

BEHAVIOR GROUPS OF PILE TO VARIATION OF AXIAL OR LATERAL LOAD USE SOFTWARE PLAXIS 2D ON SOFT SOIL

by Musta'in Arif^a

ABSTRACT

Refer to Journal "Numerical Analyses of Load Tests on Bored Piles, 2004" From the research results we can obtained that the conclusion from the Mohr Coulomb material model is more rigid than hardening material model, and the Soft Soil material model is more rigid than Mohr Coulomb material model. It is because there are difference from the formula that used in each methods. This final task goal is to compare some of configuration form of the pile group, in which consist of 2, 3, 4, 6, and 8 piles at one configuration with the distance between 2ϕ and 4ϕ to keep the axial or lateral load using software Plaxis 2D with material model: Mohr Coulomb, Hardening and Soft Soil. Based on calculation results using Plaxis 2D obtained result that the distance's changes between piles will cause the addition from the ability of piles to keep axial and lateral load for same load. Then the distance's changes between piles can reduce the decrease and deflection from piles. This study of the threematerialmodels, namely MohrCoulomb, Hardening, SoftSoil has the results of the analysis with the difference ranging from 0-1%.

KEYWORDS: axial load; group of pile; hardening; lateral load; mohrcoulomb; Plaxis 2D; soft soil.

PENDAHULUAN

Pada penelitian M. Wehnert, dan P.A. Vermeer dengan judul artikel, *Numerical Analyses of Load Tests on Bored Piles*.¹ melakukan penelitian analisa tiang pancang antara beban dan penurunan dengan efek elemen antarmuka.

Dari hasil penelitiannya didapat kesimpulan bahwa model material Mohr Coulomb lebih kaku dari pada model material Hardening, dan model material Soft Soil lebih kaku lagi dari model material Mohr Coulomb. Hal ini karena perbedaan dari pengklasifikasian tanah yang dipakai dari masing – masing model tersebut.

Dengan mengacu pada penelitian tersebut, penelitian ini membandingkan beberapa bentuk konfigurasi dari tiang pancang kelompok, yang terdiri dari 2, 3, 4, 6, dan 8 tiang pancang dalam satu konfigurasi dengan jarak antar tiang pancang antara 2ϕ sampai 4ϕ (ϕ =diameter), dalam menahan beban aksial atau lateral. Studi ini menggunakan bantuan program dalam pengerjaannya yaitu Plaxis 2D dengan model material Mohr Coulomb, Hardening dan Soft Soil. Dari hasil tersebut dapat dibuat grafik, sehingga dapat diketahui pengaruh penambahan jarak antar tiang pancang terhadap penurunan dan defleksi. Dengan bantuan program ini dapat menghitung kemampuan daya dukung tanah akibat pembebanan gaya aksial atau lateral diatas tanah sangat lunak (*very soft soil – soft soil*) menggunakan pondasi rakit (raft pile) dengan variasi konfigurasi tiang pancang serta kedalaman tiang pancang tetap.

Dari uraian diatas maka permasalahan yang timbul akibat pembebanan gaya aksial atau lateral di atas tanah lunak dengan menggunakan pondasi raft pile adalah :

- Pengaruh jarak antar tiang pancang terhadap daya dukung aksial ?
- Pengaruh jarak antar tiang pancang terhadap daya dukung lateral ?
- Pengaruh jarak antar tiang pancang terhadap penurunan tiang pancang ?
- Pengaruh jarak antar tiang pancang terhadap defleksi tiang pancang ?
- Hasil perhitungan dengan model material Mohr Coulomb, Hardening, dan Soft Soil ?

Tujuan penelitian ini adalah:

- Mengetahui perilaku tiang pancang kelompok akibat perubahan jarak antar tiang pancang terhadap daya dukung aksial ?
- Mengetahui perilaku tiang pancang kelompok akibat perubahan jarak antar tiang pancang terhadap daya dukung Lateral ?
- Mengetahui perilaku tiang pancang kelompok akibat perubahan jarak antar tiang pancang terhadap penurunan tiang pancang ?
- Mengetahui perilaku tiang pancang kelompok akibat perubahan jarak antar tiang pancang terhadap defleksi tiang pancang ?
- Mengetahui hasil perhitungan dengan model material Mohr Coulomb, Hardening dan Soft Soil ?

Berdasarkan permasalahan – permasalahan yang telah di uraikan di atas dan agar tidak menyimpang dari tujuan penelitian, maka dibuat suatu batasan masalah. Batasan – batasan yang perlu dipakai dalam pembahasan penelitian ini adalah:

- Program yang digunakan adalah Plaxis 2D.
- Variasi pembebanan untuk setiap konfigurasi tiang pancang adalah sama.
- Variasi Beban Aksial atau Lateral.
- Penampang tiang pancang yang digunakan adalah lingkaran dengan diameter 45 cm.
- Jarak antar tiang pancang yang digunakan adalah 2ϕ , 3ϕ , 4ϕ (ϕ =diameter).
- Jumlah tiang pancang dalam satu konfigurasi 2, 4, 6 dan 8 tiang pancang.

^aLecturer in the Department of Civil Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS), ITS Campus, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia.

Note. The manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on October 15, 2011. This paper is part of the ITS Journal of Civil Engineering, Vol. 31, No. 2, November 2011. © ITS Journal of Civil Engineering, ISSN 2086-1206/2011.

- Konfigurasi susunan tiang pancang yang digunakan adalah segi – empat.
- Tebal pile cap yang digunakan adalah 60 cm.
- Data tanah yang digunakan diperoleh dari Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan, Jurusan Teknik Sipil, FTSP – ITS, lokasi penyelidikan tanah daerah Kabupaten Gresik, Jawa Timur.
- Kedalaman tiang pancang adalah 15 m.
- Model material yang dipakai dalam program Plaxis 2D adalah *Mohr Coulomb*, *Hardening* dan *Soft Soil*.

LANDASAN TEORI

Daya Dukung Tiang Pancang Perhitungan Daya Dukung Metode Meyerhoff

Daya dukung *ultimate* untuk pasir dari *Meyerhoff* terdiri dari gabungan antara daya dukung ujung tiang (point bearing) dan daya dukung lekatan (lateral friction).

Metode Meyerhoff

$$Q_L = 40 \cdot N_p \cdot A_p + \frac{A_s \cdot N_{av}}{5} \quad (1)$$

modifikasi persamaan WIKA

Dimana :

- Q_L = Daya dukung tanah maksimum (ton)
- N = Harga SPT di dasar Pondasi
- N_{av} = Harga N rata – rata disepanjang tiang yang terbenam
- A_p = Luas tiang pancang (m^2)
- A_s = Luas selimut tiang pancang tertanam (m^2)

Perhitungan Daya Dukung Metode Luciano DeCourt

Daya dukung *ultimate* dari tanah dasar dalam metode Luciano DeCourt terdiri dari daya dukung ujung tiang (point bearing) dan daya dukung lekatan (lateral friction).
Metode Luciano Decourt

$$Q_L = \alpha \cdot N_p \cdot K \cdot A_p + \beta \cdot \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \cdot A_s \quad (2)$$

Sumber: (Daya Dukung Pondasi Dalam)²

Dimana :

N_p = Harga rata – rata SPT sekitar 4B diatas sampai 4B dibawah dasar tiang pondasi (B = diameter pondasi)

K = koefisien karakteristik tanah:

- 12 t/m^2 untuk lempung
- 20 t/m^2 untuk lanau berlempung
- 25 t/m^2 untuk lanau berpasir
- 40 t/m^2 untuk pasir

α = 1 (untuk *driven pile* pada kondisi tanah lempung)

β = 1 (untuk *driven pile* pada kondisi tanah lempung)

N_s = Harga rata – rata sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan : $3 \leq N \leq 50$

Efisiensi Kelompok Tiang

Persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang adalah sebagai berikut :

Converse – Labarre

$$E_g = 1 - \theta \frac{n-1 \ m + \ m-1 \ n}{90mn} \quad (3)$$

Sumber: (Daya Dukung Pondasi Dalam)²

Dengan :

- E_g = Efisiensi kelompok tiang
- θ = arc tg d/s , dalam derajat
- m = Jumlah baris tiang
- n = Jumlah tiang dalam satu baris
- d = Diameter tiang
- s = Jarak pusat ke pusat tiang

Penurunan Tiang Pancang Kelompok

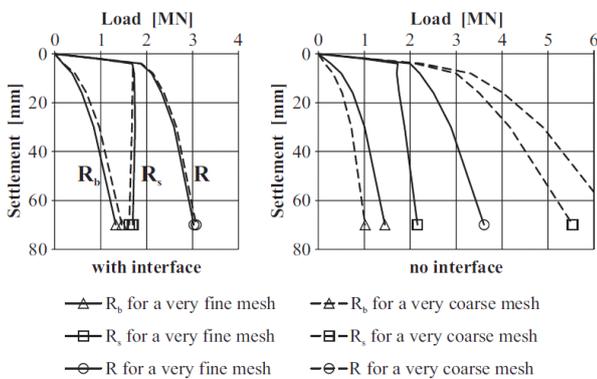
Karena penurunan dipengaruhi mekanisme pengalihan beban, maka penyelesaian untuk perhitungan penurunan hanya bersifat pendekatan.

