

**Perencanaan Ulang Fondasi Tiang Pancang menggunakan
Metode *Meyerhoff* pada Proyek Pipa Gas Tanjung Batu**

Maulana Rizki Azis^{1*}, Santi Yatnikasari².

Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur, Samarinda, Indonesia.

*Kontak Email: maulanarizkiazis@gmail.com

Diterima: 24/07/21

Revisi: 18/10/21

Diterbitkan: 19/04/22

Abstrak

Tujuan Studi : Mengetahui nilai kapasitas daya dukung tiang bor pada proyek pembangunan Gedung control Room Tanjung Batu, mengetahui perbandingan kapasitas daya dukung tiang *existing* dengan desain fondasi tiang pancang dan mengetahui nilai penurunan pada desain fondasi tiang pancang.

Metodologi : Data yang digunakan berupa data gambar teknis dan data penyelidikan tanah dengan metode sondir dan SPT yang diambil dari proyek Pipa Gas Tanjung Batu dan dilakukan perhitungan analisa kapasitas daya dukung tiang tunggal dan kelompok menggunakan metode *meyerhoff*. Setelah itu menganalisa penurunan tiang dan menarik kesimpulan dari hasil data perhitungan tersebut.

Hasil : Suatu konstruksi fondasi bisa diketahui aman apabila dapat meneruskan beban struktur atas bangunan ke tanah dasar. Rekomendasi yang dirujuk yaitu alternatif diameter 0,5 m metode *meyerhoff* menggunakan data SPT dengan jumlah 3 tiang dalam 1 kelompok tiang. Hal ini berdasarkan nilai dari kapasitas dukung kelompok (Q_g) mempunyai nilai lebih besar dari beban aksial (P) dan beban aksial keseluruhan yang diterima (P_t) $361,66 \text{ Ton} > 312,529 \text{ Ton}$, dan $361,66 \text{ Ton} > 343,519 \text{ Ton}$. Nilai penurunan alternatif desain perencanaan fondasi tiang pancang dengan diameter 0,5 m lebih kecil dari nilai penurunan tiang bor fondasi eksisting $0,070 \text{ m} < 0,084 \text{ m}$.

Manfaat : Dapat dijadikan bahan referensi pembaca untuk meredesain ulang suatu konstruksi fondasi dan menambah pengetahuan bagi pembaca mengenai kapasitas daya dukung pada fondasi tiang pancang.

Abstract

Purpose of study : knowing the value of the capacity of drilled piles in the construction project of the Tanjung Batu control room building, knowing the comparison of the capacity of the existing pile with the design of the pile and knowing the decrease in the design of the pile.

Methodology : The data used in the form of technical drawing data and soil investigation data using sondir and SPT methods taken from the Tanjung Batu Gas Pipeline project and calculating the carrying capacity analysis of single piles and groups using the Meyerhoff method. After that, analyze the pile settlement and draw conclusions from the calculation data.

Results : A foundation construction can be said to be safe if it can channel the load of the upper structure of the building to the ground. The recommendation referred to is an alternative diameter of 0.5 m meyerhoff method using SPT data with the number of 3 poles in 1 group tiang. This is based on the results of group support capacity (Q_g) greater than axial load (P) and total axial load received (P_t) $361.66 \text{ Tons} > 312,529 \text{ Tons}$, and $361.66 \text{ Tons} > 343,519 \text{ Tons}$. The value of the alternative reduction of the design of the stake foundation planning with a diameter of 0.5 m is smaller than the value of the decline of the existing foundation drill pole $0.070 \text{ m} < 0.084 \text{ m}$

Applications : It can be used as a reference material for readers to redesign a foundation construction and increase knowledge for readers about the capacity of pile foundations.

Kata kunci : *Tiang Pancang, Daya Dukung, Penurunan.*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan konstruksi hal yang pertama kali dilakukan dan dilaksanakan dilapangan adalah pekerjaan fondasi barulah kemudian melakukan pekerjaan untuk struktur atas. Pembuatan fondasi berfungsi sangat penting dalam sebuah konstruksi. Secara umum, fondasi di definisikan sebagai bangunan bawah tanah yang meneruskan beban yang berasal dari berat itu sendiri dan beban eksternal yang bertindak pada bangunan tanah di sekitarnya. Fondasi tiang adalah batang yang relatif Panjang dan ramping yang digunakan untuk menyalurkan beban fondasi melalui lapisan tanah dengan kapasitas menerus,

rendah lapisan tanah keras yang memiliki kapasitas bantalan tinggi yang relatif cukup dalam. Berdasarkan kedalaman tertanam di dalam tanah, maka pondasi dibedakan menjadi pondasi dangkal (shallow foundation) dan pondasi dalam (deep foundation), (Das, 1995).

