

## **BAB 4**

### **ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA**

#### **4.1 PENDAHULUAN**

##### **4.1.1 Asumsi dan Batasan**

Seperti yang telah disebutkan pada bab awal tentang tujuan penelitian ini, maka terdapat beberapa asumsi yang dilakukan dalam pemodelan struktur pada program, diantaranya adalah:

- Ujung atas tiang dianggap sebagai jepit.
- Ujung bawah tiang dianggap sebagai sendi.
- Berat dan massa tiang sama dengan nol.
- Gaya yang terjadi pada struktur akibat kapal dianggap sebagai gaya terpusat.
- Tahanan tanah terhadap struktur dimodelkan sebagai pegas.

Untuk batasan yang digunakan dalam perhitungan adalah:

- Spasi antar tiang = 3 m.
- Jarak antara tiang terluar dengan tepi *pilecap* = 1 m.
- Ketebalan *pilecap* = 1 m.
- Panjang tiang vertikal : 63,5 m.
- Kuat tekan beton  $\rightarrow f_c' (K-500) = 4165 \text{ ton/m}^2$ .

##### **4.1.2 Kriteria Desain**

Dari tujuan penulisan ini yaitu untuk memperoleh konfigurasi tiang yang paling efektif dan efisien, maka terdapat beberapa kriteria yang harus dipenuhi dalam menentukan konfigurasi tersebut. Kriteria tersebut diantaranya adalah:

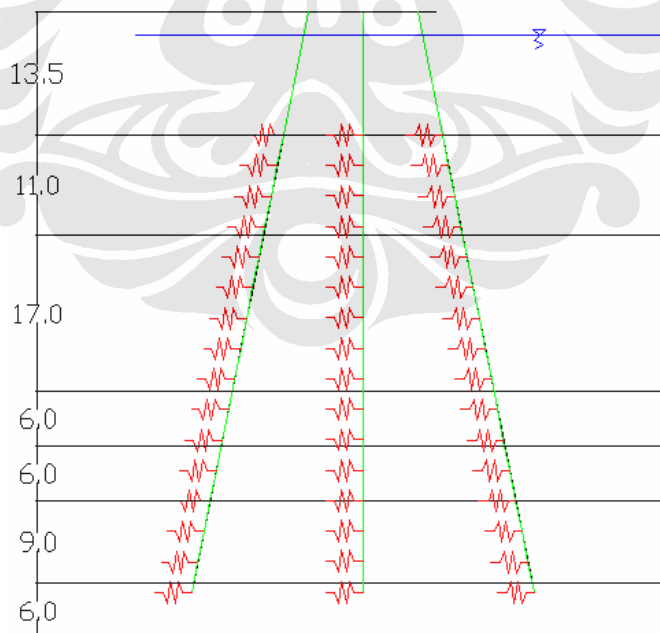
- Momen ultimit ( $M_u$ ) dan gaya aksial ultimit ( $P_u$ ) tiang berada di dalam diagram interaksi untuk tiang itu sendiri.
- Defleksi struktur yang terjadi tidak terlalu besar.
- Total gaya reaksi lateral maksimum tanah tidak lebih dari daya dukung lateral tanah.

## 4.2 DATA

Struktur *berthing dolphin* yang akan ditinjau adalah struktur *berthing dolphin* yang menggunakan data kondisi eksisting di Pelabuhan Teluk Bayur, Padang, Sumatera Barat, dimana kedalaman air laut eksisting adalah  $\pm 9$  m. Struktur *berthing dolphin* yang ditinjau pun digunakan untuk kapal CPO 30.000 DWT bertambat, yang memiliki dimensi:

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

Dari dimensi kapal yang telah disebutkan diatas, maka kapal CPO 30.000 DWT membutuhkan kedalaman air laut untuk bertambat  $\pm 11$  m. Oleh sebab itu, elevasi *seabed* harus dikurangi 2 m, sehingga kedalaman air laut yang dianggap dalam perhitungan pada penulisan skripsi ini adalah  $\pm 11$  m. Dan jarak dari bagian bawah *pilecap* ke muka air laut adalah 2,5 m. Sehingga total jarak dari bagian bawah *pilecap* ke *seabed* adalah 13,5 m (Gb 4.1.).

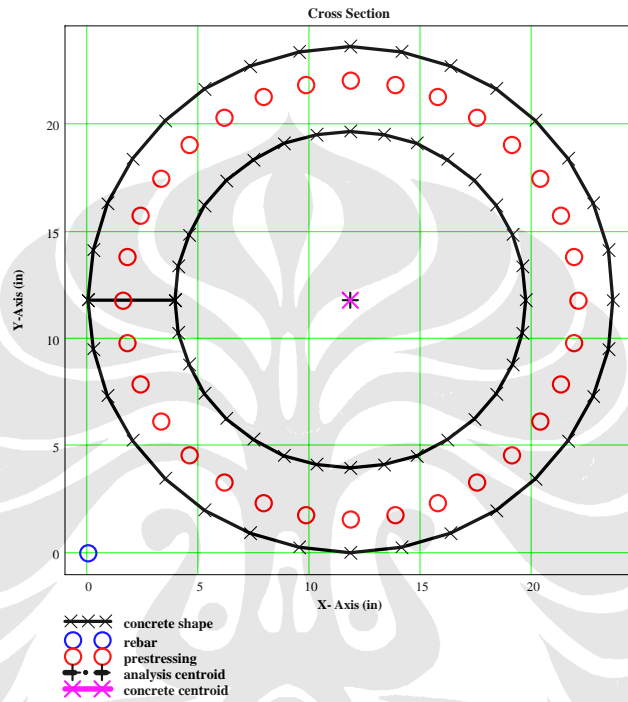


**Gambar 4. 1.** Elevasi Muka Air Laut dan Lapisan Tanah Pada Struktur

#### 4.2.1 Dimensi Struktur Dan Material Tiang

Pada penelitian ini, struktur *berthing dolphin* yang ditinjau memiliki dimensi sebagai berikut:

- Pondasi tiang pancang : tiang pipa prategang, dengan diameter 600 mm dan tebal 100 mm (Gb 4.2.).
- Dimensi *pilecap* tergantung pada konfigurasi jumlah tiang yang akan ditinjau.



**Gambar 4. 2.** Penampang Tiang Pancang yang Digunakan

## 4.2.2 Perhitungan Gaya Yang Terjadi

### A. Gaya Yang Terjadi Akibat Kapal Terhadap Struktur

- Tumbukan kapal

$$E = \frac{(W_1 + W_2)V^2}{2g} \times K$$

dimana:

$$W_1 = 37865 \text{ ton} \rightarrow \text{displacement tonnage}$$

$$W_2 = \frac{\pi}{4} \rho L H^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 1,025 \cdot 185 \cdot 10,9^2 = 17694,507 \text{ ton}$$

$$V = 0,15 \text{ m/s}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$K = 0,7$$

$$\text{maka, } E_f = 44,646 \text{ ton-m}$$

Pemilihan fender:

CSS-1450H (rubber grade F4)  $\rightarrow$  produk SHIBATA

Energy absorption at 50,8% defl & 5 deg = 44,8 ton-m

Reaction force (Rma) = 74,3 tons

- Tarikan kapal

Kapal CPO 30000DWT = 16590 GT  $\rightarrow$  gaya tarik = 100 ton (lihat Tabel 2.6.)

- Gaya angin pada kapal

$$R_w = \frac{1}{2} \times \rho \times C \times U^2 \times (A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta) (\text{Kg}) = 28079,01 \text{ kg} = 28,079 \text{ ton}$$

Dimana:

$\rho$  = kepadatan udara (= 0,123 kg.sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

U = 25 knot = 12,861 m/s

$\theta = 90^\circ$

C = 0,8

A = luas bagian depan kapal pada permukaan laut (m<sup>2</sup>)

B = luas bagian samping kapal pada permukaan laut (m<sup>2</sup>)

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

$$A = 677,0677 m^2$$

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

$$B = 3450,382 m^2$$

- Gaya arus pada kapal

$$R_p = K \times D \times V t^2 = 480,2974 \text{ kg} = 0,4803 \text{ ton}$$

Dimana:

$$K = 1,0$$

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

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

## B. Gaya Yang Terjadi 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 yang terkena angin ( $A$ ) =  $18,8 m^2$ , maka gaya angin total pada struktur adalah  $194,35 \text{ kg} = 0,1944 \text{ ton}$ . Dan nilai sekian dapat diabaikan pada perhitungan struktur yang dilakukan, karena terlalu kecil dibandingkan beban yang terjadi akibat kapal.

- Gaya arus

$$V \text{ arus} = 1 \text{ knot} = 0,5144 \text{ m/s}$$

- Gaya gempa

Tabel 4.1 dan gambar 4.3 adalah grafik gempa yang digunakan sebagai input pada program SAP2000.

**Tabel 4. 1.** Periode Dan Percepatan Gempa

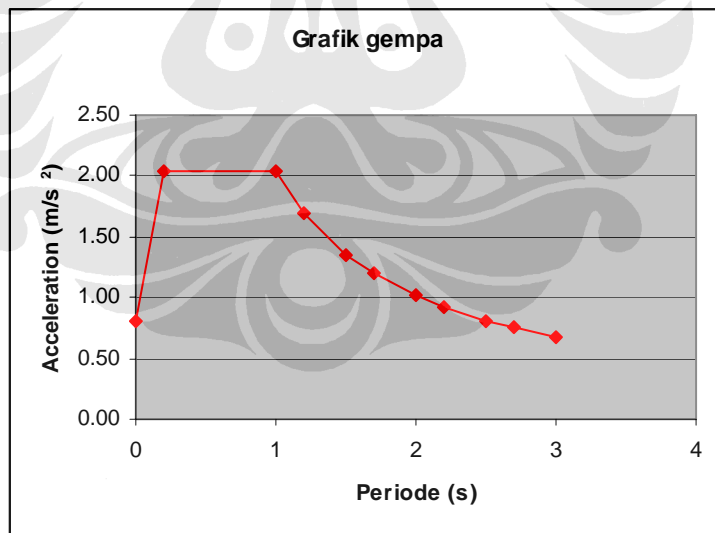
| T   | C    | Accel |
|-----|------|-------|
| 0   | 0,38 | 0,81  |
| 0,2 | 0,95 | 2,03  |
| 1   | 0,95 | 2,03  |
| 1,2 | 0,79 | 1,69  |
| 1,5 | 0,63 | 1,35  |
| 1,7 | 0,56 | 1,19  |
| 2   | 0,48 | 1,02  |
| 2,2 | 0,43 | 0,92  |
| 2,5 | 0,38 | 0,81  |
| 2,7 | 0,35 | 0,75  |
| 3   | 0,32 | 0,68  |

Perhitungan C (nilai faktor respons gempa) diperoleh dengan rumus:

$$C = \frac{0.95}{T} \rightarrow \text{tanah lunak, berdasarkan dari grafik spektrum respons gempa}$$

rencana (Gb.2.10). Kemudian percepatan gempa menjadi,

$$\text{acceleration} = \left( \frac{C \times I}{R} \right) g \dots\dots\dots 4. 1.$$



**Gambar 4. 3.** Grafik Gempa Untuk Input SAP2000

- Beban hidup  
pejalan kaki = 0.5 ton/m<sup>2</sup>
- Beban mati adalah dari berat sendiri struktur.

### 4.2.3 Data Tanah Dan Modulus Subgrade Reaction

Pada data *borelog* (lampiran 1) yang diperoleh, menunjukkan bahwa kondisi eksisting tanah, berada pada elevasi -9 M LWS (0,00 m), dan tanah keras berada pada elevasi -60 M LWS (-51,00 m). Tetapi karena dianggap akan ada pengerukan sedalam 2 m, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, maka total kedalaman tanah hingga tanah keras 49 m. Namun tiang dianggap akan dipancang hingga 1 m masuk ke dalam tanah keras, sehingga total tiang yang tertanam dalam tanah adalah 50 m. Tabel 4.2 adalah properti tanah eksisting, berdasarkan *borelog*.

**Tabel 4. 2.** Properti Tanah Eksisting

| Elevasi | Z (m) | N-SPT | jenis tanah                    | Cu (kN/m <sup>2</sup> ) | $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $\Phi$ |
|---------|-------|-------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--------|
| 2 - 13  | 11    | 1     | lempung berpasir, sangat lunak | 20                      | 14                                  | 0      |
| 13 - 30 | 17    | 4     | lempung kelanauan, agak lunak  | 40                      | 15                                  | 0      |
| 30 - 36 | 6     | 24    | lempung, agak lunak            | 75                      | 15                                  | 0      |
| 36 - 42 | 6     | 35    | lempung kelanauan, agak kenyal | 100                     | 15                                  | 0      |
| 42 - 51 | 9     | 48    | lanau, sangat kenyal           | 100                     | 15                                  | 8      |
| 51 - 57 | 6     | 58    | lanau berpasir, keras          | 150                     | 16.5                                | 10     |

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa pemodelan tahanan tanah terhadap struktur dianggap seperti pegas. Oleh sebab itu, diperlukan data input berupa kekakuan pegas ( $k_s$ ) atau tanah tersebut, yang dapat diolah dari data tanah yang ada. Perhitungan  $k_s$  dapat dilihat pada sub-bab 2.6.3. Untuk mencari *modulus subgrade reaction* diperoleh dari gb 2. 25. Dari hasil pembacaan pada grafik tersebut, maka diperoleh nilai  $k_h$  seperti pada tabel 4. 3.

**Tabel 4. 3.** Nilai  $K_h$  (*Modulus Subgrade Reaction*)

| Elevasi | N-SPT | $k_h$ (N/cm <sup>3</sup> ) |
|---------|-------|----------------------------|
| 0 - 13  | 1     | 4                          |
| 13 - 30 | 4     | 8                          |
| 30 - 36 | 24    | 47                         |
| 36 - 42 | 35    | 60                         |
| 42 - 51 | 48    | 90                         |
| 51 - 57 | 58    | 100                        |

Maka, kekakuan pegas untuk setiap kemiringan tiang digambarkan dalam tabel 4. 4 sampai tabel 4. 8.

- Tiang vertikal → jarak antara spring = 3,33 ; diameter tiang = 0,6 m.

**Tabel 4. 4.** Perhitungan  $K_s$  Untuk Kemiringan Tiang Vertikal

| Elevasi | N-SPT | no spring | kh (N/cm <sup>3</sup> ) | kh (ton/m <sup>3</sup> ) | L elemen (m) | A (m <sup>2</sup> ) | ks (ton/m) |
|---------|-------|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------|---------------------|------------|
| 2 - 13  | 1     | 1         | 4                       | 400                      | 1,67         | 1,00                | 400,00     |
|         |       | 2         | 4                       | 400                      | 3,33         | 2,00                | 800,00     |
|         |       | 3         | 4                       | 400                      | 3,33         | 2,00                | 800,00     |
|         |       | 4         | 4                       | 400                      | 2,68         | 1,61                | 956,40     |
| 13 - 30 | 4     | 4         | 8                       | 800                      | 0,66         | 0,39                |            |
|         |       | 5         | 8                       | 800                      | 3,33         | 2,00                | 1600,00    |
|         |       | 6         | 8                       | 800                      | 3,33         | 2,00                | 1600,00    |
|         |       | 7         | 8                       | 800                      | 3,33         | 2,00                | 1600,00    |
|         |       | 8         | 8                       | 800                      | 3,33         | 2,00                | 1600,00    |
|         |       | 9         | 8                       | 800                      | 3,03         | 1,82                | 2312,10    |
| 30 - 36 | 24    | 9         | 47                      | 4700                     | 0,31         | 0,18                |            |
|         |       | 10        | 47                      | 4700                     | 3,33         | 2,00                | 9400,00    |
|         |       | 11        | 47                      | 4700                     | 2,37         | 1,42                | 10143,30   |
| 36 - 42 | 35    | 11        | 60                      | 6000                     | 0,97         | 0,58                |            |
|         |       | 12        | 60                      | 6000                     | 3,33         | 2,00                | 12000,00   |
|         |       | 13        | 60                      | 6000                     | 1,67         | 1,00                | 15000,00   |
| 42 - 51 | 48    | 13        | 90                      | 9000                     | 1,67         | 1,00                |            |
|         |       | 14        | 90                      | 9000                     | 3,33         | 2,00                | 18000,00   |
|         |       | 15        | 90                      | 9000                     | 3,33         | 2,00                | 18000,00   |
|         |       | 16        | 90                      | 9000                     | 0,67         | 0,40                | 9601,80    |
|         |       | 16        | 90                      | 9000                     | 1,00         | 0,60                |            |
| 51 - 57 | 58    | 16        | 100                     | 10000                    | 1,00         | 0,60                |            |



- Tiang kemiringan 1 : 4 → jarak antara spring = 3,44 ; diameter tiang = 0,6 m.