Persamaan untuk menghitung penurunan tiang pancang kelompok adalah sebagai berikut :

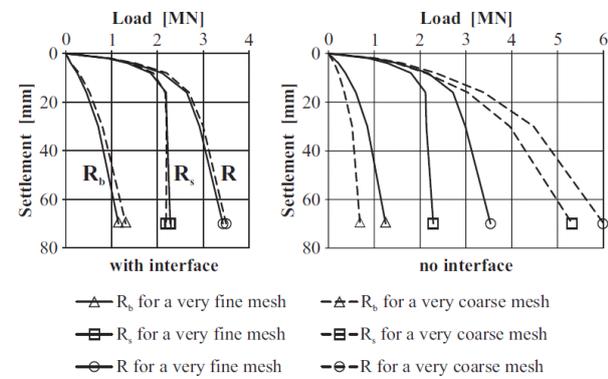
$$\Delta \sigma_i = \frac{Q_g}{B_g + z_i \ L_g + z_i} \quad (4)$$

(Principle of Foundations Engineering, sixth edition, Braja M.Das)³

Dimana :



(a) MC model



(b) HS model

Gambar 1.1 Hasil Perhitungan Antar Interface Dengan Penurunan untuk (a) MC model dan (b) HS model

- $\Delta\sigma_i$ = Tegangan efektif tanah pada lapisan ke-I (kN/m²)
- L_g, B_g = Panjang dan lebar dari tiang pancang kelompok (m)
- z_i = Jarak dari titik $z=0$ ke tengah lapisan I (m)

$$\Delta s_{ci} = \frac{C_{ci} \cdot H_i}{1 + e_{0i}} \log \left[\frac{\sigma'_{0i} + \Delta\sigma'_i}{\sigma'_{0i}} \right] \quad (5)$$

(Principle of Foundations Engineering, sixth edition)³

Dimana:

- ΔS_c = Penurunan tanah (m)
- C_c = Index pemampatan
- e = angka pori

Kemampuan Daya Dukung Lateral

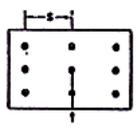
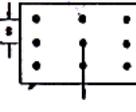
Perilaku tiang pancang yang berada secara kelompok berbeda dengan tiang pancang tunggal apabila dikenai beban lateral. Perbedaan dapat disebabkan oleh dua hal berikut:

1. Rotasi yang terjadi pada hubungan pile cap dan tiang pancang.
2. Tambahan tahanan lateral yang disebabkan oleh pile cap.

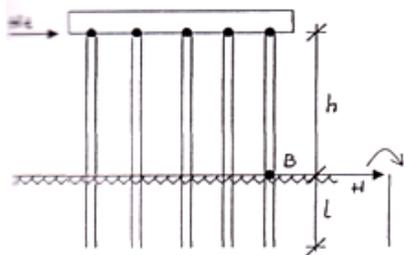
Besarnya gaya horizontal maksimum yang bekerja di ujung sebuah tiang pancang dapat dicari dengan persamaan (Tomlinson):

- Kepala Tiang Bebas : $H_u = Mu / (e + Zf)$
- Kepala Tiang Tertahan : $H_u = 2Mu / (e + Zf)$

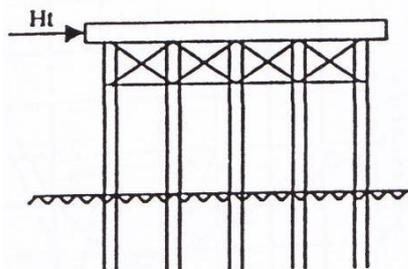
Tabel 1. Efisiensi Kapasitas Lateral

Jarak tegak lurus pada Arah Beban	Efisiensi dari setiap tiang berikut dalam baris
4D 3D 2D  Arah Beban Denah Kelompok Tiang	100% 50% 25%
Jarak sejajar terhadap arah beban	Efisiensi dari setiap tiang berikut dalam baris
8D 6D 5D 4D 3D  Arah Beban Denah Kelompok Tiang	100% 70% 55% 40% 25%

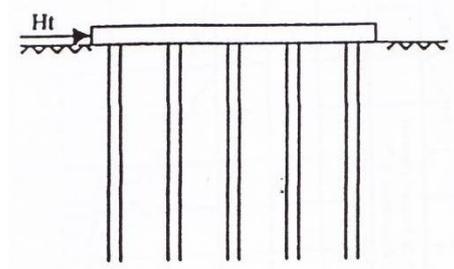
(BMS6-M.81 – Perencanaan Teknik Jembatan)⁴



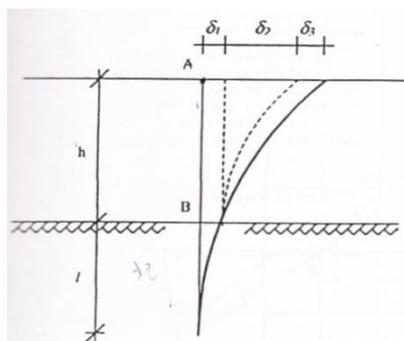
Gambar 2.1 Kondisi 1



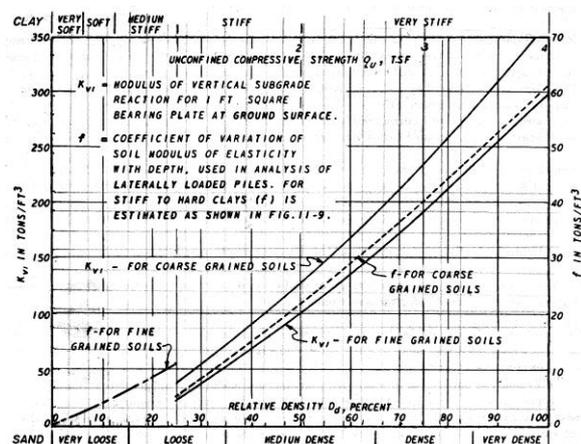
Gambar 2.2 Kondisi 2



Gambar 2.3 Kondisi 3



Gambar 2.4 Perubahan lateral kepala tiang



Gambar 2.5 Grafik Nilai f (BMS6-M.81, Perencanaan Teknik Jembatan)⁴

Faktor Kekakuan $T = 5 \sqrt{\frac{E \cdot I}{n_h}}$ (6)

Sumber: (Daya Dukung Pondasi Dalam, Dr. Ir. Herman Wahyudi)²

Z_f = 1,8.T, untuk normally consolidated clay dan granular soil.

Dengan:

Z_f = Titik jepit tiang

T = Faktor Kekakuan

Nilai n_h untuk soft normally-consolidated clays = 350 s/d 700 kN/m² dan soft organic silts = 150 kN/m²

E = modulus elastis YOUNG tiang

I = momen inersia

M_u = momen retak tiang pancang

Reduksi Beban Lateral Untuk Pengaruh Kelompok

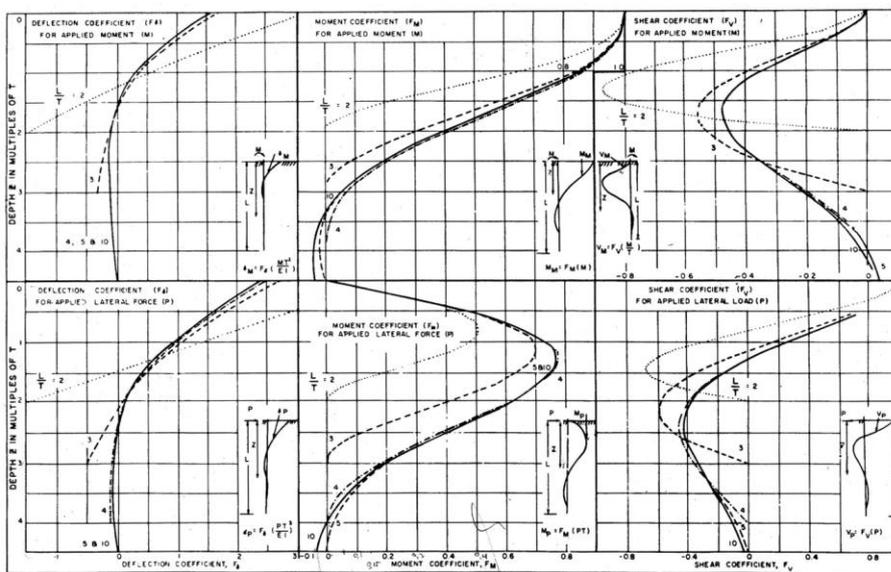
Akibat kelipatan lengkung konsentrasi tegangan didepan suatu tiang yang dibebani lateral, rencana kapasitas lateral ultimate tiang direduksi bila jarak antara tiang adalah dekat. Tabel ekivalensi kapasitas lateral dapat dilihat pada Tabel 1.

