

**ANALISIS DAYA DUKUNG FONDASI *BORED PILE*
PADA RUMAH SAKIT SULTAN IMANUDDIN PANGKALAN BUN**

***BEARING CAPACITY ANALYSIS OF BORED PILE FOUNDATION
AT SULTAN IMANUDDIN PANGKALAN BUN HOSPITAL***

Tenty Tamara Andriani¹, Fatma Sarie^{2*}, Suradji Gandi³

¹Mahasiswa / Program Studi Teknik Sipil / Fakultas Teknik / Universitas Palangka Raya

^{2,3}Dosen/ Program Studi Teknik Sipil/ Fakultas Teknik / Universitas Palangka Raya

Korespondensi: fatmasarie@jts.upr.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya dukung tiang *bored pile* tunggal, daya dukung kelompok tiang, beban yang dipikul, angka faktor keamanan, dan penurunan yang terjadi. Metode perhitungan yang pertama adalah metode Schmertmann dan Nottingham, dan metode perhitungan yang kedua adalah metode Meyerhof. Hasil perhitungan kapasitas daya dukung tiang *bored pile* tunggal menggunakan metode Schmertmann dan Nottingham diperoleh nilai $Q_u = 49005,88$ kN sedangkan metode Meyerhof diperoleh nilai $Q_u = 1633,71$ kN. Hasil perhitungan kapasitas daya dukung kelompok tiang dengan metode Schmertmann dan Nottingham mendapatkan nilai $Q_g = 164169,70$ kN dan dengan metode Meyerhof mendapatkan nilai $Q_g = 5472,93$ kN. Hasil perbandingan beban yang dipikul kelompok tiang menggunakan metode Schmertmann dan Nottingham $Q_i = 353,98$ kN \leq $Q_g = 164169,70$ kN masih dalam batas aman. Hasil perbandingan beban yang dipikul kelompok tiang menggunakan metode Meyerhof $Q_i = 353,98$ kN \leq $Q_g = 5472,93$ kN juga masih dalam batas aman. Angka faktor keamanan diperoleh dengan menggunakan metode Schmertmann dan Nottingham senilai $SF = 463,78$ dan metode Meyerhof senilai $SF = 15,46$ sehingga angka faktor keamanan adalah sangat aman. Penurunan total tiang *bored pile* tunggal sebesar $S = 0,0142$ m \leq 0,04 m yang berarti aman. Dan penurunan kelompok tiang *bored pile* sebesar $S_g = 0,03$ m \leq 0,08 m yang juga berarti aman.

Kata Kunci: Tiang *Bored Pile*, Kapasitas Daya Dukung, Beban, Penurunan, Metode Schmertmann dan Nottingham, Metode Meyerhof

ABSTRACT

This study intended to analyze the bearing capacity of single bored pile, the bearing capacity of the bored pile group, the load carried, the safety factor, and the settlement that occurs. The first calculation method is Schmertmann and Nottingham method, and the second calculation method is Meyerhof method. Based on the calculation of the bearing capacity of a single bored pile using the Schmertmann and Nottingham method obtained a value $Q_u = 49005,88$ kN, while the Meyerhof method obtained a value $Q_u = 1633.71$ kN. The calculation results for bearing capacity of the pile group using the Schmertmann and Nottingham method obtained a value $Q_g = 164169,70$ kN and the Meyerhof method obtained a value $Q_g = 5472.93$ kN. The results of the load carried by the bored pile group using Schmertmann and Nottingham method is $Q_i = 353.98$ kN \leq $Q_g = 164169.70$ kN which means it's still within safe limits. Using the Meyerhof method is $Q_i = 353.98$ kN \leq $Q_g = 5472.93$ kN which means it is still within safe limits. The safety factor using the Schmertmann and

Nottingham method obtained $SF = 463.78$ and using the Meyerhof method obtained $SF = 15.46$ which means it is very safe. Total settlement of a single bored pile is $S = 0.0142 \text{ m} \leq 0.04 \text{ m}$ which means it is safe. And the settlement of the bored pile group is $S_g = 0.03 \text{ m} \leq 0.08 \text{ m}$ which also means it is safe.

Keywords: Bored Pile, Bearing Capacity, Load, Settlement, Schmertmann and Nottingham Method, Meyerhof Method

PENDAHULUAN

Fondasi adalah struktur bawah dari konstruksi yang langsung berhubungan dengan tanah dan memiliki fungsi sebagai pemikul beban bangunan dan menyalurkannya ke tanah.

Tanah pada lokasi pembangunan Gedung Rumah Sakit Sultan Imanuddin Pangkalan Bun dilakukan uji sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT). Karakteristik tanah di lokasi pembangunan merupakan tanah lunak dengan kedalaman tanah yang besar.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya dukung tiang *bored pile* tunggal, daya dukung kelompok tiang, beban yang dipikul, angka faktor keamanan, dan penurunan yang terjadi.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Fondasi *Bored Pile*

Fondasi *bored pile* adalah suatu fondasi yang dibangun dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan tulangan dan dicor (Hardiyatmo, 2002).

Ulfa Jusi (2015) meninjau perbandingan kapasitas daya dukung ultimit fondasi *bored pile* dengan menggunakan dua metode perhitungan yaitu metode Schmertmann dan Nottingham juga metode Meyerhof. Didapatkan dengan metode Schertmann dan Nottingham lebih aman dibanding dengan metode Meyerhof.

Pada penelitian ini juga akan dibandingkan antara kedua metode sehingga diketahui metode mana yang lebih aman digunakan.