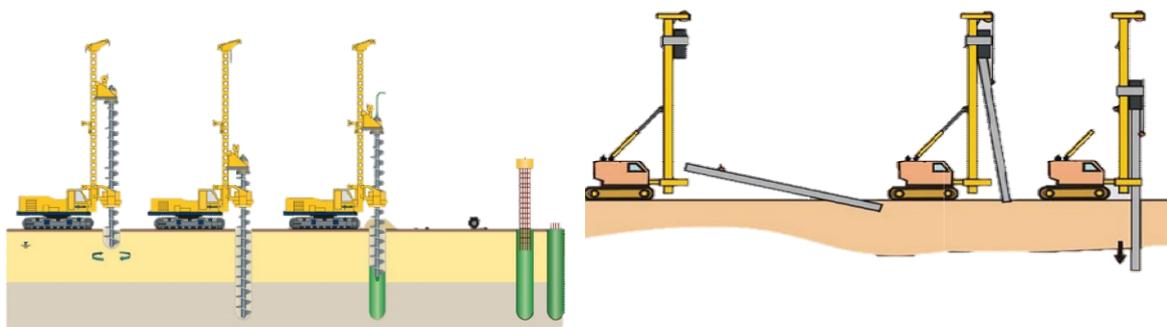
Fondasi tiang pada umumnya dibangun di zona dimana fondasi didekat permukaan tanah tidak memiliki ketahanan atau kekakuan yang cukup, sehingga tidak dapat mengambil kekuatan dari struktur diatas, tanpa perpindahan dan bisa terjadi kegagalan struktur yang sangat fatal. Penggunaan fondasi tiang sebagai fondasi bangunan apabila tanah yang berada di bawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (bearing capacity) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang bekerja padanya (Sardjono, 1988). Atau apabila tanah yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja berada pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah kedalaman > 8m (Bowles, 1997).

Kedalaman tiang yang diperlukan dalam lapisan tanah fondasi ditentukan oleh persyaratan yang menentukan resistensi yang dapat diterima dan nilai perpindahannya. *Engineers* saat ini diharuskan untuk menentukan, pada tahap desain, dimensi elemen ketahanan struktural dan untuk memberikan bukti atau jaminan tentang ketahanan yang cukup terhadap desain yang diharapkan, dalam hal ini, dimensi tiang untuk berbagai teknologi konstruksi, dan estimasi daya dukung dan penyelesaian desain fondasi yang cukup akurat, melibatkan analisis awal komposisi dan kalsifikasi tanah untuk fondasi, perhitungannya awalnya meliputi deskripsi numerik perilaku teknik mekanika tanah dan pengujian beban tiang sebagai satu-satunya konfirmasi yang valid.

Pada proyek pipa gas tanjung batu dibangun sebuah Gedung *control room* yang berguna untuk mengontrol aliran gas untuk di suplai ke pembangkit listrik tenaga gas, bangunan ini berukuran 20 x 10 m dalam pembangunan gedung Control Room di Proyek Pipas Gas Tanjung, dilakukan penyelidikan tanah dengan tujuan untuk mengetahui keadaan dan tingkat kepadatan tanah, struktur lapisan tanah, jenis tanah dan sifat, parameter fisik serta mekanisme tanah. Pekerjaan penyelidikan tanah yang dilakukan pengujian sondir sebanyak 2 titik dengan metode pelaksanaan yang mengacu pada SNI 03-2827-1992 dan uji penetrasi dinamis (Standard Penetration Test, SPT) dengan metode pelaksanaan yang mengacu pada SNI 4153-2008 serta melakukan pengamatan dilapangan mengenai kondisi permukaan tanah, kondisi lingkungan dan permukaan air tanah.

Berdasarkan hasil pengujian dilapangan dilokasi proyek Pembangunan Gedung Control Room Tanjung Batu, yang beralamat di Jalan Raya Tanjung Batu, Kecamatan Tenggara Seberang, Kutai Kartanegara, diketahui jenis tanah didasar fondasi didominasi jenis tanah clay dan pada kedalaman 10 sampai dengan 20 meter merupakan tanah lempung.

Setelah dilakukan analisa karakteristik tanah maka pembangunan Gedung control room Tanjung Batu ini harus menggunakan tiang pancang, maka dari itu penulis mencoba melakukan perencanaan ulang fondasi yang awalnya menggunakan tiang bor digantikan dengan menggunakan fondasi tiang pancang Alasan untuk merencanakan perencanaan ulang adalah untuk mengetahui perbandingan daya dukung fondasi tiang pancang dengan fondasi tiang bor eksisting, mencari nilai daya dukung fondasi yang sesuai agar pelaksanaan lebih efektif dan efisien, serta kualitas beton baik karena dicetak di pabrik.



Gambar 1 : Fondasi Tiang Pancang dan Fondasi Tiang Bor

Berdasarkan Gambar 1 diatas merupakan gambaran perbedaan antara tiang pancang dan tiang bor dan merujuk latar belakang diatas maka peneliti membuat rumusan masalah sebagai berikut.

1. Berapa besar kapasitas dukung perencanaan desain fondasi tiang pada proyek pembangunan Gedung control room tanjung batu?
2. Seperti apa perbandingan kapasitas daya dukung fondasi existing dengan desain fondasi tiang pancang?
3. Berapa besar nilai penurunan fondasi existing dan desain fondasi tiang pancang?

Adapun Batasan masalah disini meliputi.

1. Diameter desain perencanaan fondasi tiang pancang yang digunakan 0,3, 0,4, 0,5 m, dan panjang tiang 20 m, sedangkan diameter fondasi eksisting 0,3 dengan panjang tiang 18 m.

2. Analisis kekuatan daya dukung fondasi menggunakan metode *meyerhoff*.
3. Angka aman (safety factor) yang digunakan sebesar 3, dikarenakan kondisi di lapangan adalah tidak likuifaksi, dan tidak meninjau beban gempa.