Deformasi Lateral

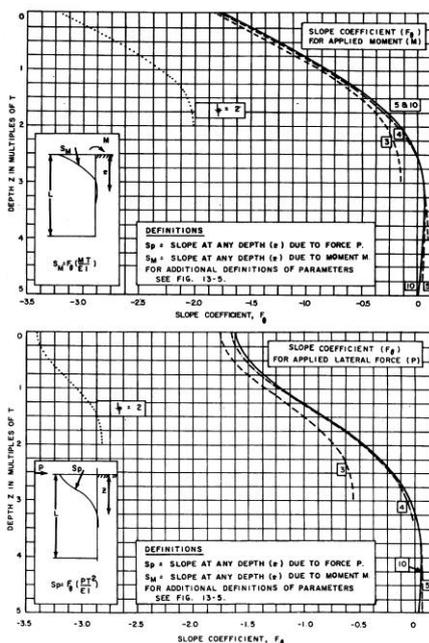
Bila sebuah tiang atau tiang dalam kelompok mendapat beban lateral, maka bagian kepala tiang akan mengalami perubahan tempat lateral. Perubahan tempat lateral tersebut dapat ditentukan menurut kondisi tiang serta beban-beban yang bekerja.

Tiga kondisi tiang dikaitkan dengan hubungan pile cap dan kepala tiang.

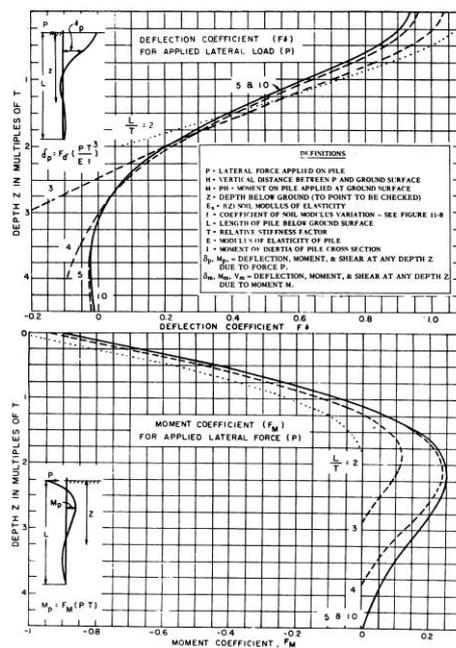
Kondisi 1 : tiang – tiang dengan kondisi “Flexible cap” atau tumpuan sendi.



Gambar 2.6 Grafik Koefisien Defleksi (Kondisi 1) (BMS6-M.81 Perencanaan Teknik Jembatan)⁴



Gambar 2.7 Grafik Koefisien Kemiringan (BMS6-M.81 Perencanaan Teknik Jembatan)⁴



Gambar 2.8 Grafik Koefisien Defleksi (Kondisi 2) (BMS6-M.81 Perencanaan Teknik Jembatan)⁴

Kondisi 2 : tiang – tiang dengan kondisi “Rigid cap” pada permukaan tanah.

Kondisi 3 : tiang – tiang dengan kondisi “Flexible cap” pada suatu ketinggian dari permukaan tanah.

Perubahan tempat lateral dikepala tiang (titik A) ditentukan dengan perumusan –perumusan sebagai berikut:

Akibat gaya geser H dan momen M

$$\delta_1 = F_{\delta 1} \left(\frac{M \cdot T^2}{E \cdot I} \right) + F_{\delta 2} \left(\frac{H \cdot T^3}{E \cdot I} \right) \quad (7)$$

(BMS6-M.81, Perencanaan Teknik Jembatan)⁴

Akibat rotasi di titik B

$$\delta_2 = \left[F_{\theta 1} \left(\frac{M \cdot T}{E \cdot I} \right) + F_{\theta 2} \left(\frac{H \cdot T^2}{E \cdot I} \right) \right] \cdot h \quad (8)$$

(BMS6-M.81 – Perencanaan Teknik Jembatan – 1 Desember 1992)

Akibat lentur tiang BA

$$\delta_3 = \frac{1}{3} \cdot \frac{H \cdot h^3}{E \cdot I} \quad (9)$$

(BMS6-M.81-Perencanaan Teknik Jembatan)⁴

Dimana:

$F_{\delta 1}$ dan $F_{\delta 2}$ = koefisien defleksi

$F_{\theta 1}$ dan $F_{\theta 2}$ = koefisien kemiringan

METODOLOGI

Konfigurasi Tiang Pancang

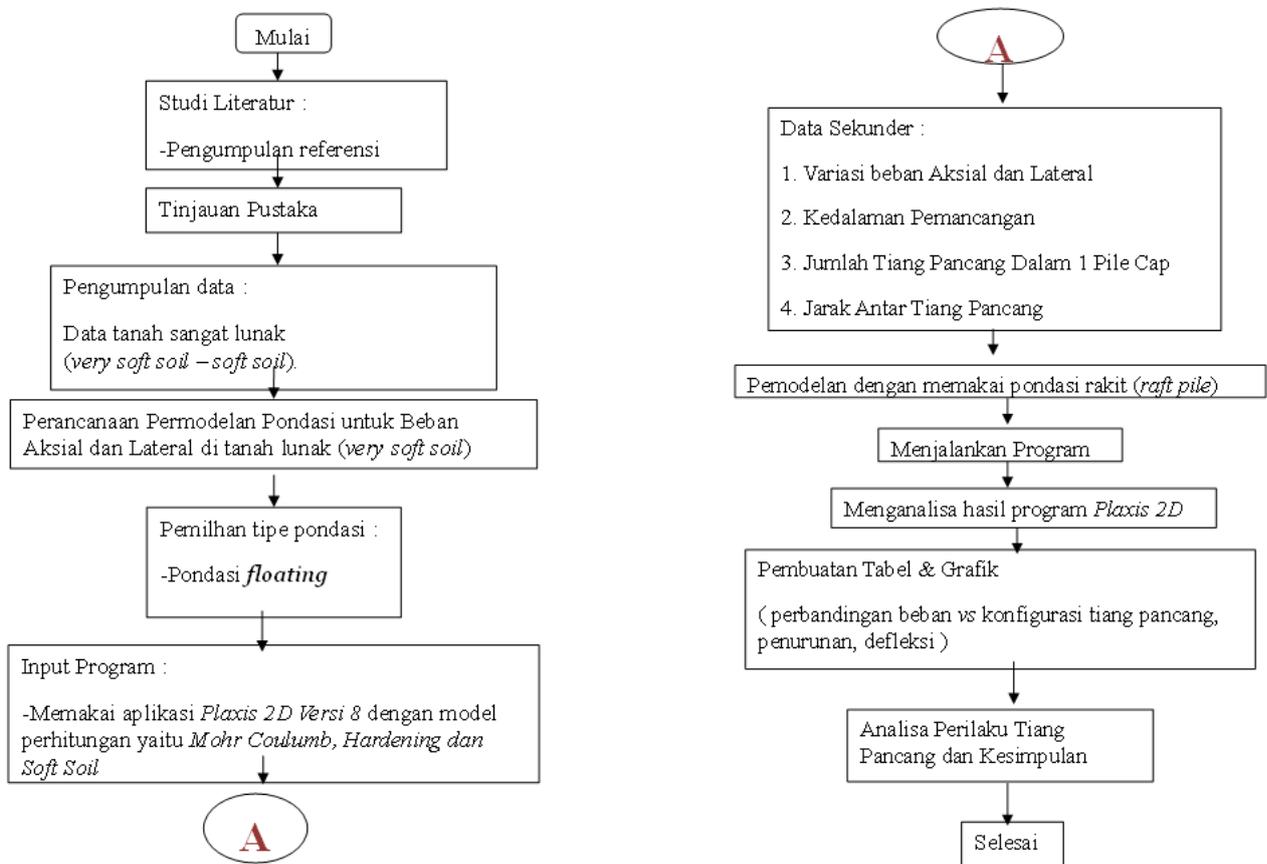
Dalam pengerjaan Penelitian ini, konfigurasi tiang pancang kelompok yang di analisa adalah sebagai berikut:

1. Dua buah tiang pancang, pile cap segi – empat, dapat dilihat pada gambar 3.2.
2. Tiga buah tiang pancang, pile cap segi – empat, dapat dilihat pada Gambar 3.3.
3. Empat buah tiang pancang, pile cap segi – empat, perhatikan gambar 3.4.
4. Enam buah tiang pancang, pile cap segi – empat, dapat dilihat pada gambar 3.5.
5. Delapan buah tiang pancang, pile cap segi – empat, dapat dilihat pada gambar 3.6.

