

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian Umum Pondasi

Adapun fungsi pokok dari pondasi ini adalah melanjutkan beban yang bekerja pada bangunan tersebut ke lapisan tanah yang berada di bawah pondasi. Pondasi adalah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada kedalaman tanah dan batuan yang terletak dibawahnya (Bowles, 1997).

Setiap bangunan sipil seperti gedung, jembatan, jalan raya, terowongan, menara, dam/tanggul dan sebagainya harus mempunyai pondasi yang tepat mendukungnya. Istilah pondasi digunakan dalam teknik sipil untuk mendefinisikan suatu konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban bangunan di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah yang cukup kuat daya dukungnya. Suatu perencanaan pondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan oleh pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan (Braja M.Das).

2.2. Macam-Macam Pondasi

Pondasi dibedakan menjadi 2 jenis yaitu, pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*), tergantung dari letak tanah kerasnya dan perbandingan kedalaman dengan lebar tapak pondasinya. Pondasi dangkal kedalamannya kurang atau sama dengan lebar pondasi ($D \leq B$) dan dapat digunakan jika lapisan tanah kerasnya terletak dekat dengan permukaan tanah.

Sedangkan pondasi dalam digunakan jika lapisan tanah kerasnya berada jauh dari permukaan tanah.

Untuk membantu pemilihan jenis pondasi, (Peck, 1953) memberikan ketentuan yaitu :

- a. Untuk pondasi dangkal

$$\frac{D}{B} \leq 4$$

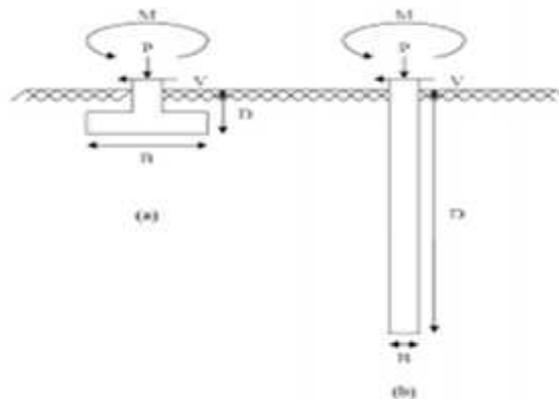
- b. Untuk pondasi dalam

$$\frac{D}{B} > 4$$

Keterangan :

D = Kedalaman pondasi (cm)

A = Lebar pondasi (m)



Gambar 2.1 Peralihan gaya pada pondasi

2.2.1. Klasifikasi Pondasi Tiang

Berdasarkan metode instalasinya, pondasi tiang pada umumnya dapat diklasifikasikan atas (Sardjono Hs, 1998) :

a. Tiang Pancang

Penggunaan pondasi tiang pancang sebagai pondasi bangunan apabila tanah yang berada di bawah dasar bangunan tidak memiliki daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang bekerja padanya. Atau apabila tanah yang memiliki daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah, kedalaman mencapai > 8 m.

b. Tiang Bor

Sebuah tiang bor dikonstruksikan dengan cara menggali sebuah lubang bor yang kemudian diisi dengan material beton dengan memberikan penulangan terlebih dahulu (Bowels, 1991).

2.2.2. Peralatan Pemancangan (*Driving Equipment*)

Untuk memancarkan tiang pancang ke dalam tanah digunakan alat pancang. Pada dasarnya, alat pancang terdiri dari tiga macam, yaitu:

a. *Drop Hammer*

Alat ini berfungsi sebagai palu yang memukul tiang pancang agar menancap sempurna pada tanah yang akan menjadi dasar dari bangunan yang dibangun. Bentuk alat ini menyerupai palu yang diletakkan pada bagian atas tiang pancang. Palu ini sangat berat, dan berat inilah yang digunakan untuk memberikan tekanan pada tiang agar tiang menancap pada tanah. Pada bagian atas tiang atau disebut kepala tiang, diberikan topi atau *cap* yang berfungsi sebagai *shock absorber*. Topi ini sangat diperlukan agar saat palu memukul tiang, tiang pancang tidak akan

mengalami kerusakan. Biasanya topi menyerap tekanan ini terbuat dari bahan kayu.

b. *Diesel Hammer*

Alat ini merupakan alat dengan kinerja paling sederhana diantara alat-alat lain yang digunakan untuk memasang tiang pancang. Bentuknya berupa silinder dengan piston atau ram yang berfungsi untuk menekan tiang pancang. Selain itu, terdapat dua mesin *diesel* yang menggerakkan piston ini. Bagian-bagian lain dari alat ini adalah tangka untuk bahan bakar, *injector* dan mesin pelumas agar piston dapat bekerja dengan lancar. Saat bekerja, mesin *diesel* akan memberikan tekanan pada udara dalam silinder. Tekanan udara yang bertambah ini akan menggerakkan piston yang memukul tiang pancang.

c. *Hidraulix Hammer*

Alat ini menggunakan prinsip perbedaan tekanan pada cairan yang ada di dalam alat. Dengan menggunakan perbedaan tekanan ini, maka alat ini dapat memberikan tekanan pada tiang pancang agar mampu terpasang dengan baik. Biasanya alat ini digunakan untuk memasang pondasi tiang baja H dan pondasi lempengan baja. Alat ini bekerja dengan cara menarik, mendorong dan mencengkeram tiang pancang agar mampu berada pada posisi yang tepat. Tiang pancang yang dapat dipasang dengan alat ini biasanya berukuran lebih pendek dari alat lainnya. Karena itu, alat ini sangat cocok untuk digunakan pada area pembangunan yang tidak terlalu luas. Bila dibutuhkan tiang pancang yang cukup panjang, biasanya dapat

dilakukan dengan cara menyambungkan ujung tiang pancang pendek yang dipasang menggunakan alat ini.

d. *Vibratory Pile Hammer*

Alat ini menggunakan getaran untuk memasang tiang pancang. Di dalam alat ini, terdapat beberapa batang yang berada pada posisi horizontal. Batang ini akan berputar dengan arah yang berlawanan. Hal ini akan menyebabkan beban eksentris pada alat ini menimbulkan getaran. Getaran inilah yang digunakan untuk menggetarkan material tiang pancang yang terpasang pada alat. Saat tiang pancang ikut bergetar, maka tiang pancang akan mampu menembus area tempat dimana tiang tersebut akan dipasang. Karena sistem yang digunakan inilah yang menyebabkan alat ini sangat cocok untuk digunakan pada area dengan kadar kelembaban yang tinggi.

2.2.3. Pondasi Tiang Pancang Menurut Pemakaian Beban

Pembagian tiang pancang menurut pemakaian bahan terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

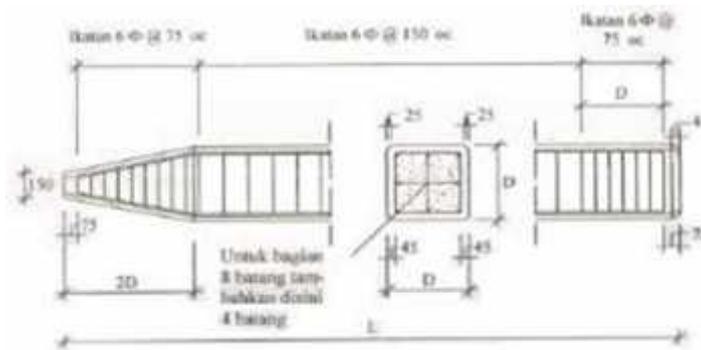
a. Tiang pancang kayu

Pemakaian tiang pancang kayu ini adalah cara tertua Dalam penggunaan tiang pancang sebagai pondasi. Tiang kayu akan bertahan lama dan tidak mudah busuk apabila tiang kayu tersebut dalam keadaan selalu terendam penuh di bawah muka air tanah. Tiang pancang dari kayu akan lebih cepat rusak atau busuk apabila dalam keadaan kering dan basah yang selalu berganti-ganti, kayu biasanya tidak diizinkan untuk menahan muatan lebih besar dari 25 sampai 30 ton untuk setiap tiang.

b. Tiang pancang beton

1. *Precast Reinforced Concrete Pile*

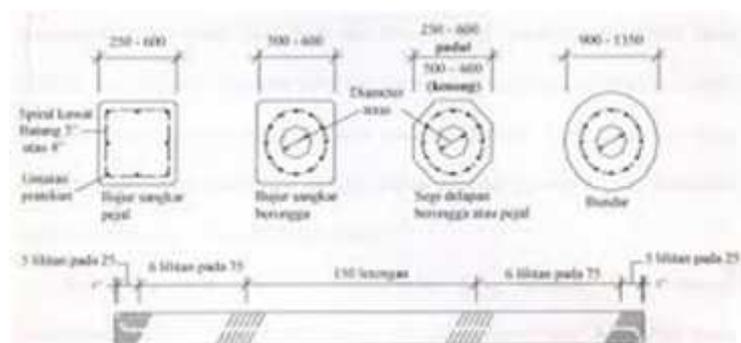
Precast Reinforced Concrete Pile adalah tiang pancang dari beton bertulang yang dicetak dan dicor dalam acuan beton (bekisting), kemudian setelah cukup kuat lalu diangkat dan dipancangkan. Tiang pancang ini dapat memikul beban yang besar (> 50 ton untuk setiap tiang).



Gambar 2.2 Tiang Pancang *Precast Reinforced Concrete Pile*

2. *Precast Prestressed Concrete Pile*

Precast Prestressed Concrete Pile adalah tiang pancang dari beton prategang yang menggunakan baja penguat dan kabel kawat sebagai gaya prategangnya.



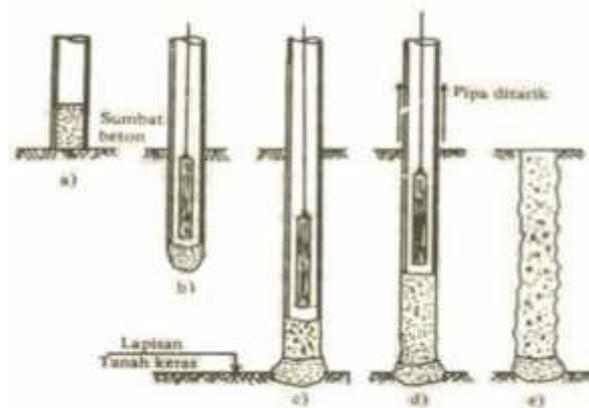
Gambar 2.3 Tiang Pancang *Precast Prestressed Concrete Pile*

Sumber: Bowles, 1991

3. *Cast In Place Pile*

Pondasi tiang pancang tipe ini adalah pondasi yang dicetak di tempat dengan jalan dibuatkan lubang terlebih dahulu dalam tanah dengan mengebor tanah seperti pada pengeboran tanah pada waktu penyelidikan tanah. Pada *cast in place* ini dapat dilaksanakan dua cara :

- 1) Dengan pipa baja yang dipancangkan kedalam tanah, kemudian diisi dengan beton dan ditumbuk sambil pipa baja tersebut ditarik ke atas.
- 2) Dengan pipa baja yang dipancangkan ke dalam tanah, kemudian diisi dengan beton, sedangkan pipa tersebut tetap tinggal di dalam tanah.



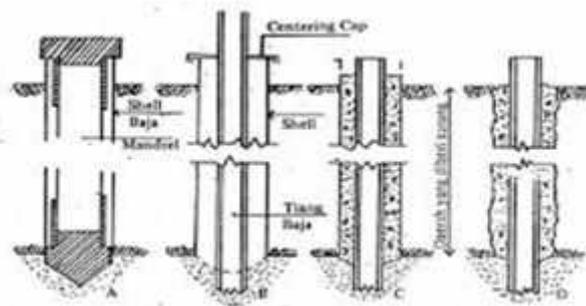
Gambar 2.4 Tiang Pancang *Cast In Place Pile Frankie Pile*

c. Tiang Pancang Baja

Jenis tiang pancang baja ini biasanya berbentuk profil H. Kekuatan dari tiang ini adalah sangat besar karena terbuat dari baja, sehingga dalam transport dan pemancangan tidak menimbulkan bahaya patah seperti pada tiang pancang beton *precast*. Jadi pemakaian tiang pancang

ini sangat bermanfaat jika dibutuhkan tiang pancang yang panjang dengan tahanan ujung yang besar. Tingkat karat pada tiang pancang baja sangat berbeda-beda terhadap *texture* (susunan butir) dari komposisi tanah, panjang tiang yang berada dalam tanah dan keadaan kelembaban tanah (*moisture content*).

Pada tanah dengan susunan butir yang kasar, karat yang terjadi hampir mendekati keadaan karat yang terjadi pada udara terbuka karena adanya sirkulasi air dalam tanah. Pada tanah liat (*clay*) yang kurang mengandung oksigen akan menghasilkan karat mendekati keadaan seperti karat yang terjadi karena terendam air. Pada lapisan pasir (*grandula*) yang dalam letaknya dan terletak di bawah lapisan tanah yang padat akan sedikit sekali mengandung oksigen, maka lapisan pasir tersebut akan menghasilkan karat yang kecil sekali pada tiang pancang baja.



Gambar 2.5 Tiang Pancang Baja

2.3. Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data Lapangan

2.3.1. Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Dari Hasil N-SPT

Standard Penetration Test (SPT) adalah salah satu metode pengujian yang dilakukan langsung di lapangan dengan cara pengeboran titik-titik yang telah ditentukan atau biasa disebut dengan *Bor Hole* (BH), yang bertujuan untuk mengetahui lapisan-lapisan tanah apa saja yang ada di titik pengeboran itu, dimana dari lapisan-lapisan tanah tersebut akan memberikan sebuah data sebagai acuan untuk mengetahui kapasitas daya dukung tanah yang akan kita bangun sebagai pondasi tersebut.

Daya dukung vertical pondasi tiang diperoleh dari menjumlahkan daya dukung ujung tiang dan tahanan geser dinding tiang. Besarnya daya dukung diijinkan adalah :

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang

Q_b = Kapasitas daya dukung batas pondasi tiang pancang

Q_s = Kapasitas daya dukung selimut tiang pancang

Mayerhof (1956) menyarankan kapasitas beban daya dukung ultimit ujung tiang (Q_p) yang diperoleh dari hasil data *Standard Penetration Test* (SPT).

a. Daya Dukung Ujung Tiang

$$Q_p = 40 + N_b + A_p \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

Q_p = Kapasitas daya dukung batas pondasi tiang pancang (kN)

N_b = Jumlah nilai SPT rata-rata di ujung tiang (kira-kira 8D diatas dan 4D dibawah ujung tiang) (m^2)

$$A_p = \text{Luas penampang tiang (m}^2\text{)}$$

b. Daya Dukung Gesek Tiang

$$Q_s = N_{spt} \times A_s \dots\dots\dots (2.3)$$

$$A_s = \pi \times D \times L \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

$$Q_s = \text{Daya dukung gesek tiang (kN)}$$

$$= 3,14 \text{ (cm)}$$

$$D = \text{Diameter pondasi } \textit{driven pile} \text{ (cm)}$$

$$L = \text{Bentang kedalaman pondasi (m)}$$

c. Daya Dukung Ijin Tiang

$$Q_{all} = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

$$Q_{all} = \text{Daya dukung ijin (kN)}$$

$$Q_p = \text{Daya dukung ujung tiang (kN)}$$

$$Q_s = \text{Daya dukung gesek tiang (kN)}$$

d. Kapasitas Kelompok dan Efisiensi Tiang

Kapasitas ultimit kelompok tiang dengan memperlihatkan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan rumus berikut :

$$Q_g = E_g \times N \times Q_a \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

$$Q_g = \text{beban maksimum}$$

$$N = \text{jumlah tiang dalam kelompok}$$

$$Q_a = \text{beban maksimum tiang tunggal.}$$

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{9 \cdot m \cdot n} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

E_g = efisiensi kelompok tiang

= 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

Vesic (1977) menyarankan kapasitas beban daya dukung ultimit ujung tiang (Q_p) yang diperoleh dari hasil data *Standard Penetration Test (SPT)*.

a. Daya Dukung Ujung Tiang

$$Q_p = A_p \times C_u \times Nc^* \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

Q_p = Daya Dukung Tiang (kN)

A_p = Luas penampang ujung bawah tiang (m^2)

C_u = Parameter kuat geser tanah

Nc^* = faktor daya dukung

b. Daya Dukung Gesek Tiang

$$Q_s = Nspt \times A_s \dots\dots\dots (2.9)$$

$$A_s = \alpha \times D \times L \dots\dots\dots (3.0)$$

Keterangan :

Q_s = Daya dukung gesek tiang (kN)

= 3,14 (cm)

D = Diameter pondasi *driven pile* (cm)

L = Bentang kedalaman pondasi (m)

c. Daya Dukung Izin Tiang

$$Q_{all} = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan :

Q_{all} = Daya dukung ijin (kN)

Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)

Q_s = Daya dukung gesek tiang (kN)

d. Kapasitas kelompok dan efisiensi tiang

Kapasitas ultimit kelompok tiang dengan memperlihatkan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan rumus berikut :

$$Q_g = E_g \times N \times Q_a \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan :

Q_g = beban maksimum

N = jumlah tiang dalam kelompok

Q_a = beban maksimum tiang tunggal.