1.1 Fondasi Tiang Pancang dan Tiang Bor

Fondasi tiang pancang adalah fondasi yang menyalurkan beban bangunan diatas menuju tanah ataupun tanah keras dimana letaknya cukup jauh dari atas permukaan tanah. Berdasarkan jenis bebannya, ada yang meneruskan lewat tahanan ujung dan ada yang meneruskan lewat kulit tiang pancang. Jenis fondasi dalam umumnya sering ditemukan pada kontruksi darat maupun di perairan, fondasi ini bisa digunakan jika jenis struktur tanahnya memiliki daya dukung yang rendah dan juga strukturnya bersentuhan langsung dengan air ataupun rawa. Fondasi ini umumnya dianggap sebagai metode yang handal dan menghemat waktu dengan instalasi yang mudah. Dari segi keuntungan kontruksi fondasi tiang pancang hanya memperhitungkan bahan, pekerjaan instalasi tiang, serta pengujian beban statis dan dinamis.

Fondasi tiang bor merupakan fondasi yang pengaplikasikannya dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu disaat awal pekerjaannya, setelah itu diisi dengan tulangan lalu di cor dengan beton. Fondasi tiang bor cocok digunakan di area kerja yang klasifikasi tanahnya stabil karena memperoleh daya dukung yang sangat baik serta pada umumnya sering digunakan bila keadaan sekitar sudah padat dengan bangunan (Tomislav, 2013).

1.2 Daya Dukung Tiang Fondasi

Daya dukung fondasi merupakan kemampuan pondasi dalam memikul tekanan atau beban maksimum yang diijinkan bekerja berdasarkan kondisi tanah di mana pondasi tersebut ditempatkan. Parameter dan sifat fisik tanah diperoleh melalui penyelidikan geoteknik tanah, misalnya: sondir (CPT), pemboran inti (SPT), dan pengujian di laboratorium. Rumus umum yang digunakan untuk menghitung daya dukung aksial pondasi dalam (Das, 2016).

1.3 Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal Metode *Mayerhoff*

a. Pehitungan Uji *Cone Penetration*

Mayerhof menghasilkan persamaan guna menghitung daya dukung tiang pancang dengan data pengujian Sondir (CPT) dan juga SPT. Daya dukung ultimit fondasi tiang sesuai pengujian CPT dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s = (q_c \times A_p) + (JHL \times K)$$

Keterangan :

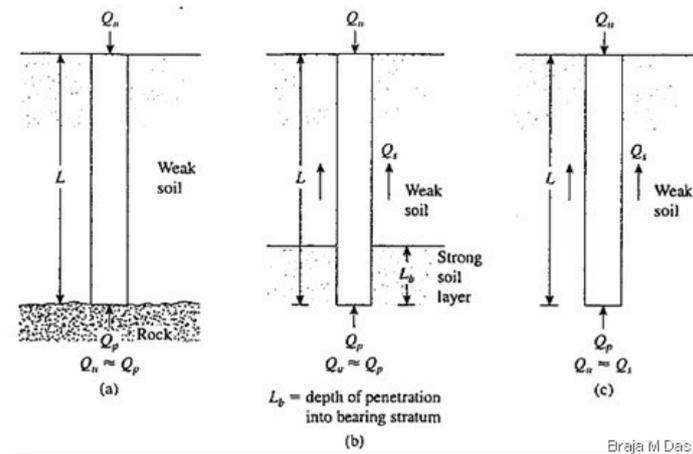
- Q_u : Kapasitas daya dukung ultimit
- Q_p : Kapasitas dukung pada ujung tiang
- Q_s : Kapasitas dukung selimut tiang
- q_c : Tahanan ujung sondir.
- A_p : Luas penampang tiang.
- JHL : Jumlah hambatan lekat
- K : Keliling tiang.

Daya dukung ijin fondasi dinyatakan dalam persamaan berikut dan daya dukung ultimit fondasi dapat dilihat pada [Gambar 2](#).

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF} - W_P$$

Keterangan:

- Q_u : Kapasitas daya dukung tiang tunggal.
- S_F : safety factor
- W_p : Berat tiang



Gambar 2 : Daya Dukung Ultimit Fondasi

b. Perhitungan Uji Standard Penetration Test

Perhitungan kapasitas daya dukung dari data SPT memakai Metode *Meyerhoff* ada dua yaitu persamaan untuk tanah berbutir kasar dan persamaan untuk tanah berbutir halus, oleh karena itu perlu pengecekan terhadap kohesifitas tanah sebelum melakukan perhitungan (*Meyerhof, 1963*). Klasifikasi tanah berdasarkan sifat lekatannya adalah sebagai berikut :

1. Tanah berbutir kasar merupakan tanah yang butirannya mengandung pasir dan krikil.
2. Tanah berbutir halus merupakan tanah yang butirannya mengandung lanau dan lempung.