Output

Hasil Perhitungan berupa Tabel dan Grafik sebagai berikut:

1. Tabel dan Grafik penurunan vs jarak antar tiang pancang dengan variasi beban aksial.
2. Tabel dan Grafik penurunan vs jarak antar tiang pancang dengan variasi beban lateral.
3. Tabel dan Grafik defleksi vs jarak antar tiang pancang dengan variasi beban aksial.
4. Tabel dan Grafik defleksi vs jarak antar tiang pancang dengan variasi beban lateral.



Gambar 3.1. Diagram alir Penelitian

HASIL DAN ANALISA

Data Tiang Pancang

Tiang pancang yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai parameter – parameter sebagai berikut:

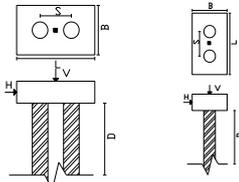
$$\begin{aligned}
 f'c &= 60 \text{ MPa} \\
 E_{pile} &= 4700(f'c)^{0.5} = 3.64 \times 10^6 \text{ ton/m}^2 \\
 \text{Diameter Tiang Pancang } (\varnothing) &= 45 \text{ cm} \\
 \text{Luas Tiang Pancang } (A_p) &= 0,159 \text{ m}^2 \\
 I_{45} &= 2.185 \times 10^{-4} \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

Hasil Perhitungan Daya Dukung Tanah

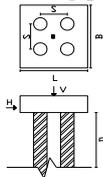
Dengan membandingkan hasil perhitungan daya dukung yang dihasilkan dari dua metode, yaitu Meyerhoff dan Luciano DeCourt, dapat dilihat dari gambar 4.1.

Dari grafik 4.1 terlihat perbedaan hasil perhitungan antara metode Meyerhoff dengan Luciano. Untuk kedalaman :

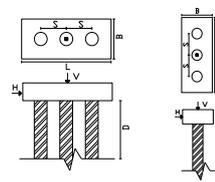
- 1-20m ini disebabkan pada rumus Luciano



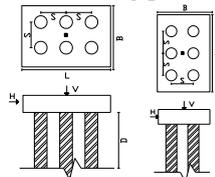
Gambar 3.2 Konfigurasi Tiang Pancang (2 buah tiang pancang)



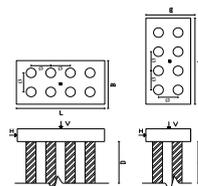
Gambar 3.4 Konfigurasi Tiang Pancang (4 buah tiang pancang)



Gambar 3.3 Konfigurasi Tiang Pancang (3 buah tiang pancang)



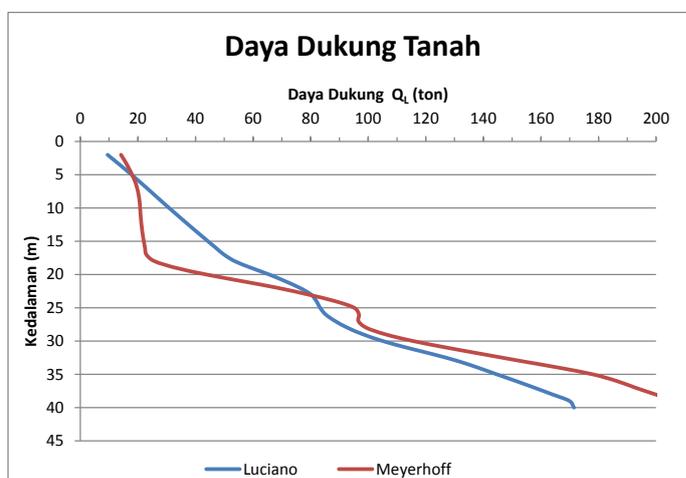
Gambar 3.5 Konfigurasi Tiang Pancang (6 buah tiang pancang)



Gambar 3.6 Konfigurasi Tiang Pancang (8 buah tiang pancang)

DeCourt ada koreksi harga N yaitu $3 \leq N \leq 50$ sehingga menyebabkan besar gaya tahan selimut untuk metode Luciano lebih besar dibandingkan cara Meyerhoff

2. 23-28m ini disebabkan akibat dari rumus untuk tahanan ujung yang dipakai dalam metode Meyerhoff untuk harga $K=40 \text{ t/m}^2$ adalah harga koefisien untuk jenis tanah Pasir, sedangkan untuk Luciano DeCourt sendiri dipakai $K=12 \text{ t/m}^2$ untuk jenis tanah lempung.
3. 36-40m ini disebabkan akibat dari rumus untuk tahanan ujung yang dipakai dalam metode Meyerhoff untuk harga $K=40 \text{ t/m}^2$ adalah harga koefisien untuk jenis tanah Pasir, sedangkan untuk Luciano DeCourt sendiri dipakai $K=12 \text{ t/m}^2$ untuk jenis tanah lempung.



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Metode Meyerhoff Dan Metode Luciano DeCourt

Perhitungan Daya Dukung Kelompok

Dengan memakai rumus efisiensi *converse-labarre* besarnya efisiensi tiang pancang kelompok didapat sebagai berikut:

Efisiensi Tiang Pancang Kelompok Sumbu X dapat melihat Tabel 4.1. Efisiensi Tiang Pancang Kelompok Sumbu Y dapat melihat Tabel 4.2.

Besarnya gaya aksial tiang pancang kelompok setelah pengurangan akibat adanya efisiensi adalah: Daya Dukung Aksial Tiang Pancang Kelompok SbX dapat melihat Tabel 4.3.

Analisa Data Tanah

Setelah dilakukan pengelompokan nilai N, maka dilakukan pembagian lapisan tanah dasar berdasarkan nilai N asli. Hal ini dilakukan untuk mempermudah perhitungan menggunakan program, dalam hal ini Plaxis 2D.⁵

Sehubungan dengan data yang diperoleh hanya berupa nilai N_{SPT} , sehingga besarnya nilai γ_{sat} , e, E, diperoleh dengan cara literasi. korelasi nilai E (Modulus Elastisitas) dapat dilihat pada Tabel 4.5. (Sumber: *Foundation Design Principles and Practices, Donald PE.GE*)

Sedangkan besarnya nilai indeks kompresi (Cc), dan indeks kembang (Cs) diperoleh dengan formula sebagai

berikut:

$$C_c = 0.156 e_0 + 0.0107 ; C_s = \frac{1}{5} C_c \cdot \frac{s}{d} \cdot \frac{1}{10} C_c$$

(Braja M. Das)³

Keterangan :

1. Besarnya harga γ_{sat} , γ_d , γ' , e, E diperoleh dengan cara literasi dengan acuan tabel 4.5, 4.6, 4.7, 4.8.
2. Untuk N_{SPT} kurang dari 4, besarnya harga γ_{sat} diperoleh dengan formula $(0,08 \times N_{SPT}) + 1,47$

Hasil Perhitungan Manual Penurunan Tiang Pancang Kelompok Dan Hasil Perhitungan Manual Defleksi Tiang Pancang Dan Beban Lateral Ultimit (Hu) Tiang Pancang Kelompok

Besarnya penurunan tiang pancang kelompok dapat digunakan rumus empiris dan hasil perhitungan manual defleksi tiang pancang dan beban lateral ultimate (Hu) tiang pancang kelompok, didapat hasilnya sebagai berikut:

Menentukan Defleksi Lateral

Berikut besarnya defleksi akibat adanya gaya lateral adalah sebagai berikut seperti dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Tabel 4.14.

