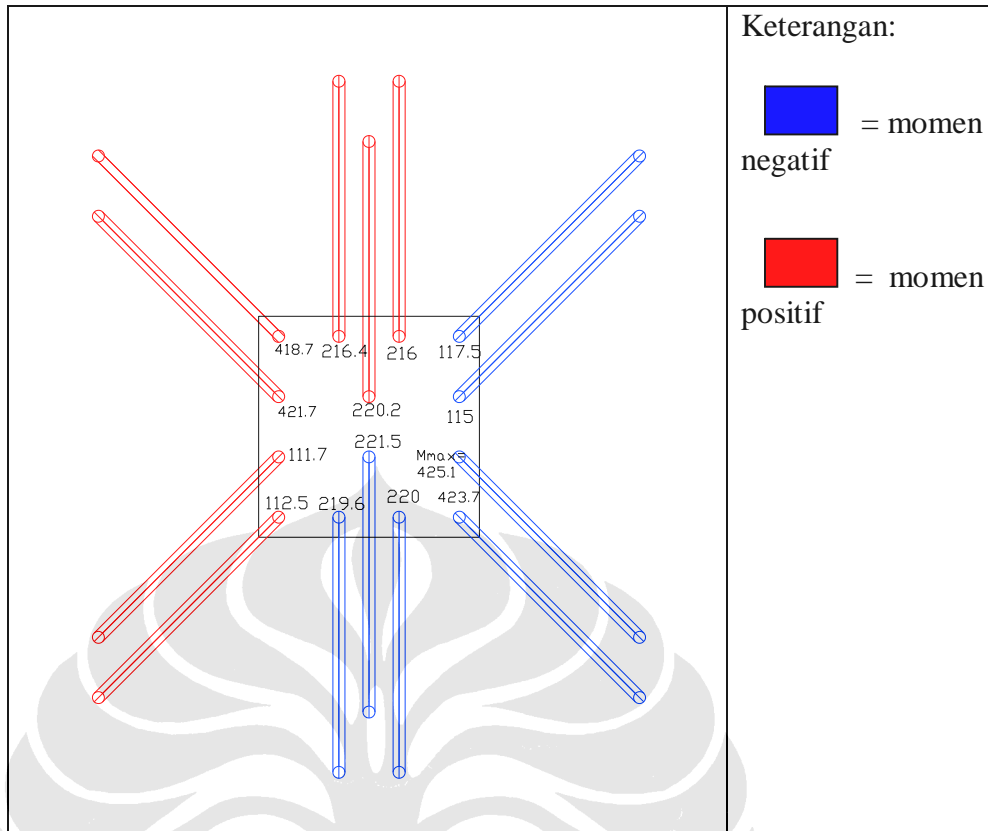
4.3.6 Analisa Distribusi Momen dan Gaya Aksial

Pada analisa distribusi momen dan gaya aksial, beban yang ditinjau adalah akibat gaya tarik karena akibat gaya tersebut menyebabkan terjadinya momen ultimat pada tiang. Momen dan gaya aksial maksimum pada tiang terjadi pada tiang didekat pusat gaya tersebut terjadi dan semakin menjauhi pusat gaya maka

