

## ANALISA LENDUTAN DAN DISTRIBUSI GAYA LATERAL AKIBAT GAYA LATERAL MONOTONIK PADA PONDASI TIANG KELOMPOK

Oleh:

Irza Ahmad

Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Negeri Jakarta

E-mail : poo\_granger@yahoo.com

**ABSTRAK:** Dalam penelitian ini diawali dengan pembahasan tiang tunggal karena merupakan dasar untuk interaksi dua tiang yang akan dikembangkan menjadi analisa pondasi tiang kelompok, dengan menggunakan metode Elastis dan metode Penyederhanaan Perhitungan Gaya Horisontal. Kedua metode ini digunakan untuk beban dan jarak antar tiang yang bervariasi. Kesimpulannya bahwa tiang pada sudut menanggung beban lebih besar dari yang di tengah dan distribusi gaya untuk masing-masing tiang semakin merata serta lendutan yang terjadi makin kecil dengan bertambahnya jarak antar tiang.

**Kata Kunci:** lendutan, monotonik, gaya lateral, pondasi tiang

**ABSTRACT:** This research begins with the discussion on single pile because it is basic interaction of inter two piles. The research will be developed to analyze the pile foundation group by using elastic and simplified methods. Both methods are applied for different load and different distances. It can conclude that : (1) the pile on the corner gets greater load than the one in the middle (2) the distribution of force for each pile will be the same and the deflection will become smaller.

**Keyword:** deflection, monotonic, lateral force, pile foundation

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Untuk bangunan tinggi perlu dijamin keamanannya baik itu kestabilan konstruksi bangunan maupun pondasi bangunan tersebut. Khusus untuk bangunan tinggi pondasi Dangkal tidak mungkin lagi, sehingga digunakan pondasi tiang pancang sebagai alternatif pemilihan pondasi yang harus memenuhi syarat kestabilan suatu konstruksi yang ditinjau dari pembebanan vertikal, lateral dan momen yang bekerja pada pondasi tersebut.

Untuk perencanaan pondasi tiang pancang terhadap gaya lateral, kriteria perencanaan tidak saja terletak pada kapasitas gaya lateral dan mutu dari tiang pancang tersebut, tetapi

yang paling penting adalah maksimum lendutan horisontal yang akan menjadi masalahnya. Besarnya lendutan horisontal tergantung pada model struktur di atasnya, dimana lendutan horisontal bertoleransi lebih besar pada bangunan yang tidak terlalu tinggi tetapi toleransi akan lebih kecil untuk bangunan yang lebih tinggi, karena semakin tinggi bangunan maka efek gaya horisontal semakin berpengaruh. Pada konstruksi bangunan tinggi, kemampuan dari pondasi tiang dan tanah sebagai media untuk menahan beban horisontal dan momen sering menjadi faktor utama yang menentukan kestabilan atau kegagalan dari bangunan di atasnya. Jadi interaksi tanah terhadap tiang akibat gaya horisontal merupakan salah satu faktor utama.

Adapun secara teoritis diketahui bahwa kegagalan suatu pondasi tiang terhadap beban lateral dan momen pada umumnya disebabkan oleh dua hal yaitu :

1. Beban yang bekerja menyebabkan kegagalan struktural pondasi tiang itu sendiri (terjadi momen maksimum yang lebih besar dari momen kapasitas tiang). (Poulos, 1980)
2. Beban lateral yang bekerja mengakibatkan kegagalan tanah di sekitar pondasi tiang tersebut, yang mengakibatkan timbulnya lendutan lateral yang melampaui batas ijin, kegagalan ini disebabkan terlampauinya daya dukung tanah terhadap gaya horisontal.

Sifat-sifat parameter tanah ini sangat beraneka ragam, mempunyai kelakuan khusus dan berbeda terhadap masing-masing jenis pondasi tiang seperti : tiang pancang baja, tiang bor, tiang prestres dan lain-lain, maka kita harus menganalisa pondasi tiang dan tanah satu kesatuan sistem yang saling berinteraksi. Secara umum pondasi tiang pemikul beban lateral pada pondasi tiang kelompok ini, dalam penelitian ini pondasi dalam bentuk kelompok tiang dengan didahului pembahasan tentang tiang tunggal, yang merupakan analisa awal terhadap dua tiang dan ini dijadikan pedoman superposisi untuk tiang yang lebih banyak.