Kapasitas Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* dari Hasil Sondir

Metode Schmertmann dan Nottingham

Kapasitas daya dukung ultimit (Q_u) dengan metode Schmertmann dan Nottingham (Harydiyatmo,

2010) dihitung dengan persamaan :

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (1)$$

Keterangan :

- Q_u : Kapasitas daya dukung ultimit (kN)
- Q_b : Kapasitas daya dukung ujung tiang (kN)
- Q_s : Kapasitas daya dukung sisi tiang (kN)

1. Kapasitas daya dukung ujung tiang (Q_b)

$$Q_b = A_b \times f_b \quad (2)$$

Keterangan :

- Q_b : Kapasitas daya dukung ujung tiang (kN)
- A_b : Luas penampang tiang (cm^2)
- f_b : Tahanan ujung satuan (kg/cm^2)

Tahanan ujung satuan (f_b)

Hitung tahanan ujung satuan dengan persamaan :

$$f_b = \omega q_{ca} \leq 150 \text{ kg}/\text{cm}^2 \quad (15.000 \text{ kN}/\text{m}^2) \quad (3)$$

Keterangan :

- f_b : Tahanan ujung satuan (kg/cm^2)
- ω : Koefisien korelasi yang bergantung pada OCR
- q_{ca} : $\frac{1}{2} (q_{c1} + q_{c2})$ (kg/cm^2)
- q_{c1} : q_c rata-rata pada zona $0,7d$ atau $4d$ di bawah dasar tiang (kg/cm^2)
- q_{c2} : q_c rata-rata pada zona $8d$ di atas dasar tiang (kg/cm^2)

2. Kapasitas daya dukung sisi tiang (Q_s)

$$Q_s = A_s \times f_s \quad (4)$$

Keterangan :

- Q_s : Kapasitas daya dukung sisi tiang (kN)
- A_s : Luas penampang tiang (cm^2)
- f_s : Tahanan gesek satuan (kg/cm^2)

Tahanan gesek satuan (f_s)

Hitung tahanan gesek satuan dengan persamaan :

$$f_s = K_f \times q_f \quad (\text{kg}/\text{cm}^2) \quad (5)$$

Keterangan :

- f_s : Tahanan gesek satuan (kg/cm^2)
- q_f : Tahanan gesek sisi konus (*sleeve friction*) (kg/cm^2)
- K_f : Koefisien tak berdimensi

Metode Meyerhof

Untuk daya dukung ultimit fondasi *bored pile* menggunakan metode ini dinyatakan dengan

rumus :

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (6)$$

Keterangan :

Q_u : Kapasitas daya dukung ultimit (kN)

Q_p : Kapasitas daya dukung ujung tiang (kN)

Q_s : Kapasitas daya dukung sisi tiang (kN)

1. Kapasitas daya dukung ujung tiang (Q_p)

$$Q_p = q_{ca} \times A_p \quad (7)$$

Keterangan :

Q_p : Kapasitas daya dukung ujung tiang (kN)

q_{ca} : Tahanan konus rata-rata (kg/cm^2)

A_p : Luas penampang tiang (cm^2)

2. Kapasitas daya dukung sisi tiang (Q_s)

$$Q_s = JHL \times Kt \quad (8)$$

Keterangan :

Q_s : Kapasitas daya dukung sisi tiang (kN)

JHL = Jumlah hambatan lekat (kg/cm)

Kt = Keliling tiang (cm)

Daya dukung izin fondasi dinyatakan dengan rumus:

$$Q_{izin} = \frac{q_{ca} \times A_p}{3} + \frac{JHL \times Kt}{5} \quad (9)$$

Keterangan :

Q_{izin} : Kapasitas daya dukung izin (kN)

q_{ca} : tahanan konus rata-rata (kg/cm^2)

A_p : Luas penampang tiang (cm^2)

JHL : Jumlah hambatan lekat (kg/cm)

Kt : Keliling tiang (cm)

Kapasitas daya dukung kelompok tiang berdasarkan efisiensi tiang

Yang dimaksud berkelompok adalah gabungan dari beberapa tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu bagian atasnya dengan menggunakan *pile cap*.

Persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang dengan menggunakan metode Converse-Labarre (Hardiyatmo, 2010) adalah sebagai berikut :

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1) \times m + (m-1) \times n'}{90 \times m \times n'} \quad (10)$$

Keterangan :

E_g : Efisiensi kelompok tiang

θ : arc tg d/s ($^\circ$)

m : Jumlah baris tiang

n' : Jumlah tiang dalam satu baris

d : Diameter tiang (m)

s : Jarak pusat ke pusat tiang (m)

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

$$Q_g = E_g \times n \times Q_a \quad (11)$$

Keterangan :

Q_g : Kapasitas ultimit kelompok tiang (kN)

E_g : Efisiensi kelompok tiang

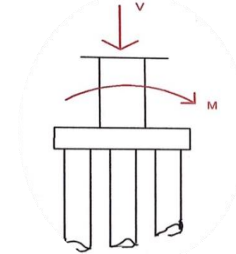
n : Jumlah tiang dalam kelompok

Q_a : Kapasitas dukung ijin tiang (kN)

Pembebanan

Beban Vertikal dan Momen yang Bekerja pada Dua Arah

Kelompok tiang yang bekerja dua arah (x dan y) dipengaruhi oleh beban vertikal dan momen (x dan y) yang akan dipengaruhi terhadap kapasitas daya dukung *bored pile*. Untuk mendapatkan nilai gaya axial (V), momen X (M_x), dan momen Y (M_y) akan menggunakan program bantu aplikasi struktur.