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1).m+(m-1).n}{9 .m.n} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan :

E_g = efisiensi kelompok tiang

= 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

Besar harga N_c^* dapat ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$N_c^* = \frac{4}{3} \ln(I_{rr} + 1) + \frac{\pi}{2} + 1 \dots\dots\dots (3.4)$$

Untuk kondisi dimana tidak terjadi perubahan volume (misal pada pasir padat atau lempung jenuh), maka $\epsilon_v = 0$, sehingga :

$$I_r = I_{rr}$$

Keterangan :

I_{rr} = index pengurang kekakuan tanah

I_r = index kekakuan

Nilai I_r dapat dihitung berdasarkan pengujian konsolidasi dan triaxial di laboratorium. Sedangkan untuk penentuan awal dari nilai I_r dapat direkomendasikan penggunaan nilai seperti yang terlihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.1 Rekomendasi nilai I_r (Vesic, 1977)

Soil tipe	I_r
<i>Sand</i>	70 – 150
<i>Silts and clays (drained condition)</i>	50 – 100
<i>Clays (undrained condition)</i>	100 – 200

Untuk parameter C_u didapat dari tabel berikut ini :

Tabel 2.2 Terzaghi and Peck (1967)

Consistency	N	C_u (kN/m ²)
<i>Very Soft</i>	0-2	<12
<i>Soft</i>	2-4	12-25
<i>Medium</i>	4-8	25-50
<i>Stiff</i>	8-15	50-100
<i>Very Stiff</i>	15-30	100-200
<i>Hard</i>	>30	>200

2.3.2. Software ALLPILE

Salah satu *software* untuk merancang pondasi yaitu ALLPILE. *Software* ini digunakan untuk desain pondasi, baik itu pancang maupun *bored pile*, tersedia juga untuk pondasi dangkal (*shallow footing*). *Software* ini relatif sederhana dan *user-friendly*.

Adapun menu-menu yang ditampilkan dalam *software* ALLPILE

1. *Pile Type*

Pada *pile type*, *software* ALLPILE menyediakan macam-macam tipe dari pondasi. Hal ini akan mempermudah kita dalam perhitungan karena bermacam-macam, dan kita bisa menyesuaikan sesuai kebutuhan.

Adapun tipe-tipe pondasi yang ditawarkan ALLPILE antara lain :

a. *Drilled Pile* (dia 24 in or 61 cm)

Pondasi ini jenis pondasi bor dengan diameter lebih kecil 61 cm.

b. *Drilled Pile* (dia 24 in or 61 cm)

Pondasi ini jenis pondasi bor dengan diameter lebih besar 61 cm.

c. *Driving Steel Pile (open ended)*

Pondasi ini jenis pondasi tiang pancang baja dengan ujungnya terbuka.

d. *Driving Steel Pile (close ended)*

Pondasi ini jenis pondasi tiang pancang baja dengan ujungnya tertutup.

e. *Driving Concrete Pile*

Pondasi ini jenis pondasi tiang pancang beton.

2. *Pile Profile*

Menu ini yang harus kita isi dengan informasi tentang pile yang digunakan, seperti panjang pile, jarak dari permukaan tanah, kemiringan pile (bila pondasi pada saat dipancang posisi miring), serta kemiringan permukaan tanah.

3. *Pile Properties*

Bagian ini berisi data-data properties dari pondasi yang digunakan meliputi lebar pondasi, kedalaman pondasi, material, jenis bahan yang digunakan dan lain-lain.

4. *Load and Group*

Bagian ini menyediakan beberapa perhitungan baik itu *single pile*, *group pile* dan *tower foundation* yang sederhana.

5. *Soil Properties*

Berisikan data tanah tempat pondasi yang akan ditanam. Data-data tanah yang bisa digunakan hanya N-SPT dan CPT. Isikan sesuai data tanah yang ada dan jangan lupa masukkan juga kedalaman muka air tanah di isian *water table*.

6. *Advanced Page*

Bagian ini berisikan data *zero skin friction* pada kedalaman tertentu atau *adjust* besarnya *tip resistance* (tahanan ujung). Bagian ini juga ada pada pilihan untuk menentukan angka keamanan yang diinginkan.

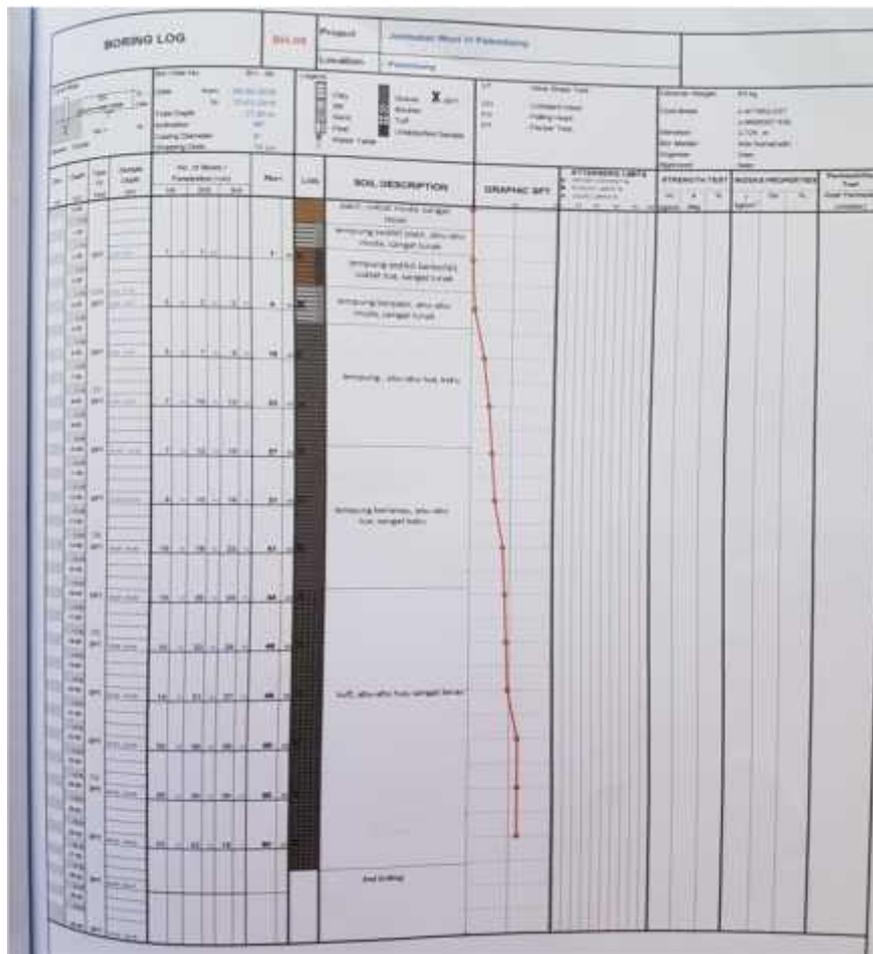
BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1. Persiapan Penelitian

3.1.1. Bahan Penelitian

Pada laporan penelitian ini, peneliti akan menganalisa kapasitas daya dukung pondasi, dimana data peneliti memiliki data sekunder yang didapat dari pihak kontraktor PT Nindya Karya adalah sebagai data sekunder adapun data tersebut terdiri dari data data hasil penyelidikan tanah di lapangan yaitu data SPT, dan data *draft* gambar.



Gambar 3.1 Bor Log Grafik N-SPT

3.1.2. Alat Penelitian

Pada laporan penelitian ini peneliti menggunakan alat untuk membantu dan untuk mempermudah proses berjalannya penelitian, yaitu diantaranya :

1. Literatur yang digunakan sebagai panduan atau sumber ilmiah yang bisa mendasari dalam penelitian yang telah dilakukan terdahulu dan juga menjadi acuan penelitian yang akan dilakukan.
2. Laptop / Komputer digunakan untuk membantu menyelesaikan laporan ini.
3. *Software Allpile* yang digunakan untuk mempermudah perhitungan daya dukung tiang pancang.
4. Kalkulator yang dimana berguna untuk pengecekan secara manual.

3.2. Cara Penelitian

3.2.1. Tahap Penelitian

Sebelum melangkah ke tahap penelitian, penulis membuat bagan alir yang dimaksudkan sebagai langkah kerja secara sistematis guna mencapai tujuan tugas akhir penulis.

a. Lokasi Penelitian

Terletak di titik P1 pada Jembatan Musi VI Kota Palembang

b. Lokasi Proyek

Terletak di sebelah hilir Kota Palembang

c. Penelitian yang dilakukan yaitu menganalisa daya dukung pondasi *driven pile* pada titik P1

3.2.2. Study Literature

Study literature disini adalah peneliti mencari bahan dari penelitian yang akan dilakukan yang dimana diambil dari para peneliti yang sebelumnya melakukan penelitian.

3.2.3. Proses Pengambilan Data (*existing*)

Proses pengambilan data ini dilakukan selama kurang lebih satu bulan atau 30 hari, untuk mendapatkan data sekunder dan data primer. Data sekunder yaitu data yang didapatkan dari pihak kontraktor PT Nindya Karya, data yang didapat yaitu :

a. Data primer, ialah data yang didapat langsung dari lapangan, adapun

data yang diperoleh sebagai berikut :

1. Panjang pondasi atau dalam pondasi : 25 meter
2. Diameter besi : Ø 25 dan Ø 13 mm
3. Diameter pondasi : Ø 1000 mm
4. Mutu beton : F'c-20

b. Data sekunder, ialah data yang didapat langsung dari pihak kontraktor,

adapun data yang diperoleh sebagai berikut :

1. Data N-SPT
2. Data *draft* gambar pondasi *driven pile*

3.2.4. Menganalisa Data

a. Menghitung perbandingan daya dukung pondasi tiang pancang

b. Menghitung dari hasil data yang ada, yaitu data N-SPT

3.2.5. Contoh Perhitungan

Contoh perhitungan yang akan digunakan dalam menghitung daya dukung tiang pancang adalah metode *Meyerhof*, *Vesic* dan menggunakan data N-SPT yang dimana akan menjadi dasar atau acuan untuk selanjutnya bisa menggunakan *software Allpile*.

3.2.6. Pengecekan

Pengecekan dilakukan antara tiga perhitungan tersebut, jika selisih dari hasil perhitungan empiris dan menggunakan *software Allpile* tidak terlalu jauh maka peneliti bisa melanjutkan perhitungan, jika selisihnya terlalu jauh maka kembali dilakukan pengecekan dalam perhitungan.

3.2.7. Variasi Perhitungan

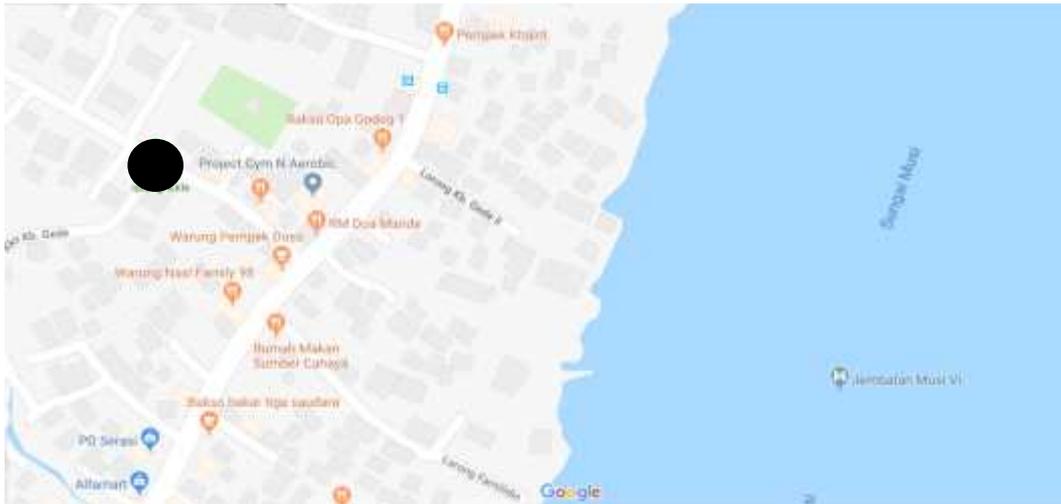
Variasi perhitungan dilakukan untuk mencoba mengkustomisasi data dari tiang pancang tersebut dengan perhitungan yang sudah dibuat sebelumnya dengan *software Allpile* dan hasilnya dibandingkan apakah masih memenuhi syarat dari perhitungan awal atau tidak yang akan masuk dalam kesimpulan.

3.3. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap pertama pada tahapan penelitian. Kita harus dapat menghimpun data-data atau teori serta referensi yang berkaitan dengan topik penelitian kita. Penelitian pada kali ini yaitu menghitung daya dukung pondasi tiang pancang kelompok Jembatan Musi VI Pier 1 dengan menggunakan metode *Meyerhof* dan Metode *Vesic* dalam *software Allpile*.

3.4. Lokasi Penelitian

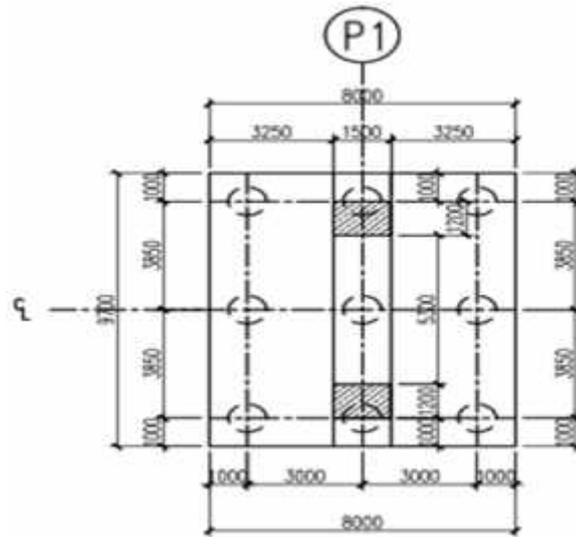
Lokasi penelitian ini adalah proyek pembangunan Jembatan Musi VI kota Palembang dan juga penelitian perbandingan daya dukung pondasi tiang pancang pada P1 yang dapat dilihat pada penjelasan di bagan alir penelitian.



Gambar 3.2 Peta Lokasi Penelitian Google Maps



Gambar 3.3 Peta Lokasi Penelitian AutoCad



Gambar 3.4 Dimensi P1

3.5. Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Kelompok

3.5.1. Metode Empiris *Meyerhof* (1956)

$$\text{Diameter tiang (D)} = 100 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang tiang (p)} = 25 \text{ m}$$

$$\text{Luas (A}_p\text{)} = \frac{1}{4} D^2 = 0,785 \text{ m}^2$$

Tabel 3.1 Data N-SPT P1

Kedalaman		Nilai SPT N
Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	
0	2	1
2	4	4
4	6	16
6	8	23
8	10	27
10	12	31
12	14	41
14	16	44
16	18	48
18	20	48
20	22	60
22	24	60
24	26	80

1. Daya Dukung Ujung Tiang (Qp)

a. Daya dukung ujung tiang (Qp)

$$A_p = \frac{1}{4} D^2 = 0,785 \text{ m}^2$$

b. Menghitung nilai N-SPT di sekitar dasar tiang (Nb)

$$N_1 = 80$$

$$N_2 = 60$$

$$N_b = \frac{N_1}{N_2} = 1,3333333$$

c. Daya dukung ujung tiang (Qp)

Untuk mencari daya dukung ujung tiang (Qp) menurut Meyerhof (1956) dinyatakan oleh persamaan (2.2)

$$\begin{aligned} Q_p &= 40 \times N_b \times A_p \\ &= 40 \times 1,3333333 \times 0,785 \\ &= 41,87 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Daya Dukung Gesek Tiang (Qs)

Untuk mencari daya dukung gesek tiang (Qs) menurut Meyerhof (1956) dinyatakan oleh persamaan (2.3) dan (2.4)

$$\begin{aligned} A_s &= \pi \times D \times L \\ &= 3,14 \times 1 \times 2 \\ &= 6,280 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 3.2 Data Perhitungan Qs P1

Kedalaman		Nilai SPT N	As	Qs
Z1 (m)	Z2 (m)			
0	2	1	6,280	6,28
2	4	4	6,280	25,12
4	6	16	6,280	100,48
6	8	23	6,280	144,44