### Identifikasi

Berdasarkan latar belakang permasalahan yaitu pondasi tiang kelompok maka dapat didefinisikan beberapa masalah sebagai berikut:

- Bagaimana pendistribusian gaya literal yang terjadi pada masing-masing tiang dalam kelompok tiang?

- Bagaimana lendutan horizontal yang terjadi akibat beban horizontal secara monotonik pada pondasi tiang gabungan?
- Apakah ada pengaruh lendutan horisontal yang terjadi akibat perubahan jarak antara tiang pada pondasi tiang gabungan?

### Pembatasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi di atas maka penganalisaan tentang pondasi tiang gabungan ini akan dibatasi kepada:

- Penganalisaan ini hanya dilakukan dengan dua metode yaitu: metode elastis dan metode penyederhanaan (gabungan metode elastis dengan metode kurva P-Y)
- Pembahasan hanya pada pondasi tiang gabungan 3 x 3 (9 buah tiang yang masing-masing jaraknya sama)
- Pondasi tiang gabungan ini hanya menerima beban horisontal statik yang bertambah sedikit demi sedikit, bukan beban dinamik.
- Pondasi tiang gabungan dianggap kuat untuk menahan beban vertikal.
- Pondasi tiang yang di analisa adalah tiang dengan kepala terjepit.

### Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi dan pembatasan masalah maka perumusan masalah adalah :

1. Bagaimana hubungan antara pembebanan dengan lendutan tiang gabungan yang disebabkan oleh pembebanan gaya horizontal secara mononik
2. Apakah dengan merubah jarak antara tiang pada pondasi tiang gabungan yang akan didapat grafik seperti point 1 dan 2

pondasi tersebut masih dapat memenuhi syarat.

## LANDASAN TEORI DAN KERANGKA BERFIKIR

### Gaya Lateral Terhadap Tiang Pancang

Analisa gaya lateral pada pondasi tiang merupakan salah satu analisa yang dibutuhkan dalam mengoreksi lendutan horisontal pada pondasi tiang, jadi pada analisa ini gaya lateral dan momen yang terjadi pada kepala tiang bukanlah menjadi masalah yang utama, melainkan lendutan akibat gaya lateral dan momen yang diperhitungkan sehingga diharapkan lendutan yang terjadi cukup kecil.

Pada analisa ini diperhitungkan terjadi pada :

#### 1. Macam-macam kondisi kepala tiang.

- Kepala tiang merupakan kepala terjepit (*fixed headed piles*).

Dimana kepala-kepala tiang ini diikat pada poer sehingga menjadi satu kesatuan, lendutan yang terjadi pada seluruh tiang adalah sama.

- Kepala tiang merupakan kepala bebas (*free head piles*)

Dalam analisa pondasi tiang gabungan ini kepala tiang bebas tidak dibahas.

#### 2. Kondisi tanah yang ada :

- Tanah seragam (*uniform*)
- Tanah tidak seragam (*non uniform*)

Mekanisme keruntuhan tiang akibat gaya lateral pada Pondasi tiang pada tanah kohesif. Untuk tiang pada tanah kohesif Brom (1964) memberikan beberapa asumsi sebagai dasar penyederhanaan hitungan, yaitu :

- Tekanan tanah ultimit yang terjadi adalah:  
 $P_u = 9 C_u$
- Distribusi tekanan tanah dari muka tanah sampai pada kedalaman 1.5 d, diasumsikan = 0, dan dibawah kedalaman ini mempunyai harga yang konstan yaitu :  
 $9 C_u$ .
- Daya dukung tanah pada ujung bawah tiang diabaikan.