Gambar 1. Beban Vertikal dan Momen Kelompok Tiang Arah X dan Y
Sumber: Penulis (2022)

Persamaan untuk menghitung beban struktur adalah:

$$Q_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y X_i}{\sum X^2} \pm \frac{M_x Y_i}{\sum Y^2} \quad (12)$$

Keterangan :

Q_i : Beban yang bekerja (kN)

V : Jumlah beban vertikal (ton)

n : Jumlah *bored pile*

M_x : Momen yang bekerja pada kelompok tiang searah sumbu x (kNm)

M_y : Momen yang bekerja pada kelompok tiang searah sumbu y (kNm)

X_i : Jarak *bored pile* terhadap titik berat tiang kelompok pada arah X (m)

Y_i : Jarak *bored pile* terhadap titik berat tiang kelompok pada arah Y (m)

$\sum X^2$: Jumlah kuadrat *bored pile* pada arah x (m^2)

$\sum Y^2$: Jumlah kuadrat *bored pile* pada arah y (m^2)

Faktor Keamanan (Safety Factor)

Angka keamanan diperoleh dengan rumus :

$$SF = \frac{Qg}{Qi} \tag{13}$$

Keterangan :

- SF : Angka keamanan (*safety factor*)
- Qg : Kapasitas daya dukung kelompok tiang *bored pile* (kN)
- Qi : Berat beban struktur (kN)

Penurunan Tiang

Perkiraan penurunan tiang tunggal

Menurut Poulos dan Davis (1980), penurunan jangka panjang untuk fondasi tiang tunggal tidak perlu ditinjau karena penurunan tiang akibat konsolidasi dari tanah relatif kecil. Hal ini disebabkan karena fondasi tiang direncanakan terhadap kuat dukung ujung dan kuat dukung friksinya atau penjumlahan dari keduanya (Hardiyatmo, 2002).

Perkiraan penurunan tiang tunggal dapat dihitung berdasarkan :

a. Untuk tiang apung atau tiang friksi

$$S = \frac{Q \times I}{E_s \times D} \tag{14}$$

dimana : $I = I_o \times R_k \times R_h \times R_\mu$

b. Untuk tiang dukung ujung

$$S = \frac{Q \times I}{E_s \times D} \tag{15}$$

dimana : $I = I_o \times R_k \times R_b \times R_\mu$

Keterangan :

- S : Penurunan untuk tiang tunggal
- Q : Beban yang bekerja
- I_o : Faktor pengaruh penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat
- R_k : Faktor koreksi kemudah mampatan tiang
- R_h : Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras
- R_μ : Faktor koreksi angka Poisson μ
- R_b : Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung
- h : Kedalaman total lapisan tanah dari ujung tiang ke muka tanah
- D : Diameter tiang

Perkiraan penurunan kelompok tiang

Penurunan kelompok tiang biasanya lebih besar dibandingkan dengan penurunan tiang tunggal. Persamaan penurunan kelompok tiang menurut Vesic (1977) adalah sebagai berikut :

$$S_g = S \sqrt{\frac{Bg}{D}} \tag{16}$$

Keterangan :

- S_g : Penurunan kelompok tiang (m)
- S : Penurunan tiang tunggal (m)
- B_g : Lebar kelompok tiang (m)
- D : Diameter tiang tunggal (m)

Penurunan yang diizinkan

Menurut Marbun (2009) penurunan yang diizinkan dari suatu bangunan bergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi jenis, tinggi, kekakuan, dan fungsi bangunan, serta besar dan kecepatan penurunan serta distribusinya.

Menurut Reese dan Wright (1997) perbandingan penurunan yang aman adalah :

$$S_{total} \leq S_{izin} \tag{17}$$

dimana :

$$S_{izin} = 10\% \times d$$

Keterangan :
d : Diameter tiang (m)

Sedangkan persamaan penurunan izin kelompok tiang adalah sebagai berikut :

$$S_{izin} = \frac{L}{250} \tag{18}$$

Keterangan :
L : Kedalaman tiang (m)

METODE

Tahapan Persiapan

Tahap persiapan dalam penelitian ini meliputi :

1. Studi literatur terhadap materi skripsi untuk mendapatkan gambaran mengenai daya dukung fondasi dengan beberapa metode analisis.
2. Menentukan data-data yang dibutuhkan.
3. Mencari data-data yang dibutuhkan untuk dianalisis.

Pengumpulan Data

Data yang di gunakan pada penelitian ini adalah data primer dan data sekunder, definisinya sebagai berikut :

1. Menurut Hasan (2002: 82) data primer ialah data yang diperoleh atau dikumpulkan langsung di lapangan oleh orang yang melakukan penelitian atau yang bersangkutan itu memerlukannya. Pada penelitian ini data primer yang diperlukan adalah perhitungan beban struktur bangunan menggunakan

- program bantu aplikasi struktur.
- Menurut Hasan (2002: 58) data sekunder adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan oleh orang yang melakukan penelitian dari sumber-sumber yang telah ada.

Tahapan Analisis Data

Langkah-langkah dan teknik analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Menghitung kapasitas daya dukung fondasi *bored pile* tunggal dan kelompok menggunakan metode Schmertmann dan Nottingham juga metode Meyerhof.
- Menganalisis struktur yang diperoleh dari data primer dan sekunder dengan menggunakan program bantu aplikasi struktur.
- Menghitung besar penurunan tiang *bored pile* yang terjadi.

$$Q_b = A_b \times f_b$$

Luas penampang tiang (A_b)

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 40^2$$

$$= 1256 \text{ cm}^2$$

Tahanan ujung satuan tiang (f_b)

Dalam metode Schmertmann dan Nottingham (1975) tahanan ujung tiang per satuan luas (f_b) diperoleh dari nilai rata-rata q_{ca} sepanjang $4D$ di bawah ujung tiang dan $8D$ di atas dasar tiang.