Berikut persamaan *Meyerhoff* untuk tanah berbutir kasar:

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_b$$

Keterangan :

Q_p : Kapasitas tanhanan di ujung tiang

A_b : Luas penampang tiang (m^2)

C_u : Kohesi undrained

Maka, persamaan *Meyerhoff* untuk tanah non kohesif dapat dilihat pada [Gambar 3](#).

$$Q_p = 40 \times N_b \times A_p$$

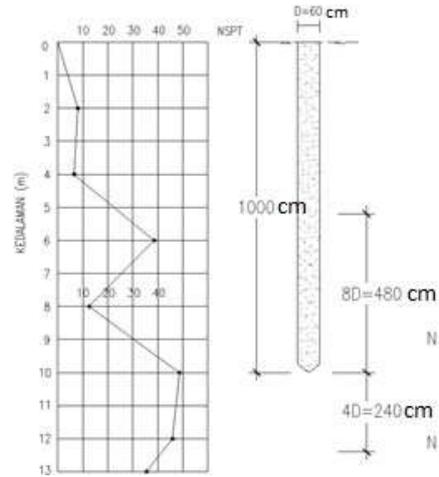
Keterangan :

N_b : Nilai SPT rata-rata pada leveling tiang pancang

N_1 : Nilai SPT kedalaman 4D dari ujung tiang ke bawah

N_2 : Nilai SPT kedalaman 8D dari ujung tiang ke atas

A_p : Luas penampang tiang (m)



Gambar 3 : Nilai N-SPT yang Digunakan untuk Desain Tahanan Ujung

Menurut (Meyerhof, 1963) menganjurkan nilai untuk koefisien perlawanan gesek tiang tanah lempung kepasiran adalah 0,2 berikut adalah persamaannya:

$$Q_s = 0,2 N-SPT \cdot A_s$$

Keterangan :

N-SPT : Nilai rata-rata SPT panjang tiang

A_s : Luas selimut tiang

1.4 Penurunan Pondasi Tiang Pancang

Pada waktu pondasi tiang dibebani, tiang akan mengalami pemendekan dan tanah disekitarnya akan mengalami penurunan (Hardiyatmo, 2015). Perhitungan penurunan pondasi dilakukan untuk pencegahan terhadap penurunan pondasi berlebihan sehingga terjadi kegagalan struktur bangunan.

Perhitungan penurunan pondasi tiang tunggal dapat diselesaikan dengan menggunakan metode empiris yang diihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q \cdot L}{A_p \cdot E_p}$$

dengan :

S = penurunan total di kepala tiang (m)

D = dimaeter tiang

Q = beban yang bekerja (kN)

A_p = luas penampang tiang (m²)

L = panjang tiang (m)

E_p = modulus elastisitas tiang (kN/m²)

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi Penelitian

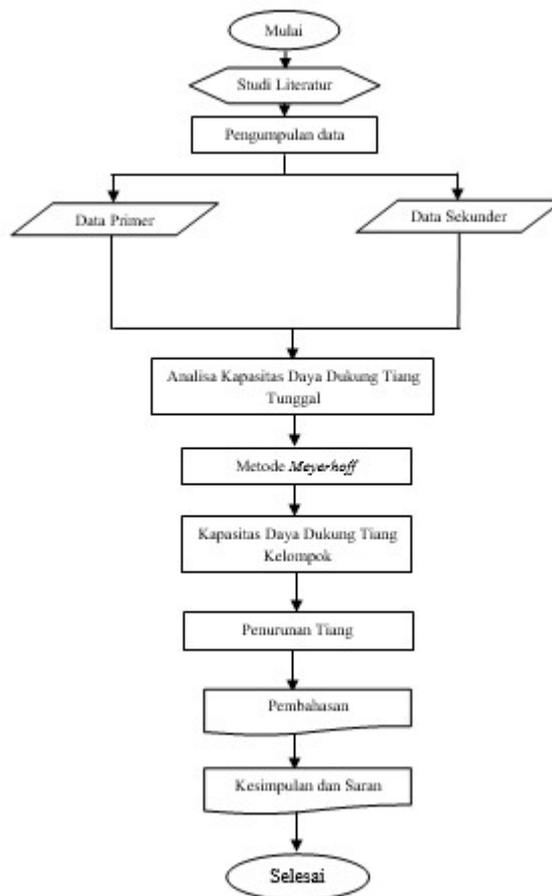
Lokasi studi penelitian yang dijadikan objek penelitian berada di PLTGU Tanjung Batu, Jalan Raya Tanjung Batu, Kec. Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara. Dalam proyek pipa gas tanjung batu yang bertujuan untuk menyalurkan gas sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga gas maka dibuatlah stasiun gas dengan Gedung Control Room di dalamnya, dimana Gedung tersebut berguna untuk mengetahui volume aliran gas yang di suplai menjadi bahan bakar PLTGU tersebut. Lokasi penelitian disajikan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4 : Lokasi Penelitian

2.2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5 : Bagan Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, data yang didapat dari proyek Pipa Gas Tanjung Batu. Adapun data yang dipakai sebagai sarana untuk mencapai maksud dan tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Gambar teknis gedung Control Room Tanjung Batu.
2. Data penyelidikan tanah metode sondir.
3. Data penyelidikan tanah metode *standard penetration test*.

Pada proyek pembangunan Control Room Tanjung Batu, penyelidikan tanah yang dilakukan adalah penyelidikan lapangan yaitu CPT dan SPT.