**Tabel 4. 5.** Perhitungan  $K_s$  Untuk Kemiringan Tiang 1 : 4

| Elevasi | N-SPT | no spring | kh (N/cm <sup>3</sup> ) | kh (ton/m <sup>3</sup> ) | L elemen (m) | A (m <sup>2</sup> ) | ks (ton/m) |
|---------|-------|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------|---------------------|------------|
| 2 - 13  | 1     | 1         | 4                       | 400                      | 1,72         | 1,03                | 412,80     |
|         |       | 2         | 4                       | 400                      | 3,44         | 2,06                | 825,60     |
|         |       | 3         | 4                       | 400                      | 3,44         | 2,06                | 825,60     |
|         |       | 4         | 4                       | 400                      | 2,74         | 1,64                | 993,96     |
| 13 - 30 | 4     | 4         | 8                       | 800                      | 0,70         | 0,42                |            |
|         |       | 5         | 8                       | 800                      | 3,44         | 2,06                | 1651,20    |
|         |       | 6         | 8                       | 800                      | 3,44         | 2,06                | 1651,20    |
|         |       | 7         | 8                       | 800                      | 3,44         | 2,06                | 1651,20    |
|         |       | 8         | 8                       | 800                      | 3,44         | 2,06                | 1651,20    |
|         |       | 9         | 8                       | 800                      | 3,06         | 1,84                | 2536,42    |
| 30 - 36 | 24    | 9         | 47                      | 4700                     | 0,38         | 0,23                |            |
|         |       | 10        | 48                      | 4800                     | 3,44         | 2,06                | 9907,20    |
|         |       | 11        | 47                      | 4700                     | 2,37         | 1,42                | 10538,21   |
| 36 - 42 | 35    | 11        | 60                      | 6000                     | 1,07         | 0,64                |            |
|         |       | 12        | 60                      | 6000                     | 3,44         | 2,06                | 12384,00   |
|         |       | 13        | 60                      | 6000                     | 1,72         | 1,03                | 15480,00   |
| 42 - 51 | 48    | 13        | 90                      | 9000                     | 1,72         | 1,03                |            |
|         |       | 14        | 90                      | 9000                     | 3,44         | 2,06                | 18576,00   |
|         |       | 15        | 90                      | 9000                     | 3,44         | 2,06                | 18576,00   |
|         |       | 16        | 90                      | 9000                     | 0,63         | 0,38                | 9391,20    |
| 51 - 57 | 58    | 16        | 100                     | 10000                    | 1,00         | 0,60                |            |

- Tiang kemiringan 1 : 5 → jarak antara spring = 3,4 ; diameter tiang = 0,6 m.

**Tabel 4. 6.** Perhitungan  $K_s$  Untuk Kemiringan Tiang 1 : 5

| Elevasi | N-SPT | no spring | kh (N/cm <sup>3</sup> ) | kh (ton/m <sup>3</sup> ) | L elemen (m) | A (m <sup>2</sup> ) | ks (ton/m) |
|---------|-------|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------|---------------------|------------|
| 2 - 13  | 1     | 1         | 4                       | 400                      | 1,70         | 1,02                | 407,92     |
|         |       | 2         | 4                       | 400                      | 3,40         | 2,04                | 815,84     |
|         |       | 3         | 4                       | 400                      | 3,40         | 2,04                | 815,84     |
|         |       | 4         | 4                       | 400                      | 2,71         | 1,63                | 977,76     |
| 13 - 30 | 4     | 4         | 8                       | 800                      | 0,68         | 0,41                |            |
|         |       | 5         | 8                       | 800                      | 3,40         | 2,04                | 1631,68    |
|         |       | 6         | 8                       | 800                      | 3,40         | 2,04                | 1631,68    |
|         |       | 7         | 8                       | 800                      | 3,40         | 2,04                | 1631,68    |
|         |       | 8         | 8                       | 800                      | 3,40         | 2,04                | 1631,68    |
|         |       | 9         | 8                       | 800                      | 3,05         | 1,83                | 2440,00    |
| 30 - 36 | 24    | 9         | 47                      | 4700                     | 0,35         | 0,21                |            |
|         |       | 10        | 48                      | 4800                     | 3,40         | 2,04                | 9790,09    |
|         |       | 11        | 47                      | 4700                     | 2,37         | 1,42                | 10388,67   |
| 36 - 42 | 35    | 11        | 60                      | 6000                     | 1,03         | 0,62                |            |
|         |       | 12        | 60                      | 6000                     | 3,40         | 2,04                | 12237,61   |
|         |       | 13        | 60                      | 6000                     | 1,70         | 1,02                | 15297,01   |
| 42 - 51 | 48    | 13        | 90                      | 9000                     | 1,70         | 1,02                |            |
|         |       | 14        | 90                      | 9000                     | 3,40         | 2,04                | 18356,41   |
|         |       | 15        | 90                      | 9000                     | 3,40         | 2,04                | 18356,41   |
|         |       | 16        | 90                      | 9000                     | 0,70         | 0,42                | 9778,21    |
| 51 - 57 | 58    | 16        | 100                     | 10000                    | 1,00         | 0,60                |            |

- Tiang kemiringan 1 : 6 → jarak antara spring = 3,38 ; diameter tiang = 0,6 m.

**Tabel 4. 7.** Perhitungan  $K_s$  Untuk Kemiringan Tiang 1 : 6

| Elevasi | N-SPT | no spring | kh (N/cm <sup>3</sup> ) | kh (ton/m <sup>3</sup> ) | L elemen (m) | A (m <sup>2</sup> ) | ks (ton/m) |
|---------|-------|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------|---------------------|------------|
| 2 - 13  | 1     | 1         | 4                       | 400                      | 1,69         | 1,01                | 405,52     |
|         |       | 2         | 4                       | 400                      | 3,38         | 2,03                | 811,03     |
|         |       | 3         | 4                       | 400                      | 3,38         | 2,03                | 811,03     |
|         |       | 4         | 4                       | 400                      | 2,70         | 1,62                | 973,99     |
| 13 - 30 | 4     | 4         | 8                       | 800                      | 0,68         | 0,41                |            |
|         |       | 5         | 8                       | 800                      | 3,38         | 2,03                | 1622,07    |
|         |       | 6         | 8                       | 800                      | 3,38         | 2,03                | 1622,07    |
|         |       | 7         | 8                       | 800                      | 3,38         | 2,03                | 1622,07    |
|         |       | 8         | 8                       | 800                      | 3,38         | 2,03                | 1622,07    |
|         |       | 9         | 8                       | 800                      | 3,04         | 1,82                | 2426,89    |
| 30 - 36 | 24    | 9         | 47                      | 4700                     | 0,34         | 0,21                |            |
|         |       | 10        | 48                      | 4800                     | 3,38         | 2,03                | 9732,41    |
|         |       | 11        | 47                      | 4700                     | 2,36         | 1,42                | 10327,98   |
| 36 - 42 | 35    | 11        | 60                      | 6000                     | 1,02         | 0,61                |            |
|         |       | 12        | 60                      | 6000                     | 3,38         | 2,03                | 12165,51   |
|         |       | 13        | 60                      | 6000                     | 1,69         | 1,01                | 15206,89   |
| 42 - 51 | 48    | 13        | 90                      | 9000                     | 1,69         | 1,01                |            |
|         |       | 14        | 90                      | 9000                     | 3,38         | 2,03                | 18248,27   |
|         |       | 15        | 90                      | 9000                     | 3,38         | 2,03                | 18248,27   |
|         |       | 16        | 90                      | 9000                     | 0,69         | 0,41                | 9724,14    |
| 51 - 57 | 58    | 16        | 100                     | 10000                    | 1,00         | 0,60                |            |

- Tiang kemiringan 1 : 7 → jarak antara spring = 3,37 ; diameter tiang = 0,6 m.

**Tabel 4. 8.** Perhitungan  $K_s$  Untuk Kemiringan Tiang 1 : 7

| Elevasi | N-SPT | no spring | kh (N/cm <sup>3</sup> ) | kh (ton/m <sup>3</sup> ) | L elemen (m) | A (m <sup>2</sup> ) | ks (ton/m) |
|---------|-------|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------|---------------------|------------|
| 2 - 13  | 1     | 1         | 4                       | 400                      | 1,68         | 1,01                | 404,06     |
|         |       | 2         | 4                       | 400                      | 3,37         | 2,02                | 808,12     |
|         |       | 3         | 4                       | 400                      | 3,37         | 2,02                | 808,12     |
|         |       | 4         | 4                       | 400                      | 2,69         | 1,61                | 972,79     |
| 13 - 30 | 4     | 4         | 8                       | 800                      | 0,68         | 0,41                |            |
|         |       | 5         | 8                       | 800                      | 3,37         | 2,02                | 1616,24    |
|         |       | 6         | 8                       | 800                      | 3,37         | 2,02                | 1616,24    |
|         |       | 7         | 8                       | 800                      | 3,37         | 2,02                | 1616,24    |
|         |       | 8         | 8                       | 800                      | 3,37         | 2,02                | 1616,24    |
|         |       | 9         | 8                       | 800                      | 3,01         | 1,81                | 2461,64    |
| 30 - 36 | 24    | 9         | 47                      | 4700                     | 0,36         | 0,22                |            |
|         |       | 10        | 48                      | 4800                     | 3,37         | 2,02                | 9697,46    |
|         |       | 11        | 47                      | 4700                     | 2,33         | 1,40                | 10314,44   |
| 36 - 42 | 35    | 11        | 60                      | 6000                     | 1,04         | 0,62                |            |
|         |       | 12        | 60                      | 6000                     | 3,37         | 2,02                | 12121,83   |
|         |       | 13        | 60                      | 6000                     | 1,68         | 1,01                | 15152,29   |
| 42 - 51 | 48    | 13        | 90                      | 9000                     | 1,68         | 1,01                |            |
|         |       | 14        | 90                      | 9000                     | 3,37         | 2,02                | 18182,75   |
|         |       | 15        | 90                      | 9000                     | 3,37         | 2,02                | 18182,75   |
|         |       | 16        | 90                      | 9000                     | 0,68         | 0,41                | 9691,37    |
| 51 - 57 | 58    | 16        | 100                     | 10000                    | 1,00         | 0,60                |            |

#### 4.2.4 Kombinasi Beban

Pada penelitian ini, kombinasi beban terfaktor dan tidak terfaktor yang digunakan untuk mengecek kapasitas elemen struktur adalah:

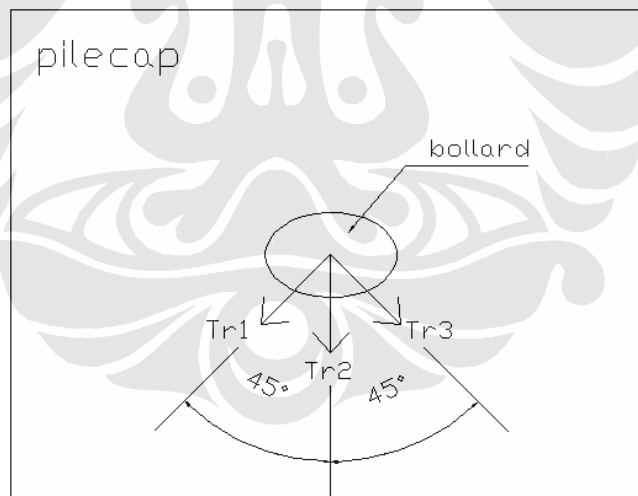
1. Kombinasi tidak terfaktor
  - Beban mati (D)
  - Beban hidup (L)
  - Tambat (Be)
  - Tarik (Tr1, Tr2, Tr3, Tr-C, Tr-W)
  - Gempa (E)

Kombinasi beban ini yang akan digunakan untuk mengecek kapasitas tiang dilihat dari defleksi yang terjadi.

2. Kombinasi terfaktor:
  - *Vacant condition* → 1,2 D + 1,6 L

- *Earthquake condition* →  $1,2 D + 0,5 L + 1 E$
- Gaya vertikal →  $1,2 D + 1,6 L$
- *Berthing condition*
  - Akibat gaya tambat kapal →  $1,2 D + 1,6 L + 1,6 Be$
  - Gaya tambat akibat gaya arus pada kapal →  $1,2 D + 1,6 L + 1,6 Be-C$
  - Gaya tambat akibat gaya angin pada kapal →  $1,2 D + 1,6 L + 1,6 Be-W$
- *Mooring condition*
  - Akibat gaya tarik kapal (kasus 1) →  $1,2 D + 1,6 L + 1,3 Tr1$
  - Akibat gaya tarik kapal (kasus 2) →  $1,2 D + 1,6 L + 1,3 Tr2$
  - Akibat gaya tarik kapal (kasus 3) →  $1,2 D + 1,6 L + 1,3 Tr3$
  - Gaya tarik akibat gaya arus pada kapal →  $1,2 D + 1,6 L + 1,3 Tr-C$
  - Gaya tarik akibat gaya angin pada kapal →  $1,2 D + 1,6 L + 1,3 Tr-W$

Untuk gaya tarik kapal terdapat tiga kasus, karena arah tarik kapal pada saat kapal bertambat dapat berbeda-beda, seperti yang digambarkan pada gambar 4. 4.



**Gambar 4. 4.** Arah Gaya Tarik Kapal

### 4.3 DAYA DUKUNG TANAH

#### 4.3.1 Daya Dukung Lateral Tanah

Dalam sub-bab ini akan dijelaskan mengenai perhitungan kapasitas ultimit tiang akibat pembebanan lateral pada tiang, dimana perhitungan dilakukan dengan metode P-Y analysis (Tabel 4.9). Seperti yang telah dijelaskan pada bab

sebelumnya, analisis ini dilakukan dengan menggunakan beberapa persamaan yang telah dijelaskan pada sub-bab 2.6.3.

**Tabel 4. 9.** Pehitungan Persamaan *P-Y Analysis*

| <i>Elevasi</i> | <i>no spring</i> | <i>z (m)</i> | <i>γ sat (ton/m3)</i> | <i>γ w (ton/m3)</i> | <i>Cu (ton/m2)</i> | <i>Φ</i> | <i>ε 50</i> | <i>Pu (ton/m2)</i> | <i>Pu x 0.5</i> | <i>γ 50</i> | <i>δ γ50</i> |
|----------------|------------------|--------------|-----------------------|---------------------|--------------------|----------|-------------|--------------------|-----------------|-------------|--------------|
| 2 - 13         | 1                | 0            | 1,4                   | 1                   | 2                  | 0        | 0,02        | 3,60               | 1,80            | 0,03        | 0,24         |
|                | 2                | 3,33         | 1,4                   | 1                   | 2                  | 0        | 0,02        | 9,73               | 4,86            | 0,03        | 0,24         |
|                | 3                | 6,66         | 1,4                   | 1                   | 2                  | 0        | 0,02        | 15,85              | 7,93            | 0,03        | 0,24         |
|                | 4                | 9,99         | 1,4                   | 1                   | 3                  | 0        | 0,02        | 28,78              | 14,39           | 0,03        | 0,24         |
| 13 - 30        | 5                | 13,3         | 1,5                   | 1                   | 4                  | 0        | 0,02        | 45,83              | 22,91           | 0,03        | 0,24         |
|                | 6                | 16,7         | 1,5                   | 1                   | 4                  | 0        | 0,02        | 55,49              | 27,74           | 0,03        | 0,24         |
|                | 7                | 20           | 1,5                   | 1                   | 4                  | 0        | 0,02        | 65,14              | 32,57           | 0,03        | 0,24         |
|                | 8                | 23,3         | 1,5                   | 1                   | 4                  | 0        | 0,02        | 74,80              | 37,40           | 0,03        | 0,24         |
|                | 9                | 26,6         | 1,5                   | 1                   | 5,75               | 0        | 0,02        | 110,92             | 55,46           | 0,03        | 0,24         |
| 30 - 36        | 10               | 30           | 1,5                   | 1                   | 7,5                | 0        | 0,02        | 152,86             | 76,43           | 0,03        | 0,24         |
|                | 11               | 33,3         | 1,5                   | 1                   | 8,75               | 0        | 0,02        | 191,41             | 95,70           | 0,03        | 0,24         |
| 36 - 42        | 12               | 36,6         | 1,5                   | 1                   | 10                 | 0        | 0,005       | 234,12             | 117,06          | 0,0075      | 0,06         |
|                | 13               | 40           | 1,5                   | 1                   | 10                 | 0        | 0,005       | 253,76             | 126,88          | 0,0075      | 0,06         |
| 42 - 51        | 14               | 43,3         | 1,5                   | 1                   | 10                 | 8        | 0,005       | 273,41             | 136,71          | 0,0075      | 0,06         |
|                | 15               | 46,6         | 1,5                   | 1                   | 10                 | 8        | 0,005       | 293,06             | 146,53          | 0,0075      | 0,06         |
| 51 - 57        | 16               | 50           | 1,65                  | 1                   | 12,5               | 10       | 0,005       | 384,14             | 192,07          | 0,0075      | 0,06         |

Sedangkan untuk menghitung gaya reaksi total tanah yang terjadi pada elemen pada masing-masing pegas adalah:

$$F = P \times L_{\text{elemen}} \dots\dots\dots 4. 2.$$

Dimana: F : gaya (ton)

P : *soil resistance* (ton/m)

L : panjang elemen pegas (m)