Lanjutan Tabel 3.2				
8	10	27	6,280	169,56
10	12	31	6,280	194,68
12	14	41	6,280	257,48
14	16	44	6,280	276,32
16	18	48	6,280	301,44
18	20	48	6,280	301,44
20	22	60	6,280	376,8
22	24	60	6,280	376,8
24	26	80	6,280	502,4
				3033,24

$$Q_s = N_{spt} \times A_s$$

$$= 3033,24 \text{ kN}$$

3. Daya Dukung Ijin Tiang (Qall)

$$Q_{all} = Q_p + Q_s$$

$$= 41,87 \text{ kN} + 3033,24 \text{ kN}$$

$$= 3075,11 \text{ kN}$$

4. Kapasitas Izin Tiang Pancang Tunggal

$$Q_a = \frac{Q}{S}$$

$$= \frac{3075,11}{3} = 1025,036 \text{ kN}$$

5. Efisiensi Tiang Kelompok

$$E_g = 1 - \frac{(n-1)m + (m-1)n}{9 \cdot m \cdot n}$$

$$= \arctan d/s$$

$$= \arctan 1/3$$

$$= 18,4$$

$$E_g = 1 - \frac{(n-1)m + (m-1)n}{9 \cdot m \cdot n}$$

$$= 1 - 18,4 \frac{(3-1)3+(3-1)3}{9 \cdot 3 \cdot 3}$$

$$= 0,856$$

6. Kapasitas Daya Dukung Ultimit Tiang Pancang

$$Q_g = E_g \times N \times Q_a$$

$$= 0,856 \times 9 \times 1025,036$$

$$= 7896,877 \text{ kN}$$

7. Volume Tiang Pancang Kelompok

$$V = \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \right) L \times N$$

$$= \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \right) 25 \times 9$$

$$= 176,62 \text{ m}^3$$

3.5.2. Metode Empiris Vesic (1977)

$$\text{Diameter tiang (D)} = 100 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang tiang (p)} = 25 \text{ m}$$

$$\text{Luas (A}_p\text{)} = \frac{1}{4} D^2 = 0,785 \text{ m}^2$$

1. Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p)

a. Daya dukung ujung tiang (Q_p)

$$A_p = \frac{1}{4} D^2 = 0,785 \text{ m}^2$$

b. Menghitung nilai faktor daya dukung (N_c)

Untuk mencari nilai daya dukung (N_c) menurut Vesic (1977)

dinyatakan oleh persamaan (3.4)

Untuk tanah lanau berair $I_r = I_{rr} = 100$ diperoleh dari tabel

Tabel 3.4 Rekomendasi nilai I_r (Vesic, 1977)

Soil tipe	I_r
Sand	70 – 150
Silts and clays (drained condition)	50 – 100
Clays (undrained condition)	100 – 200

$$\begin{aligned}
 N_c^* &= \frac{4}{3} \ln(I_{rr} + 1) + \pi/2 + 1 \\
 &= \frac{4}{3} \ln(100+1) + 3,14/2 + 1 \\
 &= 8,723
 \end{aligned}$$

c. Menghitung daya dukung ujung tiang (Q_p)

Untuk mencari nilai daya dukung ujung tiang (Q_p) menurut Vesic (1977) dinyatakan oleh persamaan (2.8)

Tabel 3.5 Terzaghi and Peck (1967)

Consistency	N	Cu (kN/m ²)
Very Soft	0-2	<12
Soft	2-4	12-25
Medium	4-8	25-50
Stiff	8-15	50-100
Very Stiff	15-30	100-200
Hard	>30	>200

Berdasarkan N-SPT ujung tiang >30 maka diambil nilai Cu yaitu = 400

$$\begin{aligned}
 Q_p &= A_p \times C_u \times N_c^* \\
 &= 0,785 \times 400 \times 8,723 \\
 &= 2739,022 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Daya Dukung Gesek Tiang (Q_s)

Untuk mencari daya dukung gesek tiang (Q_s) menurut Meyerhof (1956) dinyatakan oleh persamaan (2.9) dan (3.0)

$$\begin{aligned}
 A_s &= \pi \times D \times L \\
 &= 3,14 \times 1 \times 2
 \end{aligned}$$

$$= 6,280 \text{ m}$$

Tabel 3.6 Data Perhitungan Qs P1

Kedalaman		Nilai SPT N	As	Qs
Z1 (m)	Z2 (m)			
0	2	1	6,280	6,28
2	4	4	6,280	25,12
4	6	16	6,280	100,48
6	8	23	6,280	144,44
8	10	27	6,280	169,56
10	12	31	6,280	194,68
12	14	41	6,280	257,48
14	16	44	6,280	276,32
16	18	48	6,280	301,44
18	20	48	6,280	301,44
20	22	60	6,280	376,8
22	24	60	6,280	376,8
24	26	80	6,280	502,4
				3033,24

$$Q_s = N_{spt} \times A_s$$

$$= 3033,24 \text{ kN}$$

3. Daya Dukung Ijin Tiang (Qall)

$$Q_{all} = Q_p + Q_s$$

$$= 2739,022 \text{ kN} + 3033,24 \text{ kN}$$

$$= 5772,262 \text{ kN}$$

4. Kapasitas Izin Tiang Pancang Tunggal

$$Q_a = \frac{Q}{s}$$

$$= \frac{5772,262}{3} = 1924,087 \text{ kN}$$

5. Efisiensi Tiang Kelompok

$$E_g = 1 - \frac{(n-1)m + (m-1)n}{9 \cdot m \cdot n}$$

$$= \text{arc tg } d/s$$

$$= \text{arc tg } 1/3$$

$$= 18,4$$

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \frac{(n-1)m + (m-1)n}{9 \cdot m \cdot n} \\ &= 1 - 18,4 \frac{(3-1)3 + (3-1)3}{9 \cdot 3 \cdot 3} \\ &= 0,856 \end{aligned}$$

6. Kapasitas Daya Dukung Ultimit Tiang Pancang

$$\begin{aligned} Q_g &= E_g \times N \times Q_a \\ &= 0,856 \times 9 \times 1924,087 \text{ kN} \\ &= 14823,166 \text{ kN} \end{aligned}$$

7. Volume Tiang Pancang Kelompok

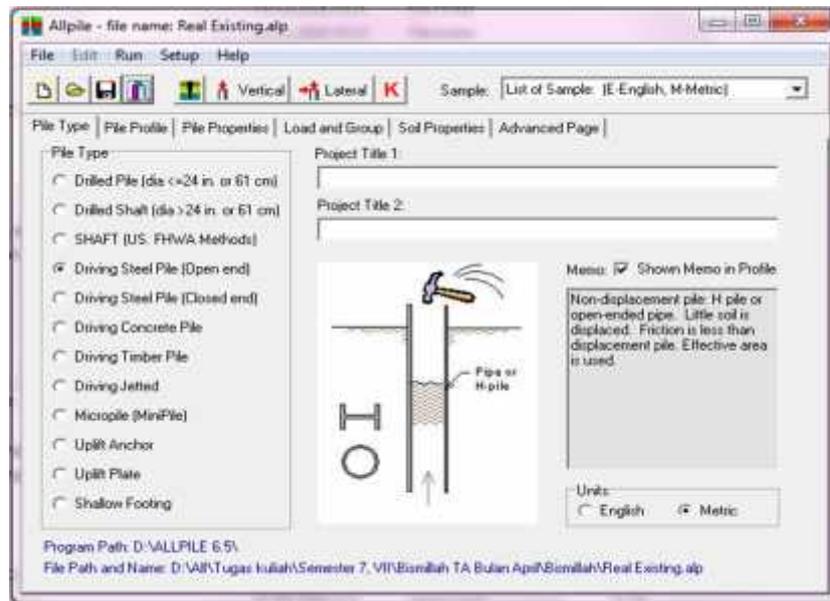
$$\begin{aligned} V &= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \right) L \times N \\ &= \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \right) 25 \times 9 \\ &= 176,63 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

3.6. Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Kelompok

3.6.1. Software ALLPILE

1. Pilih Tipe Tiang

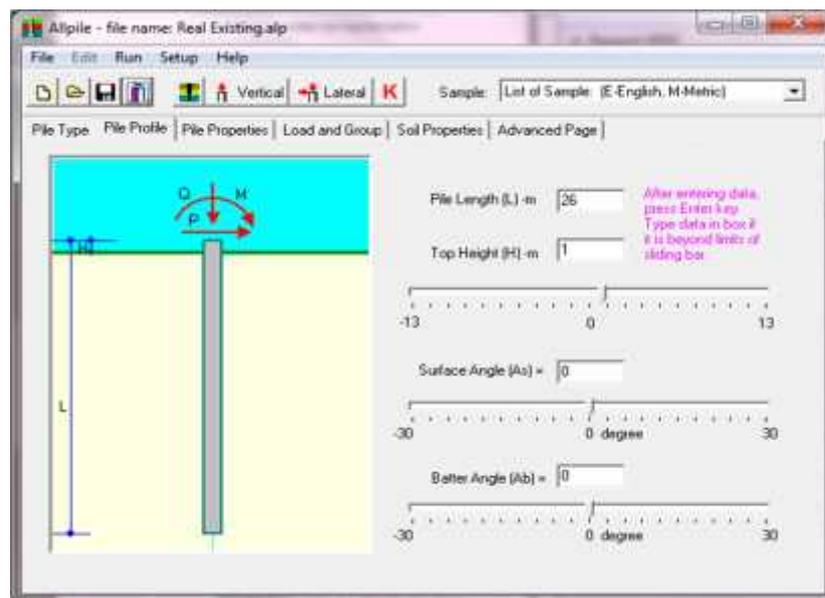
Langkah pertama adalah memilih *Pile Type*. *Pile* yang penulis pilih adalah *Driving Steel Pile (Open end)*, karena penelitian saya ini adalah tiang pancang pipa baja dan bawahnya terbuka. Satuan yang penulis pilih adalah satuan *Metric*, ada juga pilihan lain seperti satuan *English*.



Gambar 3.5 *Pile Type*. Tipe Tiang Pada Software ALLPILE

2. Isi Data Pondasi Tiang

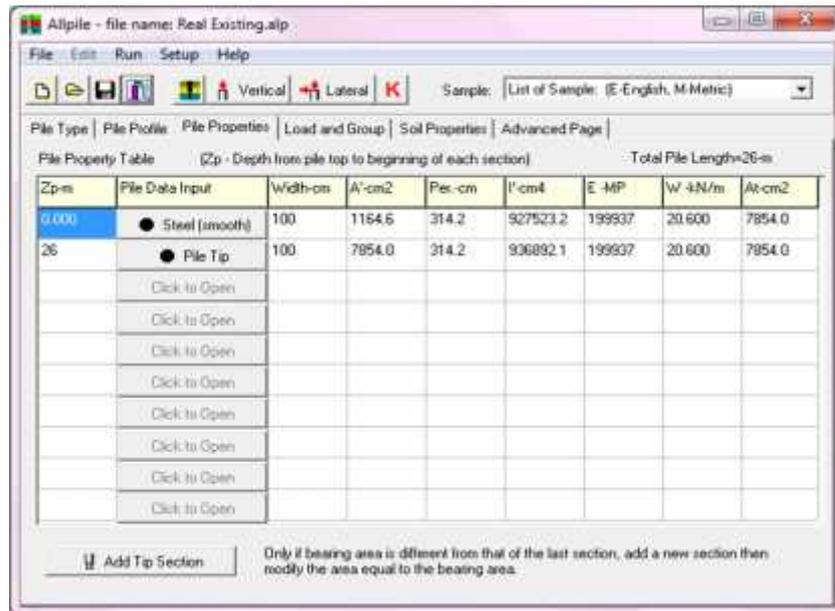
Berikutnya adalah bagian *Pile Profile*. Isikan ukuran panjang *pile* pada *pile length* yaitu 26 m, *top height* setinggi 1 m, kemiringan permukaan tanah di *surface angle*. Untuk pondasi tiang pancang maka masukkan parameter *Batter Angle*.



Gambar 3.6 *Pile Profile*. Ukuran Panjang Tiang Pada Software ALLPILE

3. Isi *Pile Properties*

Berikutnya adalah *Pile Properties*. Isikan *properties pile* yang digunakan. Apabila di klik di bagian *Pile data Input (Click to open)* maka jendela *Pile Section Screen* akan terbuka.

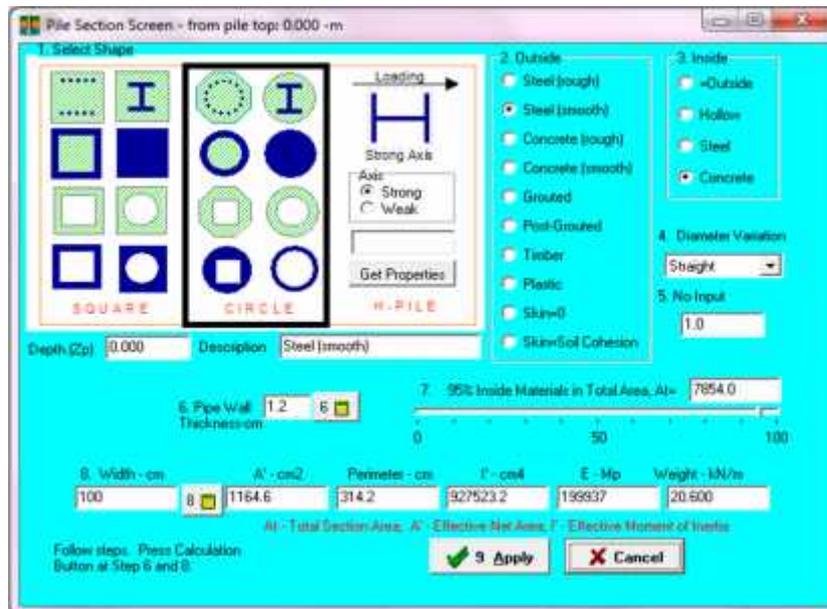


Zp-m	Pile Data Input	Width-cm	A'-cm2	Per-cm	I'-cm4	E-MP	W-kN/m	A-cm2
0.000	● Steel (smooth)	100	1154.6	314.2	527523.2	199937	20.600	7854.0
26	● Pile Tip	100	7854.0	314.2	906892.1	199937	20.600	7854.0
	Click to Open							
	Click to Open							
	Click to Open							
	Click to Open							
	Click to Open							
	Click to Open							
	Click to Open							
	Click to Open							

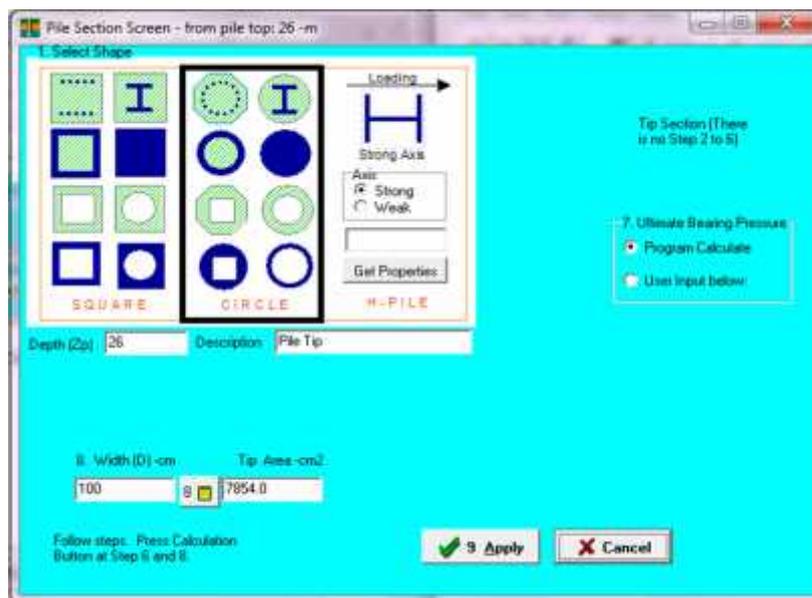
Only if bearing area is different from that of the last section, then modify the area equal to the bearing area.

Gambar 3.7 *Pile Properties*

Pilih *Shape* (Bentuk Pile) yaitu *Circle*, *Outside* = *Steel (smooth)*, *Inside* = *Concrete*, *width* = 100 cm dan *Pipe wall thickness* = 1,2 cm, karena berisikan tebal tiang pancang bajanya 1,2 cm, lalu klik tanda kalkulator maka perimeter dimensi lain otomatis terisi, klik *Apply*, lalu isi $Z_p\text{-m} = 0$. Berikutnya klik *Add Tip Section* untuk parameter ujung *pile*.



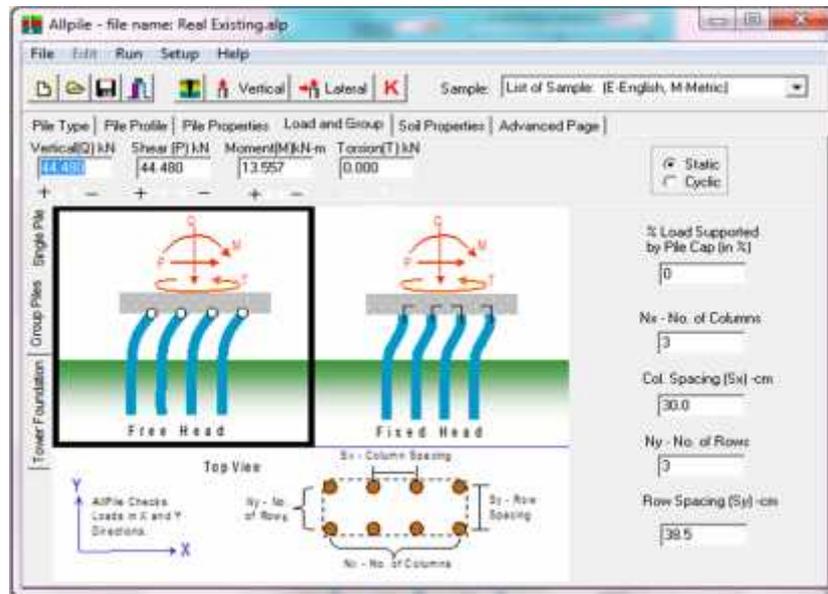
Gambar 3.8 Pile Section Screen



Gambar 3.9 Pile Section Screen

4. Mengisi *Load and Group*

Berikutnya adalah *Load and Group*. Yang berisi pembebanan yang dipakai. Pembebanan dapat anda pilih untuk *single pile* atau *group pile* jangan lupa *type pile head treatment* yang dipakai. Karena penelitian ini pondasi tiang pancang kelompok maka dari itu saya pilih *grup pile*.