Tabel 4.1 Efisiensi Tiang Pancang Kelompok Sumbu X

Tipe Pondasi	d	S	m	n	θ	$(\frac{\theta}{50})$	Efisiensi	
2 Tiang	2 Ø	45	90	1	2	26.56	0.295	0.852
sb x	3 Ø	45	135	1	2	18.43	0.205	0.898
	4 Ø	45	180	1	2	14.03	0.156	0.922
3 Tiang	2 Ø	45	90	1	3	26.56	0.295	0.803
sb x	3 Ø	45	135	1	3	18.43	0.205	0.863
	4 Ø	45	180	1	3	14.03	0.156	0.896
4 Tiang	2 Ø	45	90	2	2	26.56	0.295	0.705
sb x	3 Ø	45	135	2	2	18.43	0.205	0.795
	4 Ø	45	180	2	2	14.03	0.156	0.844
6 Tiang	2 Ø	45	90	2	3	26.56	0.295	0.656
sb x	3 Ø	45	135	2	3	18.43	0.205	0.761
	4 Ø	45	180	2	3	14.03	0.156	0.818
8 Tiang	2 Ø	45	90	2	4	26.56	0.295	0.631
sb x	3 Ø	45	135	2	4	18.43	0.205	0.744
	4 Ø	45	180	2	4	14.03	0.156	0.805

Tabel 4.2 Efisiensi Tiang Pancang Kelompok Sumbu Y

Tipe Pondasi	d	S	m	n	θ	$(\frac{\theta}{50})$	Efisiensi	
2 Tiang	2 Ø	45	90	2	1	26.56	0.295	0.852
sb y	3 Ø	45	135	2	1	18.43	0.205	0.898
	4 Ø	45	180	2	1	14.03	0.156	0.922
3 Tiang	2 Ø	45	90	3	1	26.56	0.295	0.803
sb y	3 Ø	45	135	3	1	18.43	0.205	0.863
	4 Ø	45	180	3	1	14.03	0.156	0.896
4 Tiang	2 Ø	45	90	2	2	26.56	0.295	0.705
sb y	3 Ø	45	135	2	2	18.43	0.205	0.795
	4 Ø	45	180	2	2	14.03	0.156	0.844
6 Tiang	2 Ø	45	90	3	2	26.56	0.295	0.656
sb y	3 Ø	45	135	3	2	18.43	0.205	0.761
	4 Ø	45	180	3	2	14.03	0.156	0.818
8 Tiang	2 Ø	45	90	4	2	26.56	0.295	0.631
sb y	3 Ø	45	135	4	2	18.43	0.205	0.744
	4 Ø	45	180	4	2	14.03	0.156	0.805

Tabel 4.3 Daya Dukung Aksial Tiang Pancang Kelompok Sb X

Tipe	Efisiensi	P_{Tiang} Ton	1 Tiang Ton	n	Daya Dukung Grup Ton
2 Tiang 2Ø	0.852	22.05	18.792	2	37.585
sb y 3Ø	0.898	22.05	19.788	2	39.576
4Ø	0.922	22.05	20.327	2	40.654
3 Tiang 2Ø	0.803	22.05	17.708	3	53.124
sb y 3Ø	0.863	22.05	19.036	3	57.107
4Ø	0.896	22.05	19.754	3	59.263
4 Tiang 2Ø	0.705	22.05	15.540	4	62.158
sb y 3Ø	0.795	22.05	17.531	4	70.124
4Ø	0.844	22.05	18.609	4	74.435
6 Tiang 2Ø	0.656	22.05	14.455	6	86.731
sb y 3Ø	0.761	22.05	16.779	6	100.671
4Ø	0.818	22.05	18.036	6	108.216
8 Tiang 2Ø	0.631	22.05	13.913	8	111.304
sb y 3Ø	0.744	22.05	16.402	8	131.219
4Ø	0.805	22.05	17.750	8	141.997

Tabel 4.4 Daya Dukung Aksial Tiang Pancang Kelompok Sb Y

Tipe	Efisiensi	P_{Tiang} Ton	1 Tiang Ton	n	Daya Dukung Grup Ton
2 Tiang 2Ø	0.852	22.05	18.792	2	37.585
sb x 3Ø	0.898	22.05	19.788	2	39.576
4Ø	0.922	22.05	20.327	2	40.654
3 Tiang 2Ø	0.803	22.05	17.708	3	53.124
sb x 3Ø	0.863	22.05	19.036	3	57.107
4Ø	0.896	22.05	19.754	3	59.263
4 Tiang 2Ø	0.705	22.05	15.540	4	62.158
sb x 3Ø	0.795	22.05	17.531	4	70.124
4Ø	0.844	22.05	18.609	4	74.435
6 Tiang 2Ø	0.656	22.05	14.455	6	86.731
sb x 3Ø	0.761	22.05	16.779	6	100.671
4Ø	0.818	22.05	18.036	6	108.216
8 Tiang 2Ø	0.631	22.05	13.913	8	111.304
sb x 3Ø	0.744	22.05	16.402	8	131.219
4Ø	0.805	22.05	17.750	8	141.997

Hasil Plaxis

VariasiBeban Aksial

Dari Tabel 4.15 dan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa akibat bertambahnya jarak antar tiang pancang, bertambah pula kemampuan tiang pancang dalam menahan gaya aksial.

Dari Tabel 4.16 dapat dilihat bahwa akibat bertambahnya jarak antar tiang pancang, bertambah pula kemampuan tiang pancang dalam menahan gaya aksial.

VariasiBeban Lateral

Dari Tabel 4.17 dan Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa akibat bertambahnya jarak antar tiang pancang, bertambah pula kemampuan tiang pancang dalam menahan gaya lateral.

Tabel 4.5 korelasi nilai E (Modulus Elastisitas)

Soil or Rock Type and Condition	Modulus of Elasticity, E (Kpa)
Undrained condition	
Soft clay	1.500 - 10.000
Medium Clay	5.000 - 50.000
Stiff clay	15.000 - 75.000
Drained Condition	
Soft clay	250 - 1500
Medium clay	500 - 3.500
Stiff clay	1.200 - 20.000
Loose sand	10.000 - 25.000
Medium dense sand	20.000 - 60.000
Dense sand	50.000 - 100.000
Sand stone	7.000.000 - 20.000.000
Granite	25.000.000 - 50.000.000

Tabel 4.6 korelasi nilai e (angka Pori)

Sifat tanah	γ_d		e	n	W _{sat}	γ_{sat}	
	g/cm ³	lb cb ft					
Silt, Clay	↑ lunak	0,5	31,25	4,40	0,80	163,0	1,31
		0,6	37,50	3,50	0,78	129,60	1,38
		0,7	43,75	2,86	0,74	105,8	1,44
		0,8	50,00	2,38	0,70	88,0	1,50
		0,9	56,25	2,00	0,67	74,1	1,57
	↓ rata-rata	1,0	62,50	1,70	0,63	63,0	1,63
		1,1	68,75	1,45	0,59	53,9	1,69
		1,2	75,00	1,25	0,56	46,3	1,76
		1,3	81,25	1,08	0,52	39,9	1,82
		1,4	87,50	0,93	0,48	34,4	1,88
Gravel, Sand	↑ sand	1,5	93,75	0,80	0,44	29,6	1,94
		1,6	100,00	0,69	0,41	25,5	2,04
		1,7	106,25	0,59	0,37	21,8	2,07
		1,8	112,50	0,50	0,33	18,5	2,13
		1,9	118,75	0,42	0,30	15,6	2,20
	↓ gravel	2,0	125,00	0,35	0,26	13,0	2,26
		2,1	131,25	0,29	0,22	10,6	2,32
		2,2	137,50	0,23	0,19	8,4	2,39
		2,3	143,75	0,17	0,15	6,4	2,45
		2,4	150,00	0,13	0,11	4,63	2,51
2,5	156,25	0,080	0,074	2,96	2,57		
2,6	162,50	0,038	0,037	1,42	2,64		
2,7	168,75	0,000	0,000	0,00	2,70		

Catatan : 100 kPa = 100 kN/m² = 1 bar = 1,02 kg/cm²

Sumber : Pondasi Dangkal, Herman Wahyudi⁶

Tabel 4.7 Korelasi N_{SPT} (J.E. Bowles)⁷

	Cohesionless Soil / Sol Pulvérulent				
	N (blows)	0 - 3	4 - 10	11 - 30	31 - 50
γ (KN/m ³)	-	12 - 16	14 - 18	16 - 20	18 - 23
ϕ (°)	-	25 - 32	28 - 36	30 - 40	> 35
State	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
Dr (%)	0 - 15	15 - 35	35 - 65	65 - 85	85 - 100
	Cohesive Soil / Sol Cohérent				
	N (blows)	< 4	4 - 6	6 - 15	16 - 25
γ (KN/m ³)	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	> 20
q _u (kPa)	< 25	20 - 50	30 - 60	40 - 200	> 100
Consistency	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Tabel 4.8 Konsistensi tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung).