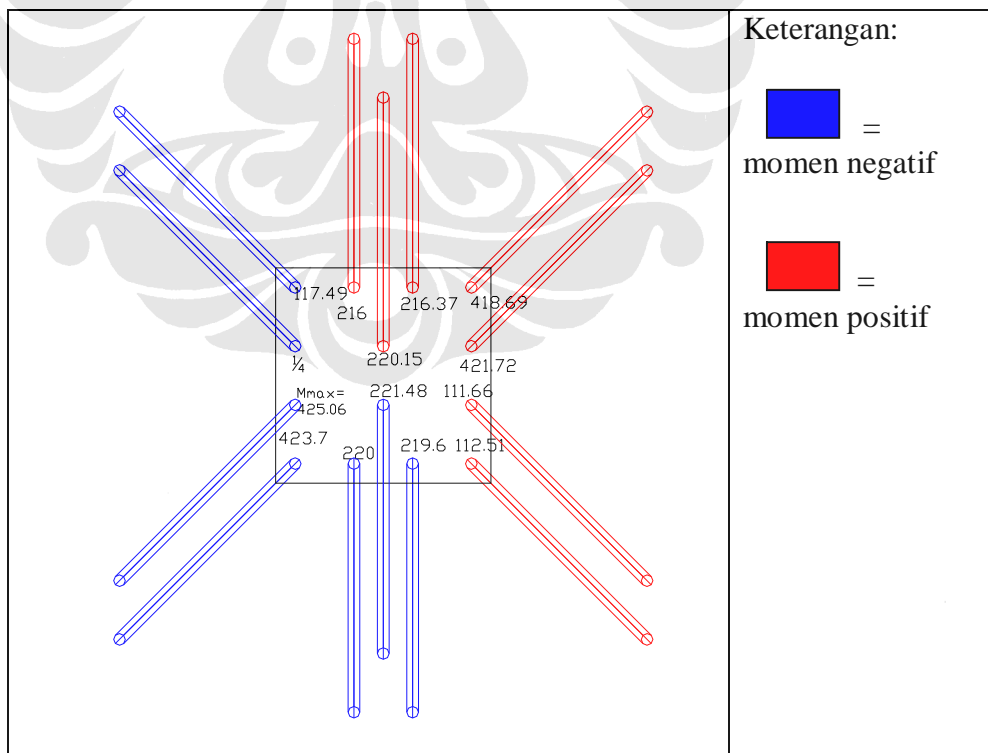
distribusi momen dan gaya aksial yang terjadi juga semakin kecil. Dibawah ini adalah distribusi momen dan gaya aksial yang terjadi di tiap-tiap tiang pada modelisasi 5 dengan kemiringan 1:4.



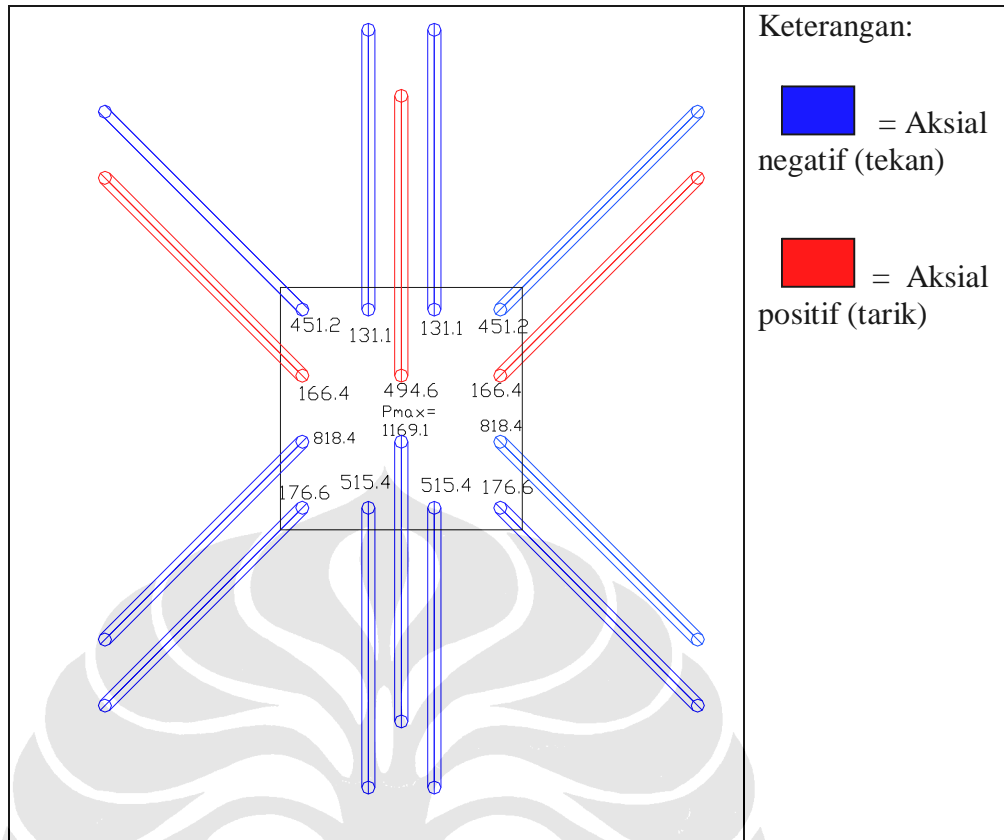
Gambar 4. 16. Distribusi Momen Akibat Gaya Tarik 1 pada Modelisasi 5