Gambar 3.10 Mengisi *Load and Group*

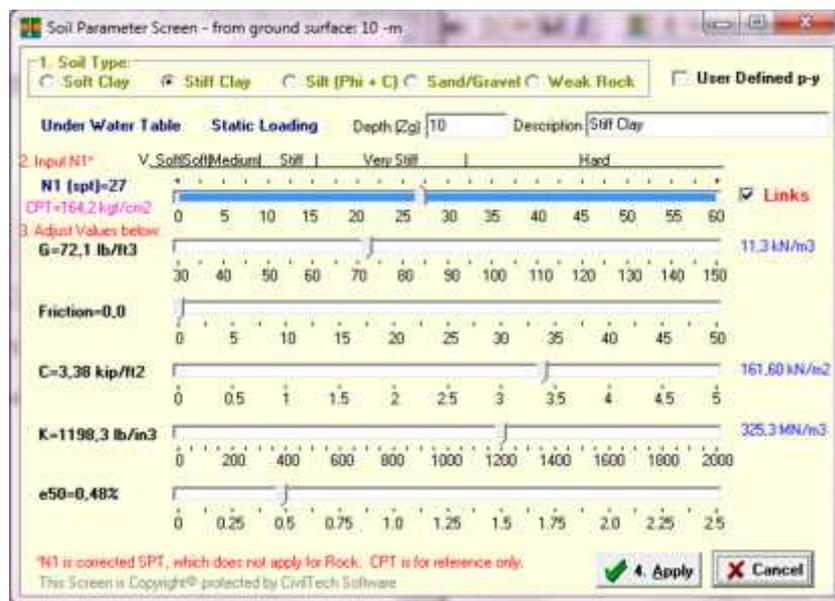
5. Mengisi *Soil Properties*

Berikutnya adalah *Soil Properties*. Adalah bagian yang paling penting untuk mengisi data tanah sesuai hasil penyelidikan tanah yang telah dilakukan, termasuk muka air tanah (*water table*).

Z(m)	Soil Data Input	G(kN/m ³)	Phi	E(kN/m ²)	I(MN/m ³)	e50 or Dr	N(opt)	Type
0.000	Soft Clay (w)	6.0	0.0	7.8	4.9	3.01	1	1
10	Soft Clay (w)	11.3	0.0	160.4	322.2	0.48	27	2
14	Soft Clay (w)	12.1	0.0	244.8	537.0	0.37	41	2
20	Soft Clay (w)	12.2	0.0	266.7	638.0	0.34	48	2
22	Soft Clay (w)	12.2	0.0	359.1	788.8	0.29	60	2
24	Soft Clay (w)	12.2	0.0	359.1	788.8	0.29	60	2
26	Soft Clay (w)	12.2	0.0	359.1	788.8	0.29	60	2
	Click to Open							
	Click to Open							
	Click to Open							

Gambar 3.11 Mengisi *Soil Properties*

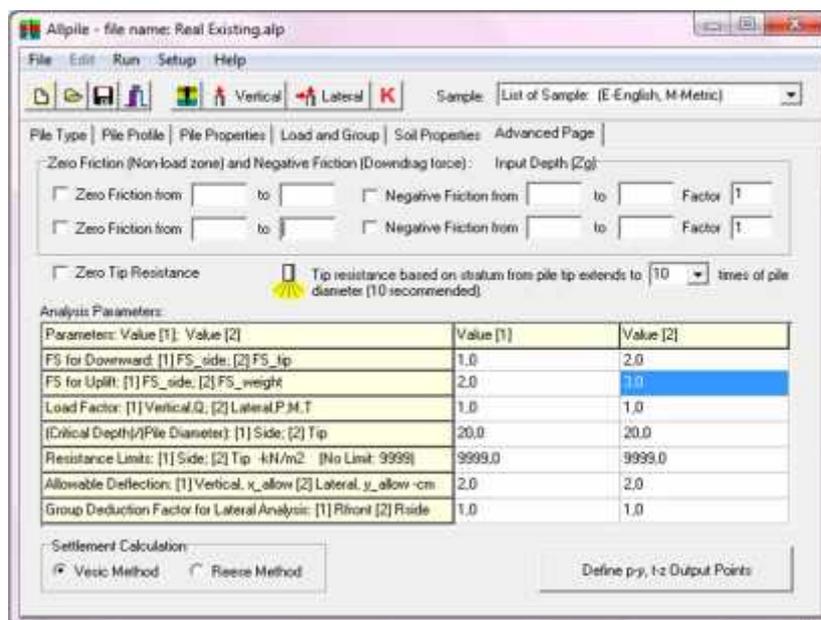
Setelah memilih *soil properties* isi data soil nya dengan data yang ada. Karena data yang ada adalah data N-SPT makaisikan data nya sesuai dengan data tersebut sesuai dengan kedalamannya.



Gambar 3.12 *Input Soil Parameter Screen*

6. Mengisi Data *Advanced Page*

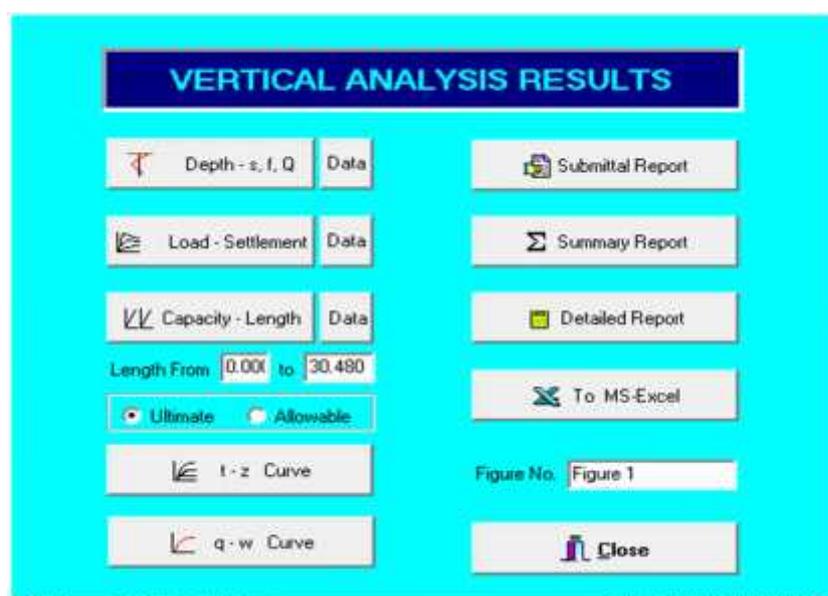
Berikutnya adalah *Advanced Page*. Anda dapat memasukkan kondisi *zero skin friction* atau *zero tip resistance* tergantung kondisi pile yang di desain. Bagian ini juga berisikan *Safety Factor* yang digunakan.



Gambar 3.13 Mengisi Data *Advanced Page*

7. Run Analysis

Setelah *input* semua data sudah selesai langkah selanjutnya *run analysis*, karena peneliti tidak meneliti gaya *horizontal* dan hanya meneliti gaya *vertikal* maka dipilihlah *vertical analysis* dan pilih *detailed report* untuk hasil detailnya.



Gambar 3.14 *Run Analysis*

Setelah *Detailed Report* di klik, akan muncul hasil perhitungan saya

Title : P1 Jembatan Musi VI Kota Palembang

PILE PROFILE:

Pile Length, $L= 26,0 \text{ -m}$

Top Height, $H= 1 \text{ -m}$

Slope Angle, $As= 0$

Batter Angle, $Ab= 0,00$ Batter Factor, $Kbat= 1,00$

GROUP PILES:

Group Configuration:

Free Head

Average Pile Diameter= **1,00 -m**

$S_x= 30.0 \text{ -cm}$

$S_y= 38.5 \text{ -cm}$

$N_x= 3$

$N_y= 3$

1. Single Pile Vertical Analysis (in Group):

Vertical Load= 4,94 -kN

Results:

Total Ultimate Capacity (Down)= 14568,35-kN, Total Ultimate Capacity (Up)= 12373,21-kN

Total Allowable Capacity (Down)= 13299,19-kN, Total Allowable Capacity (Up)= **6129,41-kN**

At Work Load= 4,94-kN, Settlement= 0,000-cm

At Work Load= 4,94-kN, Secant Stiffness $K_{qx}= 13330,11\text{-kN/-cm}$

At Allowable Settlement= 2,000-cm, Capacity= 14433,34-kN

Work Load, 4,94-kN, OK with the Capacity at Allowable Settlement=
2,00-cm, Capacity= 14433,34-kN

Work Load, 4,94-kN, OK with the Allowable Capacity (Down)=
13299,19-kN

2. Group Pile Vertical Analysis (in Group):

Vertical Load= 44,48 -kN

Results:

Total Ultimate Capacity (Down)= 34958,57-kN, Total Ultimate Capacity
(Up)= 28894,47-kN

Total Allowable Capacity (Down)= 30382,20-kN, Total Allowable
Capacity (Up)= **13932,47-kN**

At Work Load= 44,48-kN, Settlement= 0,00180-cm

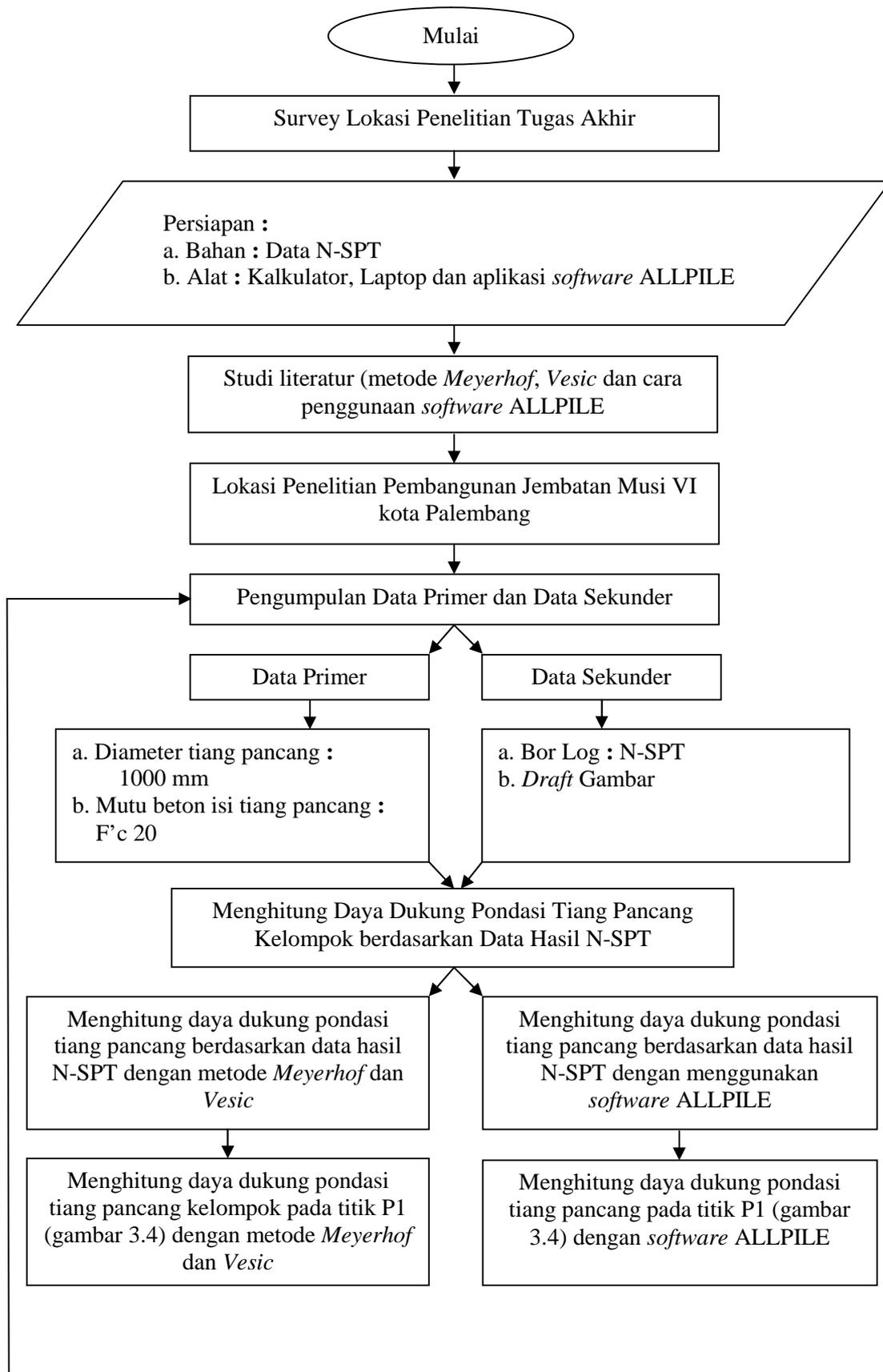
At Work Load= 44,48-kN Secant Stiffness K_{qx} = 24657,76-kN/-cm

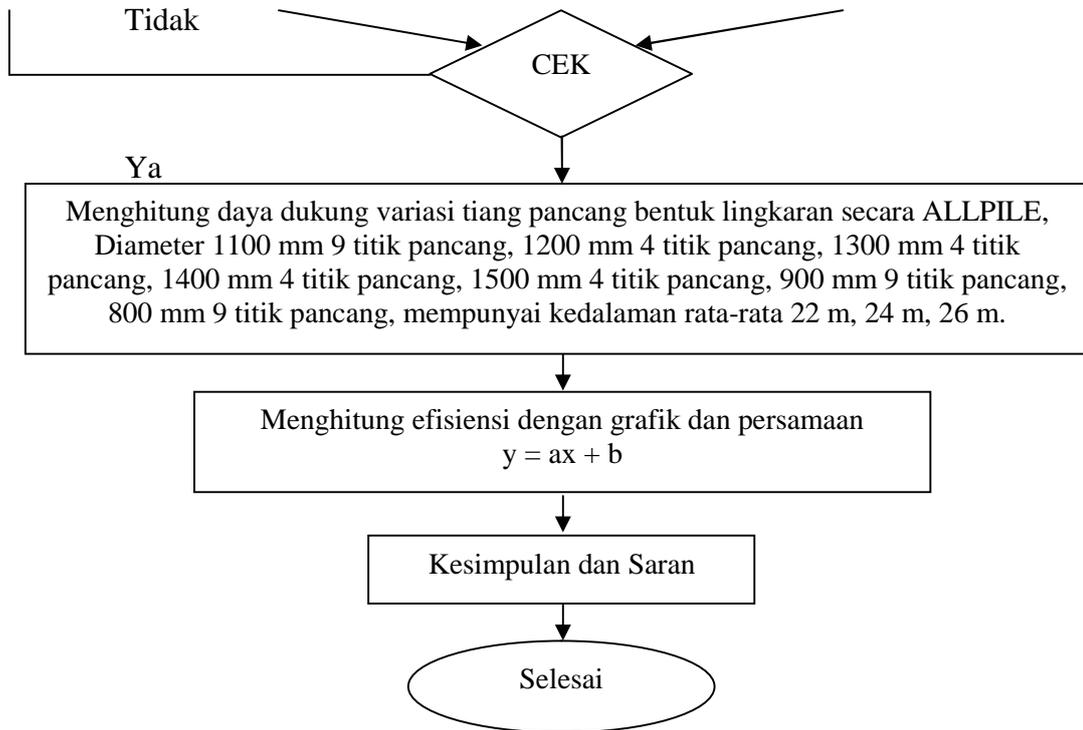
At Allowable Settlement= 2,000-cm, Capacity= 34586,92-kN

Work Load, 44,48-kN, OK with the Capacity at Allowable Settlement=
2,00-cm, Capacity= 34586,92-kN