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, C _u			Taksiran harga SPT, harga N	Taksiran harga tahanan conus, q _c (dari Sondir)	
	kPa	ton/m ²	kg/cm ²		kg/cm ²	kPa
Sangat lunak (very soft)	0 - 12,5	0 - 1,25	0 - 0,125	0 - 2	0 - 2,5	0 - 250
Lunak (soft)	12,5 - 25	1,25 - 2,5	0,125 - 0,25	2 - 4	2,5 - 5	250 - 500
Menengah (medium)	25 - 50	2,5 - 5	0,25 - 0,5	4 - 8	5 - 10	500 - 1000
Kaku (stiff)	50 - 100	5,0 - 10	0,5 - 1,0	8 - 15	10 - 20	1000 - 2000
Sangat kaku (very stiff)	100 - 200	10 - 20	1,0 - 2,0	15 - 30	20 - 40	2000 - 4000
Keras (hard)	> 200	> 20	> 2,0	> 30	> 40	> 4000

Sumber : Mochtar 2006 Revised

Tabel 4.9 : Hasil Analisa Data Tanah

No	Kedalaman m	Deskripsi	$N_{rata-rata}$	γ_{sat} kN/m ³	γ_d kN/m ³	γ' kN/m ³	γ_{unsat} kN/m ³	e	E kN/m ²	ν	Cu kN/m ²	C' kN/m ²	ϕ	C_c	C_s
1	1.5 - 8.5	Lempung Kelanauan dan Kepasiran	1	15.50	8.714	5.50	13.50	2.11	7,500	0.2	6.25	4.17	1	0.35	0.03
2	8.5 - 18.5	Lempung (clay)	1	15.50	8.714	5.50	13.50	2.11	7,500	0.2	6.25	4.17	1	0.35	0.03
3	18.5 - 28.5		8	16.18	9.800	6.18	14.18	1.76	12,000	0.2	50	33.33	5	0.29	0.03
4	28.5 - 34.5	Lempung Kelanauan	13	17.33	11.614	7.33	15.33	1.33	15,000	0.2	86.9	57.94	10	0.22	0.02
5	34.5 - 36.5	Lempung Kepasiran	15	17.94	12.567	7.94	15.94	1.15	17,500	0.2	100	66.67	30	0.20	0.02
6	36.5 - 40.5	Lempung	15	17.94	12.567	7.94	15.94	1.15	17,500	0.2	100	66.67	20	0.20	0.02

Tabel 4.10 : Penurunan TiangPancang Kelompok

Tipe	Penurunan m
2 Tiang 2Ø	0.060344
	3Ø 0.059307
	4Ø 0.057150
3 Tiang 2Ø	0.074514
	3Ø 0.071347
	4Ø 0.066832
4 Tiang 2Ø	0.085194
	3Ø 0.083857
	4Ø 0.078497
6 Tiang 2Ø	0.103932
	3Ø 0.100567
	4Ø 0.091868
8 Tiang 2Ø	0.118677
	3Ø 0.112850
	4Ø 0.101233

Tabel 4.11. Daya Dukung Lateral Tiang Pancang Kelompok Sb X

Tipe	Efisiensi	P Tiang Ton	n	P Ton
 2 Tiang 2Ø	0.20	7.5731	2	3.03
	sb x 3Ø 0.25	7.5731	2	3.79
	4Ø 0.40	7.5731	2	6.06
 3 Tiang 2Ø	0.20	7.5731	3	4.54
	sb x 3Ø 0.25	7.5731	3	5.68
	4Ø 0.40	7.5731	3	9.09
 4 Tiang 2Ø	0.20	7.5731	4	6.06
	sb x 3Ø 0.25	7.5731	4	7.57
	4Ø 0.40	7.5731	4	12.12
 6 Tiang 2Ø	0.20	7.5731	6	9.09
	sb x 3Ø 0.25	7.5731	6	11.36
	4Ø 0.40	7.5731	6	18.18
 8 Tiang 2Ø	0.20	7.5731	8	12.12
	sb x 3Ø 0.25	7.5731	8	15.15
	4Ø 0.40	7.5731	8	24.23

Tabel 4.12 Daya Dukung Lateral Tiang Pancang Kelompok Sb Y

Tipe	Efisiensi	P Tiang Ton	n	P Ton
 2 Tiang 2Ø	0.25	7.573	2	3.79
	sb y 3Ø 0.50	7.573	2	7.57
	4Ø 1.00	7.573	2	15.15
 3 Tiang 2Ø	0.25	7.573	3	5.68
	sb y 3Ø 0.50	7.573	3	11.36
	4Ø 1.00	7.573	3	22.72
 4 Tiang 2Ø	0.25	7.573	4	7.57
	sb y 3Ø 0.50	7.573	4	15.15
	4Ø 1.00	7.573	4	30.29
 6 Tiang 2Ø	0.25	7.573	6	11.36
	sb y 3Ø 0.50	7.573	6	22.72
	4Ø 1.00	7.573	6	45.44
 8 Tiang 2Ø	0.25	7.573	8	15.15
	sb y 3Ø 0.50	7.573	8	30.29
	4Ø 1.00	7.573	8	60.58

Tabel 4.13 Defleksi Akibat Gaya Lateral Tiang Pancang Kelompok Sb X

Tipe	H_{Tiang} ton	Defleksi m			Total m δ
		δ_1	δ_2	δ_3	
 2 Tiang 2Ø	3.03	0.00633	0.003101	0.005002	0.01443
	sb x 3Ø 3.79	0.00633	0.003108	0.006253	0.01569
	4Ø 6.06	0.00635	0.003126	0.010005	0.01948
 3 Tiang 2Ø	4.54	0.00634	0.003114	0.007504	0.01695
	sb x 3Ø 5.68	0.00634	0.003123	0.009379	0.01885
	4Ø 9.09	0.00637	0.003152	0.015007	0.02453
 4 Tiang 2Ø	6.06	0.00635	0.003126	0.010005	0.01948
	sb x 3Ø 7.57	0.00636	0.003139	0.012506	0.02200
	4Ø 12.12	0.00639	0.003177	0.020009	0.02957
 6 Tiang 2Ø	9.09	0.00637	0.003152	0.015007	0.02453
	sb x 3Ø 11.36	0.00638	0.003171	0.018759	0.02831
	4Ø 18.18	0.00643	0.003227	0.030014	0.03967
 8 Tiang 2Ø	12.12	0.00639	0.003177	0.020009	0.02957
	sb x 3Ø 15.15	0.00641	0.003202	0.025012	0.03462
	4Ø 24.23	0.00647	0.003278	0.040019	0.04977

Dari Tabel 4.18 dapat dilihat bahwa akibat bertambahnya jarak antar tiang pancang, bertambah pula kemampuan tiang pancang dalam menahan gaya lateral.

Namun besar gaya lateral untuk sumbu Y lebih besar dibanding dengan sumbu X, hal ini diakibatkan oleh bedanya harga efisiensi.

Interpretasi Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.19 dapat dilihat bahwa besarnya penurunan untuk 2 Tiang dan 3 Tiang memiliki hasil yang sama untuk model material *Mohr Coulomb* dengan analisa manual, tetapi untuk 4 Tiang, 6 Tiang, dan 8 Tiang terjadi perbedaan besarnya penurunan yaitu sekitar 1-5%.

Selanjutnya dari Tabel 4.20 dapat dilihat bahwa dengan penambahan jarak dari 2Ø, 3Ø, 4Ø membuat penurunan tiang pancang berkurang untuk pemberian beban yang sama pada tiang pancang kelompok dengan selisih kurang dari 2%.

Dari Tabel 4.21 dapat dilihat bahwa besarnya defleksi untuk 2 Tiang dan 3 Tiang memiliki hasil yang sama untuk model material *Mohr Coulomb* dengan analisa manual, tetapi untuk 4 Tiang, 6 Tiang, dan 8 Tiang terjadi

perbedaan besarnya defleksi yaitu sekitar 1-6%.

Sedangkan dari Tabel 4.22 dapat dilihat bahwa dengan penambahan jarak dari 2Ø, 3Ø, 4Ø membuat defleksi tiang pancang berkurang untuk pemberian beban yang sama pada tiang pancang kelompok dengan selisih kurang dari 0,8%.

Dari Tabel 4.23 dapat dilihat bahwa besarnya defleksi antara model material *Mohr Coulomb* dengan analisa Manual untuk 2Tiang, 3Tiang, 4Tiang, 6Tiang, dan 8Tiang terjadi perbedaan besarnya defleksi mencapai 18,5%.

Serta dari Tabel 4.24 dapat dilihat bahwa dengan penambahan jarak dari 2Ø, 3Ø, 4Ø membuat defleksi tiang pancang berkurang untuk pemberian beban yang sama pada tiang pancang kelompok dengan selisih kurang dari 0,45%.