Mencari nilai q_{c1}

Kedalaman $4D$ di bawah ujung tiang :

$$4D = 4 \times 0,4 \text{ m} = 1,6 \text{ m}$$

Tabel 1. Data nilai q_c titik S-1 pada kedalaman $4D$ di bawah ujung tiang

Kedalaman (m)	Hambatan Konus (q_c) (kg/cm ²)
20,20	90
20,40	80
20,60	80
20,80	80
21,00	80
21,20	120
21,40	120
21,60	130

Sumber: Data Hasil Uji Sondir CV. Wahana Karya Design (2020)

$$q_{c1} = \frac{90+80+80+80+80+120+120+130}{8} = 97,5 \text{ kg/cm}^2$$

Mencari nilai q_{c2}

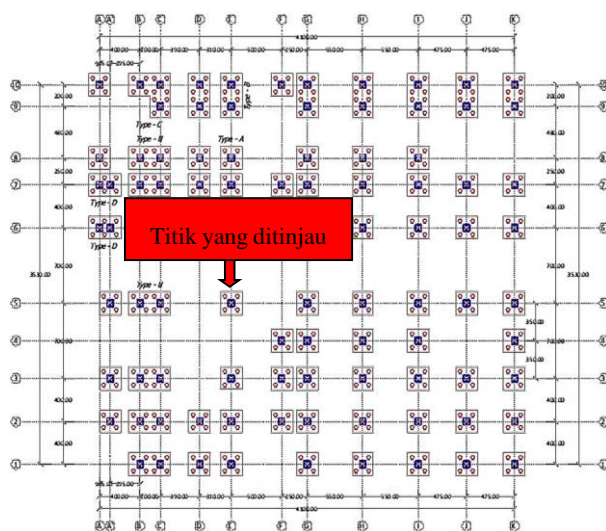
Kedalaman $8D$ di atas ujung tiang :

$$8D = 8 \times 0,4 \text{ m} = 3,2 \text{ m}$$

Tabel 2. Data nilai q_c titik S-1 pada kedalaman $8D$ di atas ujung tiang

Kedalaman (m)	Hambatan Konus (q_c) (kg/cm ²)
16,80	50
17,00	20
17,20	20
17,40	10
17,60	10
17,80	10
18,00	10
18,20	10
18,40	40
18,60	50

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Denah Fondasi *Bored Pile*

Sumber: *As Built Drawing* Gedung Instalasi Bedah Sentral (2020)

Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* dari Hasil Sondir

Data fondasi *bored pile* :

Panjang tiang (L) = 20 m

Diameter tiang (D) = 40 cm

Keliling tiang (K) = $\pi \times D = 3,14 \times 40 = 125,60 \text{ cm}$

Metode Schmertmann dan Nottingham

Kapasitas daya dukung ujung tiang (Q_b)

Kapasitas daya dukung ujung tiang (Q_b) dihitung dengan persamaan :

Kedalaman (m)	Hambatan Korus (qc) (kg/cm ²)
18,80	50
19,00	80
19,20	80
19,40	60
19,60	70
19,80	70

Sumber: Data Hasil Uji Sondir CV. Wahana Karya Design (2020)

$$q_{c2} = \frac{50+20+20+10+10+10+10+10+40+50+50+80+80+60+70+70}{16} = 40 \text{ kg/cm}^2$$

Maka diperoleh nilai tahanan korus rata-rata (q_{ca}) :

$$\begin{aligned} q_{ca} &= \frac{1}{2} (q_{c1} + q_{c2}) \\ &= \frac{1}{2} (97,5 + 40) \\ &= \frac{1}{2} (137,5) \\ &= 68,75 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Asumsi pasir terkonsolidasi normal sehingga nilai koefisiensi korelasi (ω) adalah 1.

$$\begin{aligned} f_b &= \omega q_{ca} \leq 150 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 1 \times 68,75 \text{ kg/cm}^2 \leq 150 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 68,75 \text{ kg/cm}^2 \leq 150 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung ujung tiang (Qb) :

$$\begin{aligned} Q_b &= A_b \times f_b \\ &= 1256 \text{ cm}^2 \times 68,75 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 86.350 \text{ kg} \approx 86,35 \text{ Ton} \approx 846,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung sisi tiang (Qs)

Kapasitas daya dukung sisi tiang dihitung dengan persamaan :

$$Q_s = A_s \times f_s$$

Luas selimut tiang (A_s)

$$\begin{aligned} A_s &= K_s \times L \\ &= (\pi \times D) \times L \\ &= (\pi \times 40 \text{ cm}) \times 2000 \text{ cm} \\ &= 251.327,41 \text{ cm}^2 \approx 25,13 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Tahanan gesek satuan tiang (f_s)

Koefisien tak berdimensi (K_f) = 0,9

$$q_f = \frac{5486}{100} = 54,86 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} f_s &= K_f \times q_f \\ &= 0,9 \times 54,86 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 49,37 \text{ kg/cm}^2 \approx 4841,54 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung sisi tiang (Qs) :

$$\begin{aligned} Q_s &= A_s \times f_s \\ &= 25,13 \text{ m}^2 \times 4841,54 \text{ kN/m}^2 \\ &= 121667,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka daya dukung ultimit (Qu) :