**Tabel 4. 10. Kurva P-Y**

| Z = 0 m, L <sub>elemen</sub> : 1,7 m |            |       | Z = 16,7 m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       | Z = 36,6 m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       |
|--------------------------------------|------------|-------|---|------------|-------|---|------------|-------|
| P (ton/m)                            | Gaya (ton) | Y (m) | P (ton/m)                               | Gaya (ton) | Y (m) | P (ton/m)                               | Gaya (ton) | Y (m) |
| 0.00                                 | 0.00       | 0     | 0.00                                    | 0.00       | 0     | 0.00                                    | 0.00       | 0     |
| 1.80                                 | 3.06       | 0.03  | 27.74                                   | 94.32      | 0.03  | 128.84                                  | 438.05     | 0.01  |
| 2.27                                 | 3.85       | 0.06  | 34.95                                   | 118.84     | 0.06  | 162.33                                  | 551.91     | 0.02  |
| 2.60                                 | 4.41       | 0.09  | 40.01                                   | 136.04     | 0.09  | 185.82                                  | 631.78     | 0.03  |
| 2.86                                 | 4.86       | 0.12  | 44.04                                   | 149.73     | 0.12  | 204.52                                  | 695.37     | 0.04  |
| 3.08                                 | 5.23       | 0.15  | 47.44                                   | 161.29     | 0.15  | 220.31                                  | 749.06     | 0.05  |
| 3.27                                 | 5.56       | 0.18  | 50.41                                   | 171.40     | 0.18  | 234.12                                  | 796.00     | 0.06  |
| 3.44                                 | 5.85       | 0.21  | 53.07                                   | 180.44     | 0.21  |   |            |       |
| 3.60                                 | 6.12       | 0.24  | 55.49                                   | 188.65     | 0.24  |   |            |       |

| Z = 3,33 m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       | Z = 20 m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       | Z = 40 m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       |
|---|------------|-------|---------------------------------------|------------|-------|---------------------------------------|------------|-------|
| P (ton/m)                               | Gaya (ton) | Y (m) | P (ton/m)                             | Gaya (ton) | Y (m) | P (ton/m)                             | Gaya (ton) | Y (m) |
| 0.00                                    | 0.00       | 0     | 0.00                                  | 0.00       | 0     | 0.00                                  | 0.00       | 0     |
| 4.86                                    | 16.53      | 0.03  | 32.57                                 | 110.74     | 0.03  | 139.65                                | 474.82     | 0.01  |
| 6.13                                    | 20.83      | 0.06  | 41.04                                 | 139.53     | 0.06  | 175.95                                | 598.23     | 0.02  |
| 7.01                                    | 23.84      | 0.09  | 46.98                                 | 159.72     | 0.09  | 201.41                                | 684.80     | 0.03  |
| 7.72                                    | 26.24      | 0.12  | 51.70                                 | 175.79     | 0.12  | 221.68                                | 753.72     | 0.04  |
| 8.32                                    | 28.27      | 0.15  | 55.70                                 | 189.37     | 0.15  | 238.80                                | 811.92     | 0.05  |
| 8.84                                    | 30.04      | 0.18  | 59.19                                 | 201.23     | 0.18  | 253.76                                | 862.80     | 0.06  |
| 9.30                                    | 31.63      | 0.21  | 62.31                                 | 211.84     | 0.21  |                                       |            |       |
| 9.73                                    | 33.07      | 0.24  | 65.14                                 | 221.48     | 0.24  |                                       |            |       |

| Z = 6,66 m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       | Z = 23,3 m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       | Z = 43,3 m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       |
|---|------------|-------|---|------------|-------|---|------------|-------|
| P (ton/m)                               | Gaya (ton) | Y (m) | P (ton/m)                               | Gaya (ton) | Y (m) | P (ton/m)                               | Gaya (ton) | Y (m) |
| 0.00                                    | 0.00       | 0     | 0.00                                    | 0.00       | 0     | 0.00                                    | 0.00       | 0     |
| 7.93                                    | 26.95      | 0.03  | 37.40                                   | 127.16     | 0.03  | 150.46                                  | 511.58     | 0.01  |
| 9.99                                    | 33.96      | 0.06  | 47.12                                   | 160.21     | 0.06  | 189.57                                  | 644.55     | 0.02  |
| 11.43                                   | 38.87      | 0.09  | 53.94                                   | 183.39     | 0.09  | 217.01                                  | 737.82     | 0.03  |
| 12.58                                   | 42.78      | 0.12  | 59.37                                   | 201.85     | 0.12  | 238.85                                  | 812.08     | 0.04  |
| 13.56                                   | 46.09      | 0.15  | 63.95                                   | 217.44     | 0.15  | 257.29                                  | 874.78     | 0.05  |
| 14.40                                   | 48.98      | 0.18  | 67.96                                   | 231.06     | 0.18  | 273.41                                  | 929.60     | 0.06  |
| 15.16                                   | 51.56      | 0.21  | 71.54                                   | 243.25     | 0.21  |   |            |       |
| 15.85                                   | 53.90      | 0.24  | 74.80                                   | 254.32     | 0.24  |   |            |       |

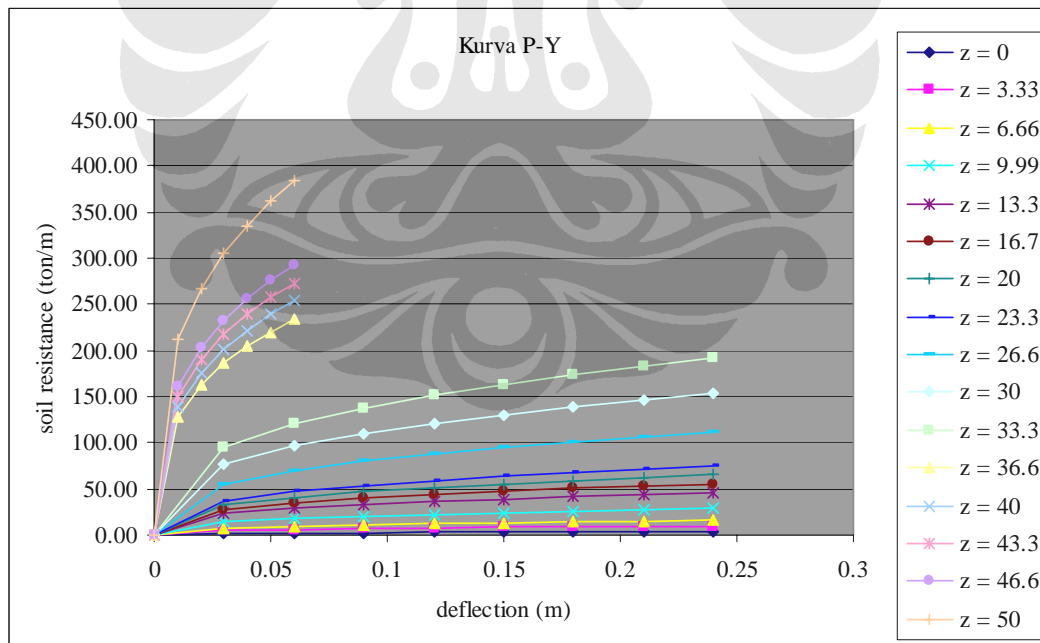
  

| Z = 9,99 m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       | Z = 26,6 m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       | Z = 46,6m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       |
|---|------------|-------|---|------------|-------|--|------------|-------|
| P (ton/m)                               | Gaya (ton) | Y (m) | P (ton/m)                               | Gaya (ton) | Y (m) | P (ton/m)                              | Gaya (ton) | Y (m) |
| 0.00                                    | 0.00       | 0     | 0.00                                    | 0.00       | 0     | 0.00                                   | 0.00       | 0     |
| 14.39                                   | 48.92      | 0.03  | 55.46                                   | 188.56     | 0.03  | 161.28                                 | 548.34     | 0.01  |
| 18.13                                   | 61.64      | 0.06  | 69.87                                   | 237.57     | 0.06  | 203.20                                 | 690.86     | 0.02  |
| 20.75                                   | 70.56      | 0.09  | 79.98                                   | 271.95     | 0.09  | 232.60                                 | 790.84     | 0.03  |
| 22.84                                   | 77.66      | 0.12  | 88.03                                   | 299.32     | 0.12  | 256.01                                 | 870.43     | 0.04  |
| 24.60                                   | 83.65      | 0.15  | 94.83                                   | 322.43     | 0.15  | 275.78                                 | 937.65     | 0.05  |
| 26.15                                   | 88.89      | 0.18  | 100.77                                  | 342.63     | 0.18  | 293.06                                 | 996.40     | 0.06  |
| 27.52                                   | 93.58      | 0.21  | 106.09                                  | 360.70     | 0.21  |  |            |       |
| 28.78                                   | 97.84      | 0.24  | 110.92                                  | 377.11     | 0.24  |  |            |       |

| Z = 13,3 m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       | Z = 30 m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       | Z = 50 m, L <sub>elemen</sub> : 1,7 m |            |       |
|---|------------|-------|---------------------------------------|------------|-------|---------------------------------------|------------|-------|
| P (ton/m)                               | Gaya (ton) | Y (m) | P (ton/m)                             | Gaya (ton) | Y (m) | P (ton/m)                             | Gaya (ton) | Y (m) |
| 0.00                                    | 0.00       | 0     | 0.00                                  | 0.00       | 0     | 0.00                                  | 0.00       | 0     |
| 22.91                                   | 77.91      | 0.03  | 76.43                                 | 259.86     | 0.03  | 211.40                                | 718.76     | 0.01  |
| 28.87                                   | 98.16      | 0.06  | 96.30                                 | 327.41     | 0.06  | 266.35                                | 905.58     | 0.02  |
| 33.05                                   | 112.36     | 0.09  | 110.23                                | 374.79     | 0.09  | 304.89                                | 1036.63    | 0.03  |
| 36.37                                   | 123.67     | 0.12  | 121.33                                | 412.51     | 0.12  | 335.58                                | 1140.96    | 0.04  |
| 39.18                                   | 133.22     | 0.15  | 130.69                                | 444.36     | 0.15  | 361.49                                | 1229.06    | 0.05  |
| 41.64                                   | 141.57     | 0.18  | 138.88                                | 472.20     | 0.18  | 384.14                                | 1306.07    | 0.06  |
| 43.83                                   | 149.03     | 0.21  | 146.21                                | 497.10     | 0.21  |                                       |            |       |
| 45.83                                   | 155.82     | 0.24  | 152.86                                | 519.73     | 0.24  |                                       |            |       |

| Z = 33,3 m, L <sub>elemen</sub> : 3,4 m |            |       |
|---|------------|-------|
| P (ton/m)                               | Gaya (ton) | Y (m) |
| 0.00                                    | 0.00       | 0     |
| 95.70                                   | 325.39     | 0.03  |
| 120.58                                  | 409.97     | 0.06  |
| 138.03                                  | 469.30     | 0.09  |
| 151.92                                  | 516.53     | 0.12  |
| 163.65                                  | 556.41     | 0.15  |
| 173.91                                  | 591.28     | 0.18  |
| 183.07                                  | 622.45     | 0.21  |
| 191.41                                  | 650.79     | 0.24  |



**Gambar 4. 5.** Kurva P-Y di Setiap Kedalaman Pegas pada Tiang

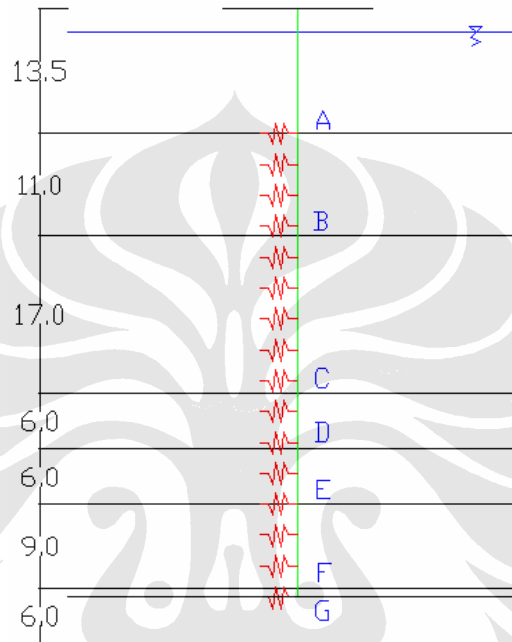
Hasil perhitungan daya dukung lateral dengan *P-Y analysis* ini, nantinya akan digunakan sebagai input SAP2000 pada modelisasi struktur dengan pegas



non-linier. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui kemampuan batas tanah pada saat dibebani melalui grup tiang. Jadi, jika tanah sudah tidak mampu lagi menahan beban yang ada, maka pegas (tanah) akan bersifat plastis.

#### 4.3.2 Daya Dukung Aksial Tanah

Dalam sub-bab ini akan dijelaskan mengenai perhitungan kapasitas ultimit tiang akibat pembebanan aksial pada tiang.



**Gambar 4. 6.** Profil Tanah

- Data

**Tabel 4. 11.** Data Tanah

| z (m) | $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> ) | Cu (kN/m <sup>2</sup> ) | $\Phi$ |
|-------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|--------|
| 11    | 14                                  | 10                              | 20                      | 0      |
| 17    | 15                                  | 10                              | 40                      | 0      |
| 6     | 15                                  | 10                              | 75                      | 0      |
| 6     | 15                                  | 10                              | 100                     | 0      |
| 9     | 15                                  | 10                              | 100                     | 8      |
| 6     | 16,5                                | 10                              | 150                     | 10     |

Panjang tiang vertikal = 63,5 m

Diameter tiang = 0,6 m, tebal tiang = 0,1 m

$$\text{Luas penampang tiang} = \frac{\pi}{4} (0,6^2 - 0,4^2) = 0,1571m^2$$

- 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 gesek dinding tiang dengan tanah

- Lapisan 1 → lempung

$$\alpha = 0,85 \rightarrow \text{grafik tomlinson (Gb 2.23.)}$$

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

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

- 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

$$\alpha = 0,68$$

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

$$\phi_a = 0,75 \phi = 7,5 \rightarrow \text{untuk tiang beton (tabel 2.21. Broms)}$$

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

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

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

- Lapisan 6 → lanau

$$\alpha = 0,68$$

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

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

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

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

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

- Tahanan gesek total = 46104,69 kN

- Tahanan ujung tiang → lanau

$$N_c = 16, N_q = 3,5 \rightarrow \text{grafik Meyerhoff (Gb 2.24.)}$$

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

$$Q_b = f_b \times A = 3355,5 \times 0,1571 = 527,081 \text{ kN}$$

- Berat sendiri tiang

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

- Tahanan ultimit tiang

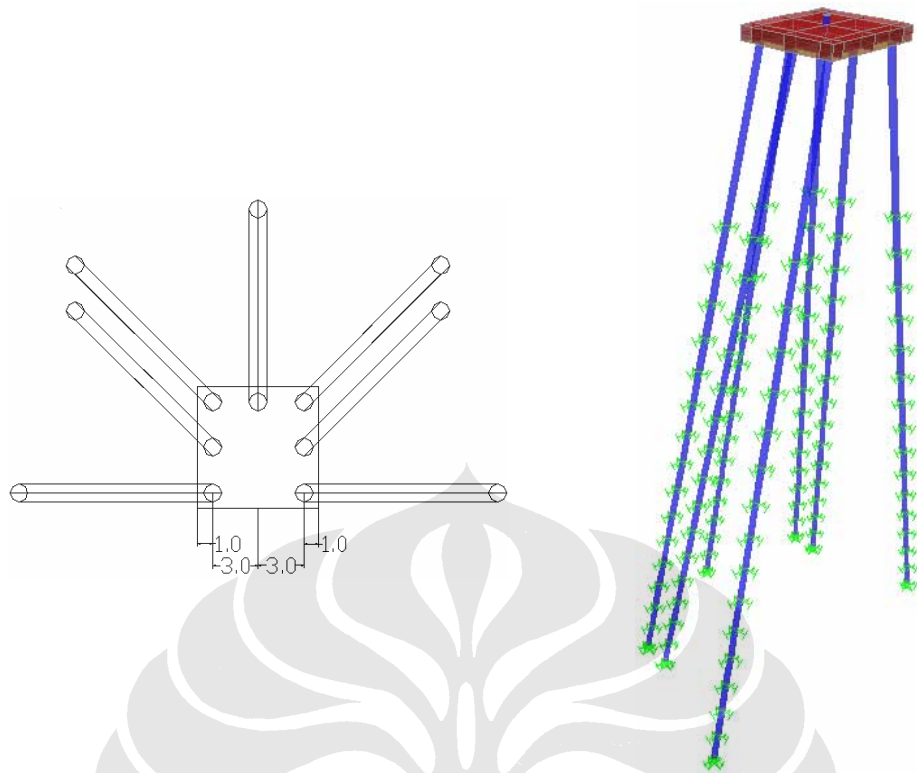
$$Q_u = Q_f + Q_b - W_p = 46392,383 \text{ kN} = 4639,2 \text{ ton}$$

$$Q_{SF} = \frac{4639,2}{3} = 1546,4 \text{ ton}$$

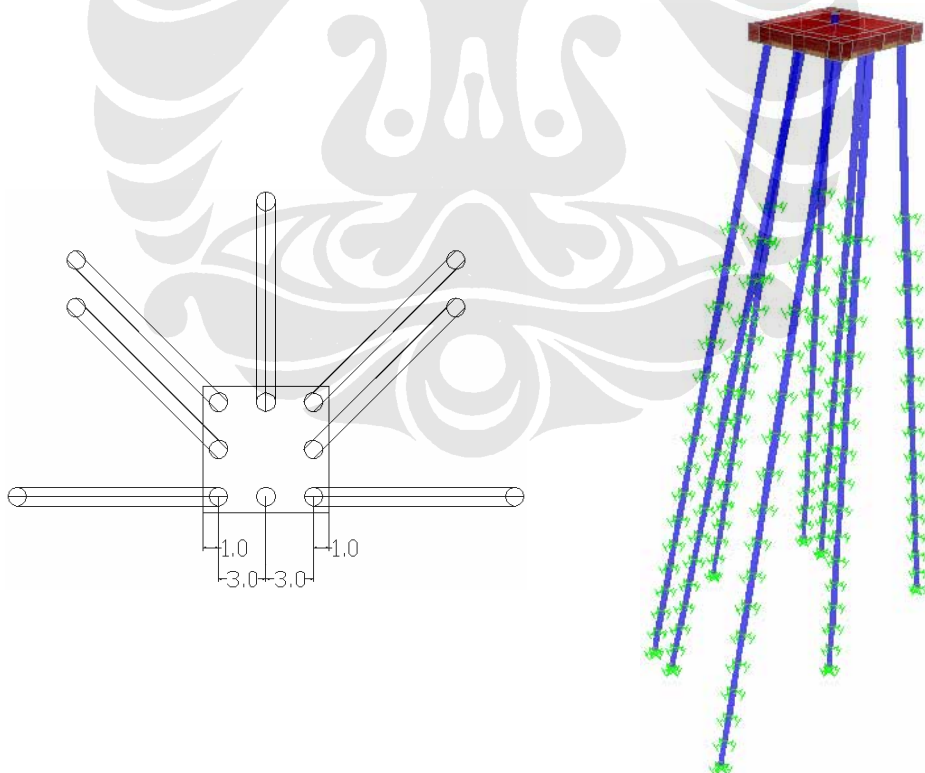
#### 4.4 HASIL ANALISA PONDASI RIGID PADA SAP2000