Work Load, 44,48-kN, OK with the Allowable Capacity (Down)=
30382,20-kN

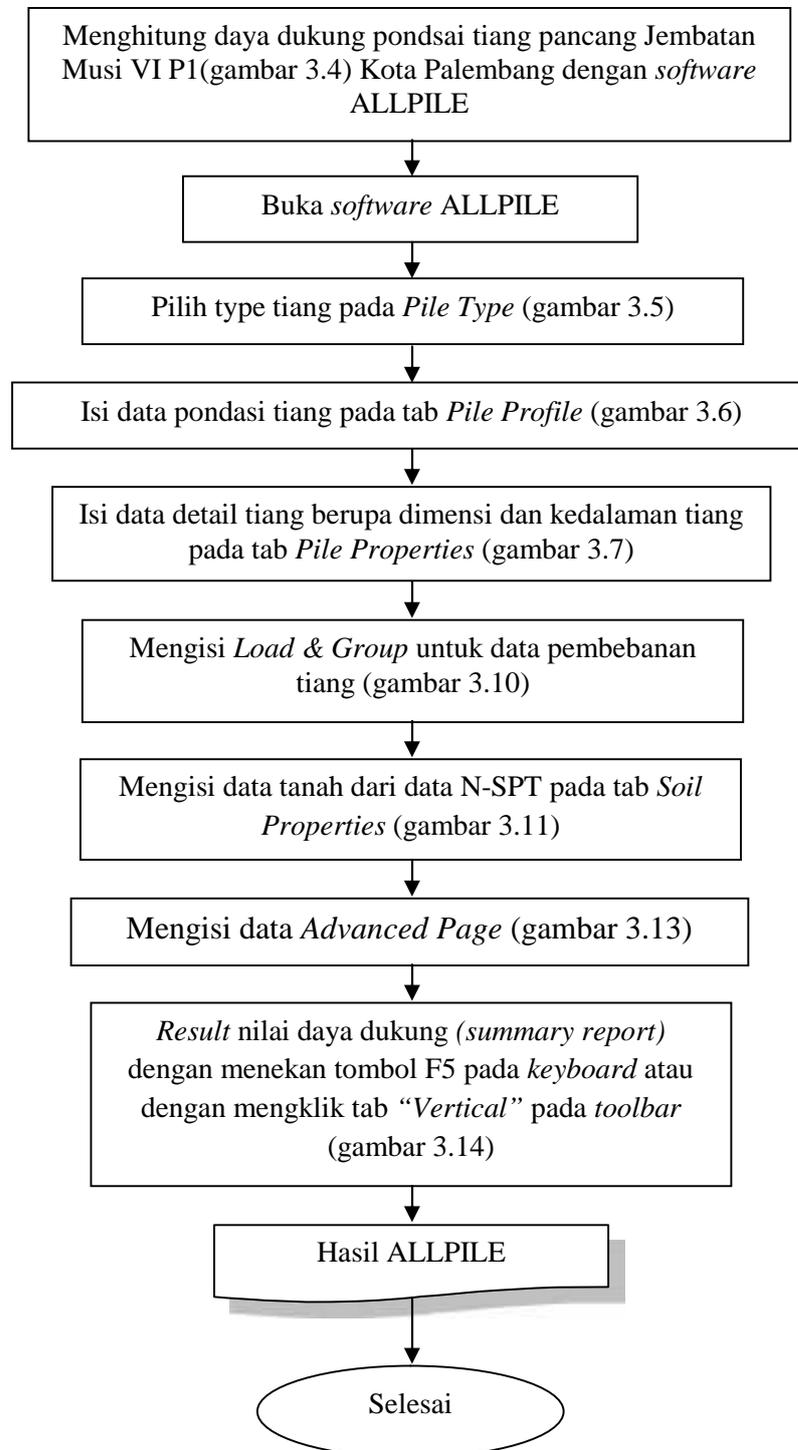
3.7 Bagan Alir Penelitian





Gambar 3.15 Bagan Alir Penelitian

3.8 Bagan Alir Perhitungan Daya Dukung dengan *software* ALLPILE



Gambar 3.16 Bagan Alir Perhitungan Dengan *Software* ALLPILE

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Data

Bagian ini peneliti akan membahas tentang cara menghitung hasil penelitian dari data yang sudah dikumpulkan. Langkah pertama mengumpulkan data yang diperlukan dan buat grafik perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang kelompok menggunakan data N-SPT.

4.1.1. Data Teknis Tiang Pancang

- | | |
|--|--|
| a. Jenis atau bahan tiang | : Pancang Pipa Baja Bertulang |
| b. Bentuk tiang | : Silinder atau lingkaran |
| c. Diameter tiang | : 100 cm atau 1000 mm |
| d. Luas penampang | : $0,785 \text{ m}^2$ |
| e. Volume 1 tiang dan 9 tiang | : $19,62 \text{ m}^3$ dan $176,62 \text{ m}^3$ |
| f. Mutu beton | : F'c 20 |
| g. Panjang tiang P1 rata-rata | : 25 m |
| h. Jumlah titik dalam satu Pier / kelompok | : 9 tiang |
| i. Jarak antar tiang (S) | : $x = 3 \text{ m}$ dan $y = 3,85 \text{ m}$ |

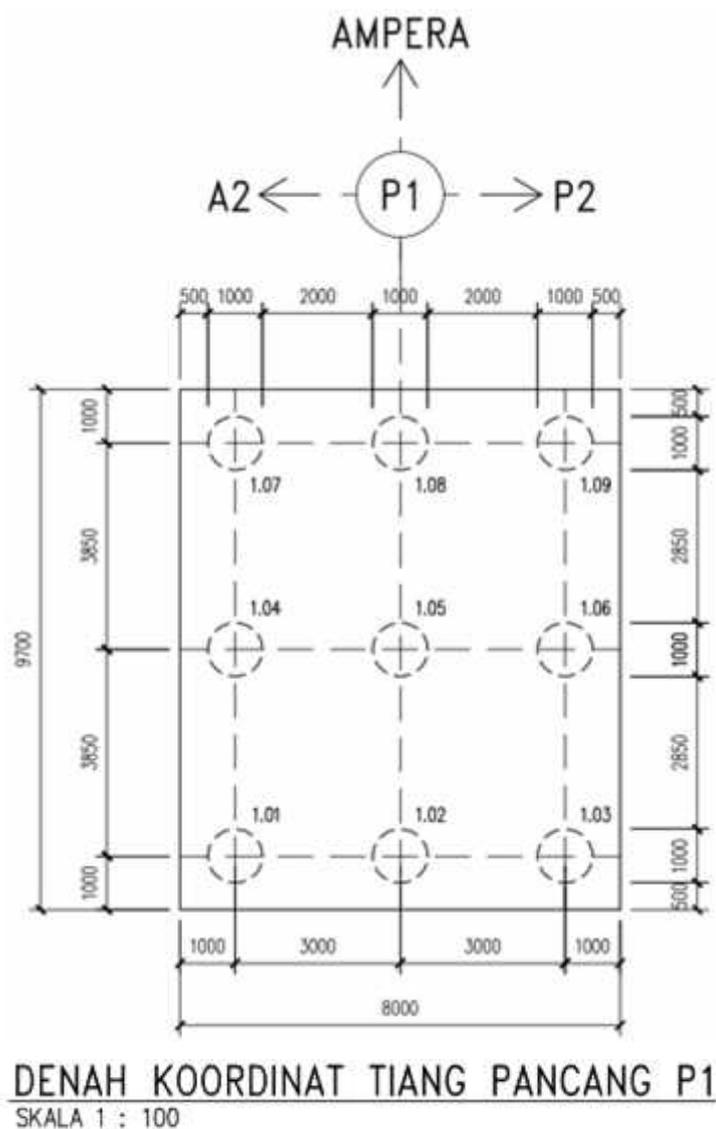
“keterangan”

Pancang pipa baja bertulang (gambar 4.2), silinder / lingkaran (gambar 4.2), 100 cm / 1000 mm (gambar 4.2), F'c 20 (gambar 4.2), 25 m (gambar 4.2), 9 tiang (gambar 4.2), $x = 3$ dan $y = 3,85 \text{ m}$ (gambar 4.1).

4.1.2. Data Boring Log Tanah

Data tanah hasil *bor log* mempunyai hasil yang bervariasi untuk menganalisa daya dukung pondasi tiang pancang, dan hasil *bor log* tanah di lapangan di dapat nilai N-SPT.

Nilai N-SPT inilah yang akan digunakan untuk menghitung daya dukung pondasi tiang pancang kelompok pada pembangunan Jembatan Musi VI P1 Kota Palembang (gambar 4.3).

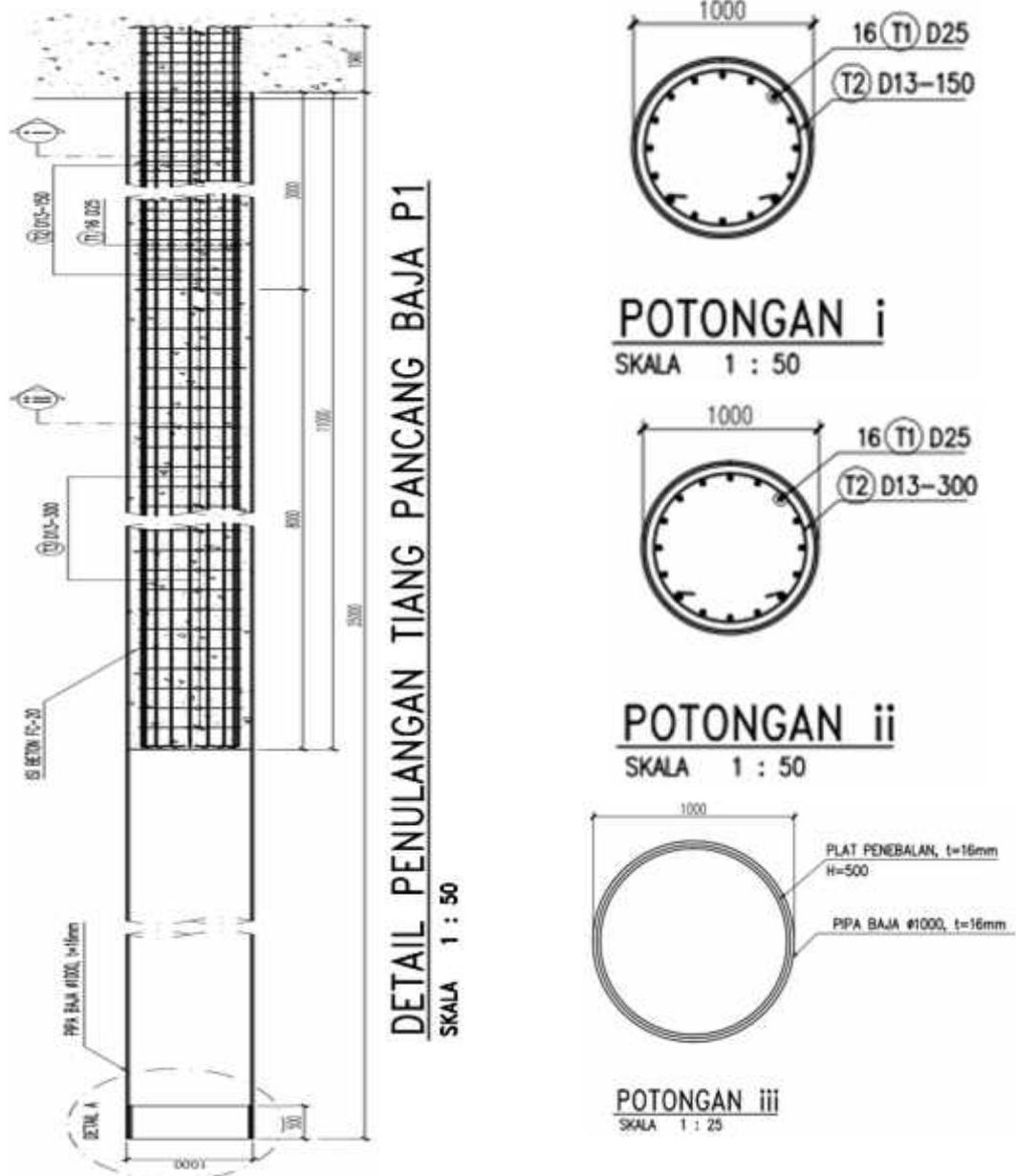


Gambar 4.1 Denah Pier 1

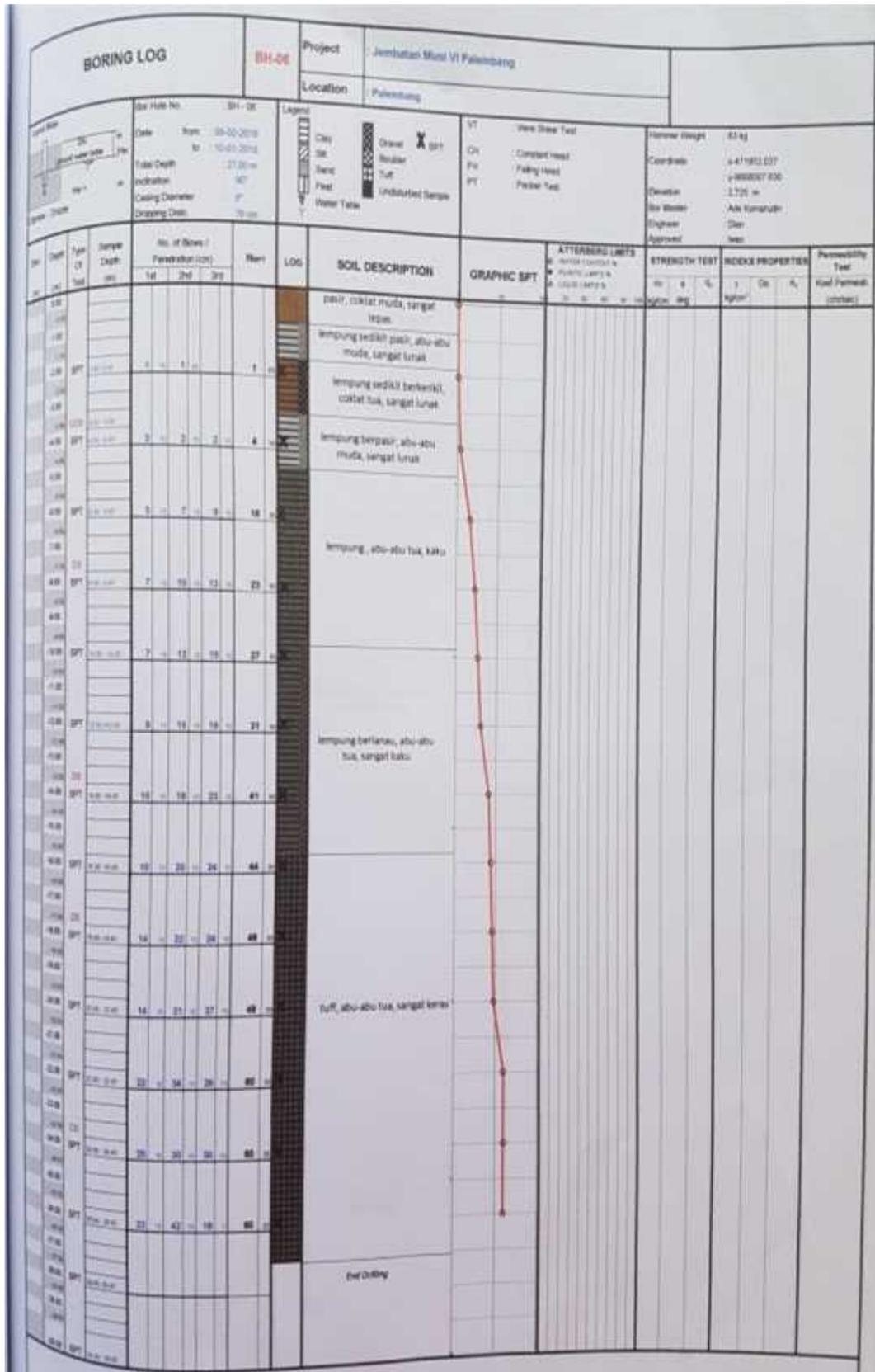
Tabel 4.1 Titik Koordinat P1

TABEL KOORDINAT TIANG PANCANG P1

NO. TIANG PANCANG	X	Y
1.01	471948.6119	9668005.5719
1.02	471951.2819	9668004.2039
1.03	471953.9518	9668002.8358
1.04	471950.3696	9668009.0023
1.05	471953.0375	9668007.6303
1.06	471955.7095	9668006.2663
1.07	471952.1232	9668012.4247
1.08	471954.7930	9668011.0565
1.09	471957.4630	9668009.6887



Gambar 4.2 Detail Tiang Pancang



Gambar 4.3 Grafik N-SPT pada Pier 1 diameter 100 cm, L = 25 m

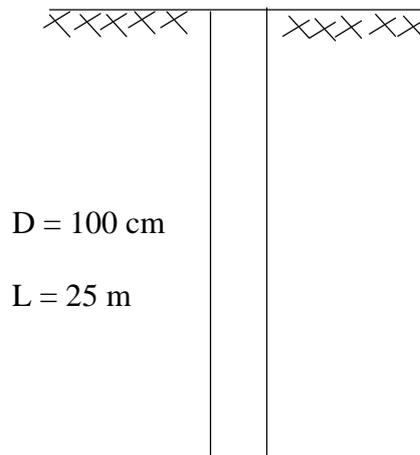
Jika dibutuhkan tabel dari grafik N-SPT tersebut, maka dapat dibuat tabel seperti dibawah ini, yang mana tabel tersebut berisi nilai dari N-SPT itu sendiri.