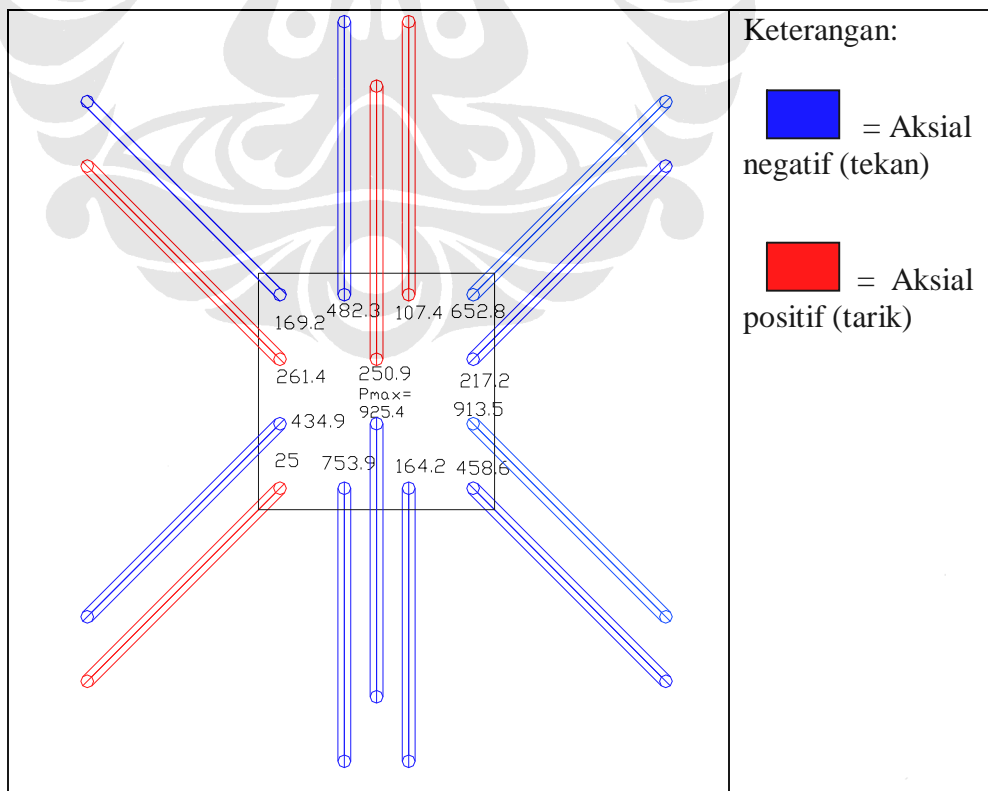
Gambar 4. 17. Distribusi Momen Akibat Gaya Tarik 2 pada Modelisasi 5