##### 4.4.1 Bentuk Modelisasi

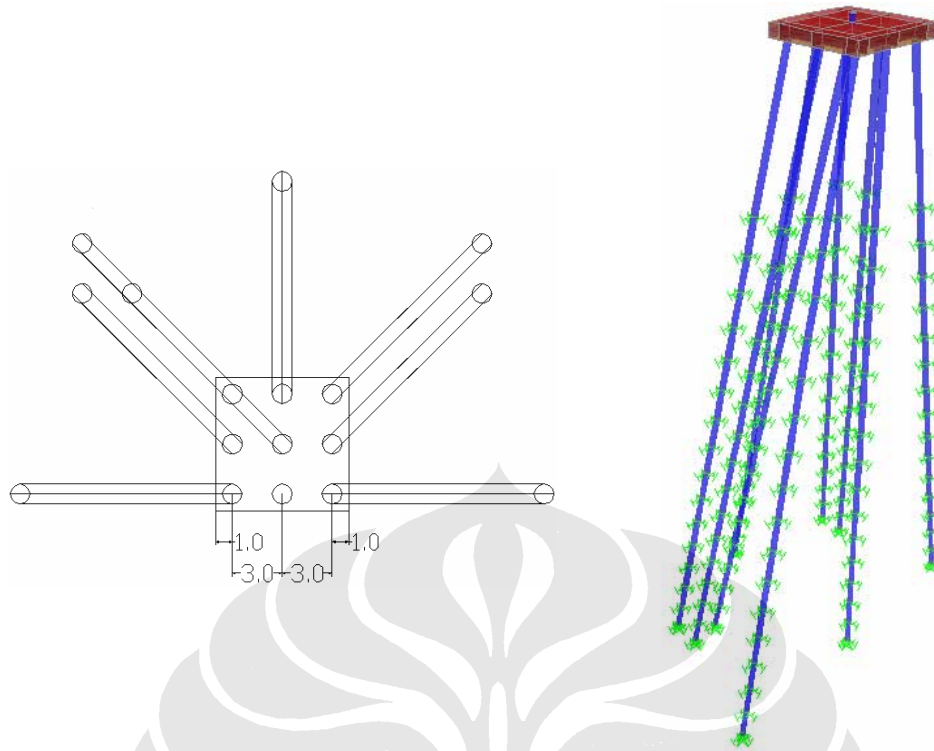
Gambar 4.7 sampai gambar 4.16 mengilustrasikan bentuk modelisasi struktur yang telah dilakukan.