3. HASIL DAN DISKUSI

Sebagian besar struktur teknik sipil biasa, perhitungan dan spesifikasi teknis standar untuk bahan dan pekerjaan konstruksi dianggap sebagai konfirmasi yang cukup dapat diandalkan yaitu dimensi elemen struktural, karena basis teoritis untuk perhitungan dan sidat standar bahan yang memungkinkan deskripsi numerik perilaku yang akurat. Dalam rekayasa dan desain geoteknik, akurasi model numerik biasanya lebih rendah dan begitu juga keadaan konfirmasi berdasarkan perhitungan karena perilaku tanah dan batuan yang kompleks, berbagai parameter dan heterogenitas, dan interaksi antara bahan buatan dan alami. Itulah sebabnya perhitungan atau estimasi dari kapasitas dukung tiang sangat penting diperhitungkan dalam perencanaan desain fondasi tiang di analisis berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lokasi area fondasi.

Pada pembangunan Control Room Tanjung Batu dilakukan penyelidikan tanah untuk mengklasifikasikan sifat tanah, hasil yang didapat digunakan untuk merencanakan dan menghasilkan kapasitas daya dukung fondasi yang lebih tepat dan efisien. Serta menghitung penurunan fondasi tiang pancang.

3.1 Hasil Output Analisis Struktur dari Program Staad.Pro dan data Sondir

Suatu fondasi harus mampu meneruskan beban struktur atas bangunan ke tanah dasar untuk mendapatkan kategori aman. Beban itu adalah gaya-gaya dari sebuah struktur, yaitu beban aksial, gaya geser dan momen. Berdasarkan hasil analisis *Staad Pro* diperoleh gaya maksimum akibat beban kombinasi sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Beban aksial (P)} &= 312,529 \\ \text{Gaya geser (V)} &= 6,249 \\ \text{Momen x (Mx)} &= 2,017 \\ \text{Momen y (My)} &= 21,849 \end{aligned}$$

Analisis daya dukung tiang dengan data Sondir dapat dihitung dengan metode Meyerhof, perhitungan tersebut berdasarkan pada data sondir yang bisa dilihat pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Data Sondir

Titik Sondir	Kedalaman (m)	Konus (qc) (Kg/cm ²)	Jumlah Hambatan Lekat (JHL) (Kg/cm ²)
S-01	20	159,1	1511,75

3.2 Hasil Analisis Fondasi Tiang Pancang

Perhitungan kapasitas dukung fondasi tiang pancang dibandingkan antara diameter 0,3 m, 0,4 m, 0,5 m, dengan fondasi tiang bor eksisting (fondasi yang terpasang pada proyek diameter 0,3 m) agar dapat diambil kesimpulan dari hasil analisis kapasitas daya dukung fondasi tiang. Analisis daya dukung fondasi tiang pancang menggunakan data Sondir dan SPT dengan diameter tiang sebesar 0,3 m, 0,4 m, 0,5 m. Kapasitas dukung fondasi diperoleh dari daya dukung ujung dan tahanan gesek selimut tiang.

1) Tiang Tiang Pancang Diameter 0,3 m Menggunakan Data Sondir

a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

$$\begin{aligned} Q_c &= 159,1 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 15607,7 \text{ kn/m}^2 \\ A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,3^2 \\ &= 0,071 \\ Q_p &= q_c \cdot A_p \\ &= 15607,7 \cdot 0,071 \\ &= 1102,68 \text{ KN} \end{aligned}$$

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

$$\begin{aligned} \text{JHL} &= 1511,75 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 148303 \text{ kN/m}^2 \\ K &= \pi \cdot D \\ &= \pi \cdot 0,3 \\ &= 0,942 \\ Q_s &= \text{JHL} \cdot K \\ &= 139701 \cdot 0,942 \end{aligned}$$

$$= 1424,07 \text{ kN}$$

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 1102,68 + 1424,07 \\ &= 2526,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Kapasitas Dukung Ijin Tiang

$$\begin{aligned} Q_{ijin} &= \frac{Q_u}{SF} - Wp \\ &= \left(\frac{2526,75}{3} \right) - \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,3^2 \cdot 2,4 \cdot 20 \\ &= 838,886 \text{ kN} \\ &= 83,886 \text{ Ton} \end{aligned}$$

e. Jumlah Tiang

$$\begin{aligned} N &= \frac{P}{Q_{ijin}} \\ &= \frac{312,529}{83,886} \\ &= 3,725 = 4 \end{aligned}$$

f. Efisiensi Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \Theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90mn'} \\ &= 1 - \text{arc tg.} \left(\frac{0,3}{1,25} \right) \frac{(2-1) \cdot 2 + (2-1) \cdot 2}{90 \cdot 2 \cdot 2} \\ &= 0,850 \end{aligned}$$

g. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} Q_g &= n \cdot Q_{ijin} \cdot E_g \\ &= 4 \cdot 83,886 \cdot 0,847 \\ &= 285,231 \text{ Ton} \end{aligned}$$

2) Tiang Pancang Diameter 0,3 Menggunakan Data SPT

a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,3^2 \\ &= 0,071 \text{ M}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 8D &= 8 \cdot 0,3 \\ &= 2,4 \text{ M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4D &= 4 \cdot 0,3 \\ &= 1,2 \text{ M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_b &= \left(\frac{(0,4 \cdot 50) + (2,40) + (1,2 \cdot 40)}{3,6} \right) \\ &= 41,11 \end{aligned}$$

$$Q_p = 40 \cdot N_b \cdot A_p$$

$$= 40.4,11.0.071$$

$$= 116,18 \text{ Ton}$$

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

$$\begin{aligned} Q_s &= 0,2 \cdot N \cdot SPT \cdot A_s \\ &= 0,2 \cdot 47,5 \cdot (\pi \cdot 0,3 \cdot 20) \\ &= 178,98 \text{ Ton} \end{aligned}$$