### Analisa Gaya Lateral pada Tiang Tunggal

Pada analisa tuang tunggal ini dibahas metode Elastis, metode Kurva  $p - y$ , metode Penyederhanaan. Pada analisa ini yang menjadi dasar pembahasan gaya lateral pada pondasi tiang adalah persamaan deferensial momen (Timoshenko dan Mac Cullough, 1949), persamaan itu adalah sebagai berikut:

$$(EI) \frac{d^2 y}{dx^2} = M$$

dimana :

E = Modules elastis balok

I = Momen inersia balok

y = Lendutan literal balok

x = Jarak sepanjang aksial balok

M = momen balok terhadap sumbu x

Persamaan di atas dirumuskan dimana balok terletak pada pondasi elastis tanah, sehingga didapat persamaan sebagai berikut:

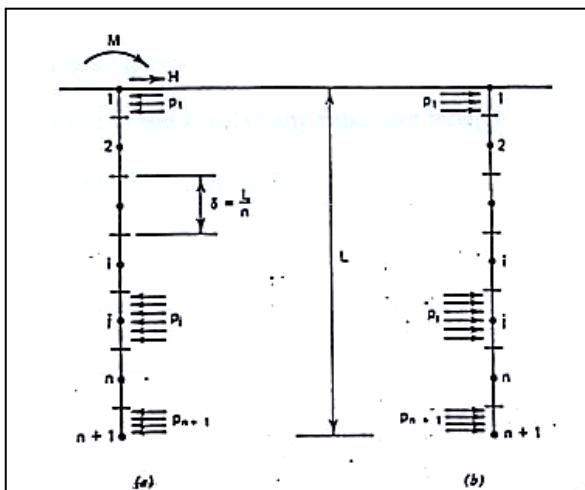
$$(EI) \frac{d^4 y}{dx^4} = p$$

dimana :

p = Reaksi tanah persatuan panjang balok

### Metode Elastis

Analisa tiang pancang dengan metode Elastis ini, tanah diasumsikan sebagai media homogen, isotropis yang terdiri dari material elastis. Dimana tiang tersebut diasumsikan sebagai tiang vertikal yang tipis dengan lebar  $d$  dan panjang  $L$ , dengan menganggap bahwa seluruh tiang yang tertanam di bagi menjadi elemen-elemen, setiap elemen dengan panjang  $S$ , kecuali ujung atas dan ujung bawah adalah sepanjang  $\frac{1}{2}\delta$ . Diperlihatkan pada gambar 1



Gambar 1. Gaya yang terjadi pada tiang tunggal dibebani gaya horisontal (Paolos 1980)

Sedangkan lendutan yang terjadi diasumsikan di tengah elemen besarnya adalah :

$$y_s = \frac{d}{E_s} (I_s) \{p\}$$

dimana :

$y_s$  = Matrik kolom  $(n + 1, 1)$  dari lendutan horisontal tanah

$P$  = Gaya horisontal yang bekerja

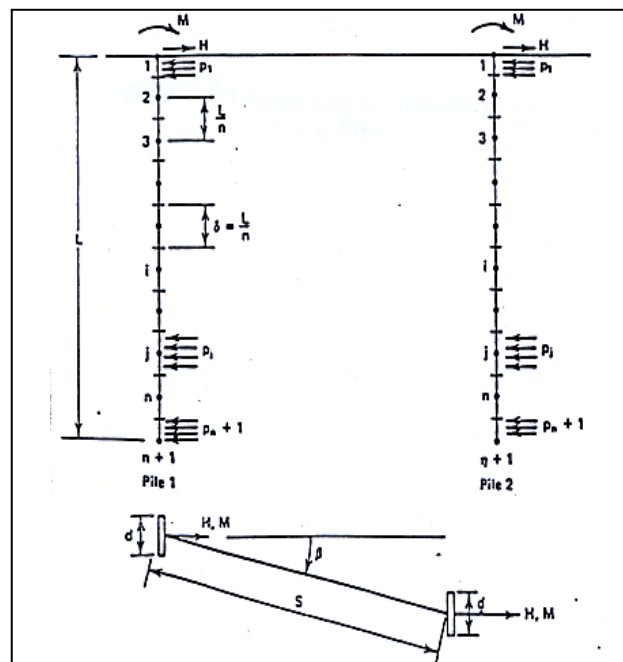
$I_s$  = Matrik  $(n + 1, n + 1)$  dari faktor pengaruh lendutan tanah