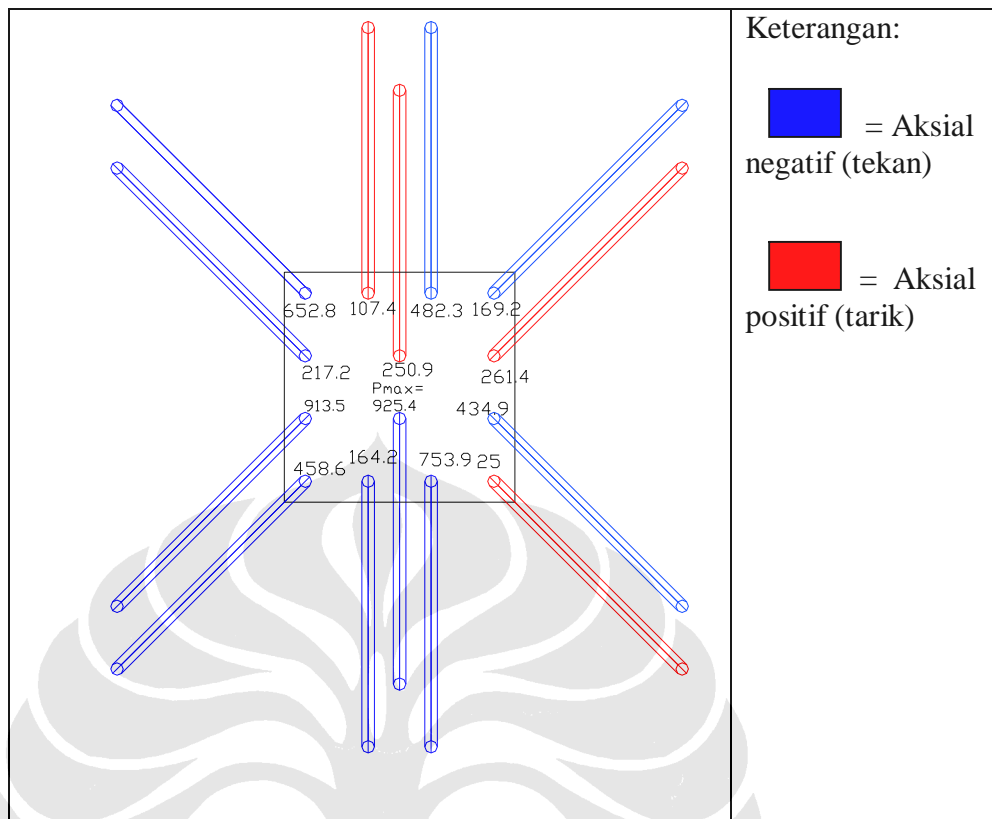
Gambar 4. 18. Distribusi Momen Akibat Gaya Tarik 3 pada Modelisasi 5



Gambar 4. 19. Distribusi Gaya Aksial Akibat Gaya Tarik 1 pada Modelisasi 5



Gambar 4. 20. Distribusi Gaya Aksial Akibat Gaya Tarik 2 pada Modelisasi 5



Gambar 4. 21. Distribusi Gaya Aksial Akibat Gaya Tarik 3 pada Modelisasi 5

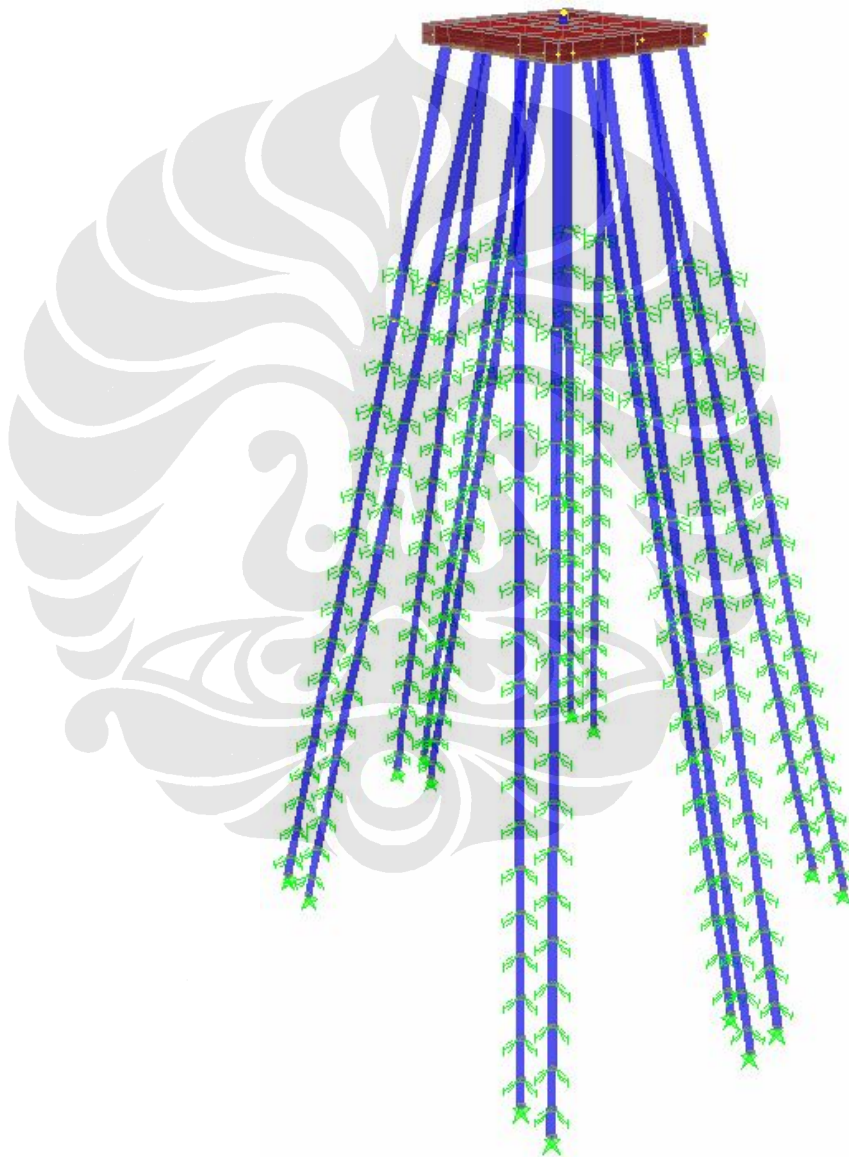
Distribusi momen pada gaya tarik dengan arah yang berbeda-beda (tarik 1, tarik 2 dan tarik 3) menunjukkan pola distribusi yang merata dan simetris. Momen maksimum terjadi pada tiang sesuai dengan arah gaya tersebut bekerja. Sifat momen positif dan negatif juga sesuai dengan arah gaya yang terjadi, dimana pada sisi depan terjadi momen negatif sedangkan pada arah sebaliknya terjadi momen positif sehingga jumlah tiang yang mengalami momen negatif dan positif adalah sebanding.