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 116,18 + 178,98 \\ &= 295,16 \text{ Ton} \end{aligned}$$

d. Kapasitas Dukung Ijin Tiang

$$\begin{aligned} Q_{ijin} &= \frac{Q_u}{SF} - Wp \\ &= \left(\frac{295,16}{3} \right) - \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,3^2 \cdot 2,4 \cdot 20 \\ &= 94,996 \end{aligned}$$

e. Jumlah Tiang

$$\begin{aligned} n &= \frac{P}{Q_{ijin}} \\ &= \frac{312,529}{94,996} \\ &= 3,289 = 5 \text{ Buah} \end{aligned}$$

f. Efisiensi Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \Theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90mn'} \\ &= 1 - \text{arc tg.} \left(\frac{0,3}{1} \right) \frac{(3-1) \cdot 3 + (3-1) \cdot 3}{90 \cdot 3 \cdot 3} \\ &= 0,753 \end{aligned}$$

g. Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

$$\begin{aligned} Q_g &= n \cdot Q_{ijin} \cdot E_g \\ &= 5 \cdot 94,996 \cdot 0,753 \\ &= 357,471 \text{ Ton} \end{aligned}$$

3) Kapasitas Dukung Tiang Bor Eksisting Diameter 0,3 m

a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,3^2 \\ &= 0,071 \end{aligned}$$

$$Q_p = A.9.1079,1$$

$$= 686,1457 \text{ KN} = 68,615 \text{ Ton}$$

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

$$Q_s = P. \sum aC_{\mu}\Delta H$$

$$= .\pi.D. \sum aC_{\mu}\Delta H$$

$$= 3,14.0,3.0,2.1079,1.18$$

$$= 3659,444 \text{ KN} = 365,944 \text{ Ton}$$

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 68,615 + 365,944$$

$$= 434,559 \text{ Ton}$$

d. Kapasitas Dukung Ijin Tiang

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF} - Wp$$

$$= \left(\frac{434,559}{3} \right) - \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,5^2 \cdot 2.4.18$$

$$= 141,801 \text{ Ton}$$

e. Jumlah Tiang

$$n = \frac{P}{Q_{ijin}}$$

$$= \frac{312,529}{141,801}$$

$$= 2,204 = 3 \text{ Buah}$$

f. Efisiensi Kelompok Tiang

$$E_g = 1 - \Theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90mn'}$$

$$= 1 - \text{arc tg.} \left(\frac{0,3}{1,25} \right) \frac{(2-1).2 + (2-1).2}{90.2.2}$$

$$= 0,847$$

g. Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

$$Q_g = n.Q_{ijin} \cdot E_g$$

$$= 3.141,801.0,847$$

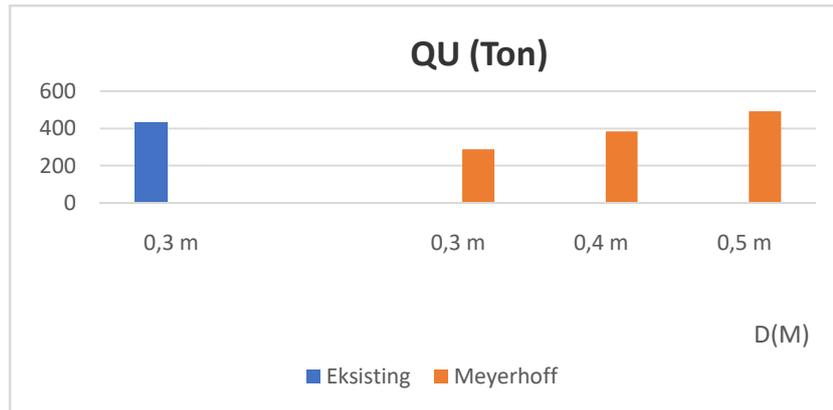
$$= 360,398 \text{ Ton}$$

Hasil analisis dan grafik perbandingan kapasitas dukung ultimit fondasi tiang tunggal dapat dilihat pada [Tabel 2](#) dan [Gambar 6](#).

Tabel 2 : Hasil Analisis Kapasitas Dukung Ultimit Fondasi Tiang Tunggal

	Tiang Bor Eksisting	Tiang Pancang
--	---------------------	---------------

D	0,3	0,3	0,4	0,5
Qp (Ton)	68, 615	116,18	154,907	193,633
Qs(Ton)	365,944	178,98	238,64	298,3
Qu (Ton)	434,559	295,16	393,547	491,933
N (Tiang)	3	5	4	3