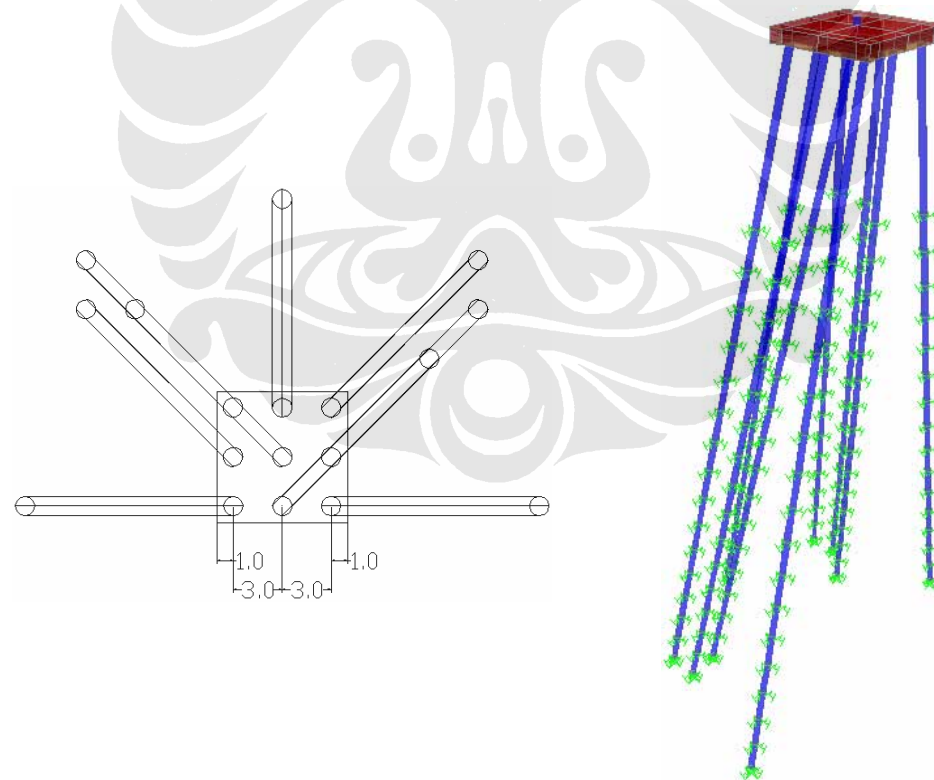
**Gambar 4. 7. Modelisasi 1**



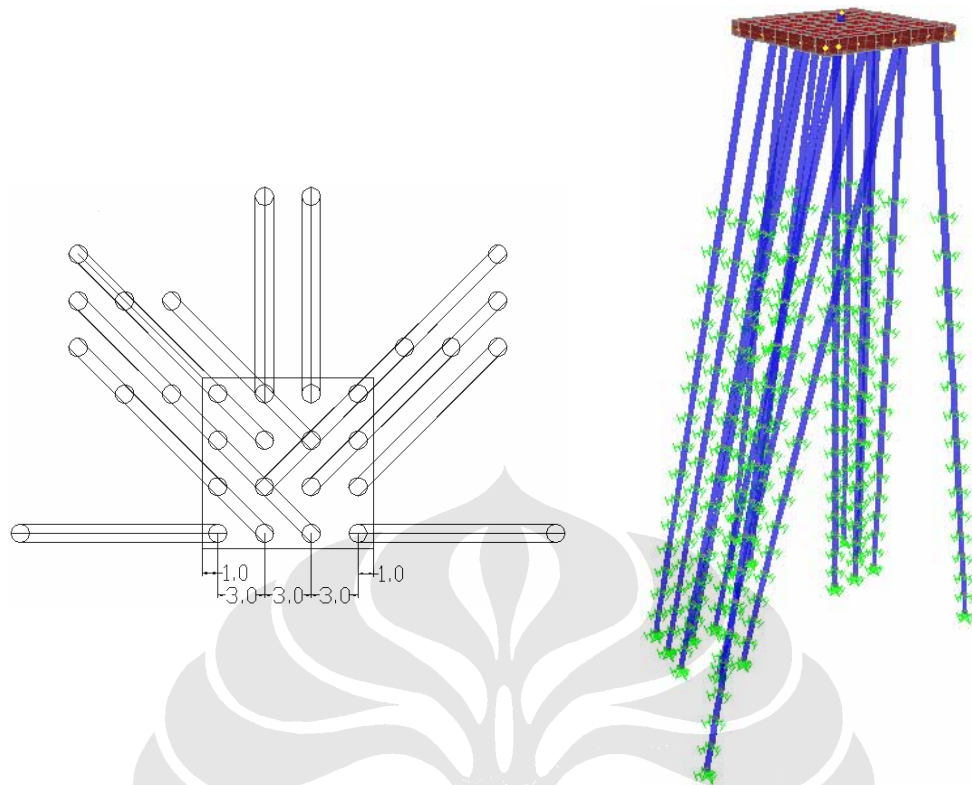
**Gambar 4. 8. Modelisasi 2**



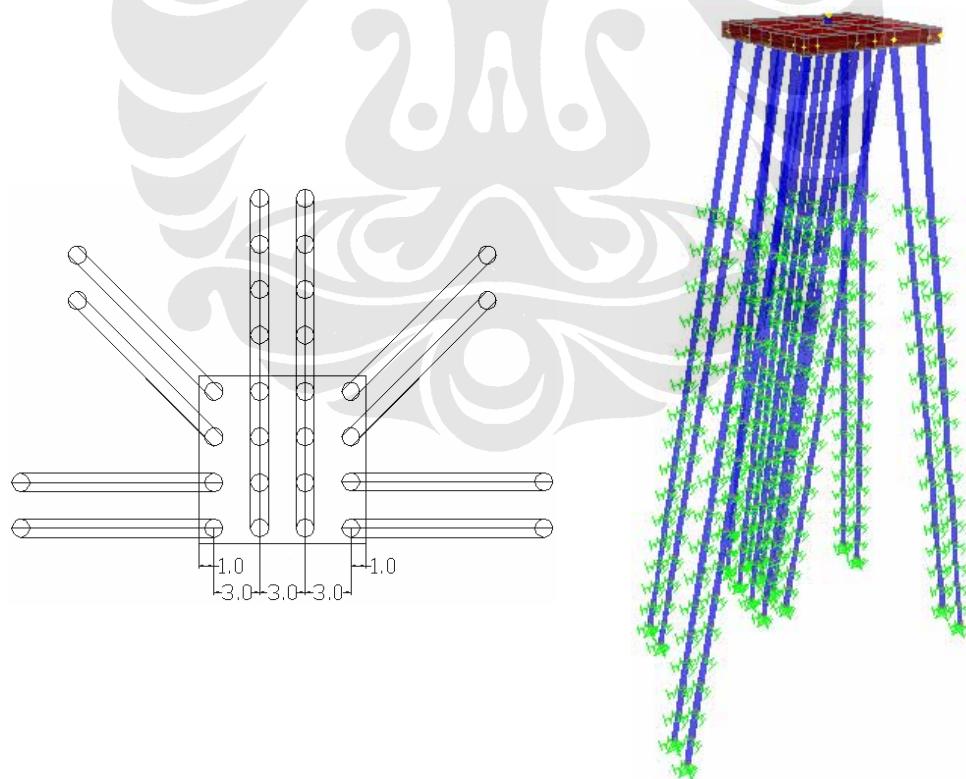
**Gambar 4. 9.** Modelisasi 3



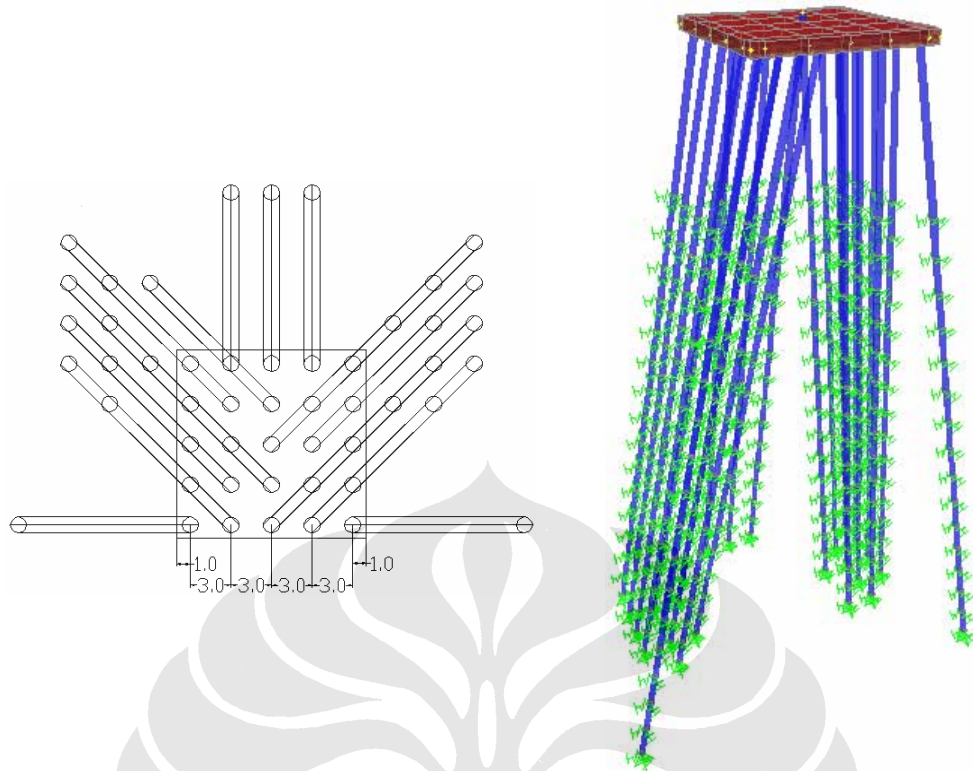
**Gambar 4. 10.** Modelisasi 4



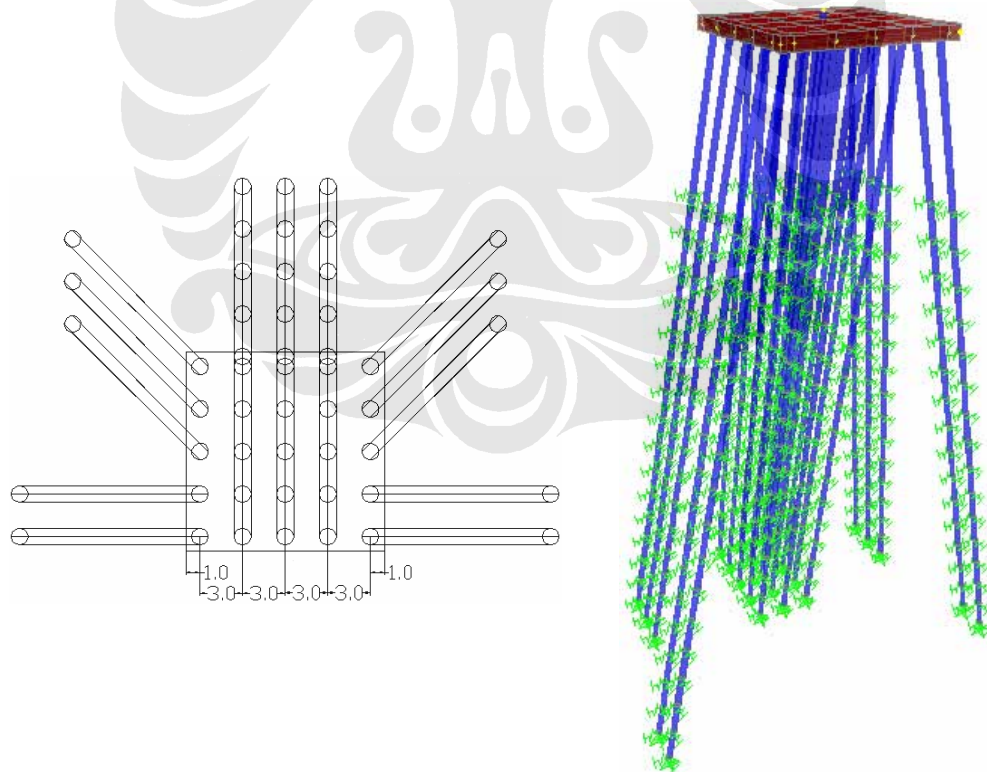
**Gambar 4. 11. Modelisasi 5**



**Gambar 4. 12. Modelisasi 6**

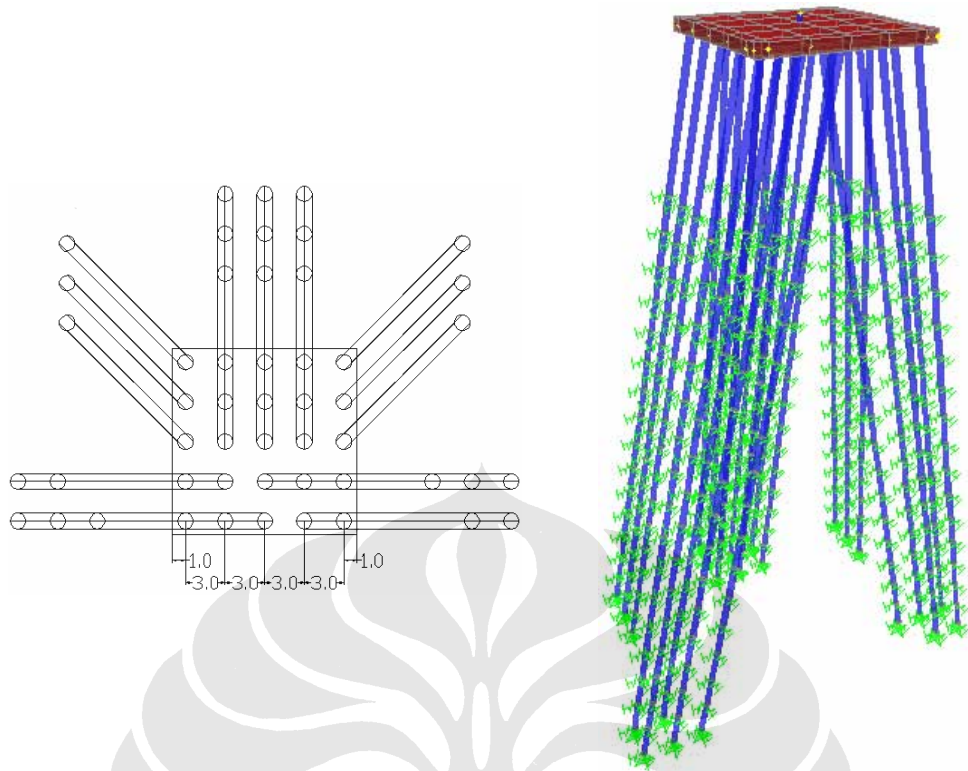


**Gambar 4. 13.** Modelisasi 7

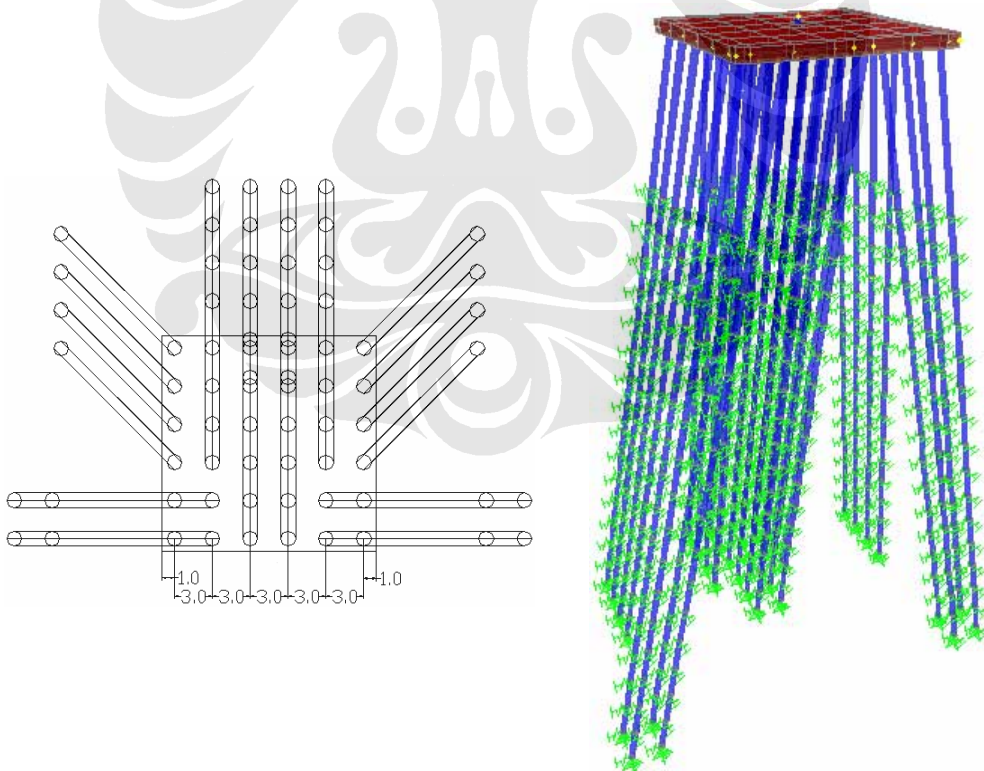


**Gambar 4. 14.** Modelisasi 8





**Gambar 4. 15.** Modelisasi 9



**Gambar 4. 16.** Modelisasi 10



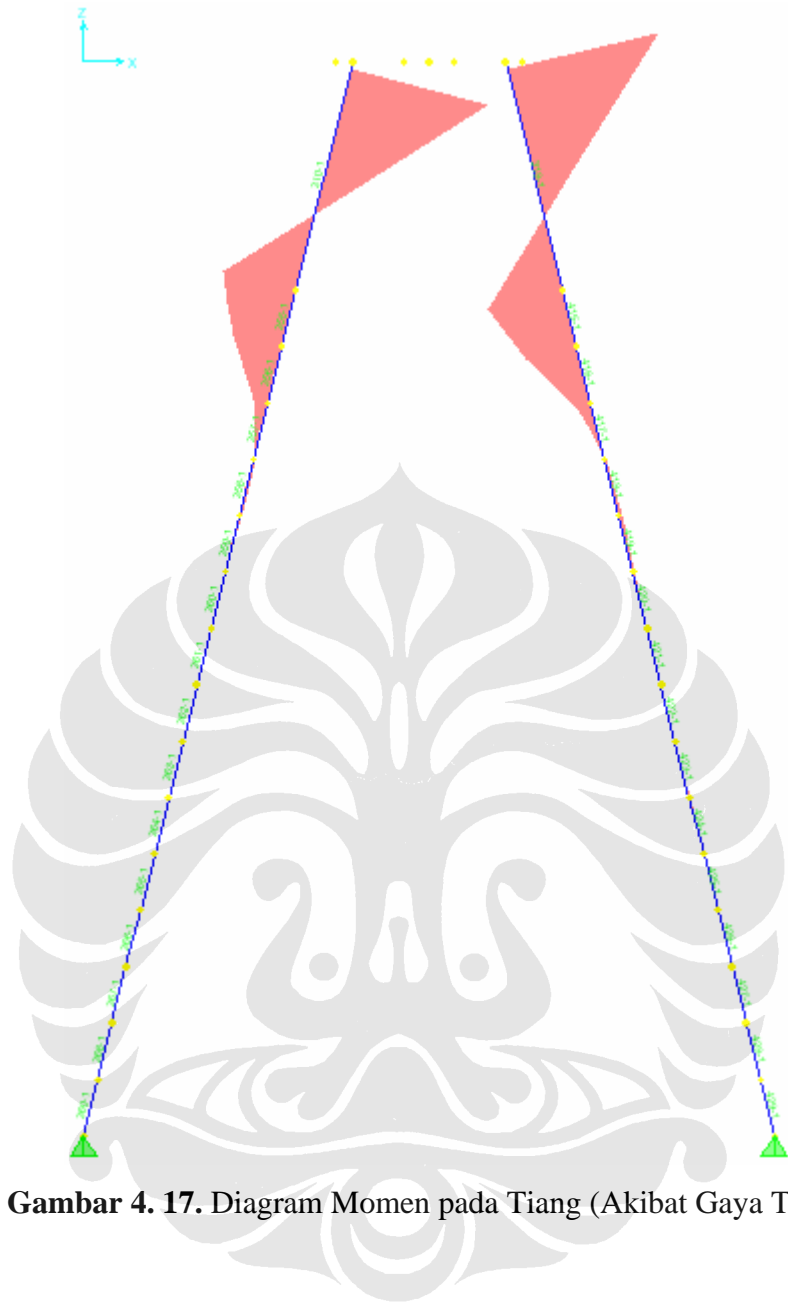
Pada modelisasi struktur yang telah dilakukan, keseluruhan struktur dilakukan analisa dengan linier-statis. Namun pada modelisasi akhir yang sudah dianggap sebagai modelisasi struktur yang efektif dan efeasien, akan dilakukan juga analisa non-linier. Hal ini bertujuan untuk memeriksa apakah kapasitas pegas (tanah) mampu menahan beban luar lateral yang terjadi pada struktur.

**Tabel 4. 12.** Output SAP2000 (Mu dan Pu Kombinasi Terfaktor)

| Modelisasi | Jumlah tiang     | Kemiringan | Kombinasi terfaktor |            |          |
|------------|------------------|------------|---------------------|------------|----------|
|            |                  |            | Jenis Beban         | Mu (ton.m) | Pu (ton) |
| 1          | 3 x 3 (7 tiang)  | 1 : 5      | Tr 3                | 57.40      | -217.04  |
|            |                  |            | Tr 2                | -127.97    | -181.75  |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 3                | 59.08      | -215.10  |
|            |                  |            | Tr 2                | -132.12    | -178.10  |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 1                | -60.18     | -212.65  |
|            |                  |            | Tr 2                | -134.97    | -174.79  |
| 2          | 3 x 3 (8 tiang)  | 1 : 5      | Tr 3                | 51.51      | -160.53  |
|            |                  |            | Tr 2                | -115.23    | -126.07  |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 3                | 53.30      | -160.41  |
|            |                  |            | Tr 2                | -117.93    | -123.08  |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 1                | 19.64      | -159.77  |
|            |                  |            | Tr 2                | -119.72    | -120.94  |
| 3          | 3 x 3 (9 tiang)  | 1 : 5      | Tr 3                | -80.51     | -154.92  |
|            |                  |            | Tr 2                | -102.35    | -128.35  |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 3                | 46.82      | -157.18  |
|            |                  |            | Tr 2                | -104.67    | -104.67  |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 3                | -82.68     | -157.97  |
|            |                  |            | Tr 2                | -106.56    | -115.70  |
| 4          | 3 x 3 (9 tiang)  | 1 : 5      | Tr 2                | 54.78      | -205.02  |
|            |                  |            | Tr 2                | -90.74     | -205.02  |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 1                | 16.39      | -201.37  |
|            |                  |            | Tr 2                | -96.51     | -194.68  |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 1                | 16.21      | -198.90  |
|            |                  |            | Tr 2                | -101.98    | -181.47  |
| 5          | 4 x 4 (16 tiang) | 1 : 5      | Tr 2                | -41.14     | -185.79  |
|            |                  |            | Tr 2                | -74.15     | -180.92  |
| 6          | 4 x 4 (16 tiang) | 1 : 4      | Tr 3                | -7.88      | -175.17  |
|            |                  |            | Tr 3                | -43.57     | -48.97   |
|            |                  | 1 : 5      | Tr 1                | -8.41      | -168.34  |
|            |                  |            | Tr 3                | -49.17     | -34.13   |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 1                | 7.78       | -147.20  |
|            |                  |            | Tr 2                | -53.31     | -147.74  |

|    |                  |       |      |        |         |
|----|------------------|-------|------|--------|---------|
|    |                  | 1 : 7 | Tr 1 | 8.19   | -152.78 |
|    |                  |       | Tr 2 | -56.88 | -139.71 |
| 7  | 5 x 5 (25 tiang) | 1 : 5 | Tr 2 | 33.28  | -150.33 |
|    |                  |       | Tr 2 | -53.65 | -150.33 |
| 8  | 5 x 5 (25 tiang) | 1 : 4 | Tr 1 | -21.24 | -184.08 |
|    |                  |       | Tr 2 | -42.52 | -174.61 |
|    |                  | 1 : 5 | Tr 1 | -22.89 | -168.20 |
|    |                  |       | Tr 2 | -45.95 | -158.52 |
|    |                  | 1 : 6 | Tr 1 | -23.93 | -153.13 |
|    |                  |       | Tr 2 | -48.36 | -143.17 |
|    |                  | 1 : 7 | Tr 3 | -38.88 | -141.30 |
|    |                  |       | Tr 2 | -49.22 | -131.34 |
| 9  | 5 x 5 (25 tiang) | 1 : 5 | Tr 3 | -8.33  | -120.61 |
|    |                  |       | Tr 1 | -46.29 | -86.25  |
| 10 | 6 x 6 (30 tiang) | 1 : 5 | Tr 3 | -35.00 | -139.13 |
|    |                  |       | Tr 2 | -40.29 | -100.42 |

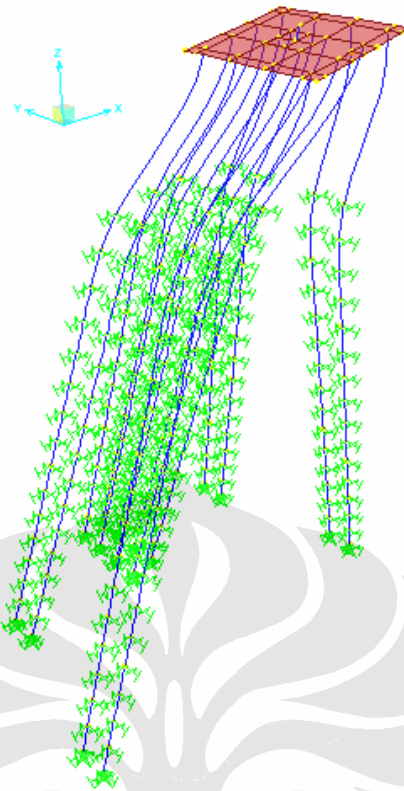




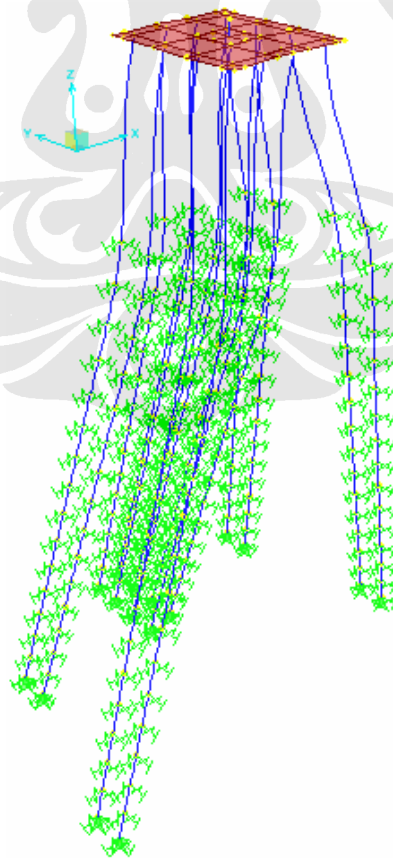
**Gambar 4. 17.** Diagram Momen pada Tiang (Akibat Gaya Tarik)

**Tabel 4. 13.** Output SAP2000 (Pu dan Defleksi Kombinasi tidak Terfaktor)

| Modelisasi | Jumlah tiang     | Kemiringan | Kombinasi tidak terfaktor |          |               |       |      |
|------------|------------------|------------|---------------------------|----------|---------------|-------|------|
|            |                  |            | Jenis Beban               | Pu (ton) | Defleksi (cm) |       |      |
|            |                  |            |                           |          | U1            | U2    | U3   |
| 1          | 3 x 3 (7 tiang)  | 1 : 5      | Tarik 3                   | -118.91  | 14.50         | 27.20 | 5.30 |
|            |                  | 1 : 6      | Tarik 3                   | -120.22  | 15.90         | 29.80 | 4.79 |
|            |                  | 1 : 7      | Tarik 1                   | -120.39  | 17.10         | 31.80 | 4.32 |
| 2          | 3 x 3 (8 tiang)  | 1 : 5      | Tarik 3                   | -91.04   | 14.07         | 23.44 | 4.49 |
|            |                  | 1 : 6      | Tarik 3                   | -92.55   | 15.50         | 25.68 | 4.04 |
|            |                  | 1 : 7      | Tarik 1                   | -93.26   | 16.67         | 27.45 | 3.61 |
| 3          | 3 x 3 (9 tiang)  | 1 : 5      | Tarik 3                   | -87.37   | 11.32         | 21.16 | 3.83 |
|            |                  | 1 : 6      | Tarik 3                   | -90.79   | 12.66         | 23.16 | 3.40 |
|            |                  | 1 : 7      | Tarik 3                   | -92.72   | 13.79         | 24.72 | 3.03 |
| 4          | 3 x 3 (9 tiang)  | 1 : 5      | Tarik 2                   | -114.44  | 10.95         | 21.94 | 3.68 |
|            |                  | 1 : 6      | Tarik 1                   | -115.92  | 12.34         | 23.96 | 3.34 |
|            |                  | 1 : 7      | Tarik 1                   | -117.30  | 13.54         | 25.54 | 3.01 |
| 5          | 4 x 4 (16 tiang) | 1 : 5      | Tarik 2                   | -85.31   | 5.13          | 14.16 | 2.17 |
| 6          | 4 x 4 (16 tiang) | 1 : 4      | Tarik 3                   | -75.06   | 6.19          | 7.86  | 2.11 |
|            |                  | 1 : 5      | Tarik 1                   | -76.68   | -7.25         | 9.76  | 1.98 |
|            |                  | 1 : 6      | Tarik 1                   | -76.22   | 8.08          | 11.33 | 1.83 |
|            |                  | 1 : 7      | Tarik 1                   | -74.63   | 8.73          | 12.62 | 1.67 |
| 7          | 5 x 5 (25 tiang) | 1 : 5      | Tarik 2                   | -62.13   | 4.14          | 9.89  | 1.52 |
| 8          | 5 x 5 (25 tiang) | 1 : 4      | Mati                      | -68.08   | 4.80          | 6.25  | 1.56 |
|            |                  | 1 : 5      | Tarik 1                   | -61.16   | 5.42          | -7.00 | 1.38 |
|            |                  | 1 : 6      | Tarik 1                   | -59.32   | 5.88          | 8.50  | 1.25 |
|            |                  | 1 : 7      | Tarik 3                   | -56.96   | 6.316         | 9.22  | 1.12 |
| 9          | 5 x 5 (25 tiang) | 1 : 5      | Tarik 3                   | -53.40   | 4.57          | 7.57  | 1.44 |
| 10         | 6 x 6 (30 tiang) | 1 : 5      | Mati                      | -53.02   | 3.52          | 5.30  | 1.29 |