Sedangkan pada distribusi gaya aksial menunjukkan distribusi yang tidak terlalu merata dan simetris. Hampir seluruh tiang dalam satu konfigurasi mengalami kondisi tekan, dan hanya pada beberapa tiang yang mengalami kondisi tarik, sehingga jumlah tiang tidak sama antara bagian yang mengalami tekan dan tarik.

4.3.7 Analisa Pemodelan Pegas Nonlinier

Dari pemodelan dengan spring linier, maka diperoleh desain yang optimum yaitu modelisasi 5 dengan 14 tiang serta kemiringan 1:4. Selanjutnya

modelisasi tersebut dianalisa secara nonlinier dimana spring tanah dianggap hanya dapat menerima beban pada batas tertentu kemudian plastis. Hubungan antara pembebanan dengan defleksi yang terjadi dihitung dengan pendekatan kurva P-y. Kondisi spring yang plastis menandakan tanah telah mengalami kondisi *failure/crack*, tetapi selama hanya sebagian dan tidak seluruh spring dalam pemodelan mengalami kondisi plastis maka secara keseluruhan struktur tersebut masih aman.



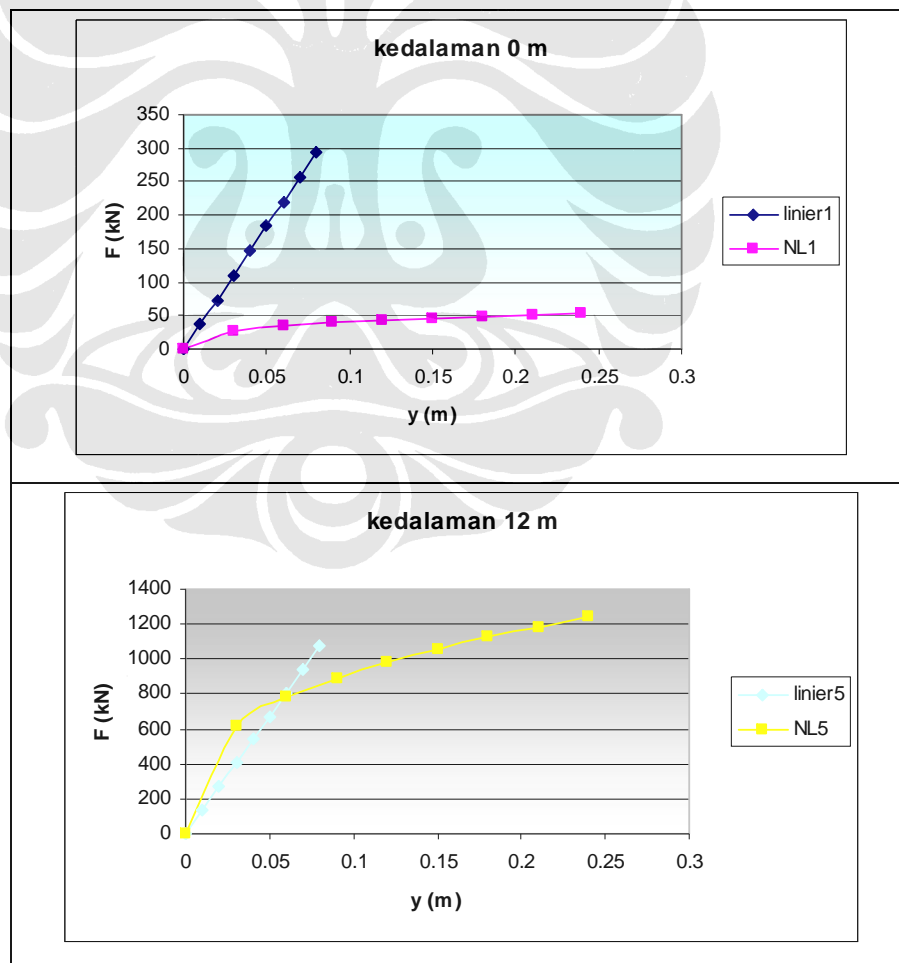
Gambar 4. 22. Pemodelan Pegas Nonlinier

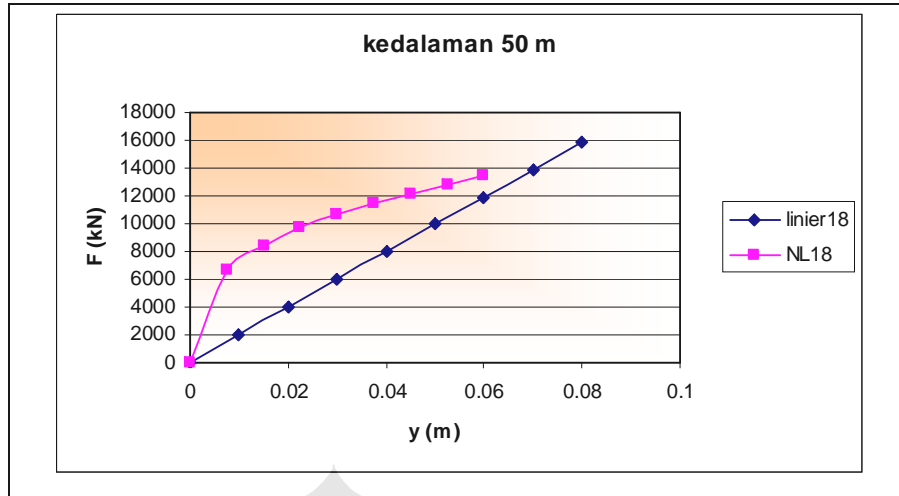