Tabel 4.2 Data N-SPT pada Pier 1

Kedalaman		Nilai SPT N	As	Qs
Z ₁ (m)	Z ₂ (m)			
0	2	1	6,280	6,28
2	4	4	6,280	25,12
4	6	16	6,280	100,48
6	8	23	6,280	144,44
8	10	27	6,280	169,56
10	12	31	6,280	194,68
12	14	41	6,280	257,48
14	16	44	6,280	276,32
16	18	48	6,280	301,44
18	20	48	6,280	301,44
20	22	60	6,280	376,8
22	24	60	6,280	376,8
24	26	80	6,280	502,4
				3033,24

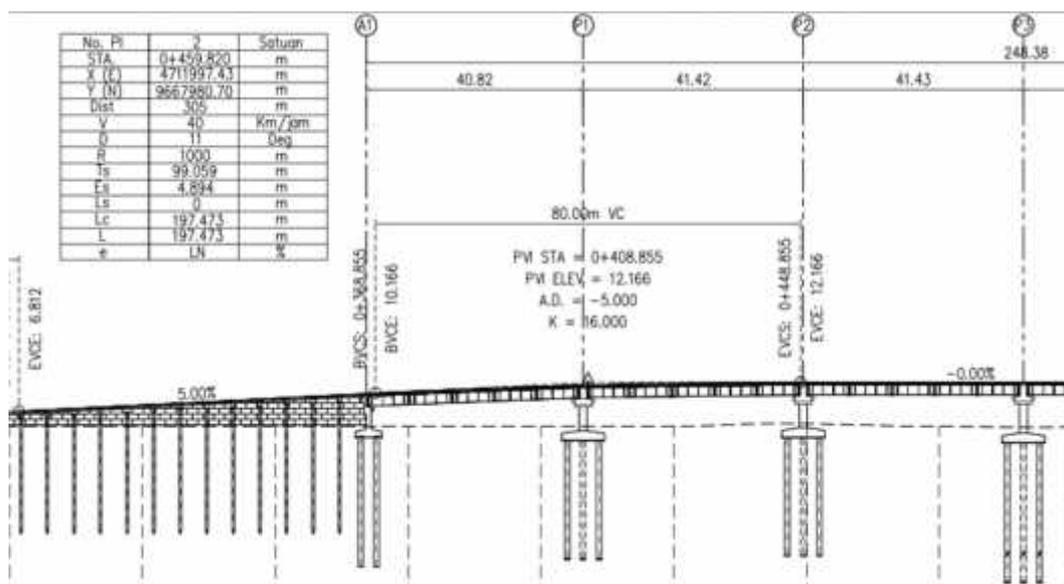
Setelah pengumpulan data selsai yaitu langkah selanjutnya menghitung daya dukung tiang pancang kelompok dengan menggunakan metode empiris *Meyerhof* dan *Vesic*, dibandingkan dengan menggunakan metode *Vesic* dalam software *ALLPILE*.

4.2 Gambaran Pondasi Tiang Pancang Kelompok Pier 1 Jembatan Musi VI Kota Palembang



Gambar 4.4 Pondasi Tiang Pancang

Setelah menganalisa daya dukung pondasi tiang pancang kelompok pada Jembatan Musi VI Pier 1 Kota Palembang berdasarkan data N-SPT dengan menggunakan metode *Meyerhof* dan *Vesic* dengan *Vesic* dalam *software ALLPILE*, maka didapatkan hasil perhitungan daya dukungnya. Dapat dilihat pada tabel 4.3 dan 4.4, dan gambar 4.6.



Gambar 4.5 Titik Lokasi Penelitian

4.3 Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Kelompok

a. Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Tabel 4.3 Hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang kelompok *Existing* metode Empiris *Meyerhof* dan dengan metode *Vesic* dalam *software ALLPILE*

No	Pier	Empiris <i>Meyerhof</i> (kN)	<i>Vesic</i> dalam <i>software ALLPILE</i> (kN)	Selisih (%)
1	P1	7896,877	13932,47	43,3

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa daya dukung pondasi tiang pancang kelompok pada titik P1 secara Empiris *Meyerhof* sebesar 7896,877 kN dan secara *Vesic Allpile* sebesar 13932,47 kN dengan selisih *Meyerhof* lebih kecil 43,3%.

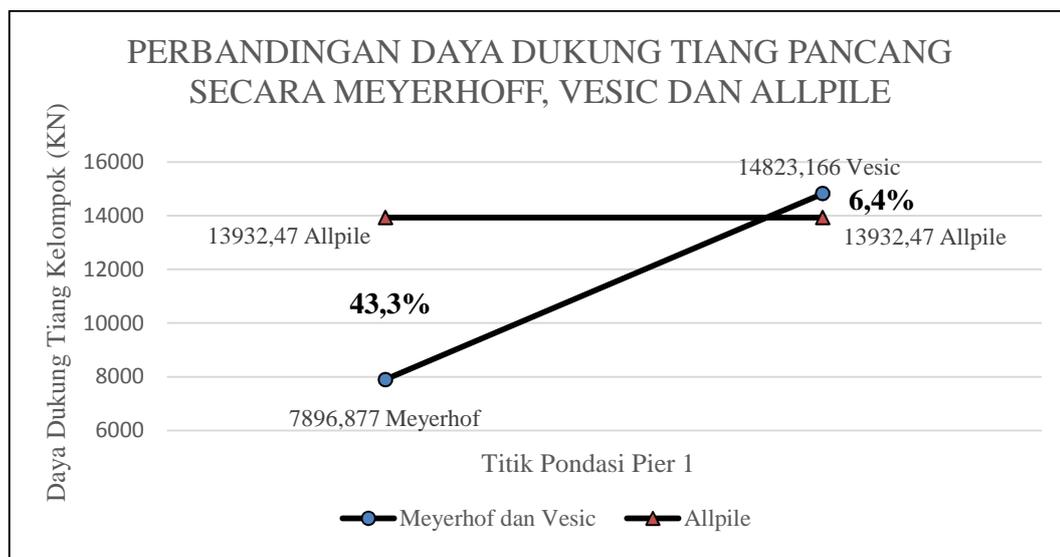
Tabel 4.4 Hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang kelompok *Existing* metode Empiris *Vesic* dan dengan metode *Vesic* dalam *software ALLPILE*

No	Pier	Empiris <i>Vesic</i> (kN)	<i>Vesic</i> dalam <i>software ALLPILE</i> (kN)	Selisih (%)
1	P1	14823,166	13932,47	6,4

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa daya dukung pondasi tiang pancang kelompok pada titik P1 secara Empiris *Vesic* sebesar 14823,166 kN dan secara *Vesic Allpile* sebesar 13932,47 kN dengan selisih *Vesic* lebih besar 6,4%.

b. Pembahasan Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Hasil dari perhitungan secara empiris *Meyerhoff*, *Vesic* dan *Vesic* dalam *software ALLPILE* yang telah di jelaskan dalam tabel 4.3 dan 4.4 selanjutnya akan di jelaskan dalam bentuk grafik perbandingan daya dukung tiang pancang kelompok pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan daya dukung tiang pancang kelompok dengan metode *Meyerhoff*, *Vesic* dan *Vesic* dalam *software ALLPILE*

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa bahwa grafik daya dukung pondasi tiang pancang kelompok yang paling kecil secara empiris *Meyerhoff* dan *Vesic*, ialah sebesar 7896,877 kN hasil dari *Meyerhoff*, sedangkan yang terbesar sebesar 14823,166 kN hasil dari *Vesic*.

Dari Gambar 4.6, Tabel 4.3, dan Tabel 4.4 dapat disimpulkan bahwasannya metode empiris *Meyerhoff* ke *Vesic ALLPILE* mempunyai selisih yang besar, dan tidak bisa dijadikan acuan untuk menjadikan daya dukung variasi, jika di dibandingkan dengan metode *Vesic* ke *Vesic ALLPILE* yang mempunyai selisih yang kecil dimana metode empiris *Vesic* dengan *Vesic ALLPILE* dapat dijadikan acuan untuk menghitung daya dukung variasi, jadi untuk perhitungan variasi selanjutnya tidak akan menggunakan metode empiris *Meyerhoff* melainkan hanya menggunakan metode *Vesic ALLPILE* dikarenakan mempunyai selisih hasil yang kecil dengan metode empiris *Vesic* hal ini dilakukan agar mendapatkan hasil yang efektif.

4.4 Variasi Pondasi Tiang Pancang Kelompok

1. Variasi Ø800 mm pada titik P1 terhadap diameter pondasi yang direncanakan

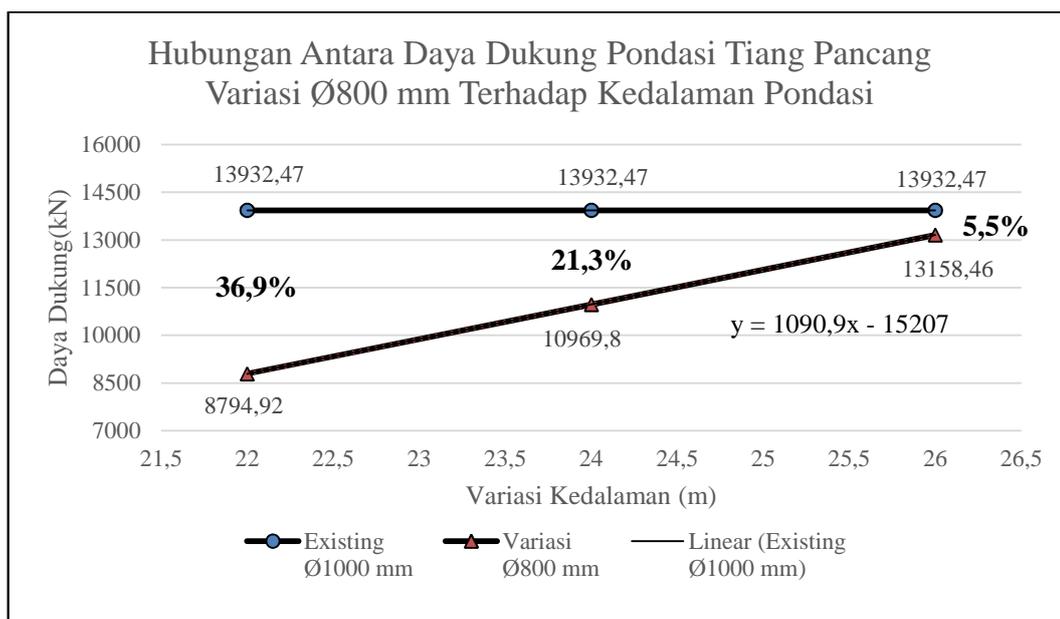
a. Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Tabel 4.5 Hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang kelompok variasi dengan diameter Ø800 mm menggunakan data *N-SPT*

Diameter (mm)	Kedalaman (m)	Existing (kN)	Allpile (kN)	Keterangan
Ø800	22 m	13932,47	8794,92	No
	24 m		10969,80	No
	26 m		13158,46	No

b. Pembahasan Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Hasil dari perhitungan daya dukung variasi Ø800 mm metode *Vesic* dalam *software ALLPILE* yang telah di jelaskan dalam tabel 4.5 selanjutnya akan di jelaskan dalam bentuk grafik perbandingan daya dukung tiang pancang kelompok pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik nilai daya dukung variasi P1 Ø800 mm terhadap existing

Dalam gambar 4.7 menunjukkan bahwa pondasi tiang pancang kelompok dengan variasi Ø800 mm pada titik P1 jarak antar tiang sebesar 3000 mm (arah X), 3850 mm (arah Y) dan jumlah tiang pancang sebanyak 9 tiang pada kedalaman 22, 24 dan 26 meter tidak memenuhi syarat aman dikarenakan nilai daya dukung pondasinya dibawah nilai existing sebesar 15473,20 kN dan dicari dengan menggunakan persamaan $y = 1090x + 15207$ terdapat pada variasi Ø800 mm dengan kedalaman 26,71 meter (lampiran 2.1).

Sebagai pembuktian, kedalaman yang sudah didapat dibulatkan ke atas menjadi 27 meter kemudian kembali dihitung dengan *software Allpile* dan didapat nilai daya dukung yaitu 14250,65 kN, lebih besar dari daya dukung existing dan dinyatakan memenuhi syarat aman.

2. Variasi Ø900 mm pada titik P1 terhadap diameter pondasi yang direncanakan
 - a. Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi

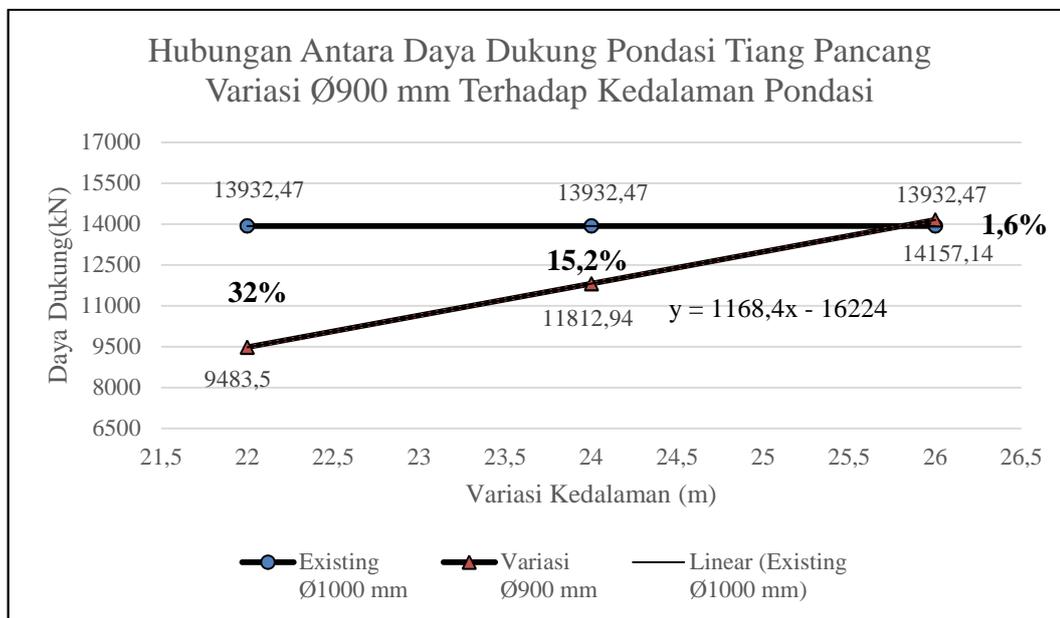
Tabel 4.6 Hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang kelompok variasi dengan diameter Ø900 mm menggunakan data *N-SPT*

Diameter (mm)	Kedalaman (m)	Existing (kN)	Allpile (kN)	Keterangan
Ø900	22 m	13932,47	9483,50	No
	24 m		11812,94	No
	26 m		14157,14	Ok

- b. Pembahasan Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Hasil dari perhitungan daya dukung variasi Ø900 mm metode *Vesic* dalam *software ALLPILE* yang telah di jelaskan dalam tabel 4.6 selanjutnya

akan di jelaskan dalam bentuk grafik perbandingan daya dukung tiang pancang kelompok pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik nilai daya dukung variasi P1 Ø900 mm terhadap existing

Dalam gambar 4.8 menunjukkan bahwa pondasi tiang pancang kelompok dengan variasi Ø900 mm pada titik P1 jarak antar tiang sebesar 3000 mm (arah X), 3850 mm (arah Y) dan jumlah tiang pancang sebanyak 9 tiang pada kedalaman 22, 24 tidak memenuhi syarat aman, sedangkan pada kedalaman 26 meter memenuhi syarat aman dikarenakan nilai daya dukung pondasinya diatas nilai existing sebesar 14157,14 kN dan dicari dengan menggunakan persamaan $y = 1168,4x + 16224$ terdapat pada variasi Ø900 mm dengan kedalaman 25,81 meter (lampiran 2.2).

Sebagai pembuktian, kedalaman yang sudah didapat dibulatkan ke atas menjadi 26 meter kemudian kembali dihitung dengan *software Allpile* dan didapat nilai daya dukung yaitu 14157,14 kN, lebih besar dari daya dukung existing dan dinyatakan memenuhi syarat aman.

3. Variasi Ø1100 mm pada titik P1 terhadap diameter pondasi yang direncanakan

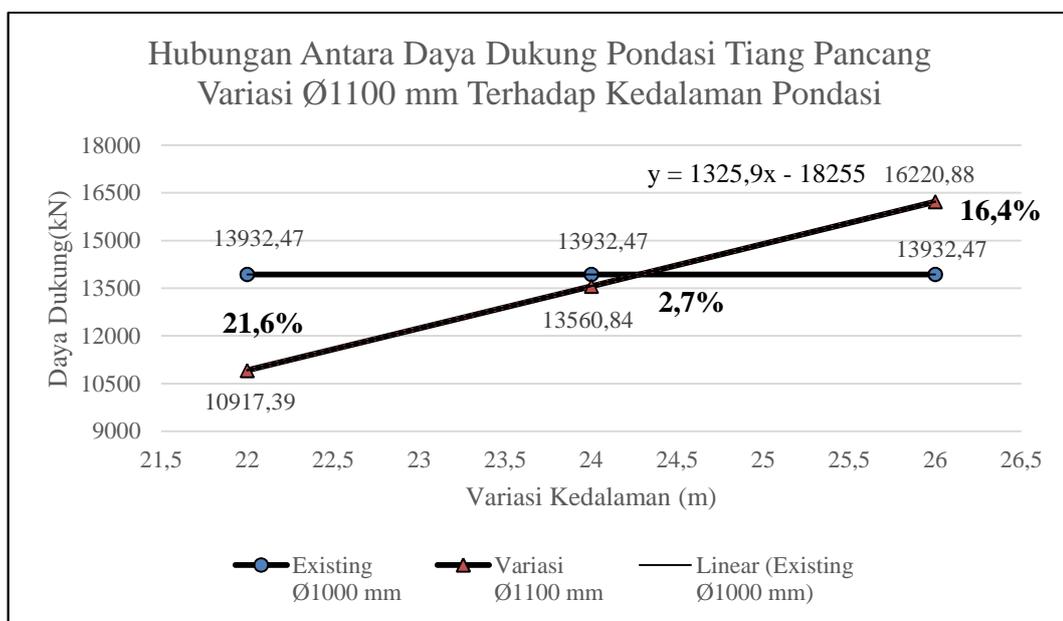
a. Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Tabel 4.7 Hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang kelompok variasi dengan diameter Ø1100 mm menggunakan data *N-SPT*

Diameter (mm)	Kedalaman (m)	Exsiting (kN)	Allpile (kN)	Keterangan
Ø1100	22 m	13932,47	10917,39	No
	24 m		13560,84	No
	26 m		16220,88	Ok

b. Pembahasan Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Hasil dari perhitungan daya dukung variasi Ø1100 mm metode *Vesic* dalam *software ALLPILE* yang telah di jelaskan dalam tabel 4.7 selanjutnya akan di jelaskan dalam bentuk grafik perbandingan daya dukung tiang pancang kelompok pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik nilai daya dukung variasi P1 Ø1100 mm terhadap existing

Dalam gambar 4.9 menunjukkan bahwa pondasi tiang pancang kelompok dengan variasi Ø1100 mm pada titik P1 jarak antar tiang sebesar 3000 mm (arah X), 3850 mm (arah Y) dan jumlah tiang pancang sebanyak 9 tiang pada kedalaman 22, 24 tidak memenuhi syarat aman, sedangkan pada kedalaman 26 meter memenuhi syarat aman dikarenakan nilai daya dukung pondasinya diatas nilai existing sebesar 16220,88 kN dan dicari dengan menggunakan persamaan $y = 1325,9x + 18255$ terdapat pada variasi Ø1100 mm dengan kedalaman 24,27 meter (lampiran 2.3).