Gambar 6. Grafik Perbandingan Dukung Fondasi Tiang Tunggal

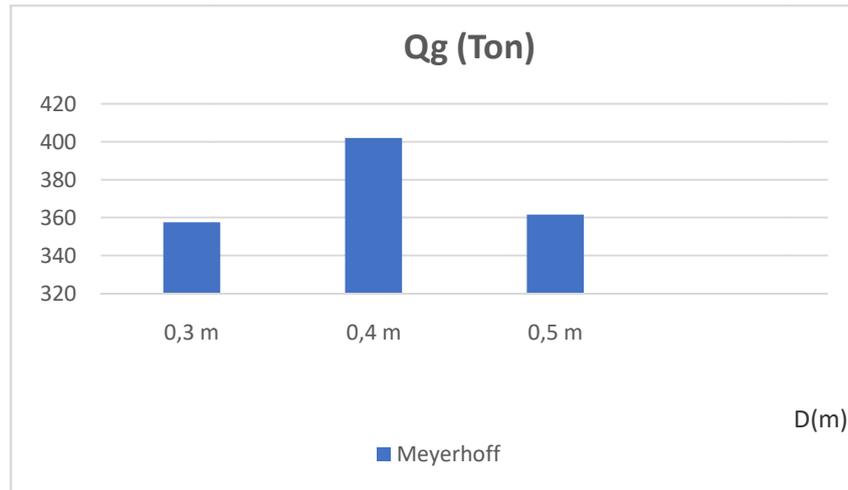
Dari hasil Tabel 1 diatas analisis tiang *existing* diameter 0.3 m didapat kapasitas dukung ultimit (Qu) sebesar 434,559 Ton. Daya dukung ultimit (Qu) tiang pancang metode Meyerhoff diameter 0,3 m, 0,4 m, dan 0,5 m diperoleh sebesar 295,16 Ton, 393,547 Ton dan 491,933 Ton.

3.3 Hasil Analisis Daya Dukung Kelompok Tiang Fondasi

Dari analisis daya dukung fondasi diketahui bahwa didapati jumlah tiang yang berbeda dan juga menghasilkan daya dukung kelompok tiang yang berbeda-beda. Hasil analisis dan grafik perbandingan kapasitas dukung kelompok tiang fondasi dapat dilihat pada [Tabel 3](#) dan [Gambar 7](#).

Tabel 3 : Hasil Analisis Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Fondasi

Satuan		Meyerhoff		
		0,3 m	0,4 m	0,5 m
Qu	Ton	295,16	393,547	491,933
Sf		3	3	3
Qi	Ton	94,996	393,547	154,558
N	Tiang	5	4	3
Eg		0,753	0,803	0,779
Qg	Ton	357,472	401,911	361,66
Cek		AMAN	AMAN	AMAN



Gambar 7 : Kapasitas Daya Dukung Kelompok

3.4 Hasil Penurunan Tiang Pancang

penurunan fondasi tiang bergantung pada besarnya angka beban yang bekerja dan dipengaruhi oleh bentuk tiang, banyaknya tiang dan susunan tiang itu sendiri. Penurunan fondasi kelompok tiang lebih besar dari pada penurunan tiang tunggal. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh tegangan pada daerah yang cakupannya lebih luas dan lebih dalam.

Penurunan Tiang Diameter 0,3 :

Metode *Meyerhoff*

a. Penurunan Tiang Tunggal

D = 0,3

Q = 329,485 Ton

L = 20

$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,3^2 = 0,071 \text{ m}^2$

$E_p = 4700 \cdot \sqrt{30} = 4700 \cdot \sqrt{30} = 2574296 \text{ Ton}$

$S = \frac{Q}{100} + \frac{Q \cdot L}{A_p \cdot E_p}$

$S = \frac{0,3}{100} + \frac{329,485 \cdot 20}{0,071 \cdot 2574296} = 0,039 \text{ m}$

b. Penurunan Kelompok Tiang

Beban Aksial (P) = 312,529

Lebar pile cap (Bg) = 1,5

Panjang pile cap (Lg) = 2,25

Panjang tiang (L) = 20 M

Luas penampang 1 (A1) = (1,5 + 1) x (2,5 + 1)
= 8,13

Luas penampang 2 (A2) = (1,5 + 3,5) x (2,5 + 3,5)
= 28,75

Tegangan efektif (Po'1) = (1,35.1) + (1,77.3) + (1,95.1) + (12.1,63) + (12.1,63)
= 18,876 Ton

Tegangan efektif (Po'2) = (1,35.1) + (1,77.3) + (1,95.1) + (12.1,63) + (12.1,63) + (2,24.0,981).

$$= 20,262 \text{ Ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Distribusi beban } (\Delta P1) &= \frac{Q}{A1} \\ &= \frac{312,529}{8,13} = 38,465 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Distribusi beban } (\Delta P2) &= \frac{Q}{A2} \\ &= \frac{312,529}{28,75} = 10,871 \end{aligned}$$

Penurunan kelompok :

a. Pada kedalaman 15,00 – 17,00 m

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{312,529}{1,5 \cdot 2,25} = 92,601$$

$$B = 1,5$$

$$\begin{aligned} E_s &= 100 \text{ kg/cm} \\ &= 9810 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\mu_o = 0,58$$

$$\mu_i = 1,33$$

$$\begin{aligned} S_s &= \mu_i \cdot \mu_o \cdot \frac{Q \cdot B}{E_s} \\ &= 1,33 \cdot 0,58 \cdot \frac{9,44 \cdot 1,5}{9810} \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

b. Pada kedalaman 17,00 -26.50 m

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{Q \cdot B}{1 + e_o} \cdot \mu_o \cdot \mu_i \cdot \frac{Q \cdot B^2 + Q \cdot B}{E_s \cdot B^2} \\ &= \frac{0,06}{1 + 0,43} \cdot 10 \cdot \mu_o \cdot \mu_i \cdot \frac{20,262 + 10,871}{20,262} \\ &= 0,078 \end{aligned}$$

c. Penurunan Total

$$\begin{aligned} S &= S_s + S_c \\ &= 0,011 + 0,078 \\ &= 0,089 \text{ m} \end{aligned}$$

Berikut hasil analisis penurunan tiang pancang pada [Tabel 4](#).