**Gambar 4. 18.** Arah Defleksi Akibat Gaya Tambat



**Gambar 4. 19.** Arah Defleksi Akibat Gaya Tarik

#### **4.4.2 Analisa Beban**

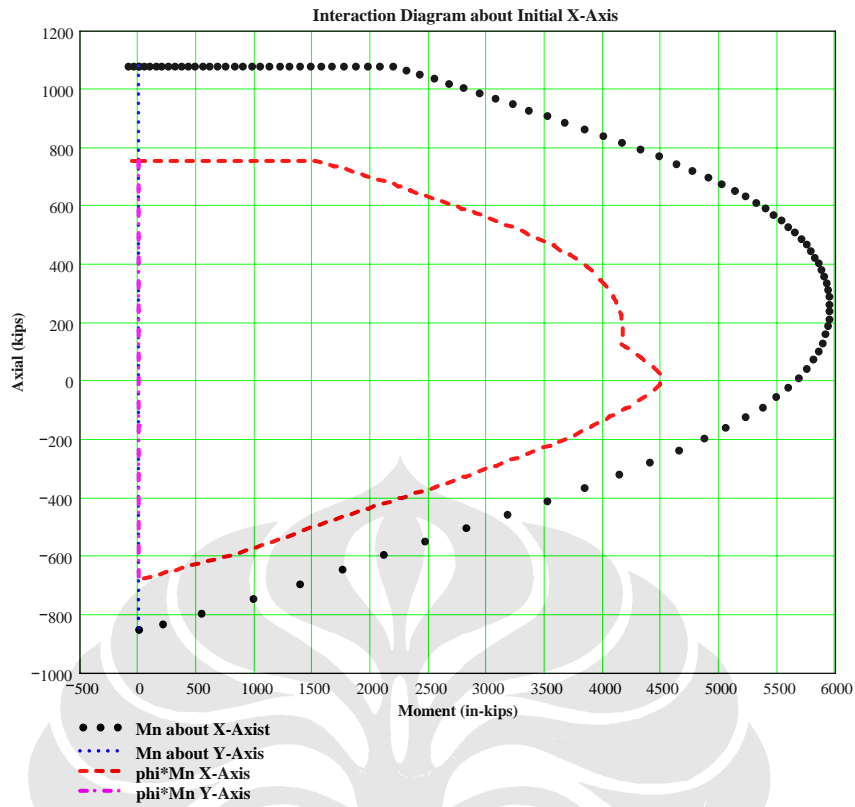
Dari output yang diperoleh,  $M_u$  dan  $P_u$  diperoleh akibat dari gaya tarik kapal ( $T_r$ ) yang terjadi. Jadi gaya tarik kapal lebih berpengaruh daripada gaya tambat kapal yang terjadi pada struktur *berthing dolphin* yang ditinjau. Kondisi ini disebabkan oleh gaya tarik yang terjadi lebih besar nilainya dibandingkan gaya tambat, dimana gaya tarik kapal sama dengan 100 ton dan gaya tambat 74,3 ton.

#### **4.4.3 Analisa Daya Dukung Aksial**

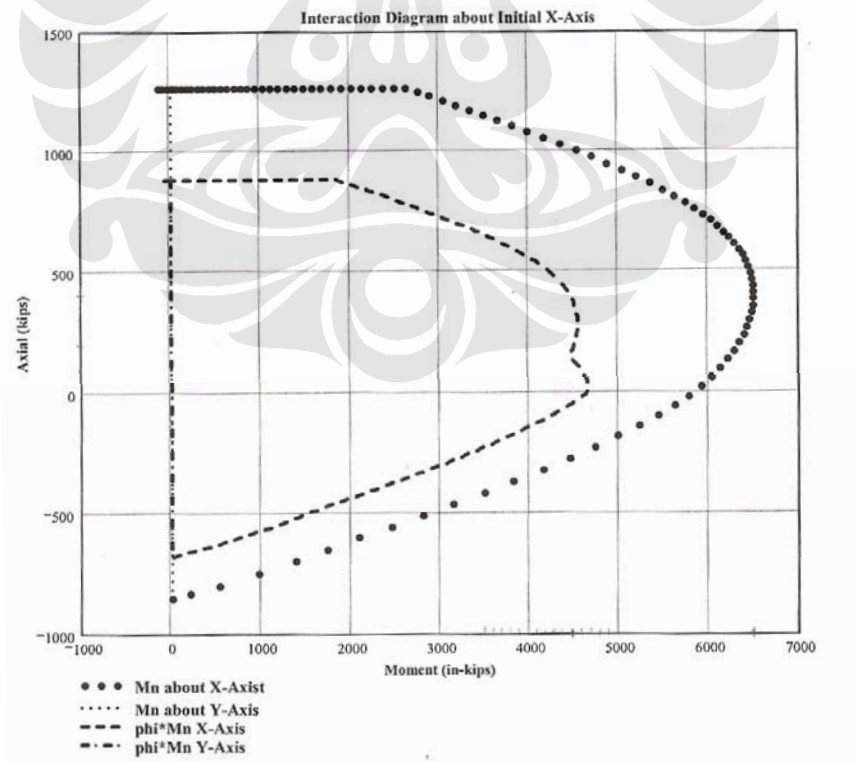
Dari output yang diperoleh, nilai  $P_u$  untuk kombinasi tidak terfaktor yang ada, semuanya kurang dari  $Q_u$  (daya dukung aksial tanah = 1564,4 ton). Dan nilai-nilai  $P_u$  tersebut dapat dianggap masih sangat jauh dibandingkan  $Q_u$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada modelisasi struktur yang ditinjau, daya dukung aksial tanah tidak terlalu menentukan kapasitas struktur pada keseluruhan sistem dalam mendukung gaya luar yang ada.

#### **4.4.4 Analisa Momen dan Gaya Aksial Ultimit Terhadap Diagram Interaksi**

Dari output modelisasi struktur pada SAP2000, yaitu momen ultimit dan gaya aksial ultimit, dapat dilakukan pengecekan terhadap diagram interaksi yang ada. Pengecekan terhadap diagram interaksi ini bertujuan untuk melihat kapasitas tiang setelah diberi beban. Jika  $M_u$  dan  $P_u$  tiang berada di dalam diagram interaksi, maka tiang tersebut secara struktural dianggap mampu menahan beban yang ada, begitu pula sebaliknya. Gb. 4.20 dan 4.21 adalah diagram interaksi untuk tiang prategang diameter 600 mm dan tebal 100 mm.



**Gambar 4. 20.** Diagram Interaksi Pile D=600 mm T=100 mm Type C



**Gambar 4. 21.** Diagram Interaksi Pile D=600 mm T=120 mm Type C

**Tabel 4. 14.** Mu dan Pu Terhadap Diagram Interaksi

| Modelisasi | Jumlah tiang     | Kemiringan | Kombinasi terfaktor |              |           | Diagram Interaksi |        |
|------------|------------------|------------|---------------------|--------------|-----------|-------------------|--------|
|            |                  |            | Jenis Beban         | Mu (in.kips) | Pu (kips) | 100 mm            | 120 mm |
|            |                  |            |                     |              |           |                   |        |
| 1          | 3 x 3 (7 tiang)  | 1 : 5      | Tr 3                | 5062.43      | -486.18   | not OK            | not OK |
|            |                  |            | Tr 2                | -11285.77    | -407.12   | not OK            | not OK |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 3                | 5209.86      | -481.82   | not OK            | not OK |
|            |                  |            | Tr 2                | -11651.10    | -398.94   | not OK            | not OK |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 1                | -5306.88     | -476.34   | not OK            | not OK |
| Tr 2       | -11902.49        | -391.54    | not OK              | not OK       |           |                   |        |
| 2          | 3 x 3 (8 tiang)  | 1 : 5      | Tr 3                | 4542.67      | -359.59   | not OK            | not OK |
|            |                  |            | Tr 2                | -10162.17    | -282.40   | not OK            | not OK |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 3                | 4700.04      | -359.31   | not OK            | not OK |
|            |                  |            | Tr 2                | -10400.19    | -275.71   | not OK            | not OK |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 1                | 1731.68      | -357.88   | OK                | OK     |
| Tr 2       | -10557.87        | -270.90    | not OK              | not OK       |           |                   |        |
| 3          | 3 x 3 (9 tiang)  | 1 : 5      | Tr 3                | -7099.98     | -347.03   | not OK            | not OK |
|            |                  |            | Tr 2                | -9025.77     | -287.49   | not OK            | not OK |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 3                | 4128.68      | -352.09   | not OK            | OK     |
|            |                  |            | Tr 2                | -9230.53     | -280.27   | not OK            | not OK |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 3                | -7291.06     | -353.86   | not OK            | not OK |
| Tr 2       | -9397.49         | -259.18    | not OK              | not OK       |           |                   |        |
| 4          | 3 x 3 (9 tiang)  | 1 : 5      | Tr 2                | 4831.38      | -459.24   | not OK            | not OK |
|            |                  |            | Tr 2                | -8002.43     | -459.24   | not OK            | not OK |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 1                | 1445.08      | -451.07   | OK                | OK     |
|            |                  |            | Tr 2                | -8511.28     | -436.08   | not OK            | not OK |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 1                | 1429.64      | -445.53   | OK                | OK     |
| Tr 2       | -8993.05         | -406.49    | not OK              | not OK       |           |                   |        |
| 5          | 4 x 4 (16 tiang) | 1 : 5      | Tr 2                | -3627.65     | -416.17   | OK                | OK     |
|            |                  |            | Tr 2                | -6539.05     | -405.26   | not OK            | not OK |
| 6          | 4 x 4 (16 tiang) | 1 : 4      | Tr 3                | -694.70      | -392.38   | OK                | OK     |
|            |                  |            | Tr 3                | -3842.01     | -109.69   | OK                | OK     |
|            |                  | 1 : 5      | Tr 1                | -741.70      | -377.08   | OK                | OK     |
|            |                  |            | Tr 3                | -4336.67     | -76.46    | not OK            | OK     |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 1                | 686.15       | -329.73   | OK                | OK     |
|            |                  |            | Tr 2                | -4700.95     | -330.93   | not OK            | not OK |
| 1 : 7      | Tr 1             | 721.99     | -342.22             | OK           | OK        |                   |        |
| Tr 2       | -5016.18         | -312.94    | not OK              | not OK       |           |                   |        |
| 7          | 5 x 5 (25 tiang) | 1 : 5      | Tr 2                | 2934.87      | -336.74   | OK                | OK     |
|            |                  |            | Tr 2                | -4731.33     | -336.75   | not OK            | not OK |
| 8          | 5 x 5 (25 tiang) | 1 : 4      | Tr 1                | -1873.17     | -412.34   | OK                | OK     |
|            |                  |            | Tr 2                | -3749.70     | -391.12   | OK                | OK     |
|            |                  | 1 : 5      | Tr 1                | -2018.40     | -376.76   | OK                | OK     |
|            |                  |            | Tr 2                | -4052.54     | -355.08   | OK                | OK     |



|    |                  |       |      |          |         |        |    |
|----|------------------|-------|------|----------|---------|--------|----|
|    |                  | 1 : 6 | Tr 1 | -2110.72 | -343.02 | OK     | OK |
|    |                  |       | Tr 2 | -4265.16 | -320.70 | not OK | OK |
|    |                  | 1 : 7 | Tr 3 | -3428.40 | -316.51 | OK     | OK |
|    |                  |       | Tr 2 | -4340.65 | -294.20 | not OK | OK |
| 9  | 5 x 5 (25 tiang) | 1 : 5 | Tr 3 | -734.69  | -270.16 | OK     | OK |
|    |                  |       | Tr 1 | -4081.91 | -193.21 | OK     | OK |
| 10 | 6 x 6 (30 tiang) | 1 : 5 | Tr 3 | -3086.35 | -311.64 | OK     | OK |
|    |                  |       | Tr 2 | -3552.86 | -224.94 | OK     | OK |

Dari hasil output yang ada, maka dapat disimpulkan bahwa modelisasi struktur yang paling efektif dan efisien terhadap beban-beban luar yang terjadi, adalah modelisasi 6 dengan kemiringan 1 : 4 dengan tebal tiang ( $\Phi$  600 mm) 100 mm, dan modelisasi 6 dengan kemiringan 1 : 5 dengan tebal tiang ( $\Phi$  600 mm) 120 mm. Modelisasi tersebut dapat dianggap sebagai modelisasi yang paling efektif dan efisien, karena Mu dan Pu model tersebut berada di dalam diagram interaksi untuk tipe tiang model itu sendiri. Selain itu, defleksi yang terjadi pun kecil.

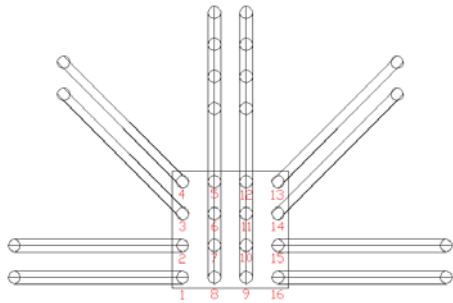
Jadi, pada modelisasi struktur yang ditinjau kapasitas tiang itu sendiri lebih menentukan pada keseluruhan sistem dalam menahan gaya luar yang ada. Sedangkan defleksi tiang yang terjadi tidak terlalu menentukan.

#### 4.4.5 Analisa Distribusi Momen dan Gaya Aksial Maksimum pada Tiang

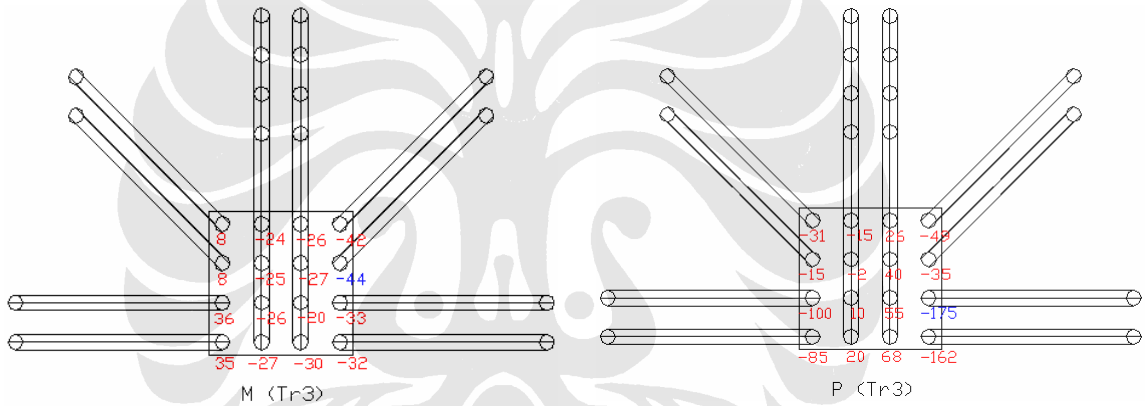
Untuk distribusi momen dan gaya aksial yang terjadi dalam tiang untuk setiap arah dan besar gaya akan berbeda-beda. Tabel 4.15 dan gambar 4.22 menggambarkan distribusi momen dan gaya aksial untuk modelisasi struktur ke-6 yang memiliki kemiringan 1 : 4.