Sebagai pembuktian, kedalaman yang sudah didapat dibulatkan ke atas menjadi 24,5 meter kemudian kembali dihitung dengan *software Allpile* dan didapat nilai daya dukung yaitu 14210,65 kN, lebih besar dari daya dukung existing dan dinyatakan memenuhi syarat aman.

4. Variasi **Ø1200** mm pada titik P1 terhadap diameter pondasi yang direncanakan
- a. Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi

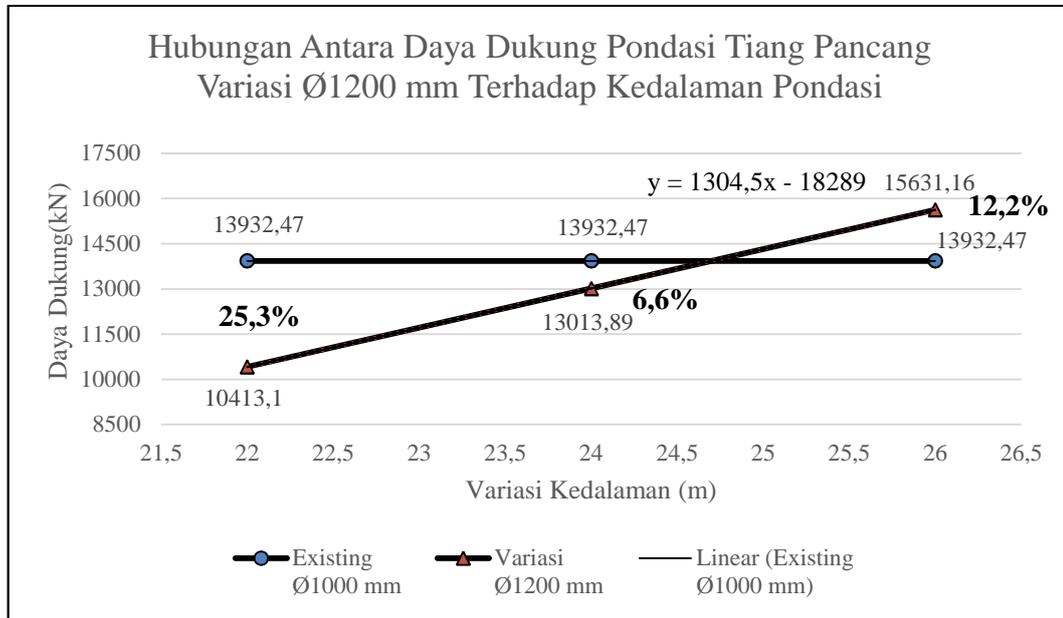
Tabel 4.8 Hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang kelompok variasi dengan diamter Ø1200 mm menggunakan data *N-SPT*

Diameter (mm)	Kedalaman (m)	Exsiting (kN)	Allpile (kN)	Keterangan
Ø1200	22 m	13932,47	10413,10	No
	24 m		13013,89	No
	26 m		15631,16	Ok

- b. Pembahasan Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Hasil dari perhitungan daya dukung variasi Ø1200 mm metode *Vesic* dalam *software ALLPILE* yang telah di jelaskan dalam tabel 4.8 selanjutnya

akan di jelaskan dalam bentuk grafik perbandingan daya dukung tiang pancang kelompok pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik nilai daya dukung variasi P1 Ø1200 mm terhadap existing

Dalam gambar 4.10 menunjukkan bahwa pondasi tiang pancang kelompok dengan variasi Ø1200 mm pada titik P1 jarak antar tiang sebesar 5000 mm (arah X), 6700 mm (arah Y) dan jumlah tiang pancang sebanyak 4 tiang pada kedalaman 22, 24 tidak memenuhi syarat aman, sedangkan pada kedalaman 26 meter memenuhi syarat aman dikarenakan nilai daya dukung pondasinya diatas nilai existing sebesar 15631,16 kN dan dicari dengan menggunakan persamaan $y = 1304,5x + 18289$ terdapat pada variasi Ø1200 mm dengan kedalaman 24,70 meter (lampiran 2.4).

Sebagai pembuktian, kedalaman yang sudah didapat dibulatkan ke atas menjadi 25 meter kemudian kembali dihitung dengan *software Allpile* dan didapat nilai daya dukung yaitu 14306,99 kN, lebih besar dari daya dukung existing dan dinyatakan memenuhi syarat aman.

5. Variasi $\text{Ø}1300$ mm pada titik P1 terhadap diameter pondasi yang direncanakan

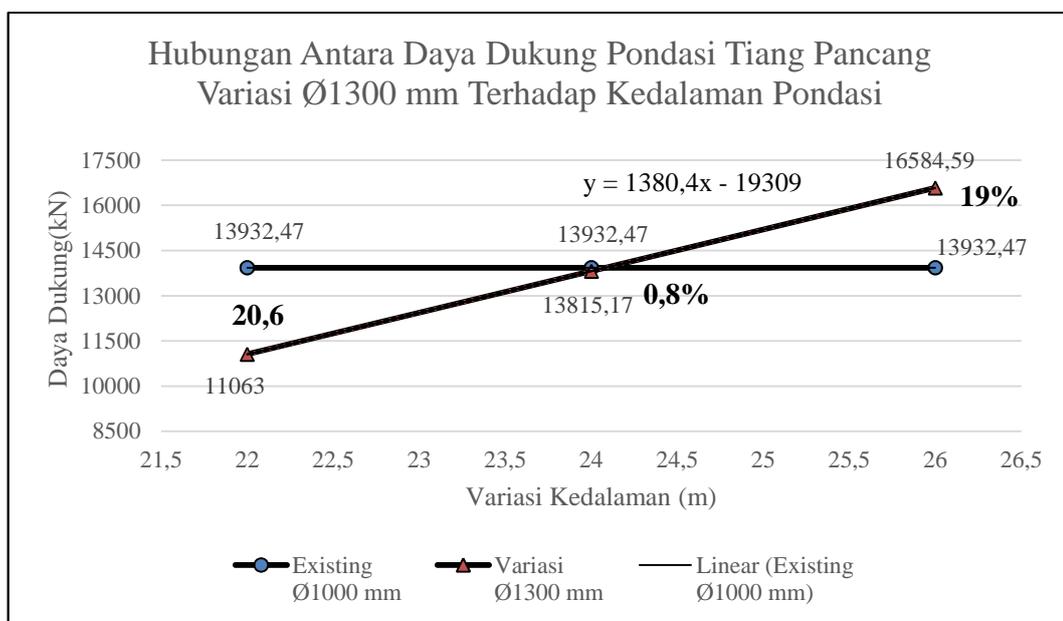
a. Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Tabel 4.9 Hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang kelompok variasi dengan diameter $\text{Ø}1300$ mm menggunakan data *N-SPT*

Diameter (mm)	Kedalaman (m)	Existing (kN)	Allpile (kN)	Keterangan
$\text{Ø}1300$	22 m	13932,47	11063,00	No
	24 m		13815,17	No
	26 m		16584,59	Ok

b. Pembahasan Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Hasil dari perhitungan daya dukung variasi $\text{Ø}1300$ mm metode *Vesic* dalam *software ALLPILE* yang telah di jelaskan dalam tabel 4.9 selanjutnya akan di jelaskan dalam bentuk grafik perbandingan daya dukung tiang pancang kelompok pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik nilai daya dukung variasi P1 $\text{Ø}1300$ mm terhadap existing

Dalam gambar 4.11 menunjukkan bahwa pondasi tiang pancang kelompok dengan variasi Ø1300 mm pada titik P1 jarak antar tiang sebesar 5000 mm (arah X), 6700 mm (arah Y) dan jumlah tiang pancang sebanyak 4 tiang pada kedalaman 22, 24 tidak memenuhi syarat aman, sedangkan pada kedalaman 26 meter memenuhi syarat aman dikarenakan nilai daya dukung pondasinya diatas nilai existing sebesar 16584,59 kN dan dicari dengan menggunakan persamaan $y = 1380,4x + 19309$ terdapat pada variasi Ø1300 mm dengan kedalaman 24,08 meter (lampiran 2.5).

Sebagai pembuktian, kedalaman yang sudah didapat dibulatkan ke atas menjadi 24,1 meter kemudian kembali dihitung dengan *software Allpile* dan didapat nilai daya dukung yaitu 13937,35 kN, lebih besar dari daya dukung existing dan dinyatakan memenuhi syarat aman.

6. Variasi **Ø1400** mm pada titik P1 terhadap diameter pondasi yang direncanakan
- a. Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi

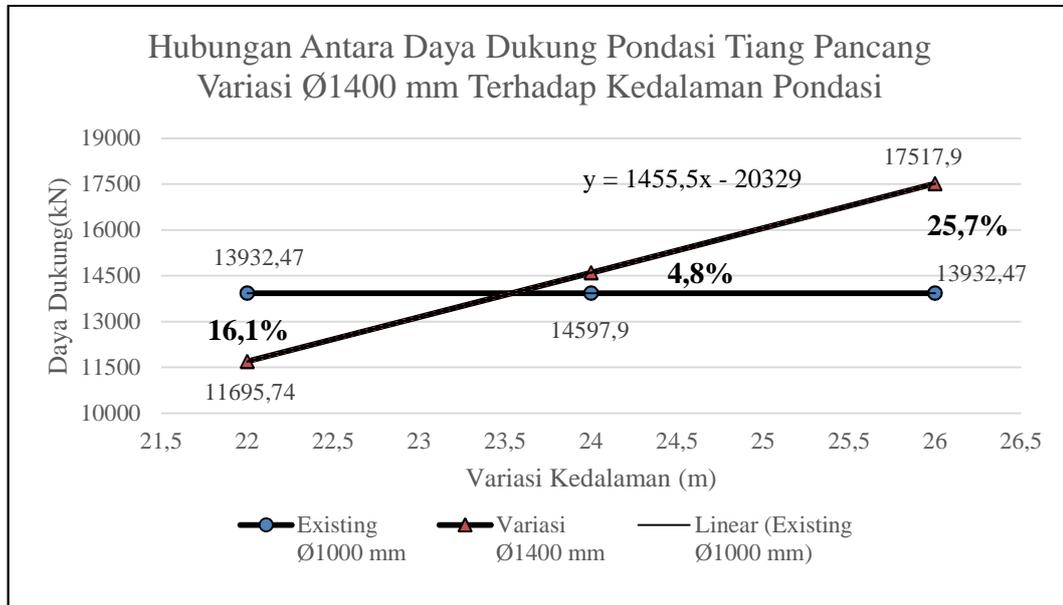
Tabel 4.10 Hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang kelompok variasi dengan diamter Ø1400 mm menggunakan data *N-SPT*

Diameter (mm)	Kedalaman (m)	Exsiting (kN)	Allpile (kN)	Keterangan
Ø1400	22 m	13932,47	11695,74	No
	24 m		14597,90	Ok
	26 m		17517,90	Ok

- b. Pembahasan Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Hasil dari perhitungan daya dukung variasi Ø1400 mm metode *Vesic* dalam *software ALLPILE* yang telah di jelaskan dalam tabel 4.10

selanjutnya akan di jelaskan dalam bentuk grafik perbandingan daya dukung tiang pancang kelompok pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik nilai daya dukung variasi P1 Ø1400 mm terhadap existing

Dalam gambar 4.12 menunjukkan bahwa pondasi tiang pancang kelompok dengan variasi Ø1400 mm pada titik P1 jarak antar tiang sebesar 5000 mm (arah X), 6700 mm (arah Y) dan jumlah tiang pancang sebanyak 4 tiang pada kedalaman 22 tidak memenuhi syarat aman, sedangkan pada kedalaman 24 dan 26 meter memenuhi syarat aman dikarenakan nilai daya dukung pondasinya diatas nilai existing sebesar 14597,90 kN dan 17517,90 kN dan dicari dengan menggunakan persamaan $y = 1455,5x + 20329$ terdapat pada variasi Ø1400 mm dengan kedalaman 23,54 meter (lampiran 2.6).

Sebagai pembuktian, kedalaman Y yang sudah didapat dibulatkan ke atas menjadi 23,6 meter kemudian kembali dihitung dengan *software Allpile* dan didapat nilai daya dukung yaitu 13997,60 kN, lebih besar dari daya dukung existing dan dinyatakan memenuhi syarat aman.

7. Variasi $\text{Ø}1500$ mm pada titik P1 terhadap diameter pondasi yang direncanakan

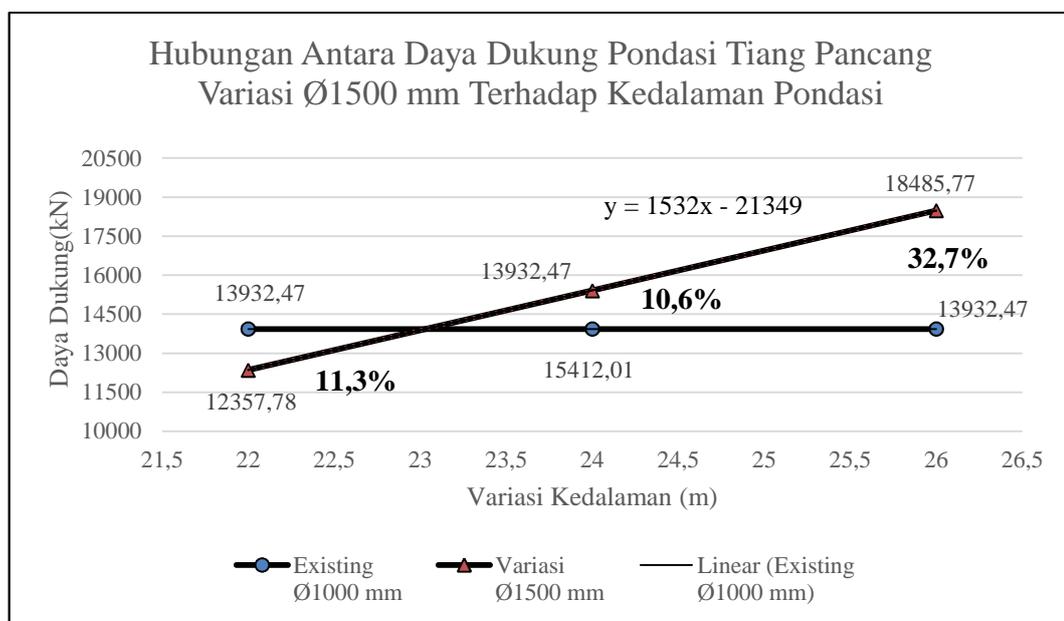
a. Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Tabel 4.11 Hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang kelompok variasi dengan diameter $\text{Ø}1500$ mm menggunakan data *N-SPT*

Diameter (mm)	Kedalaman (m)	Exsiting (kN)	Allpile (kN)	Keterangan
$\text{Ø}1500$	22 m	13932,47	12357,78	No
	24 m		15412,01	Ok
	26 m		18485,77	Ok

b. Pembahasan Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Hasil dari perhitungan daya dukung variasi $\text{Ø}1500$ mm metode *Vesic* dalam *software ALLPILE* yang telah di jelaskan dalam tabel 4.11 selanjutnya akan di jelaskan dalam bentuk grafik perbandingan daya dukung tiang pancang kelompok pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik nilai daya dukung variasi P1 $\text{Ø}1500$ mm terhadap existing

Dalam gambar 4.13 menunjukkan bahwa pondasi tiang pancang kelompok dengan variasi Ø1500 mm pada titik P1 jarak antar tiang sebesar 5000 mm (arah X), 6700 mm (arah Y) dan jumlah tiang pancang sebanyak 4 tiang pada kedalaman 22 tidak memenuhi syarat aman, sedangkan pada kedalaman 24 dan 26 meter memenuhi syarat aman dikarenakan nilai daya dukung pondasinya diatas nilai existing sebesar 15412,01 kN dan 18485,77 kN dan dicari dengan menggunakan persamaan $y = 1532x + 21349$ terdapat pada variasi Ø1500 mm dengan kedalaman 23,03 meter (lampiran 2.7).