Table 4 : Hasil Hasil Penurunan Kelompok Tiang

Penurunan Tunggal dan Kelompok Tiang (<i>Meyerhoff</i>)			
Diameter (m)	0.3	0.4	0,5
Penurunan	0,011	0,007	0,005
Penurunan pada kedalaman 17,00 -26.50 m	0,078	0,075	0,065
Penurunan Total	0,089	0,082	0,70

3.5 Hasil Analisis Kekuatan Tiang Pancang

Dengan berbagai variasi yakni diameter 0,3 m, 0,4 m, 0,5 m, diambil alternatif ke-3 diameter 0,5 m dengan metode *Meyerhoff* dengan nilai kapasitas daya dukung ultimit perencanaan fondasi dengan diameter 0,3 yaitu 295,16, diameter 0,4 yaitu 393,547 Ton dan diameter 0,5 m yaitu 491,933.

Daya dukung fondasi tiang ditentukan berdasarkan dengan kemampuan material tiang untuk menopang beban struktural. Dari hasil perhitungan diperoleh tegangan yang terjadi pada tiang sebesar 713,476 Ton/m² lebih kecil dari tegangan ijin dengan mutu f^c 30 Mpa sebesar 3000,03 Ton/m², sehingga fondasi sangat aman untuk digunakan.

Selain itu hasil kapasitas dukung kelompok tiang (Q_g) lebih besar daripada beban aksial (P) dan beban aksial (pt) yang diterima, yaitu sebesar 361,66 > 312,529 ton, dan 361,66 Ton > 343,519 Ton, sehingga beban gedung di mampu ditahan kelompok fondasi tiang.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas dukung fondasi tiang didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Analisa kapasitas dukung fondasi dilakukan dengan memperhitungkan data dari hasil penyelidikan tanah, beban yang akan ditahan oleh fondasi, dimensi tiang, jarak tiang dan kedalaman tiang. Didapat nilai fondasi tiang bor ukuran 30 cm dengan kedalaman 18 m dibawah muka tanah dengan nilai kapasitas daya dukung sebesar 434,559 Ton.
2. Didapat nilai kapasitas daya dukung ultimit tiang bor yaitu 434,559 Ton, dan nilai kapasitas daya dukung ultimit perencanaan fondasi dengan diameter 0,3 yaitu 295,16, diameter 0,4 yaitu 393,547 Ton dan diameter 0,5 m yaitu 491,933.
3. Penurunan tiang tunggal yang terjadi pada desain fondasi tiang pancang dengan diameter 0,3 m, 0,4 m dan 0,5 m sebesar 0,011, 0,007 dan 0,005. Sedangkan nilai penurunan kelompok tiang yang terjadi dengan diameter 0,3 m, 0,4 m dan 0,5 m dengan kedalaman 20 m sebesar 0,078, 0,075, dan 0,065. Nilai total penurunan dengan diameter 0,3 m, 0,4 m, dan 0,5 m dengan kedalaman 17 – 26,5 m adalah 0,089, 0,082, 0,070.
4. Rekomendasi yang dirujuk yaitu alternatif diameter 0,5 m metode *meyerhoff* menggunakan data SPT dengan jumlah 3 tiang dalam 1 kelompok tiang. Hal ini berdasarkan perhitungan daya dukung kelompok (Q_g) lebih besar dari beban aksial (P) dan beban aksial total yang diterima (P) 361,66 Ton > 312,529 Ton, dan 361,66 Ton > 343,519 Ton.

Saran yang dapat penulis berikan adalah untuk diperoleh hasil yang lebih baik dalam merencanakan fondasi tiang pancang, perlu dilakukan analisis-analisis lebih lanjut sebagai berikut :

1. Melakukan perhitungan biaya untuk menentukan diameter tiang pancang,
2. hasil analisis podasi tiang pancang lainnya, seperti dengan menggunakan program plaxis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada proyek KDM (Kerjasama Dosen Mahasiswa), Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur (UMKT), yang memberikan dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir dan publikasi artikel ilmiah..

REFERENSI

- Bowles, J. E. (1997) *Foundation Analysis and Design*. Fifth Edit. Washinton D.C.
- Das, B. M. (2016) "*Principles of Foundation Engineering, Eight Edition*". USA: Cengage Learning.
- Das, M. B. (1995) *Principles of Foundation*. Engineerin. Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- Hardiyatmo, C. H. (2015) *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Meyerhof (1963) "Some Recent Research on the Bearing Capacity Of Fondations", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol 1, pp. 16–26.
- Sardjono, H. S. (1988) 'Pondasi Tiang Pancang.', in. Surabaya: Sinar Jaya Wijaya.
- Tomislav, Ivsic. Mario, Bacic. Lavorka, L. (2013) 'Estimation Of Bored Pile Capacity And Settlement In Soft Soils.', *Gradevinar*, 65(10), pp. 901–918.