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_b + Q_s \\ &= 846,8 \text{ kN} + 121667,9 \text{ kN} \\ &= 122514,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Daya dukung izin fondasi *bored pile* menurut Tomlinson (1997) dengan dasar tiang yang dibesarkan dengan diameter $D < 2 \text{ m}$, dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{izin} &= \frac{Q_u}{2,5} \\ &= \frac{122514,7 \text{ kN}}{2,5} \\ &= 49005,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

Metode Meyerhof

Kapasitas daya dukung ultimit (Q_u) dihitung dengan persamaan :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Kapasitas daya dukung ujung tiang (Qp)

Dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned} Q_p &= q_{ca} \times A_p \\ \text{Tahanan korus rata-rata (} q_{ca} \text{)} \\ \text{Diketahui : } q_{c1} &= 97,5 \text{ kg/cm}^2 \\ q_{c2} &= 40 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Maka diperoleh nilai tahanan korus rata-rata (q_{ca}) :

$$\begin{aligned} q_{ca} &= \frac{1}{2} (q_{c1} + q_{c2}) \\ &= \frac{1}{2} (97,5 + 40) \\ &= \frac{1}{2} (137,5) \\ &= 68,75 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Luas penampang tiang (A_p)

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 40^2 \\ &= 1256 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung ujung tiang (Qp) :

$$\begin{aligned} Q_p &= q_{ca} \times A_p \\ &= 68,75 \text{ kg/cm}^2 \times 1256 \text{ cm}^2 \\ &= 113040 \text{ kg} = 1108,54 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung sisi tiang (Qs)

Kapasitas daya dukung sisi tiang (Q_s) dihitung dengan persamaan :

$$Q_s = JHL \times K_t$$

Jumlah hambatan lekat (JHL)

Diketahui dari tabel hasil *test* sondir jumlah hambatan lekat pada kedalaman 20 m adalah 5486 kg/cm

Keliling tiang (K_t)

$$K_t = \pi \times D$$

$$= 3,14 \times 40 \text{ cm}$$

$$= 125,6 \text{ cm}$$

Kapasitas daya dukung sisi tiang (Qs) :

$$Q_s = JHL \times K_t$$

$$= 5486 \text{ kg/cm} \times 125,6 \text{ cm}$$

$$= 689041,6 \text{ kg} = 6757,19 \text{ kN}$$

Maka kapasitas daya dukung ultimit (Qu) :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 1108,54 \text{ kN} + 6757,19 \text{ kN}$$

$$= 7865,73 \text{ kN}$$

Daya dukung izin fondasi *bored pile* menurut Meyerhof dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{izin} = \frac{qca \times A_c}{3} + \frac{JHL \times K_t}{5}$$

$$= \frac{68,75 \times 1256}{3} + \frac{5486 \times 125,60}{5}$$

$$= 28783,3 \text{ kg} + 137808,32 \text{ kg}$$

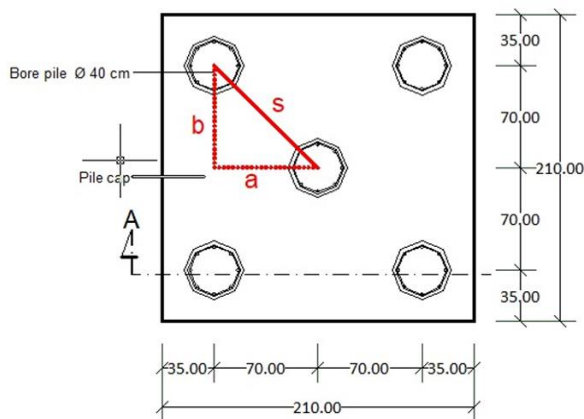
$$= 166591,62 \text{ kg} = 1633,71 \text{ kN}$$

Tabel 3. Rekapitulasi Kapasitas Daya Dukung Tiang *Bored Pile* Tunggal

No.	Metode	Qult (kN)	Qizin (kN)
	Metode		
1.	Schmertmann dan Nottingham	122514,7	49005,88
2.	Metode Meyerhof	7865,73	1633,71

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang Berdasarkan Efisiensi



Gambar 3. Detail *Pile Cap*

Sumber: *As Built Drawing* Gedung Instalasi Bedah Sentral (2020)

Persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang dengan menggunakan metode Converse-Labarre adalah sebagai berikut :

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

Diketahui :

$$n' = 3 \text{ tiang}$$

$$m = 3 \text{ baris}$$

$$d = 0,4 \text{ m}$$

$$s = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$= \sqrt{0,70^2 + 0,70^2}$$

$$= 0,98 \text{ m}$$

$$\theta = \text{Arc tg } \frac{D}{S}$$

$$= \text{Arc tg } \frac{0,4}{0,98}$$

$$= 21,80$$

$$n = 5 \text{ tiang}$$

Maka didapat nilai E_g :

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

$$= 1 - 21,80 \frac{(3 - 1).3 + (3 - 1).3}{90.3.3}$$

$$= 0,67$$

Kapasitas daya dukung kelompok tiang :

Metode Schmertmann dan Nottingham

Diketahui $Q_a = 49005,88 \text{ kN}$

$$Q_g = E_g \times n \times Q_a$$

$$= 0,67 \times 5 \times 49005,88$$

$$= 164169,70 \text{ kN}$$

Metode Meyerhof

Diketahui $Q_a = 1633,71 \text{ kN}$

$$Q_g = E_g \times n \times Q_a$$

$$= 0,67 \times 5 \times 1633,71$$

$$= 5472,93 \text{ kN}$$

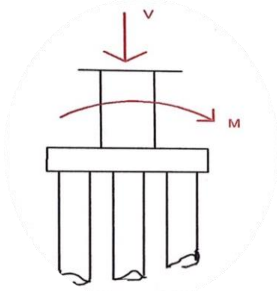
Tabel 4. Rekapitulasi Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