Tabel 4.14 Defleksi Akibat Gaya Lateral Tiang Pancang Kelompok Sb Y

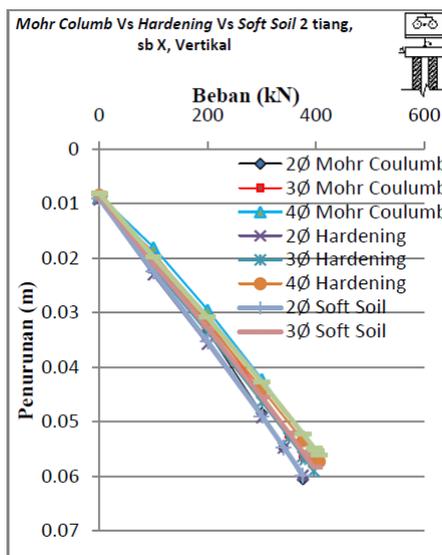
Tipe	H _{Tiang} ton	Defleksi m			Total m δ
		δ ₁	δ ₂	δ ₃	
2 Tiang sb y	2Ø	3.79	0.00633	0.003108	0.006253
	3Ø	7.57	0.00636	0.003139	0.012506
	4Ø	15.15	0.00641	0.003202	0.025012
3 Tiang sb y	2Ø	5.68	0.00634	0.003123	0.009379
	3Ø	11.36	0.00638	0.003171	0.018759
	4Ø	22.72	0.00646	0.003265	0.037518
4 Tiang sb y	2Ø	7.57	0.00636	0.003139	0.012506
	3Ø	15.15	0.00641	0.003202	0.025012
	4Ø	30.29	0.00651	0.003328	0.050024
6 Tiang sb y	2Ø	11.36	0.00638	0.003171	0.018759
	3Ø	22.72	0.00646	0.003265	0.037518
	4Ø	45.44	0.00661	0.003454	0.075036
8 Tiang sb y	2Ø	15.15	0.00641	0.003202	0.025012
	3Ø	30.29	0.00651	0.003328	0.050024
	4Ø	60.58	0.00672	0.003580	0.100047

Tabel 4.15 Penurunan Tiang Pancang Kelompok Dengan Model Material *Mohr Coulomb*, *Hardening*, *Soft Soil* Untuk Sumbu X

Tipe Tiang	Beban kN	Penurunan (m)		
		Mohr Coulumb	Hardening	Soft Soil
2 Tiang sumbu X	2Ø	376	0.06057	0.05988
	3Ø	396	0.05924	0.05907
	4Ø	406	0.05693	0.05733
3 Tiang sumbu X	2Ø	531	0.07483	0.07466
	3Ø	571	0.06887	0.06992
	4Ø	593	0.06486	0.06699
4 Tiang sumbu X	2Ø	622	0.09378	0.09165
	3Ø	701	0.09787	0.09728
	4Ø	744	0.09845	0.09808
6 Tiang sumbu X	2Ø	867	0.12544	0.12278
	3Ø	1006	0.12538	0.12486
	4Ø	1082	0.12366	0.12432
8 Tiang sumbu X	2Ø	1113	0.15322	0.14951
	3Ø	1312	0.14997	0.14991
	4Ø	1420	0.14713	0.14629

Tabel 4.16 Penurunan Tiang pancang kelompok dengan model Material *Mohr Coulomb*, *Hardening*, *Soft Soil* untuk sumbu Y

Tipe Tiang	Beban kN	Penurunan (m)		
		Mohr Coulumb	Hardening	Soft Soil
2 Tiang sumbu Y	2Ø	376	0.06062	0.06079
	3Ø	396	0.06091	0.05965
	4Ø	406	0.06112	0.05869
3 Tiang sumbu Y	2Ø	531	0.09056	0.08956
	3Ø	571	0.09896	0.09235
	4Ø	593	0.10529	0.09866
4 Tiang sumbu Y	2Ø	622	0.09378	0.09165
	3Ø	701	0.09787	0.09728
	4Ø	744	0.09845	0.09808
6 Tiang sumbu Y	2Ø	867	0.15288	0.13938
	3Ø	1000	0.16116	0.14903
	4Ø	1082	0.16505	0.15349
8 Tiang sumbu Y	2Ø	1113	0.21341	0.19039
	3Ø	1312	0.22918	0.20524
	4Ø	1420	0.23461	0.21268



Gambar 4.2 Penurunan *Mohr Coulomb* Vs *Hardening* Vs *Soft Soil* untuk 2 Tiang sumbu X

Tabel 4.17 Defleksi Tiang Pancang Kelompok Dengan Model Material *Mohr Coulomb*, *Hardening*, *Soft Soil* Untuk Sumbu X

Tipe Tiang	Beban		Defleksi (m)		
		kN	Mohr Coulomb	Hardening	Soft Soil
2 Tiang sumbu X	2Ø	31	0.01929	0.01899	0.02272
	3Ø	39	0.02083	0.0196	0.02458
	4Ø	62	0.02947	0.02607	0.03575
3 Tiang sumbu X	2Ø	47	0.02324	0.02365	0.02934
	3Ø	58	0.02437	0.02389	0.03115
	4Ø	93	0.03553	0.03287	0.04698
4 Tiang sumbu X	2Ø	78	0.03467	0.03766	0.04103
	3Ø	156	0.06019	0.05714	0.07137
	4Ø	311	0.12663	0.10503	0.1463
6 Tiang sumbu X	2Ø	93	0.04581	0.04499	0.04711
	3Ø	117	0.04428	0.04408	0.04856
	4Ø	187	0.06132	0.05498	0.0702
8 Tiang sumbu X	2Ø	124	0.05484	0.05436	0.05753
	3Ø	156	0.05471	0.05186	0.05873
	4Ø	249	0.07607	0.06291	0.08629

Tabel 4.18 Defleksi Tiang Pancang Kelompok Dengan Model Material *Mohr Coulomb*, *Hardening*, *Soft Soil* Untuk Sumbu Y

Tipe Tiang	Beban		Defleksi (m)		
		kN	Mohr Coulomb	Hardening	Soft Soil
2 Tiang sumbu Y	2Ø	39	0.02862	0.02975	0.03512
	3Ø	78	0.05614	0.04685	0.06056
	4Ø	156	0.1323	0.09561	0.12922
3 Tiang sumbu Y	2Ø	58	0.0313	0.03121	0.03064
	3Ø	117	0.07147	0.06177	0.07693
	4Ø	233	0.17706	0.13512	0.18243
4 Tiang sumbu Y	2Ø	78	0.03467	0.03766	0.04103
	3Ø	156	0.06019	0.05714	0.07137
	4Ø	311	0.12663	0.10503	0.1463
6 Tiang sumbu Y	2Ø	117	0.06202	0.05934	0.06633
	3Ø	233	0.1042	0.08753	0.11521
	4Ø	467	0.21143	0.15654	0.2318
8 Tiang sumbu Y	2Ø	157	0.08838	0.08151	0.09124
	3Ø	311	0.1468	0.11887	0.15786
	4Ø	622	0.29533	0.21001	0.31344

Tabel 4.19 Perbandingan Penurunan Antara Analisa Manual Dengan Model Material *Mohr Coulomb* pada Sumbu X

Tipe Tiang	Beban kN	Penurunan (m)		Perbedaan	
		Mohr Coulomb	Manual	Angka	Persen
2 Tiang sumbu X	2Ø	376	0.06057	0.06034	0.0023
	3Ø	396	0.05924	0.05931	0.0007
	4Ø	406	0.05693	0.05715	0.0022
3 Tiang sumbu X	2Ø	531	0.07483	0.07451	0.0032
	3Ø	571	0.06887	0.07135	0.248%
	4Ø	593	0.06486	0.06683	0.197%
4 Tiang sumbu X	2Ø	622	0.09378	0.08519	0.859%
	3Ø	701	0.09787	0.08386	1.401%
	4Ø	744	0.09845	0.07850	1.995%
6 Tiang sumbu X	2Ø	867	0.12544	0.10393	2.151%
	3Ø	1006	0.12538	0.10057	2.481%
	4Ø	1082	0.12366	0.09187	3.179%
8 Tiang sumbu X	2Ø	1113	0.15322	0.11868	3.454%
	3Ø	1312	0.14997	0.11285	3.712%
	4Ø	1420	0.14713	0.10123	4.590%

Tabel 4.20 Pengaruh Perubahan Jarak Antar Tiang Pancang Terhadap Penurunan Untuk Beban Yang Sama pada Perhitungan *Mohr Coulomb* Pada Sumbu X

Tipe Tiang	Beban kN	Penurunan (m)		Perbedaan	
		Mohr Coulomb	Angka	Persen	
2 Tiang sumbu X	2Ø	376	0.06057	0.00435	0.44%
	3Ø	376	0.05622	-0.00355	-0.36%
	4Ø	376	0.05267		
3 Tiang sumbu X	2Ø	531	0.07483	0.01055	1.06%
	3Ø	531	0.06428	0.00579	0.58%
	4Ø	531	0.05849		
4 Tiang sumbu X	2Ø	622	0.09378	0.00589	0.59%
	3Ø	622	0.08789	0.00417	0.42%
	4Ø	622	0.08372		
6 Tiang sumbu X	2Ø	867	0.12544	0.01557	1.56%
	3Ø	867	0.10987	0.0085	0.85%
	4Ø	867	0.10137		
8 Tiang sumbu X	2Ø	1113	0.15322	0.02389	2.39%
	3Ø	1113	0.12933	0.01167	1.17%
	4Ø	1113	0.11766		

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa dapat disimpulkan tentang perilaku tiang pancang kelompok dalam hal pengaruh penambahan jarak antar tiang pancang sebesar Ø (0,45m), yaitu :

1. Terhadap penurunan tiang pancang terjadi penambahan kemampuan tiang pancang dalam menahan beban aksial atau lateral.
2. Besarnya penurunan untuk 2 Tiang dan 3 Tiang memiliki hasil yang sama untuk model material *Mohr Coulomb* dengan analisa manual, tetapi untuk 4 Tiang, 6 Tiang, dan 8 Tiang terjadi perbedaan besarnya penurunan yaitu sekitar 1-5%, penambahan jarak antar tiang pancang dari 2Ø, 3Ø, 4Ø membuat penurunan tiang pancang berkurang untuk pemberian beban yang

sama pada tiang pancang kelompok dengan selisih kurang dari 2%.