**Tabel 4. 15.** Distribusi Momen dan Gaya

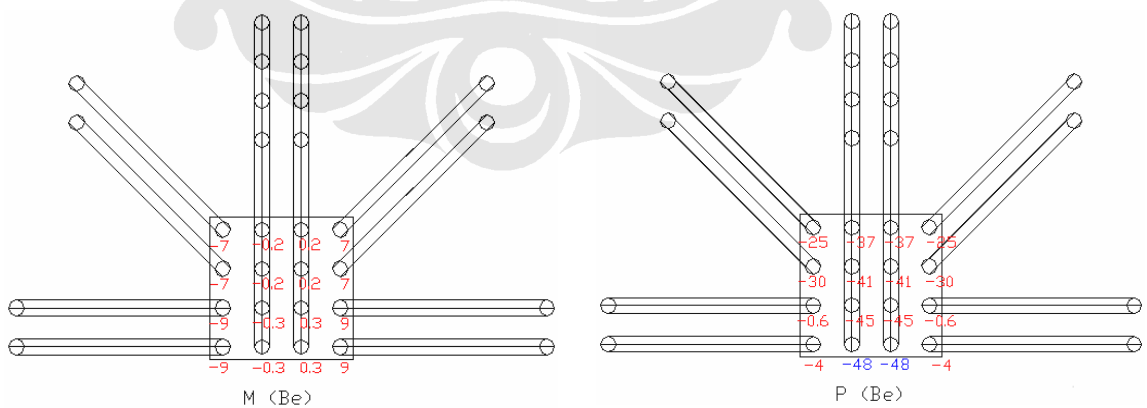
| no tiang | Tr3    |         | Tr2    |         | Be    |        | DEAD  |        |
|----------|--------|---------|--------|---------|-------|--------|-------|--------|
|          | M      | P       | M      | P       | M     | P      | M     | P      |
| 1        | 35,06  | -84,77  | 41,22  | -145,52 | -8,80 | -4,39  | 10,01 | -46,00 |
| 2        | 35,69  | -99,79  | 42,13  | -162,29 | -8,97 | -0,63  | 10,24 | -50,62 |
| 3        | 8,08   | -14,92  | 31,64  | -23,47  | -6,78 | -29,58 | 7,68  | -17,74 |
| 4        | 8,41   | -30,70  | 30,97  | -41,97  | -6,62 | -24,98 | 7,53  | 22,63  |
| 5        | -24,08 | -14,80  | 0,97   | 14,17   | -0,20 | -37,01 | 0,25  | -9,29  |
| 6        | -24,88 | -2,46   | 1,25   | 30,07   | -0,22 | -41,13 | 0,33  | -5,02  |
| 7        | -25,58 | 9,55    | 1,81   | 45,89   | -0,33 | -45,13 | 0,44  | -0,51  |
| 8        | -26,60 | 20,03   | 1,96   | 59,97   | -0,35 | -48,38 | 0,47  | 3,50   |
| 9        | -29,80 | 67,61   | -1,96  | 59,97   | 0,35  | -48,38 | -0,47 | 3,50   |
| 10       | -28,54 | 54,89   | -1,81  | 45,89   | 0,33  | -45,13 | -0,44 | -0,51  |
| 11       | -26,94 | 40,48   | -1,25  | 30,07   | 0,22  | -41,13 | -0,33 | -5,02  |
| 12       | -25,68 | 26,50   | -0,97  | 14,17   | 0,20  | -37,01 | 0,25  | -9,29  |
| 13       | -42,15 | -48,97  | -30,97 | -41,97  | 6,62  | -24,98 | -7,98 | -22,63 |
| 14       | -43,57 | -34,80  | -31,64 | -23,47  | 6,79  | -29,58 | -7,68 | -17,74 |
| 15       | -33,10 | -175,17 | -42,13 | -162,29 | 8,97  | -0,63  | 10,24 | -50,62 |
| 16       | -32,23 | -162,32 | -41,22 | -145,52 | 8,80  | -4,39  | 10,01 | -46,00 |



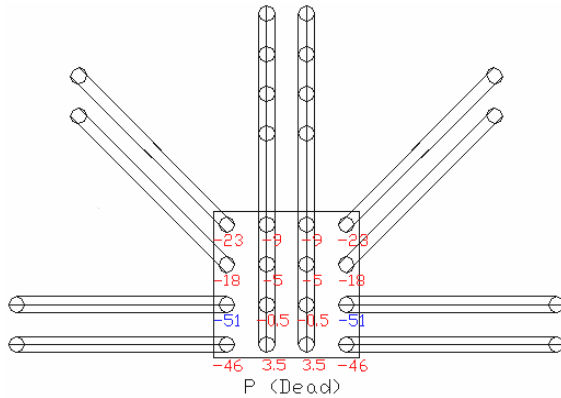
**Gambar 4. 22.** Urutan Tiang pada Modelisasi 6 (1 : 4)



**Gambar 4. 23.** Distribusi Momen dan Gaya Aksial Maksimum Akibat Gaya Tarik (Tr3)



**Gambar 4. 24.** Distribusi Momen dan Gaya Aksial Maksimum Akibat Gaya Tambat

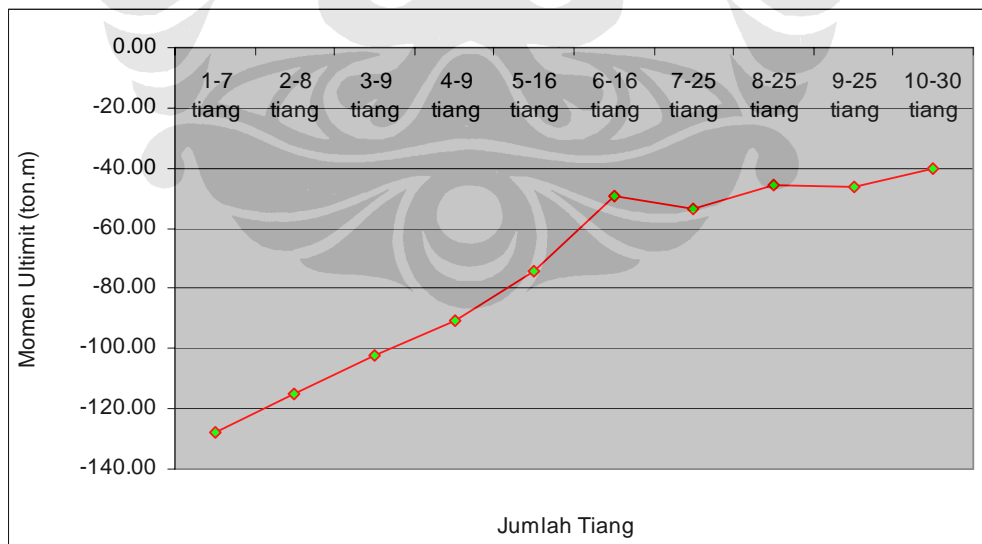


**Gambar 4. 25.** Distribusi Momen dan Gaya Aksial Maksimum Akibat Gaya Mati (Berat Sendiri Struktur)

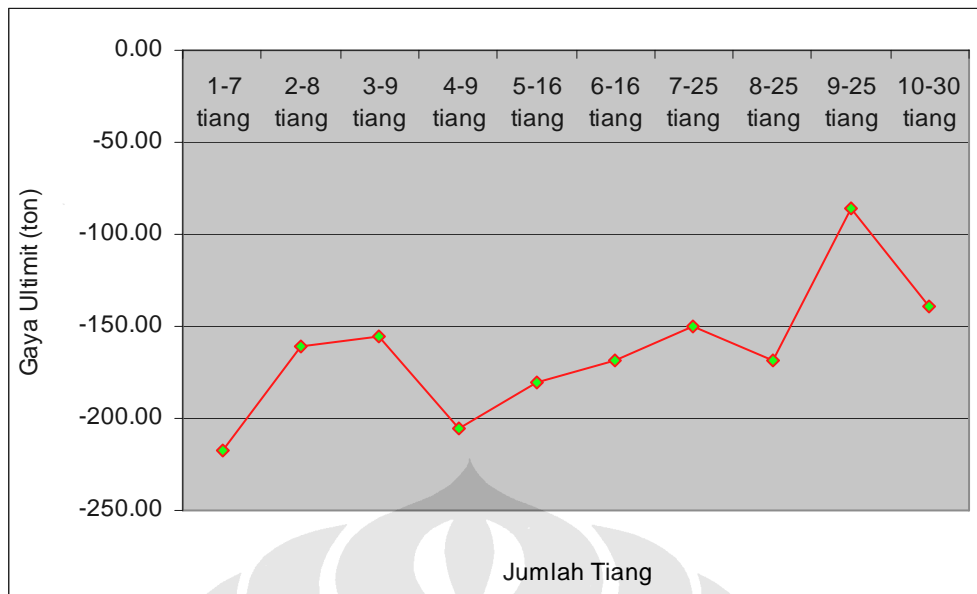
#### 4.4.6 Analisa Variasi Jumlah Tiang

**Tabel 4. 16.** Jumlah Tiang dengan Mu dan Pu

| Modelisasi | Jumlah tiang     | Kemiringan | Kombinasi Terfaktor |          |
|------------|------------------|------------|---------------------|----------|
|            |                  |            | Mu (ton.m)          | Pu (ton) |
| 1          | 3 x 3 (7 tiang)  | 1 : 5      | -127.97             | -217.04  |
| 2          | 3 x 3 (8 tiang)  | 1 : 5      | -115.23             | -160.53  |
| 3          | 3 x 3 (9 tiang)  | 1 : 5      | -102.35             | -154.92  |
| 6          | 4 x 4 (16 tiang) | 1 : 5      | -49.17              | -168.34  |
| 8          | 5 x 5 (25 tiang) | 1 : 5      | -45.95              | -168.20  |
| 10         | 6 x 6 (30 tiang) | 1 : 5      | -40.29              | -139.13  |



**Gambar 4. 26.** Mu Terhadap Jumlah Tiang



**Gambar 4. 27. Pu Terhadap Jumlah Tiang**

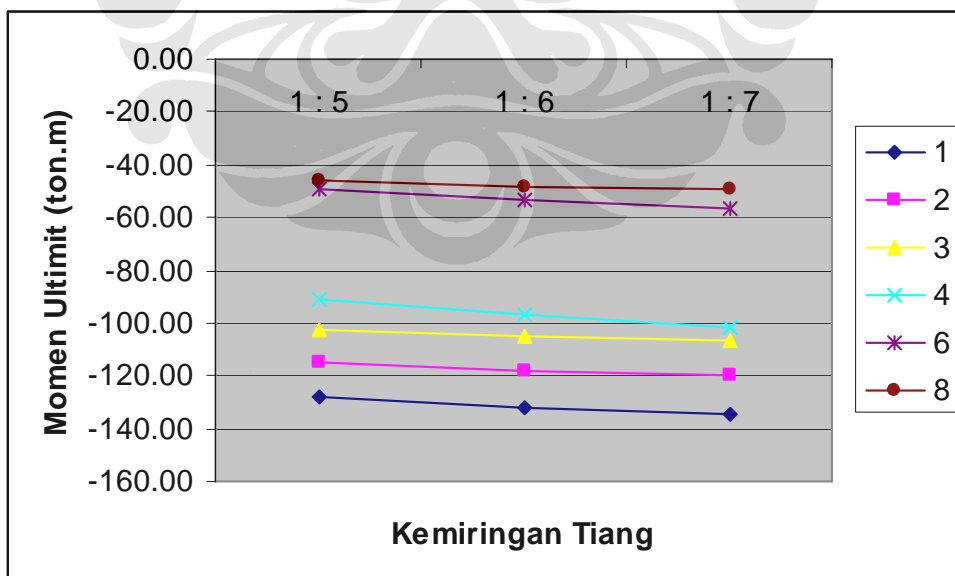
Dari hasil grafik (gambar 4.26 dan 4.27) yang diperoleh antara jumlah tiang dengan momen ultimit, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah tiang yang diberikan dalam satu grup untuk *berthing dolphin*, maka momen ultimit tiang akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya. Dan untuk gaya ultimit tiang juga seperti itu, semakin banyak tiang, maka gaya aksial pada tiang cenderung untuk semakin kecil. Namun, dapat juga jika adanya peningkatan jumlah tiang, gaya aksial tidak berubah secara signifikan.

#### **4.4.7 Analisa Variasi Sudut Kemiringan**

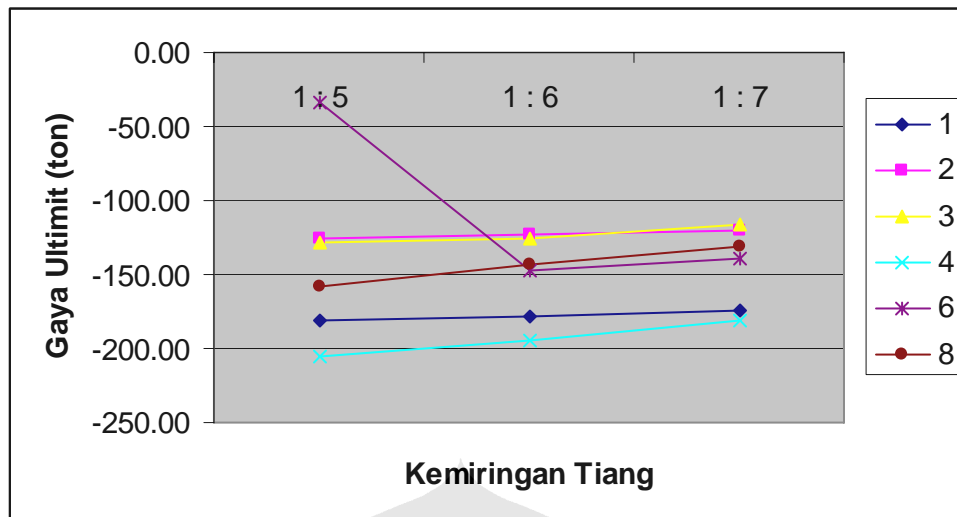
Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai hasil yang diperoleh jika sudut kemiringan tiang divariasikan.

Tabel 4. 17. Mu, Pu, dan Defleksi Terhadap Perbedaan Kemiringan Tiang

| Modelisasi | Jumlah tiang     | Kemiringan | Kombinasi terfaktor |            |          |
|------------|------------------|------------|---------------------|------------|----------|
|            |                  |            | Jenis Beban         | Mu (ton.m) | Pu (ton) |
| 1          | 3 x 3 (7 tiang)  | 1 : 5      | Tr 2                | -127.97    | -181.75  |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 2                | -132.12    | -178.10  |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 2                | -134.97    | -174.79  |
| 2          | 3 x 3 (8 tiang)  | 1 : 5      | Tr 2                | -115.23    | -126.07  |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 2                | -117.93    | -123.08  |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 2                | -119.72    | -120.94  |
| 3          | 3 x 3 (9 tiang)  | 1 : 5      | Tr 2                | -102.35    | -128.35  |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 2                | -104.67    | -125.12  |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 2                | -106.56    | -115.70  |
| 4          | 3 x 3 (9 tiang)  | 1 : 5      | Tr 2                | -90.74     | -205.02  |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 2                | -96.51     | -194.68  |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 2                | -101.98    | -181.47  |
| 6          | 4 x 4 (16 tiang) | 1 : 4      | Tr 3                | -43.57     | -48.97   |
|            |                  | 1 : 5      | Tr 3                | -49.17     | -34.13   |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 2                | -53.31     | -147.74  |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 2                | -56.88     | -139.71  |
| 8          | 5 x 5 (25 tiang) | 1 : 4      | Tr 2                | -42.52     | -174.61  |
|            |                  | 1 : 5      | Tr 2                | -45.95     | -158.52  |
|            |                  | 1 : 6      | Tr 2                | -48.36     | -143.17  |
|            |                  | 1 : 7      | Tr 2                | -49.22     | -131.34  |



Gambar 4. 28. Mu Terhadap Kemiringan Tiang



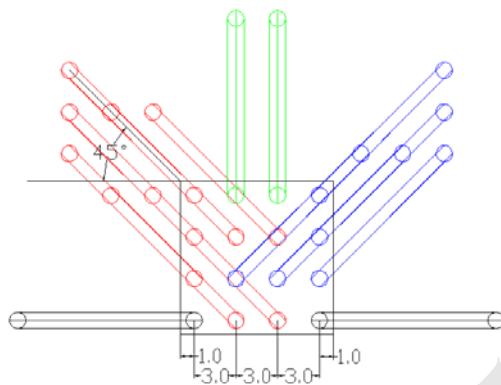
**Gambar 4.29.** Pu Terhadap Kemiringan Tiang

Dari grafik-grafik diatas menunjukkan bahwa semakin miring tiang dalam satu grup tiang maka momen ultimit tiang akan semakin kecil, namun gaya aksial ultimit semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin miring tiang yang dibebani beban horizontal, maka struktur akan semakin kuat. Karena tiang miring atau *batter pile* dapat mengubah gaya horizontal luar yang terjadi pada tiang menjadi gaya aksial dan horizontal pada tiang itu sendiri. Sehingga gaya yang terjadi pada grup tiang di setiap tiang tunggal dapat bersifat tarik maupun tekan. Namun jika seluruh tiang dalam grup tiang adalah tiang vertikal, maka jika terjadi beban horizontal pada struktur, gaya yang terjadi pada setiap tiang dalam grup sebagian besar akan bersifat tarik. Dan ketika sebagian besar tiang tertarik, maka tahanan ujung tiang tidak berfungsi, hanya tahanan friksi yang berfungsi, sehingga mengurangi daya dukung tiang itu sendiri.