No.	Metode	Qg (kN)
1.	Metode Schmertmann dan Nottingham	164169,70
2.	Metode Meyerhof	5472,93

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

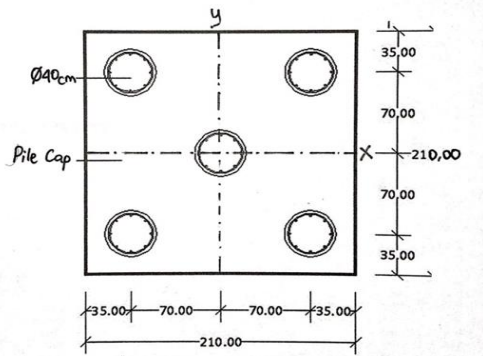
Pembebanan

Beban Vertikal dan Momen yang Bekerja pada Dua Arah



Gambar 4. Beban Vertikal dan Momen Kelompok Tiang Arah X dan Y

Sumber: Penulis (2022)



Gambar 5. Detail Pile Cap

Sumber: As Built Drawing Gedung Instalasi Bedah Sentral (2020)

Tabel 5. Rekapitulasi Gaya Aksial, Momen X, dan Momen Y dengan Program Bantu Aplikasi Struktur

No.	Gaya	Nilai
1.	Gaya Aksial (V)	1703,92 kN
2.	Momen X (Mx)	9,47 kNm
3.	Momen Y (My)	27,49 kNm

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

Diketahui :

$$V = 1703,92 \text{ kN}$$

$$M_x = 9,47 \text{ kNm}$$

$$M_y = 27,49 \text{ kNm}$$

$$n = 5 \text{ buah}$$

$$X_i = 0,70 \text{ m}$$

$$Y_i = 0,70 \text{ m}$$

$$\sum X^2 = 4 \times 0,70^2 = 1,96 \text{ m}^2$$

$$\sum Y^2 = 4 \times 0,70^2 = 1,96 \text{ m}^2$$

Beban yang bekerja pada kelompok tiang *bored pile*:

$$Q_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y X_i}{\sum X^2} \pm \frac{M_x Y_i}{\sum Y^2}$$

$$Q_i = \frac{1703,92}{5} + \frac{27,49 \times 0,70}{1,96} + \frac{9,47 \times 0,70}{1,96}$$

$$= 353,98 \text{ kN}$$

$$Q_i = \frac{1703,92}{5} - \frac{27,49 \times 0,70}{1,96} - \frac{9,47 \times 0,70}{1,96}$$

$$= 327,58 \text{ kN}$$

Beban yang dipikul kelompok tiang *bored pile* diambil nilai yang terbesar yaitu 353,98 kN.

- Metode Schmertmann dan Nottingham

Syarat : $Q_i \leq Q_g$

$$353,98 \text{ kN} \leq 164169,70 \text{ kN} \quad (\text{Aman})$$

- Metode Meyerhof

Syarat : $Q_i \leq Q_g$

$$353,98 \text{ kN} \leq 5472,93 \text{ kN} \quad (\text{Aman})$$

Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Angka keamanan diperoleh dengan rumus :

$$SF = \frac{Q_g}{Q_i}$$

- Metode Schmertmann dan Nottingham

Diketahui :

$$Q_g = 164169,70 \text{ kN}$$

$$Q_i = 353,98 \text{ kN}$$

Maka, angka keamanan diperoleh :

$$SF = \frac{Q_g}{Q_i}$$

$$SF = \frac{164169,70}{353,98}$$

$$= 463,78 \quad (\text{Aman})$$

- Metode Meyerhof

Diketahui :

$$Q_g = 5472,93 \text{ kN}$$

$$Q_i = 353,98 \text{ kN}$$

Maka, angka keamanan diperoleh :

$$SF = \frac{Q_g}{Q_i}$$

$$SF = \frac{5472,93}{353,98}$$

$$= 15,46 \quad (\text{Aman})$$

Penurunan Tiang

Perkiraan penurunan tiang tunggal

Data yang diperlukan untuk perhitungan penurunan tiang tunggal :

$$L = 20 \text{ m}$$

$$d = 0,40 \text{ m}$$

$$L/d = 20/0,40 = 50$$

$$d_b = 0,40 \text{ m (diameter ujung tiang)}$$

$$d_b/d = 0,40/0,40 = 1$$

Modulus elastisitas tanah sekitar tiang (E_s) :

$$E_s = 3 \cdot q_c$$

$$= 3 \cdot 68,75 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 206,25 \text{ kg/cm}^2 \approx 20,22 \text{ Mpa}$$

Modulus elastisitas dasar tiang (Eb) :

$$E_b = 10 \cdot E_s$$

$$= 10 \cdot 20,22 \text{ Mpa}$$

$$= 202,20 \text{ Mpa}$$

Modulus elastisitas bahan tiang :