3. Besarnya defleksi untuk 2 Tiang dan 3 Tiang memiliki hasil yang sama untuk model material *Mohr Coulomb* dengan analisa manual, tetapi untuk 4 Tiang, 6 Tiang, dan 8 Tiang terjadi perbedaan besarnya defleksi yaitu sekitar 1-6%, sedangkan penambahan jarak antar tiang pancang dari 2Ø, 3Ø, 4Ø membuat defleksi tiang pancang berkurang untuk pemberian beban yang sama pada tiang pancang kelompok dengan selisih kurang dari 0,8%, pada Sumbu X.
4. Besarnya defleksi antara model material *Mohr Coulomb* dengan analisa Manual untuk 2Tiang, 3Tiang, 4Tiang, 6Tiang, dan 8Tiang terjadi perbedaan besarnya defleksi mencapai 18,5%, Serta penambahan jarak antar tiang pancang dari 2Ø, 3Ø, 4Ø membuat defleksi tiang pancang berkurang untuk pemberian

Tabel 4.21 Perbandingan Defleksi Antara Analisa Manual Dengan Model Material *Mohr Coulomb* pada Sumbu X

Tipe Tiang	Beban kN	Defleksi (m)		Perbedaan		
		Mohr Coulumb	Manual	Angka	Persen	
2 Tiang sumbu X	2Ø	31	0.01929	0.01443	0.00486	0.486%
	3Ø	39	0.02083	0.01569	0.00514	0.514%
	4Ø	62	0.02947	0.01948	0.00999	0.999%
3 Tiang sumbu X	2Ø	47	0.02324	0.01695	0.00629	0.629%
	3Ø	58	0.02437	0.01885	0.00552	0.552%
	4Ø	93	0.03553	0.02453	0.01100	1.100%
4 Tiang sumbu X	2Ø	78	0.03467	0.02200	0.01267	1.267%
	3Ø	156	0.06019	0.03462	0.02557	2.557%
	4Ø	311	0.12663	0.05986	0.06677	6.677%
6 Tiang sumbu X	2Ø	93	0.04581	0.02453	0.02128	2.128%
	3Ø	117	0.04428	0.02831	0.01597	1.597%
	4Ø	187	0.06132	0.03967	0.02165	2.165%
8 Tiang sumbu X	2Ø	124	0.05484	0.02957	0.02527	2.527%
	3Ø	156	0.05471	0.03462	0.02009	2.009%
	4Ø	249	0.07607	0.04977	0.02630	2.630%

Tabel 4.22 Pengaruh perubahan jarak antar tiang pancang terhadap defleksi untuk beban yang sama pada perhitungan *mohr coulomb* pada sumbu x

Tipe Tiang	Beban kN	Defleksi (m)		Perbedaan	
		Mohr Coulumb	Angka	Persen	
2 Tiang sumbu X	2Ø	31	0.01929	0.00187	0.19%
	3Ø	31	0.01742	0.00124	0.12%
	4Ø	31	0.01866		
3 Tiang sumbu X	2Ø	47	0.02324	0.00257	0.26%
	3Ø	47	0.02067	0.00165	0.17%
	4Ø	47	0.01902		
4 Tiang sumbu X	2Ø	78	0.03467	0.00294	0.29%
	3Ø	78	0.03173	0.00203	0.20%
	4Ø	78	0.02970		
6 Tiang sumbu X	2Ø	93	0.04581	0.00769	0.77%
	3Ø	93	0.03812	0.0035	0.35%
	4Ø	93	0.03462		
8 Tiang sumbu X	2Ø	124	0.05484	0.00788	0.79%
	3Ø	124	0.04696	0.00513	0.51%
	4Ø	124	0.04183		

Tabel 4.23 Perbandingan defleksi antara analisa manual dengan model material *mohr coulomb* pada sumbu y

Tipe Tiang	Beban kN	Defleksi (m)		Perbedaan		
		Mohr Coulumb	Manual	Angka	Persen	
2 Tiang sumbu Y	2Ø	39	0.02862	0.01569	0.01293	1.293%
	3Ø	78	0.05614	0.02200	0.03414	3.414%
	4Ø	156	0.1323	0.03462	0.09768	9.768%
3 Tiang sumbu Y	2Ø	58	0.0278	0.01885	0.00895	0.895%
	3Ø	117	0.07147	0.02831	0.04316	4.316%
	4Ø	233	0.17706	0.04724	0.12982	12.982%
4 Tiang sumbu Y	2Ø	78	0.03467	0.02200	0.01267	1.267%
	3Ø	156	0.06019	0.03462	0.02557	2.557%
	4Ø	311	0.12663	0.05986	0.06677	6.677%
6 Tiang sumbu Y	2Ø	117	0.06202	0.02831	0.03371	3.371%
	3Ø	233	0.1042	0.04724	0.05696	5.696%
	4Ø	467	0.21143	0.08510	0.12633	12.633%
8 Tiang sumbu Y	2Ø	157	0.08838	0.03462	0.05376	5.376%
	3Ø	311	0.1468	0.05986	0.08694	8.694%
	4Ø	622	0.29533	0.11035	0.18498	18.498%

Tabel 4.24 Pengaruh Perubahan Jarak Antar Tiang Pancang Terhadap Defleksi Untuk Beban Yang Sama pada Perhitungan *Mohr Coulomb* Pada Sumbu Y

Tipe Tiang	Beban kN	Defleksi (m)		Perbedaan	
		Mohr Coulumb	Angka	Persen	
2 Tiang sumbu Y	2Ø	39	0.02862	0.00146	0.15%
	3Ø	39	0.02716	-0.00146	-0.15%
	4Ø	39	0.02862		
3 Tiang sumbu Y	2Ø	58	0.0313	-0.00375	-0.38%
	3Ø	58	0.03505	-0.00286	-0.29%
	4Ø	58	0.03791		
4 Tiang sumbu Y	2Ø	78	0.03467	0.00294	0.29%
	3Ø	78	0.03173	0.00203	0.20%
	4Ø	78	0.0297		
6 Tiang sumbu Y	2Ø	117	0.06202	0.00388	0.39%
	3Ø	117	0.05814	0.00351	0.35%
	4Ø	117	0.05463		
8 Tiang sumbu Y	2Ø	157	0.08838	0.00371	0.37%
	3Ø	157	0.08467	0.00438	0.44%
	4Ø	157	0.08029		

beban yang sama pada tiang pancang kelompok dengan selisih kurang dari 0,45%, pada Sumbu Y.

- Untuk beban yang sama, perubahan jarak antar tiang dapat mengurangi penurunan dan defleksi tiang pancang.
- Penelitian ini dari ketiga model material, yaitu *Mohr Coulomb*, *Hardening*, *Soft Soil* memiliki hasil analisa dengan perbedaan berkisar 0-1%,

Saran

Untuk mencapai suatu hasil yang lebih baik dan ideal guna mengetahui Perilaku Tiang Pancang Kelompok Menggunakan Program Bantu Plaxis 2D,⁵ disarankan Penelitian ini tidak menggunakan beban kombinasi (aksial dan lateral bekerja bersamaan), maka penurunan dan defleksi yang terjadi hanya berdasarkan beban tertentu (aksial atau lateral saja), oleh karena itu untuk melanjutkan penelitian ini dengan menggunakan beban kombinasi (aksial dan lateral bekerja bersamaan).

DAFTAR PUSTAKA

- M. Wehnert, & P.A. Vermeer, 2004. "Numerical Analyses of Load Tests on Bored Piles". NUMOG 9th – 25 -27 August 2004, Ottawa, Canada.
- Wahyudi, Herman. 1999. "Daya Dukung Pondasi Dalam".
- Das, Braja M.1985 "Mekanika Tanah". Jilid 1, Penerbit Erlangga.
- BMS6-M.81 – Perencanaan Teknik Jembatan – 1 Desember 1992
- Plaxis 2D.
- Wahyudi, Herman. 1999. "Daya Dukung Pondasi Dangkal".
- Bowles, J.E. 1997 "Analisa dan Desain Pondasi." Jilid 1 Edisi Ke-4. Peoria, Illionis.
- Biarez J, Favre J.L1976 "Correalation de parametres en mecanique des sols". Ecole Centrale de Paris.