Hasil analisa pemodelan nonlinier dengan analisa linier adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 19. Output SAP dari Analisa Spring Nonlinier Dan Linier

Analisa	P(kN)			M(kN.M)			tarik (m)		
	tarik1	tarik2	tarik3	tarik1	tarik2	tarik3	$\bar{\delta}_x$	$\bar{\delta}_y$	$\bar{\delta}_z$
Linier	-1169.072	-925.44	-925.439	-312.9411	-425.0639	-425.0641	-0.086	-0.063	-0.025
Nonlinier	-1332.422	-1040.952	-1040.952	-298.001	-439.8343	-439.8346	-0.119	-0.076	-0.035

Berdasarkan perbandingan dengan hasil yang diperoleh dari analisa pegas linier, analisa pegas nonlinier diperoleh nilai momen ultimat (M_u), gaya aksial ultimat (P_u) serta defleksi yang terjadi lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa ketika spring mencapai kondisi plastis, dimana tidak memiliki tahanan lateral lagi (plastis) maka gaya yang terjadi di pegas tersebut akan ditahan oleh pegas didekatnya. Jika dibandingkan antara kurva P-y linier dengan nonlinier, maka diperoleh kekakuan pegas pada kondisi nonlinier seiring dengan bertambahnya kedalaman tanah, akan lebih kaku dibandingkan dengan kondisi linier. Karena kondisi tersebut, maka momen dan gaya aksial yang terjadi pada kondisi nonlinier akan lebih besar dibandingkan kondisi linier.