Mutu beton K-300 maka $f_{c'} = 25 \text{ Mpa}$

$$E_p = 4700 \cdot \sqrt{f_{c'}}$$

$$= 4700 \cdot \sqrt{25}$$

$$= 23500 \text{ Mpa}$$

Rasio area tiang :

$$RA = \frac{A_p}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2}$$

$$= \frac{1256}{\frac{1}{4} \pi \cdot 40^2}$$

$$= \frac{1256}{1256}$$

$$= 1$$

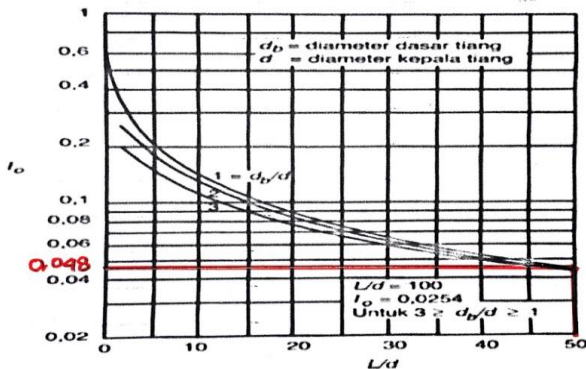
Faktor kekakuan tiang :

$$K = \frac{E_p \cdot RA}{E_s}$$

$$= \frac{23500 \cdot 1}{20,22}$$

$$= 1162,21$$

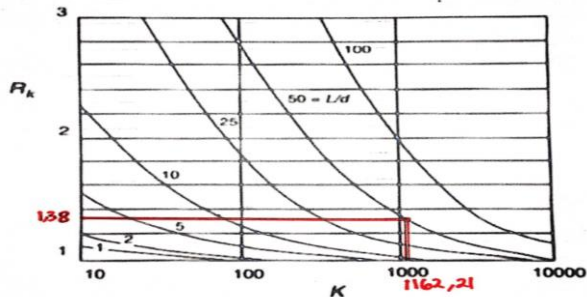
Nilai $I_o = 0,048$ (dengan $L/d = 50$ dan $d_b/d = 1$)



Gambar 6. Grafik faktor penurunan (I_o)

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

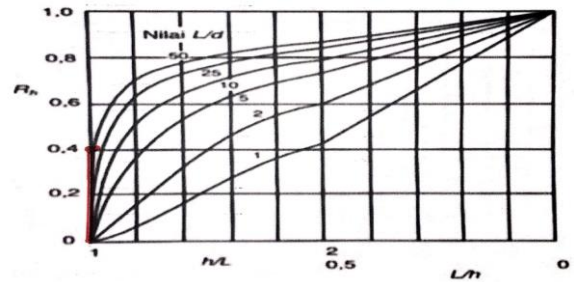
Nilai $R_k = 1,38$ (dengan $L/d = 50$ dan $K = 1162,21$)



Gambar 7. Grafik koreksi kompresi (R_k)

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

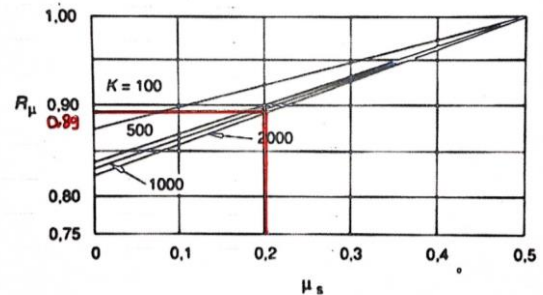
Nilai $R_h = 0,4$ (dengan $L/d = 50$ dan $h/L = 1$)



Gambar 8. Grafik koreksi kedalaman (R_h)

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

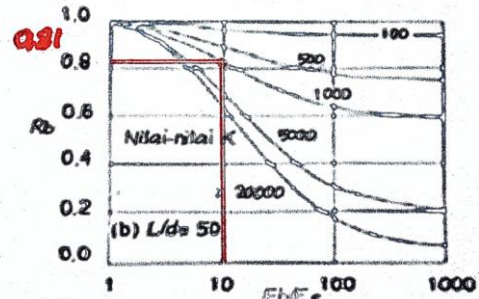
Nilai $R_\mu = 0,89$ ($\mu_s = 0,20$ dan $K = 1162,21$)



Gambar 9. Grafik koreksi angka poisson (R_μ)

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

Nilai $R_b = 0,81$ (dengan $L/d = 50$, $K = 1162,21$ dan $E_b/E_s = 10$)



Gambar 10. Grafik koreksi kekakuan lapisan pendukung (R_b)

Sumber: Hasil Perhitungan (2022)

a. Tiang apung atau friksi

$$I = I_o \times R_k \times R_h \times R_\mu$$

$$= 0,048 \times 1,38 \cdot 0,4 \cdot 0,89$$

$$= 0,024$$

Metode Schmertmann dan Nottingham

$$Q = 49005,88 \text{ kN} = 4997208,02 \text{ kg}$$

$$S = \frac{Q \times I}{E_s \times D}$$

$$= \frac{4997208,02 \times 0,024}{206,25 \times 40}$$

$$= 14,53 \text{ cm} = 0,14 \text{ m}$$

Metode Meyerhof

$$Q = 1633,71 \text{ kN} = 166592,02 \text{ kg}$$

$$S = \frac{Q \times I}{Es \times D} = \frac{166592,02 \times 0,024}{206,25 \times 40}$$

$$= 0,48 \text{ cm} = 0,0048 \text{ m}$$

b. Untuk tiang dukung ujung

$$I = I_o \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_\mu = 0,048 \cdot 1,38 \cdot 0,81 \cdot 0,89 = 0,047$$