$E_s$  = Modulus young tanah

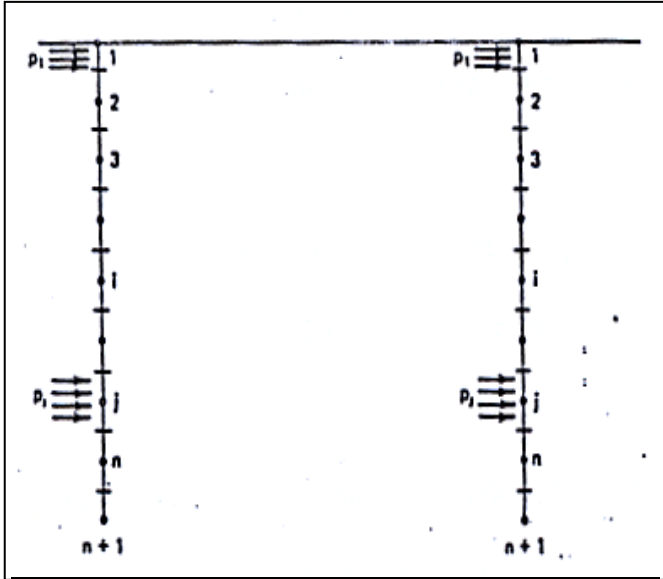
Elemen  $I_{ij}$  dan  $I_s$  dihitung dari integral dari seluruh ruas tiang dengan cara Madlin. Persamaan ini dapat digunakan dalam perhitungan untuk  $E_s = \text{konstan}$  maupun tidak konstan. Untuk  $E_s$  tidak konstan,  $E_s$  diambil dari setiap titik-titik elemen yang dihitung dari titik 2 sampai titik  $n$ , dengan persamaan.

### Analisa Interaksi Dua Tiang

Dua buah tiang yang identik, sama-sama dibebani dan tiap-tiap tiang dibagi atas elemen-elemen dengan panjang  $\delta$ , sebagaimana yang telah diterapkan pada analisa tiang tunggal, jarak antara tiang adalah  $S$  dan sudut yang dibentuk oleh garis gaya dengan garis tiang adalah  $\beta$ . Untuk gaya dan tekanan yang bekerja pada interaksi dua tiang (Paolos, 1980) dapat dilihat pada gambar 2, kemudian tekanan yang bekerja pada tanah (Paolos, 1980) dilihat pada gambar 3.



Gambar 2 Gaya dan tekanan yang bekerja pada interaksi dua tiang (Paolos, 1980)



Gambar 3. Tekanan yang bekerja pada tanah (Paolos, 1980)

Untuk kondisi elastis berlaku displesmen horisontal pada tiang dan tanah adalah sama. Pada analisa interaksi yang diperhitungkan adalah pergerakan horisontal dari satu tiang akibat pergerakan tiang yang lain, beban dan pergerakan berada pada arah yang sama. Defleksi tanah sepanjang tiang pertama dapat ditulis :

$$Y_s = \frac{d}{E_s} (I_1 + I_2) \{P\}$$

#### Karakteristik dari pondasi tiang

1. Semua harga  $\alpha$  menurun dengan seiring bertambahnya jarak dan besarnya sudut dimana  $\beta = 0$  sampai dengan  $\beta = 90^\circ$ .
2. Semua harga  $\alpha$  bertambah seiring dengan bertambahnya  $L/d$ .

3. Semua harga  $\alpha$  bertambah seiring dengan bertambahnya faktor kekakuan tiang  $K_r$
4. Untuk tiang kepala bebas faktor interaksi untuk momen adalah lebih kecil daripada untuk beban horisontal

Pengaruh modulus tanah bertambah secara linier dengan kedalaman yang semakin bertambah pula, pada interaksi dua tiang, faktor interaksi cenderung berkurang untuk  $W_s$  bertambah secara linier dari pada  $E_s$  konstan dalam gambar dapat dipergunakan dengan anggapan  $K_r = K_n$ .