Sebagai pembuktian, kedalaman yang sudah didapat dibulatkan ke atas menjadi 23,05 meter kemudian kembali dihitung dengan *software Allpile* dan didapat nilai daya dukung yaitu 13942,62 kN, lebih besar dari daya dukung existing dan dinyatakan memenuhi syarat aman.

4.5 Rekapitulasi Daya Dukung Variasi pada Titik P1 Terhadap Daya

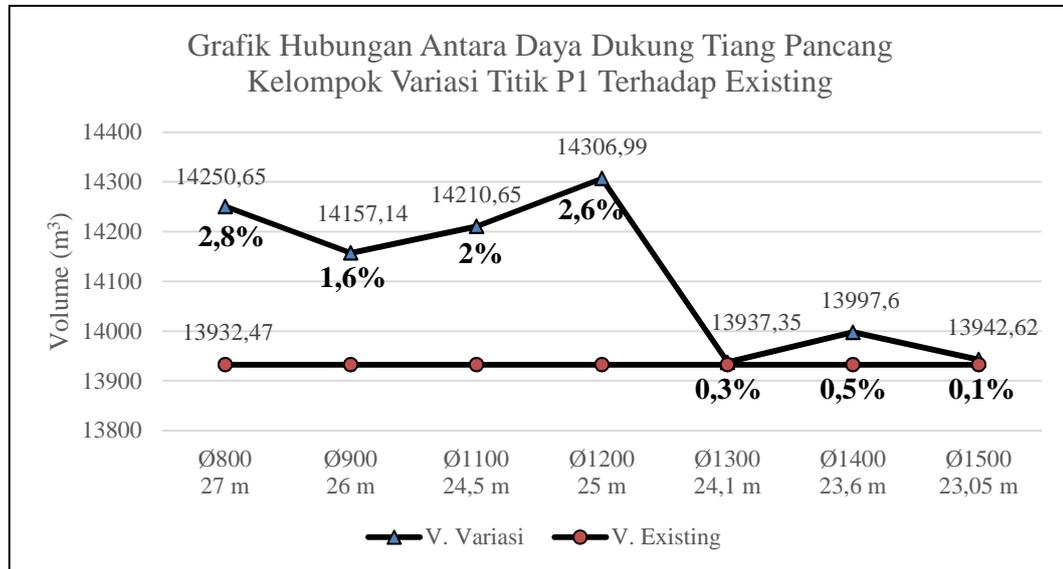
Dukung Existing

Tabel 4.12 Hasil daya dukung efisiensi dengan menggunakan persamaan $y = ax + b$

Diameter mm (Ø)	Kedalaman (m)	Jumlah tiang kelompok	Daya Dukung Existing (kN)	Daya Dukung (kN)	Keterangan
Ø800	27	m: 3, n: 3 = 9	13932,47	14250,65	Ok
Ø900	26	m: 3, n: 3 = 9		14157,14	Ok
Ø1100	24,5	m: 3, n: 3 = 9		14210,65	Ok
Ø1200	25	m: 2, n: 2 = 4		14306,99	Ok
Ø1300	24,1	m: 2, n: 2 = 4		13937,35	Ok
Ø1400	23,6	m: 2, n: 2 = 4		13997,60	Ok
Ø1500	23,05	m: 2, n: 2 = 4		13942,62	Ok

Tabel 4.12 menunjukkan rangkuman daya dukung pondasi dari seluruh hasil perhitungan variasi sebelumnya dengan keterangan “Ok” dan dengan daya dukung lebih besar dari existing sebesar 13932,47 kN, selanjutnya

akan di jelaskan dalam bentuk grafik hubungan daya dukung tiang pancang kelompok pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Grafik hubungan antara daya dukung tiang pancang terhadap existing

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa seluruh variasi diameter tiang pancang kelompok telah memenuhi syarat aman setelah dihitung menggunakan persamaan $y = ax + b$ dan kemudian akan dihitung volume pondasi efisien.

4.6 Rekapitulasi Volume Variasi pada Titik P1 Terhadap Volume Pondasi

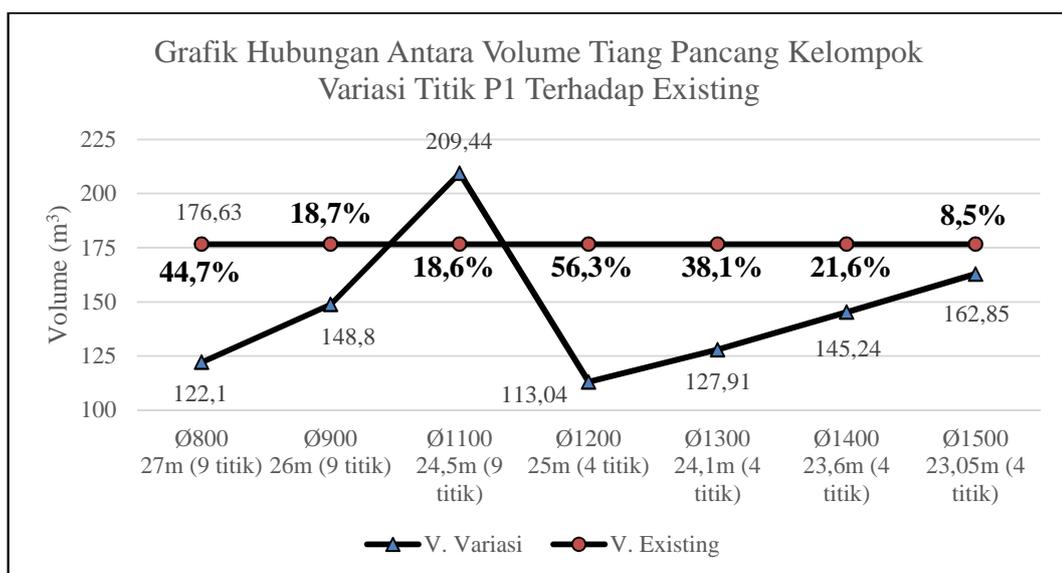
Existing

Dari hasil nilai daya dukung pondasi tiang pancang kelompok pada titik P1, langkah selanjutnya adalah menghitung volume tiang pancang kelompok dengan variasi yang direncanakan.

Tabel 4.13 Hasil volume efisiensi dengan menggunakan persamaan $y = ax + b$ ditambah 1 meter sebagai *top height* (di atas permukaan tanah)

Diameter mm (Ø)	Panjang Tiang (m)	Jumlah tiang kelompok	Volume Existing (m ³)	Volume Variasi (m ³)	Keterangan
Ø800	27	m: 3, n: 3 = 9	176,63	122,10	Ok
Ø900	26	m: 3, n: 3 = 9		148,80	Ok
Ø1100	24,5	m: 3, n: 3 = 9		209,44	No
Ø1200	25	m: 2, n: 2 = 4		113,04	Ok
Ø1300	24,1	m: 2, n: 2 = 4		127,91	Ok
Ø1400	23,6	m: 2, n: 2 = 4		145,24	Ok
Ø1500	23,05	m: 2, n: 2 = 4		162,85	Ok

Tabel 4.13 menunjukkan bahwasannya pada kolom keterangan yang tertuliskan “Ok”, adalah hasil yang sudah dianggap aman dan efisien, di dapat dari seluruh variasi diameter dengan kedalaman yang berbeda-beda dan jumlah tiang pancang yang berbeda, hasil yang telah didapat lebih besar dari daya dukung existing sebesar 13932,47 kN dan lebih kecil dari volume existing sebesar 176,63 m³, selanjutnya di jelaskan dalam grafik hubungan antara volume pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik hubungan antara volume tiang pancang terhadap existing

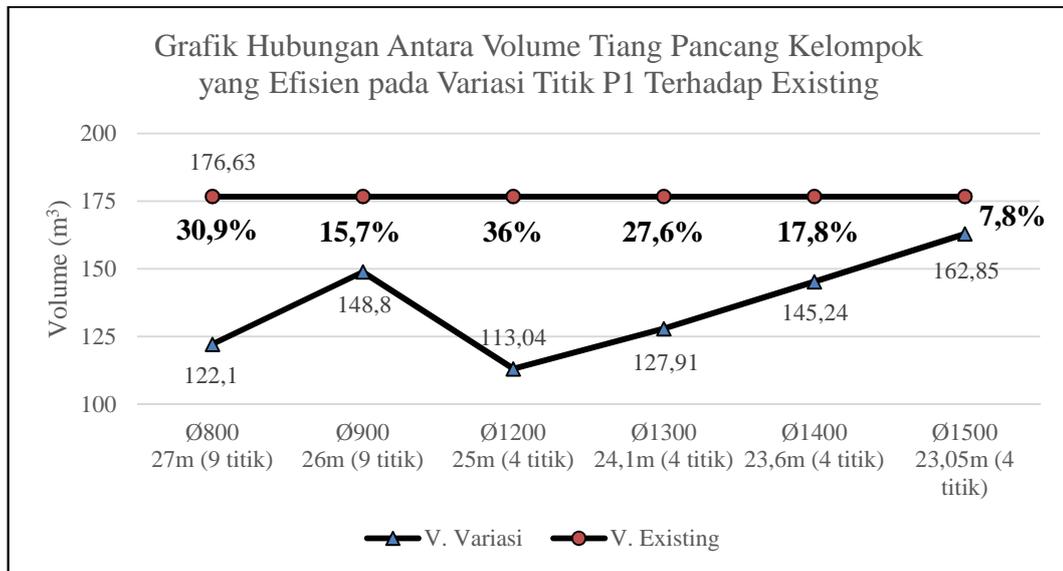
Gambar 4.15 menunjukkan bahwa volume pondasi tiang pancang kelompok yang dapat diambil untuk efisiensi yaitu nilai dari volume dibawah nilai existing sebesar 173,63 m³ dan untuk volume diatas nilai existing tidak diambil lagi untuk perhitungan efisiensi.

4.7 Volume Variasi Efisien pada Titik P1 Terhadap Volume Pondasi Existing

Tabel 4.14 Rekapitulasi volume pondasi tiang pancang yang efisien

Diameter mm (Ø)	Kedalaman (m)	Jumlah tiang kelompok	Volume Existing Tanah asli dan Cor (m ³)	Volume Variasi Tanah asli dan Cor (m ³)	Persentase Selisih (%)
Ø800	27	m: 3, n: 3 = 9	176,63	122,10	30,9
Ø900	26	m: 3, n: 3 = 9		148,80	15,7
Ø1200	25	m: 2, n: 2 = 4		113,04	36
Ø1300	24,1	m: 2, n: 2 = 4		127,91	27,6
Ø1400	23,6	m: 2, n: 2 = 4		145,24	17,8
Ø1500	23,05	m: 2, n: 2 = 4		162,85	7,8

Tabel 4.14 menunjukkan hasil dari rangkuman volume yang efisien diterangkan dalam persentase dimana semakin besar persentase adalah semakin kecil volume yang digunakan, dengan itu semakin efisien hasil dari variasi tersebut, selanjutnya di jelaskan dalam grafik hubungan antara volume pada gamba 4.16.



Gambar 4.16 Grafik volume tiang pancang kelompok yang efisien pada variasi titik P1

Gambar 4.16 menunjukkan bahwa volume efisiensi yang dibutuhkan variasi pondasi tiang pancang kelompok untuk Jembatan Musi VI Kota Palembang pada titik P1 dengan jarak as antar tiang sebesar 3000 mm (arah X), 3850 mm (arah Y) dan dengan jumlah tiang pancang 9 titik maka yang paling efisien dari titik P1 dengan jarak as antar tiang, jumlah titik pancang, dan volume dibawah existing sebesar 176,63 m³ dan nilai daya dukung diatas existing sebesar 13932,47 kN adalah variasi :

- a. Variasi Ø800 mm, kedalaman 27 m, jumlah tiang pancang 9 titik, volume sebesar 122,10 m³, dan dengan nilai daya dukung sebesar 14250,65 kN.
- b. Variasi Ø900 mm, kedalaman 26 m, jumlah tiang pancang 9 titik, volume sebesar 148,80 m³, dan dengan nilai daya dukung sebesar 14157,14 kN.

- c. Variasi Ø1200 mm, kedalaman 25 m, jumlah tiang pancang 4 titik, volume sebesar $113,04 \text{ m}^3$, dan dengan nilai daya dukung sebesar 14306,99 kN.
- d. Variasi Ø1300 mm, kedalaman 24,1 m, jumlah tiang pancang 4 titik, volume sebesar $129,91 \text{ m}^3$, dan dengan nilai daya dukung sebesar 13937,35 kN.
- e. Variasi Ø1400 mm, kedalaman 23,6 m, jumlah tiang pancang 4 titik, volume sebesar $145,24 \text{ m}^3$, dan dengan nilai daya dukung sebesar 13997,60 kN.
- f. Variasi Ø1500 mm, kedalaman 23,05 m, jumlah tiang pancang 4 titik, volume sebesar $162,85 \text{ m}^3$, dan dengan nilai daya dukung sebesar 13942,62 kN.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- a. Hasil perhitungan daya dukung pondasi existing tiang pancang kelompok, pada P1 secara empiris *Meyerhof* sebesar 7896,877 kN, *Vesic* sebesar 14823,166 kN dan *Vesic software allpile* sebesar 13932,47 kN.
- b. Persentase hasil perhitungan metode empiris *Meyerhof* dengan *Vesic software allpile* dengan perbedaan sebesar 43,3%.
- c. Persentase hasil perhitungan metode empiris *Vesic* dengan *Vesic software allpile* dengan perbedaan sebesar 6,4%.
- d. Daya dukung pondasi terkecil pada titik P1 adalah metode empiris *Meyerhof* dengan daya dukung sebesar 7896,877 kN, sedangkan daya dukung pondasi terbesar adalah menggunakan metode empiris *Vesic* dengan daya dukung sebesar 14823,166 kN.
- e. Hasil perhitungan varias pada titik P1 yang aman dan efisien adalah :
 1. Pada Ø800 mm, panjang tiang 27 m, jumlah tiang kelompok m': 3; n': 3 = 9 tiang, volume tiang 122,10 m³, dengan selisih 30,9%, dengan daya dukung pondasi sebesar 14250,65 kN.
 2. Pada Ø900 mm, panjang tiang 26 m, jumlah tiang kelompok m': 3; n': 3 = 9 tiang, volume tiang 148,80 m³, dengan selisih 15,7%, dengan daya dukung pondasi sebesar 14157,14 kN.

3. Pada $\varnothing 1200$ mm, panjang tiang 25 m, jumlah tiang kelompok $m': 2; n': 2$
 $= 4$ tiang, volume tiang $113,04 \text{ m}^3$, dengan selisih 36%, dengan daya dukung pondasi sebesar 14306,99 kN.
 4. Pada $\varnothing 1300$ mm, panjang tiang 24,1 m, jumlah tiang kelompok $m': 2; n': 2$
 $= 4$ tiang, volume tiang $127,91 \text{ m}^3$, dengan selisih 27,6%, dengan daya dukung pondasi sebesar 13937,35 kN.
 5. Pada $\varnothing 1400$ mm, panjang tiang 23,6 m, jumlah tiang kelompok $m': 2; n': 2$
 $= 4$ tiang, volume tiang $145,24 \text{ m}^3$, dengan selisih 17,8%, dengan daya dukung pondasi sebesar 13997,60 kN.
 6. Pada $\varnothing 1500$ mm, panjang tiang 23,05 m, jumlah tiang kelompok $m': 2; n': 2$
 $= 4$ tiang, volume tiang $162,85 \text{ m}^3$, dengan selisih 7,8%, dengan daya dukung pondasi sebesar 13942,62 kN.
- f. Penggunaan *software* allpile lebih efisien dibandingkan menggunakan metode empiris dalam segi waktu pelaksanaan perhitungan, dan perhitungan dengan *software* allpile dapat mempersingkat waktu pengerjaan.
- g. Hasil perhitungan dengan *software* allpile lebih kecil hasilnya dibandingkan dengan metode empiris, dikarenakan banyak faktor pembagian yang digunakan sehingga mempengaruhi hasilnya.

5.2 Saran

- a. Penelitian ini dilakukan hanya menghitung analisa daya dukung pondasi tiang pancang kelompok hanya 1 titik *Pier* yaitu *Pier* 1, sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dihitung seluruh titik dan diperbanyak mencari variasi agar mendapatkan nilai yang lebih efektif lagi.

- b. Peneliti hanya menghitung daya dukung pondasi tanpa beban seperti beban gempa dan beban horizontal, sebaiknya dihitung dengan bebas yang diterima oleh pondasi.
- c. Peneliti hanya menghitung menggunakan 2 metode empiris *Meyerhof* dan *Vesic*, sebaiknya dihitung dengan metode yang lebih banyak lagi.