Metode Schmertmann dan Nottingham

$$Q = 49005,88 \text{ kN} = 4997208,02 \text{ kg}$$

$$S = \frac{Q \times I}{Es \times D} = \frac{4997208,02 \times 0,047}{206,25 \times 40}$$

$$= 28,46 \text{ cm} = 0,28 \text{ m}$$

Metode Meyerhof

$$Q = 1633,71 \text{ kN} = 166592,02 \text{ kg}$$

$$S = \frac{Q \times I}{Es \times D} = \frac{166592,02 \times 0,047}{206,25 \times 40}$$

$$= 0,94 \text{ cm} = 0,0094 \text{ m}$$

Perkiraan total penurunan tiang tunggal

Metode Schmertmann dan Nottingham

$$\text{Penurunan total} \quad S = 0,42 \text{ m}$$

Metode Meyerhof

$$\text{Penurunan total} \quad S = 0,0142 \text{ m}$$

Penurunan yang diizinkan adalah sebagai berikut :

$$S_{izin} = 10\% \times d = 10\% \times 0,4 \text{ m} = 0,04 \text{ m}$$

Syarat perbandingan penurunan yang aman yaitu :

$$S_{total} \leq S_{izin}$$

Penurunan total tiang *bored pile* tunggal yang digunakan adalah nilai yang terkecil yaitu

0,0142 m, maka :

$$0,0142 \text{ m} \leq 0,04 \text{ m} \quad (\text{Aman})$$

Perkiraan penurunan kelompok tiang

Metode Schmertmann dan Nottingham

Data yang diperlukan yaitu :

$$S = 0,42 \text{ m}$$

$$B_g = 2,1 \text{ m}$$

$$D = 0,4 \text{ m}$$

Penurunan kelompok tiang dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{D}}$$

$$S_g = 0,42 \sqrt{\frac{2,1}{0,4}}$$

$$S_g = 0,96 \text{ m}$$

Metode Meyerhof

Data yang diperlukan yaitu :

$$S = 0,0142 \text{ m}$$

$$B_g = 2,1 \text{ m}$$

$$D = 0,4 \text{ m}$$

Penurunan kelompok tiang dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{D}}$$

$$S_g = 0,0142 \sqrt{\frac{2,1}{0,4}}$$

$$S_g = 0,03 \text{ m}$$

Penurunan yang diizinkan adalah sebagai berikut :

$$S_{izin} = \frac{L}{250}$$

$$S_{izin} = \frac{20}{250}$$

$$S_{izin} = 0,08 \text{ m}$$

Penurunan kelompok tiang *bored pile* yang digunakan adalah nilai yang terkecil yaitu 0,03 m, maka :

$$0,03 \text{ m} \leq 0,08 \text{ m} \quad (\text{Aman})$$

PENUTUP

Kesimpulan

1. Hasil perhitungan kapasitas daya dukung *bored pile* tunggal dengan metode Schmertmann dan Nottingham diperoleh nilai Q_u izin = 49005,88 kN sedangkan hasil perhitungan metode Meyerhof diperoleh nilai Q_u izin = 1633,71 kN. Hasil perhitungan kapasitas daya dukung kelompok tiang dengan metode Schmertmann dan Nottingham mendapatkan nilai Q_g = 164169,70 kN dan dengan metode Meyerhof mendapatkan nilai Q_g = 5472,93 kN.
2. Beban yang dipikul kelompok tiang *bored pile* diambil nilai yang terbesar yaitu 353,98 kN. Hasil perbandingan beban yang dipikul kelompok tiang menggunakan metode

Schmertmann dan Nottingham $Q_i = 353,98 \text{ kN} \leq Q_g = 164169,70 \text{ kN}$ masih dalam batas aman. Hasil perbandingan beban yang dipikul kelompok tiang menggunakan metode Meyerhof $Q_i = 353,98 \text{ kN} \leq Q_g = 5472,93 \text{ kN}$ juga masih dalam batas aman.

3. Angka faktor keamanan diperoleh dengan menggunakan metode Schmertmann dan Nottingham senilai $SF = 463,78$ dan metode Meyerhof senilai $SF = 15,46$ sehingga angka faktor keamanan adalah sangat aman.
4. Hasil perhitungan penurunan total tiang *bored pile* tunggal pada titik yang ditinjau sebesar $S = 0,0142 \text{ m} \leq 0,04 \text{ m}$ yang berarti aman. Sedangkan hasil perhitungan penurunan kelompok tiang *bored pile* pada titik yang ditinjau sebesar $S_g = 0,03 \text{ m} \leq 0,08 \text{ m}$ yang berarti aman.
5. Metode Meyerhof lebih aman dibandingkan menggunakan metode Schmertmann dan Nottingham, hal ini dikarenakan nilai kapasitas daya dukung fondasi *bored pile* tunggal dan kelompok tiang paling kecil dari antara kedua metode namun masih dalam batas aman.

Hasan, M. I., 2002. *Pokok-pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya*. Jakarta: Ghalia Indonesia.

Jusi, U., 2015. *Analisa Kuat Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data Pengujian Lapangan (Cone dan N-Standard Penetration Test)*. Jurnal Teknik Sipil Siklus, 1(2), pp.50-82.

Saran

1. Memperoleh data yang lengkap sebelum melakukan perhitungan karena data tersebut dapat menunjang dalam membuat analisa perhitungan sehingga tidak membutuhkan waktu lama saat membuat analisa perhitungan.
2. Saat melakukan perhitungan dari data yang telah tersedia disarankan untuk lebih teliti agar perhitungan lebih akurat.
3. Dalam penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode lainnya sebagai pembanding.

DAFTAR PUSTAKA

Bowles, J. E., 1997. *Analisis dan Desain Pondasi, Jilid 1 Edisi 4*. Jakarta: Erlangga.

Hakam, A., 2008. *Rekayasa Pondasi*. Padang: Bintang Grafika.

Hardiyatmo, H. C., 2002. *Teknik Fondasi II, Edisi Kedua*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C., 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.