#### Hipotesis

1. Tiang-tiang luar pada pondasi tiang kelompok akan mendapat beban terbesar dan tiang tengah akan mendapat beban terkecil akibat beban horisontal yang diberikan pada pondasi tiang gabungan tersebut.
2. Distribusi beban akibat beban horisontal tersebut akan semakin merata dan bertambah seiring dengan bertambahnya jarak antar tiang dalam pondasi tiang gabungan tersebut.
3. Semakin besar gaya lateral yang diberikan atau yang ditanggung oleh pondasi tiang gabungan tersebut maka lendutan yang terjadi akan semakin besar pula.

#### METODOLOGI PENELITIAN

##### Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan pengolahan data-data yang diperoleh dari contoh-contoh soal yang didapat dari buku-buku referensi yang mendekati keadaan di lapangan dan kemudian dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang semaksimal mungkin agar tercapai tingkat

ketelitian yang tinggi. Untuk memperoleh besarnya lendutan horisontal yang terjadi dengan menggunakan metode-metode perhitungan yang telah dibahas, kemudian dibandingkan untuk mengetahui perbedaan yang didapat dari kedua metode di atas.

## DESKRIPSI DATA DAN HASIL PENELITIAN

### Deskripsi Data

Dalam deskripsi data ini dilakukan perhitungan untuk lendutan pada tanah lempung dan pada tanah pasir.

Tipe tanah lempung

Pondasi adalah tiang beton (40 cm x 40 cm)

Panjang tiang 20 meter dan ujung atas terjepit.

Lebar tiang 40 cm.

$$\begin{aligned} \sigma'_{bk} &= 500 \text{ kg/cm}^2 \\ E_s &= 170 \text{ kg/cm}^2 \\ E_p &= 19000 \times \sqrt{\sigma'_{bk}} = 4.25 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2 \\ C_u &= 0.25 \text{ kg/cm}^2 \\ S_u &= 0.8 \text{ kg/cm}^2 \\ \epsilon_{50} &= 0.01 \text{ kg/cm}^2 \\ m &= 0.683 \text{ dan } n = -0.22 \\ V_s &= 0.5, F = 1.0 \end{aligned}$$

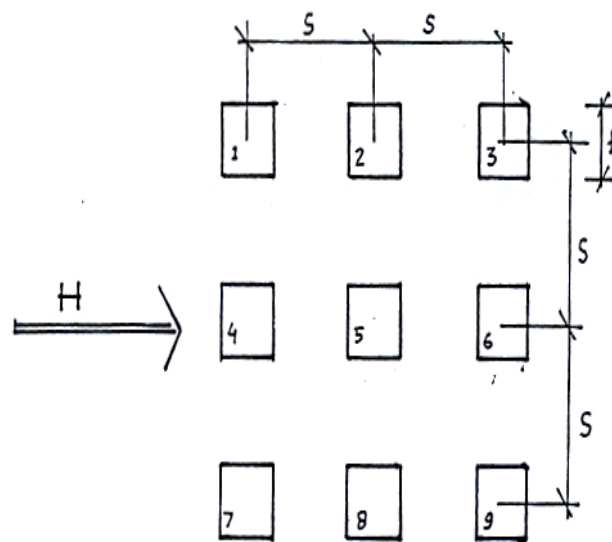
Beban lateral adalah : 20 ton; 40 ton, 60 ton, 80 ton, 100 ton.

Jarak antar tiang adalah : 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m.

### HASIL PERHITUNGAN.

Hasil perhitungan lendutan tiang diperoleh dengan dua cara seperti yang diuraikan pada teori yaitu teori Elastis dan teori

Penyederhanaan Perhitungan Gaya Horisontal. Hasil perhitungan yang telah didapat pada analisa ini akan dibuat dalam bentuk tabel, dan kemudian digambarkan kedalam bentuk grafik, Penulis memberikan beban adalah : 20 ton, 40 ton, 60 ton, 80 ton dan 100 ton sedangkan jarak antar pondasi adalah : 1.0 meter, 1.5 meter dan 2.0 meter.