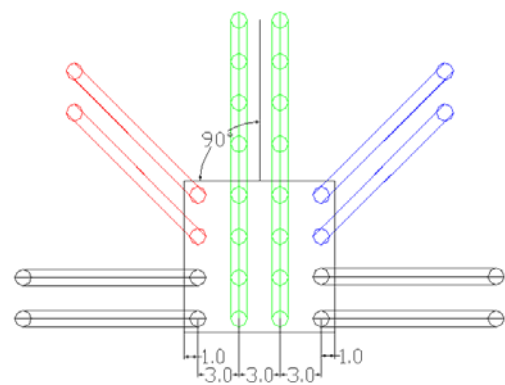
#### 4.4.8 Analisa Variasi Arah Kemiringan

Pada modelisasi 5 dan 6, memiliki jumlah tiang yang sama yaitu 16 tiang, namun memiliki perbedaan pada arah kemiringan tiang. Pada modelisasi 5 terdapat 12 tiang dari 16 tiang yang memiliki arah kemiringan sebesar  $45^{\circ}$  terhadap sumbu horizontal (4.30), sedangkan modelisasi 6 hanya 4 tiang dari 16 tiang yang memiliki arah kemiringan sebesar  $45^{\circ}$  terhadap sumbu horizontal (Gb 4.31). Selain modelisasi 5 dan 6 yang memiliki kondisi seperti itu, dapat juga dilihat pada modelisasi 7 dan 8. Dimana modelisasi 7 memiliki 20 tiang dari 25 tiang yang memiliki arah kemiringan sebesar  $45^{\circ}$  terhadap sumbu horizontal,

sedangkan modelisasi 8 hanya 6 tiang dari 25 tiang yang memiliki arah kemiringan sebesar  $45^0$  terhadap sumbu horizontal.

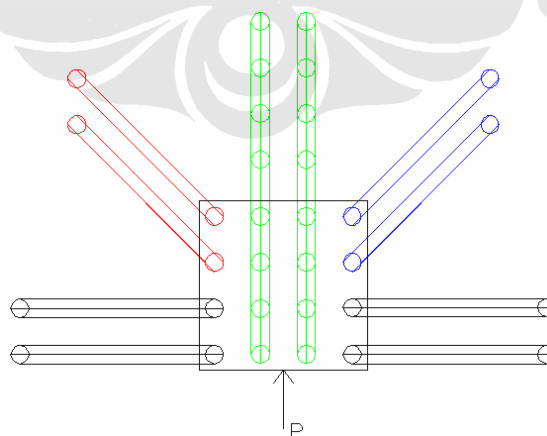


**Gambar 4. 30.** Modelisasi 5 dengan Arah Kemiringan  $45^0$  terhadap Sb.Horizontal



**Gambar 4. 31.** Modelisasi 6 dengan Arah Kemiringan  $90^0$  terhadap Sb.Horizontal

Perbedaan arah kemiringan seperti modelisasi yang disebutkan diatas memberikan hasil momen ultimit dan gaya ultimit yang sangat berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa, kondisi yang lebih baik untuk grup tiang pada kasus *berthing dolphin* yang sedang ditinjau, adalah yang hanya memiliki sebagian kecil dari jumlah tiangnya yang memiliki arah kemiringan sebesar  $45^0$  terhadap sumbu horizontal. Faktor ini sangat dipengaruhi oleh arah beban horizontal yang terjadi pada grup tiang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sebaiknya arah kemiringan sebagian besar tiang pada grup adalah berlawanan dan memiliki sudut  $180^0$  terhadap arah beban terbesar (Gb 4.32).



**Gambar 4. 32.** Arah Gaya Sejalan dengan Arah Kemiringan Sebagian Besar Jumlah Tiang

#### 4.4.9 Analisa Hasil Pegas Non-Linier

Untuk modelisasi 6 kemiringan 1 : 4, dilakukan analisa non-linier. Hal ini dilakukan untuk melihat kapasitas tahanan tanah terhadap beban lateral yang terjadi. Dibawah ini adalah perbandingan antara hasil analisa linier dengan non-linier:

**Tabel 4. 18.** Hasil Analisa Non-Linier Modelisasi 6 (1:4)

| Analisa Non-Linier  |            |          |                           |          |               |       |      |
|---------------------|------------|----------|---------------------------|----------|---------------|-------|------|
| Kombinasi Terfaktor |            |          | Kombinasi Tidak Terfaktor |          |               |       |      |
| Jenis Beban         | Mu (ton.m) | Pu (ton) | Jenis Beban               | Pu (ton) | Defleksi (cm) |       |      |
|                     |            |          |                           |          | U1            | U2    | U3   |
| Tr 1                | -10.51     | -193.82  | Tarik 1                   | -150.06  |               |       |      |
| Tr 3                | -41.62     | -33.93   |                           |          | 7.66          | 13.85 | 3.98 |

**Tabel 4. 19.** Hasil Analisa Linier Modelisasi 6 (1:4)

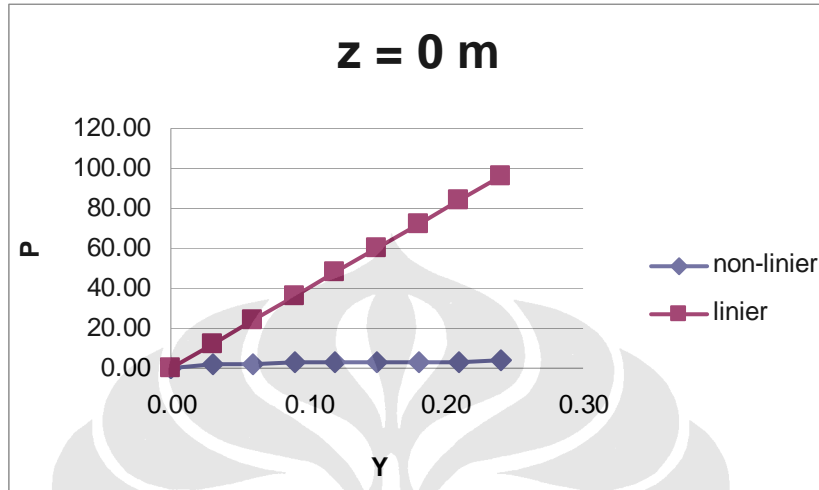
| Analisa Linier      |            |          |                           |          |               |      |      |
|---------------------|------------|----------|---------------------------|----------|---------------|------|------|
| Kombinasi Terfaktor |            |          | Kombinasi Tidak Terfaktor |          |               |      |      |
| Jenis Beban         | Mu (ton.m) | Pu (ton) | Jenis Beban               | Pu (ton) | Defleksi (cm) |      |      |
|                     |            |          |                           |          | U1            | U2   | U3   |
| Tr 3                | -7.88      | -175.17  | Tarik 3                   | -75.06   |               |      |      |
| Tr 3                | -43.57     | -48.97   |                           |          | 6.19          | 7.86 | 2.11 |

Dari perbandingan antara hasil analisa non-linier dan linier, diperoleh gaya aksial pada analisa non-linier lebih besar daripada gaya aksial pada analisa linier. Sedangkan momen ultimitnya pada analisa non-linier lebih kecil daripada hasil analisa linier. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi struktur jika diberi pegas linier, maka struktur akan lebih kaku dibandingkan jika struktur diberi pegas non-linier.

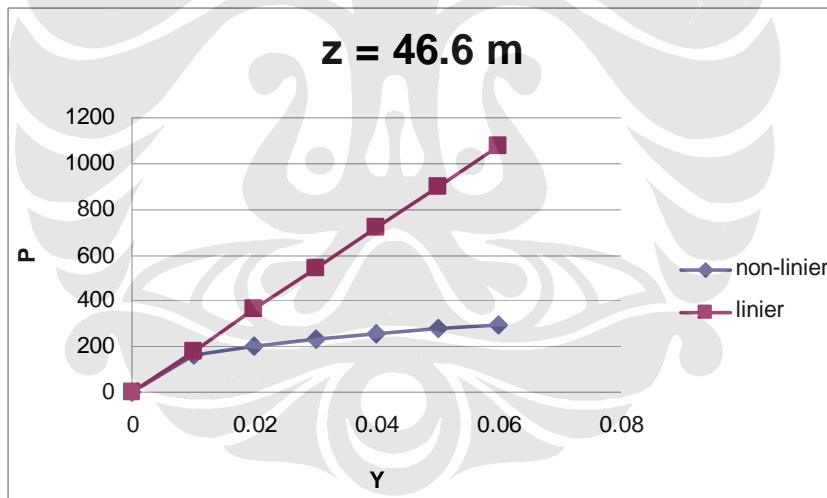
Pada pegas linier, gaya reaksi pegas selalu berbanding lurus dengan *displacement* yang terjadi. Jadi jika gaya luar yang terjadi semakin besar, maka gaya reaksi pegas juga akan semakin besar. Sedangkan untuk pegas non-linier, gaya reaksi pegas tidak berbanding lurus dengan *displacement* yang terjadi pada zona plastis. Jadi jika gaya luar yang terjadi semakin besar, tetapi pegas sudah tidak dapat memberi tahanan lagi, maka gaya reaksi pegas akan tetap pada gaya ultimit pegas itu sendiri, dapat disebut sebagai pegas sudah plastis. Selain itu, dari grafik P-Y (Gb.4.33 dan Gb.4.34) yang diperoleh jika dilakukan perbandingan antara pegas linier dan non-linier, ternyata hasilnya pegas linier memiliki kekakuan lebih besar daripada pegas non-linier (Grafik linier diatas garfik non-



linier). Dengan alasan tersebut, maka kekakuan tiang-pegas pada kondisi non-linier akan lebih kecil dibandingkan dengan kekakuan pada kondisi linier. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk struktur *berthing dolphin* seperti pada kasus yang ditinjau, desain cukup konservatif jika menggunakan pegas linier.



Gambar 4.33. Grafik P-Y pada Kedalaman 0 m (*seabed*)

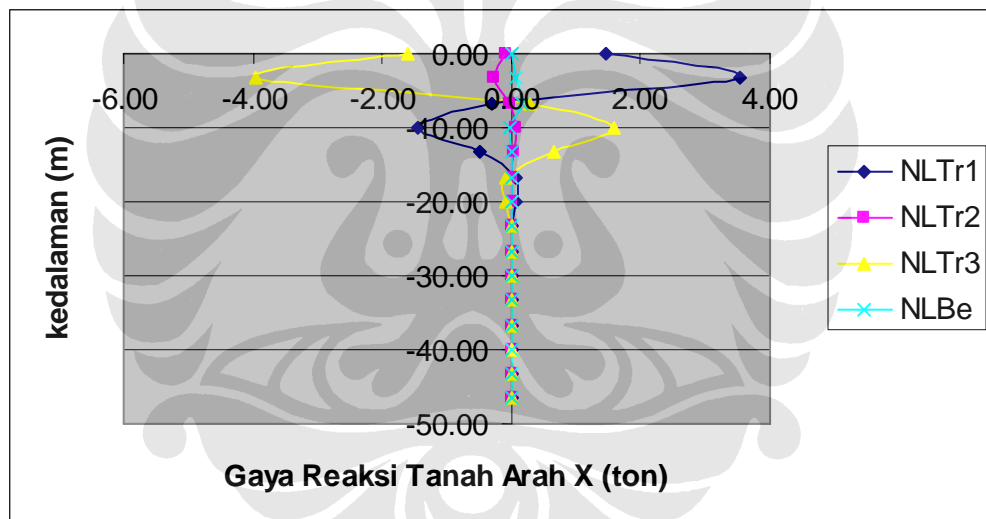


Gambar 4.34. Grafik P-Y pada Kedalaman 46.6 m

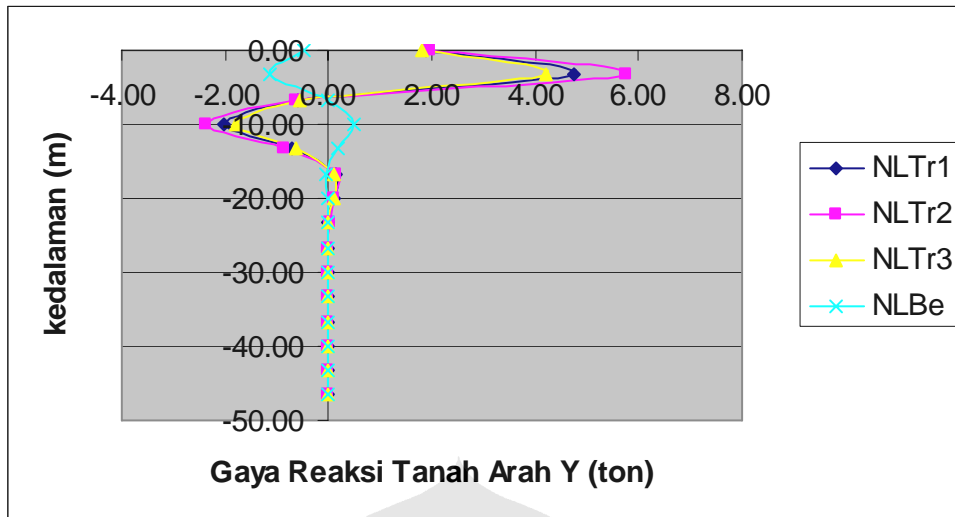
Untuk gaya reaksi pegas non-linier yang terjadi akibat gaya luar yang ada dapat dilihat pada tabel 4.20.

**Tabel 4. 20.** Gaya Reaksi Pegas Non-Linier

| z (m)  | Pu      | Beban     | F1     | F2     | Beban     | F1      | F2     | Beban     | F1      | F2     | Beban     | F1     | F2     |
|--------|---------|-----------|--------|--------|-----------|---------|--------|-----------|---------|--------|-----------|--------|--------|
| 0.00   | 6.12    |           | 1.45   | 1.87   |           | -0.091  | 1.960  |           | -1.595  | 1.803  |           | 0.020  | -0.496 |
| -3.33  | 33.07   |           | 3.54   | 4.76   |           | -0.262  | 5.740  |           | -3.965  | 4.215  |           | 0.058  | -1.153 |
| -6.66  | 53.90   |           | -0.31  | -0.58  |           | -0.014  | -0.638 |           | 0.289   | -0.561 |           | 0.153  | 0.003  |
| -9.99  | 97.84   |           | -1.46  | -2.01  |           | 0.081   | -2.378 |           | 1.585   | -1.810 |           | -0.018 | 0.495  |
| -13.32 | 155.82  |           | -0.48  | -0.72  |           | 0.041   | -0.868 |           | 0.644   | -0.641 |           | -0.009 | 0.175  |
| -16.65 | 188.65  |           | 0.08   | 0.13   |           | -0.002  | 0.150  |           | -0.082  | 0.119  |           | 0.000  | -0.033 |
| -19.98 | 221.48  |           | 0.08   | 0.10   |           | -0.005  | 0.120  |           | -0.087  | 0.091  |           | 0.001  | -0.025 |
| -23.31 | 254.32  | NLTr1     | 0.01   | 0.01   | NLTr2     | -0.001  | 0.007  | NLTr3     | -0.008  | 0.004  | NLBe      | 0.000  | -0.001 |
| -26.64 | 377.11  |           | -0.01  | -0.01  |           | 0.000   | -0.009 |           | 0.007   | -0.007 |           | 0.000  | 0.002  |
| -29.97 | 519.73  |           | 0.00   | 0.00   |           | 0.000   | -0.001 |           | 0.001   | -0.001 |           | 0.000  | 0.000  |
| -33.30 | 650.79  |           | 0.00   | 0.00   |           | 0.000   | 0.001  |           | 0.000   | 0.000  |           | 0.000  | 0.000  |
| -36.63 | 796.00  |           | 0.00   | 0.00   |           | 0.000   | 0.000  |           | 0.000   | 0.000  |           | 0.000  | 0.000  |
| -39.96 | 862.80  |           | 0.00   | 0.00   |           | 0.000   | 0.000  |           | 0.000   | 0.000  |           | 0.000  | 0.000  |
| -43.29 | 929.60  |           | 0.00   | 0.00   |           | 0.000   | 0.000  |           | 0.000   | 0.000  |           | 0.000  | 0.000  |
| -46.62 | 996.40  |           | 0.00   | 0.00   |           | 0.000   | 0.000  |           | 0.000   | 0.000  |           | 0.000  | 0.000  |
| -49.95 | 1306.07 |           | -26.54 | 0.00   |           | -43.682 | 0.000  |           | -46.878 | 0.000  |           | 0.705  | 0.000  |
|        |         | <b>F3</b> |        | 106.11 | <b>F3</b> |         | 174.67 | <b>F3</b> |         | 187.45 | <b>F3</b> |        | -2.82  |



**Gambar 4. 35.** Gaya Reaksi Arah X Terhadap Kedalaman



**Gambar 4. 36.** Gaya Reaksi Arah Y Terhadap Kedalaman

Dari hasil reaksi pegas yang terjadi, menunjukkan bahwa semua pegas belum ada yang mencapai kondisi plastis. Hal ini dikarenakan semua gaya reaksi yang terjadi belum melewati gaya ultimit ( $P_u$ ) pegas tersebut.

Jika dilihat dari grafik 4.35 dan 4.36, reaksi pegas yang terjadi di kedalaman 0,00 m, pegas tidak mengalami reaksi yang paling besar. Namun kemudian pada kedalaman -3.33 m, gaya reaksi pegas menjadi lebih besar, kemudian mengecil kembali dan pada kedalaman -9.99 m pegas memberikan reaksi yang besar kembali. Kemudian reaksi pegas akan cenderung terus mengecil hingga kedalaman - 46.62 m. Dan pada ujung tiang reaksi pegas menjadi sangat besar.