Gambar 4. 23. Perbandingan Kurva P-y Linier dengan Nonlinier Pada Kedalaman 0 m (*seabed*), 12 m dan 50 m

Untuk reaksi spring yang diperoleh dalam analisa linier dan nonlinier menunjukkan bahwa reaksi pada spring linier lebih besar terutama pada kedalaman paling atas (0 m). Hal tersebut dikarenakan pegas linier tidak seperti pegas nonlinier, dimana pada pegas linier, beban yang bekerja berbanding lurus dengan deformasi yang terjadi dan pada kondisi tidak terbatas.

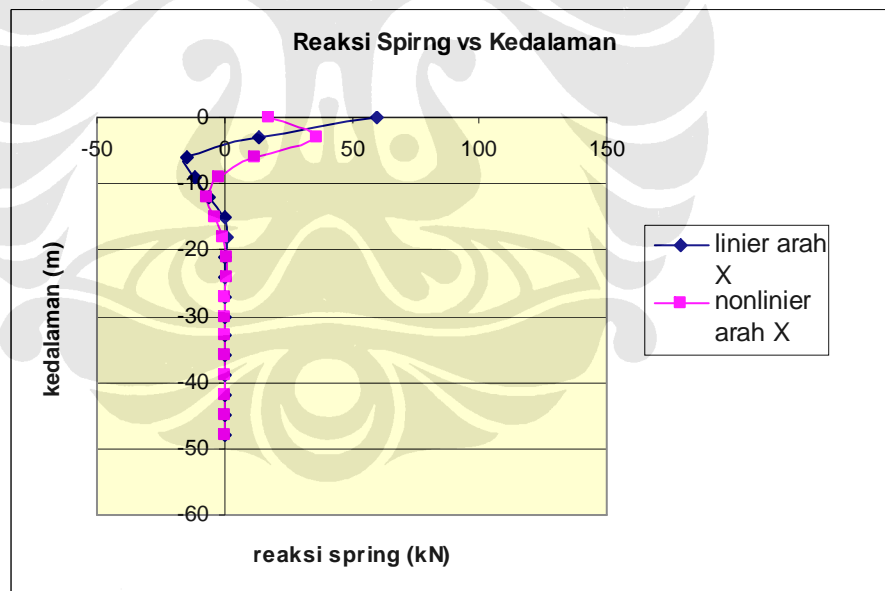
Untuk analisa pegas nonlinier, *joint reaction* yang terjadi tidak menunjukkan pegas telah mencapai kondisi plastis. Hal ini menunjukkan bahwa daya dukung tanah terhadap beban horisontal mencukupi dan tidak terjadi *failure* pada tanah.