Kelompok A (tiang 1, 3, 7 dan 9)

Kelompok B (tiang 2 dan 8)

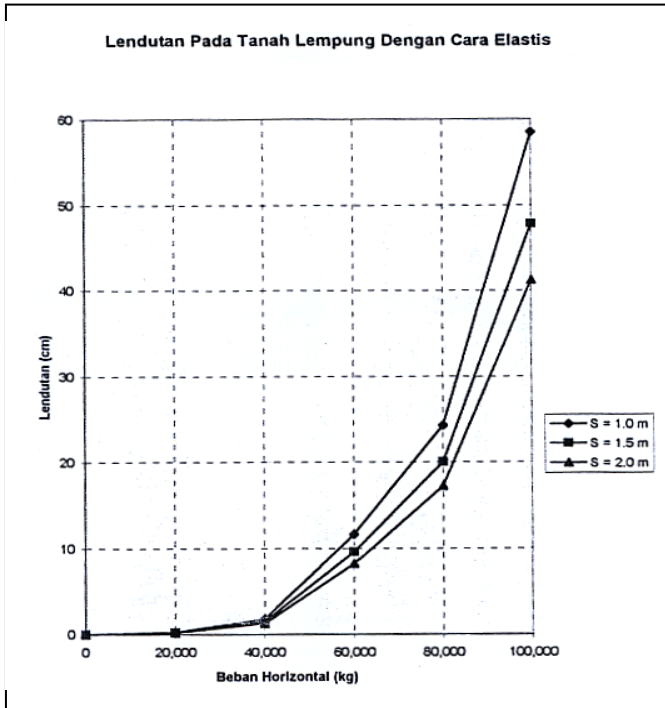
Kelompok C (tiang 4 dan 6)

Kelompok D (tiang 5)

Pada penulisan ini yang ditampilkan hanya pada tanah lempung, sedangkan untuk pasir metodenya sama

Tabel 1. Lendutan pada Tanah Lempung dengan Cara Elastis

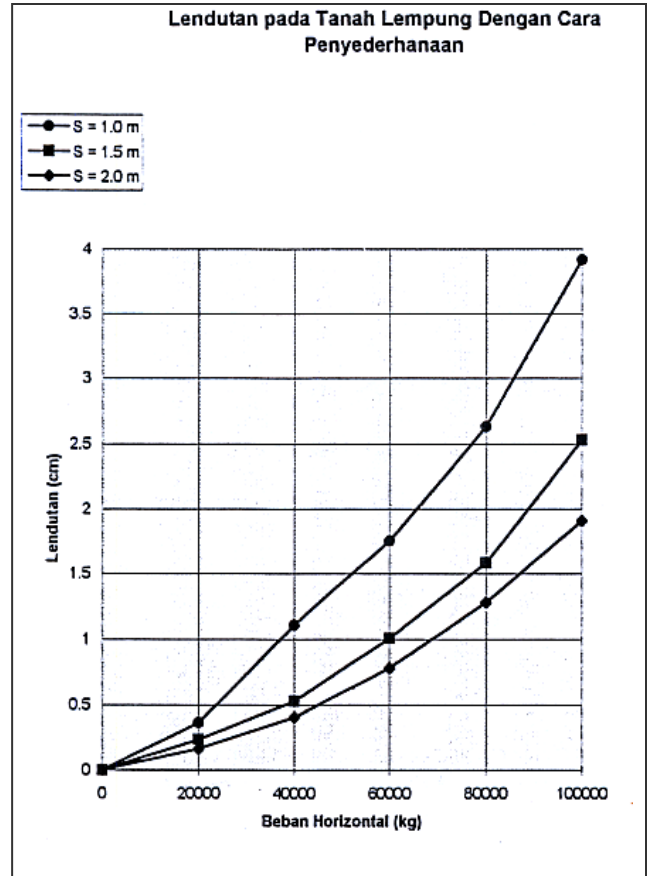
No	Beban Horizontal	Lentutan yang terjadi (cm)		
		S = 1.0 m	S = 1.5 m	S = 2.0 m
1	0	0	0	0
2	20	0.252	0.208	0.178
3	40	1.798	1.488	1.274
4	60	11.62	9.578	8.234
5	80	24.267	20.004	17.195
6	100	58.5	47.822	41.216



Grafik 1. Lentutan pada Tanah Lempung dengan Cara Elastis

Tabel 2. Lentutan pada Tanah Lempung dengan Cara Penyederhanaan

No	Beban Horizontal	Lentutan yang terjadi (cm)		
		S = 1.0 m	S = 1.5 m	S = 2.0 m
1	0	0	0	0
2	20	0.368	0.234	0.164
3	40	1.108	0.533	0.409
4	60	1.75	1.007	0.781
5	80	2.63	1.581	1.28
6	100	3.917	2.53	1.909



Grafik 2. Lentutan pada Tanah Lempung dengan Cara Penyederhanaan

### Analisa Distribusi Gaya

Dalam analisa distribusi gaya pada masing-masing tiang maka dapat dikategorikan atas empat kelompok kecil bang ymtu

- Kelompok tiang A (tiang 1, 3, 7 dan 9)
- Kelompok tiang B (tiang 2 dan 8)
- Kelompok tiang C (tiang 4 dan b)
- Kelompok tiang D (tiang 5 }

Untuk distribusi gaya yang diterima oleh masing-masing tiang untuk tiap kelompok adalah sama.

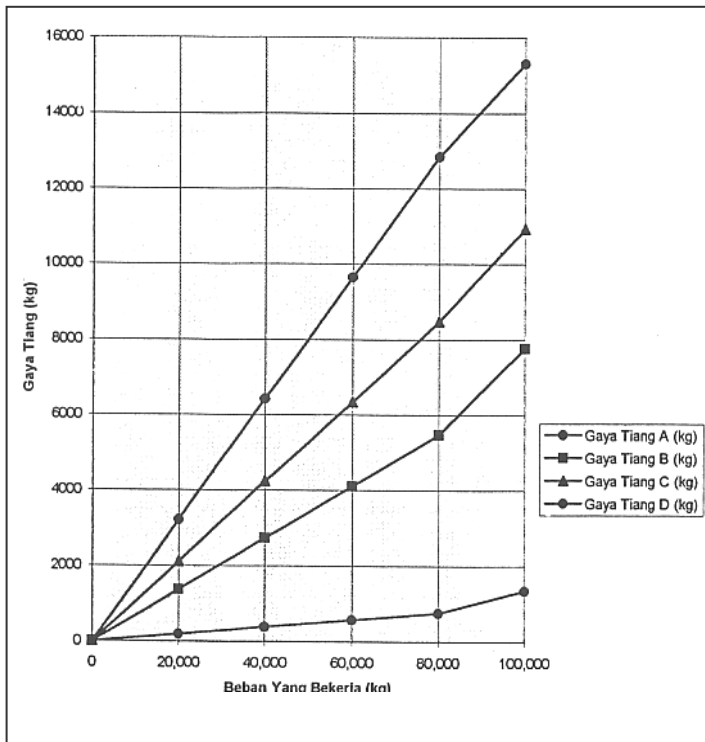
### Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan distribusi beban pada pondasi tiang kelompok ini akan dibuat dalam bentuk tabel dan digambarkan kedalam bentuk grafik, sehingga dapat dilihat perbedaan dan distribusi gaya yang terjadi pada masing-masing tiang menurut pembebanan dan perubahan jarak antar tiang.