Tabel 4. 20. Reaksi Spring Akibat Gaya Tarik 3 pada Kondisi Linier

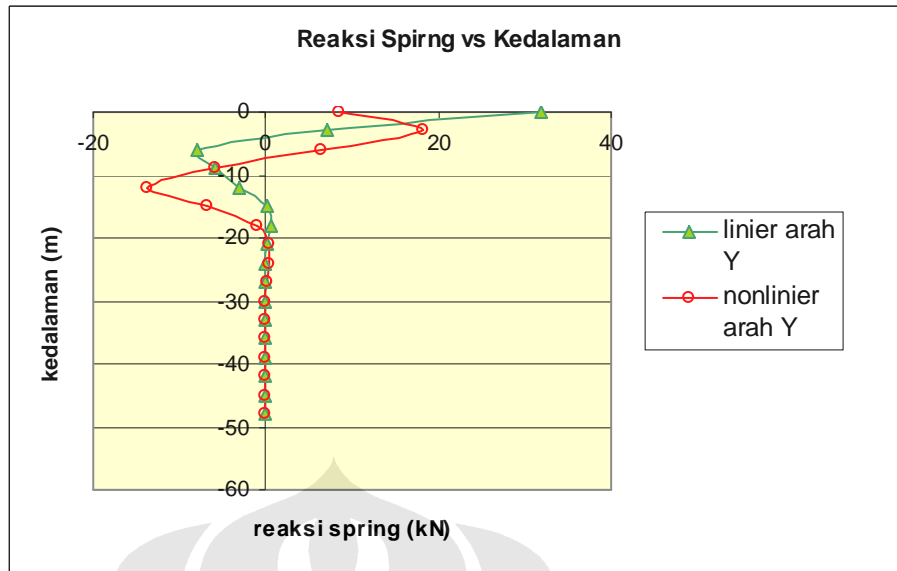
nodal	kedalaman (m)	Fx (kN)	Fy (kN)
1	0	59.66	31.78
2	-3	13.76	7.143
3	-6	-14.85	-7.9
4	-9	-11.31	-5.89
5	-12	-6.2	-3.1
6	-15	0.264	0.194
7	-18	1.092	0.57
8	-21	0.45	0.22
9	-24	0.045	0.02
10	-27	-0.05	-0.02
11	-30	-0.04	-0.02
12	-33	0.003	0.001
13	-36	-0.00032	-0.0002
14	-39	0	0
15	-42	0	0
16	-45	0	0
17	-48	0	0

Tabel 4. 21. Reaksi Spirng Akibat Gaya Tarik 3 pada Kondisi Nonlinier

nodal	kedalaman (m)	Fx (kN)	Fy (kN)
1	0	17.47	8.48
2	-3	36.5	18.15
3	-6	11.98	6.42
4	-9	-2.48	-5.81
5	-12	-6.64	-13.67
6	-15	-3.5	-6.7
7	-18	-0.61	-0.96
8	-21	0.86	0.4
9	-24	0.62	0.32
10	-27	0.15	0.09
11	-30	0.04	0.01
12	-33	0.04	0.02
13	-36	0	0
14	-39	0	0
15	-42	0	0
16	-45	0	0
17	-48	0	0



Gambar 4. 24. Reaksi Spring vs Kedalaman pada Arah X



Gambar 4. 25. Reaksi Spring vs Kedalaman pada Arah Y

BAB 5

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

- Gaya terbesar yang menyebabkan struktur mooring dolphin mengalami lendutan, μ dan P_u maksimum adalah akibat gaya tarik kapal.
- Modelisasi konfigurasi tiang yang paling efisien berdasarkan studi kasus pelabuhan Teluk Bayur, Padang, adalah modelisasi tiang dengan jumlah tiang 14 dan sudut kemiringan 1:4.
- Parameter yang menentukan konfigurasi tiang memenuhi kriteria atau tidak adalah kapasitas struktural tiang (μ dan P_u), defleksi tiang serta daya dukung lateral/aksial tanah. Akan tetapi, parameter yang paling menentukan dalam analisis konfigurasi tiang dalam penulisan skripsi ini adalah momen dan gaya aksial ultimat pada tiang.
- Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi momen ultimat pada tiang antara lain:
 - Jumlah tiang: semakin banyak tiang maka semakin kecil momen yang terjadi, dan sebaliknya semakin sedikit tiang maka momen yang terjadi akan semakin besar
 - Arah kemiringan tiang: arah kemiringan tiang 45° akan lebih efisien terhadap beban luar yang bekerja.
 - Sudut kemiringan tiang: semakin vertikal suatu tiang maka momen yang terjadi akan semakin besar, dan sebaliknya semakin besar sudut kemiringan tiang maka momen akan semakin kecil
- Dalam analisa pegas linier dengan nonlinier, nilai μ , P_u serta defleksi yang terjadi pada pegas nonlinier lebih besar dibandingkan pegas linier, dikarenakan kekakuan pegas nonlinier lebih besar dibandingkan dengan pegas linier. Hal tersebut menunjukkan bahwa analisa pegas nonlinier lebih mendekati kondisi sesungguhnya sehingga desain lebih baik menggunakan analisa pegas nonlinier.