Tabel 3. Distribusi Gaya Tiang pada Tanah Lempung untuk S = 1.0 m

No	Beban yang Bekerja (kg)	0	20	40	60	80	100
1	Gaya Tiang A (kg)	0	3210.6	6421.3	9631.9	12842	15312.8
2	Gaya Tiang B (kg)	0	1368.3	2736.6	4104.9	5473.4	7770.1
3	Gaya Tiang C (kg)	0	2115	4230.2	6345.2	8460.2	10929.4
4	Gaya Tiang D (kg)	0	190.6	381.1	571.7	762.3	1349.8

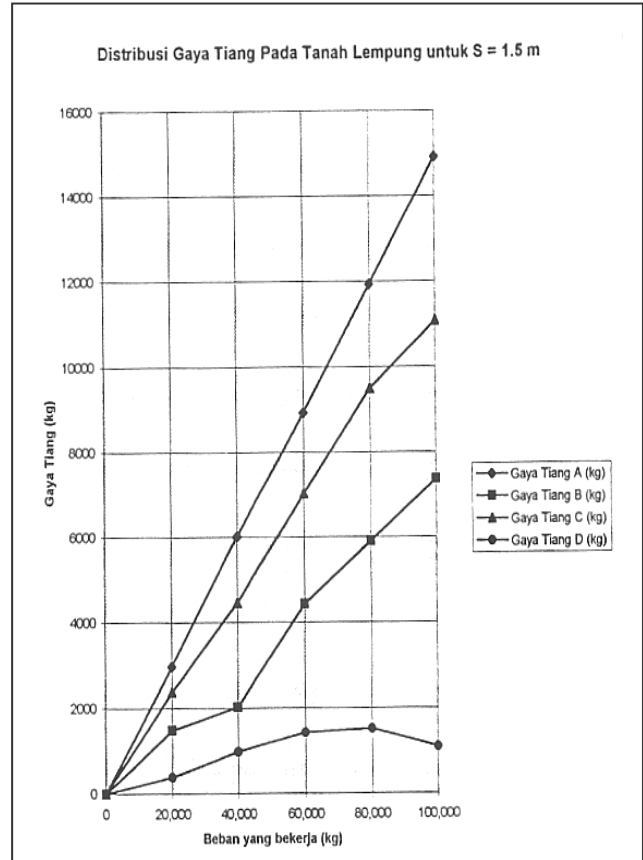
Distribusi Gaya Tiang Pada Tanah Lempung Untuk Jarak S = 1.0 M



Grafik 3. Distribusi Gaya Tiang pada Tanah Lempung untuk S = 1.0 m

Tabel 4. Distribusi Gaya Tiang pada Tanah Lempung untuk S = 1.5 m

No	Beban yang Bekerja (kg)	0	20	40	60	80	100
1	Gaya Tiang A (kg)	0	2974.8	6014.3	8919.4	11932	14913.7
2	Gaya Tiang B (kg)	0	1484.2	2023.4	4427.2	5895.5	7367.1
3	Gaya Tiang C (kg)	0	2373.5	4456.3	7019.3	9481.3	11085
4	Gaya Tiang D (kg)	0	385	982.99	1429	1516.4	1095.5



Grafik 4. Distribusi Gaya Tiang pada Tanah Lempung untuk S = 1.5 m

### KESIMPULAN

1. Tiang-tiang sudut menanggung beban lebih besar dari tiang-tiang lainnya.
2. Tiang tengah mendapat beban yang paling kecil.



3. Distribusi beban akan semakin merata dengan bertambahnya jarak antara tiang dalam pondasi gabungan.
4. Lendutan semakin kecil dengan bertambahnya jarak antara tiang dalam pondasi bang gabungan.
5. Jarak yang ideal adalah apabila lendutan yang terjadi tidak melebihi persyaratan yang telah diizinkan.

Paolos, H.G, *Behavior of Laterally Loaded Piles*, J.S.M.F.D, ASCE vol 97, 1971

Paolos, H.G, *Load Deflections Prediction for Laterally Loaded Piles*, Australian Geomekanies, Journal, 1973.

Paolos, H.G. & Davis, E.H., *Pile Foundation Analysis and Design*, McGraw Hill, 1980.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Bowless, J.E, *Foundations Analysis and Design*, McGraw Hill, 1968