

PERENCANAAN FONDASI *BORED PILE ABUTMENT* JEMBATAN INLET BRAVO KEDIRI JAWA TIMUR DENGAN METODE MEYERHOFF DAN DIKONTROL MENGGUNAKAN SOFTWARE ALLPILE DAN SOFTWARE BENTLEY GEOSTRUCTURAL ANALYSIS

Krisdawati; Agus Susanto
Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Surakarta

Abstrak

Jembatan Inlet Bravo merupakan jembatan penghubung jalan di kawasan bandara Dhoho Kediri. Hasil penyelidikan tanah menunjukkan bahwa tanah tersebut merupakan tanah keras. Berdasarkan SNI 2847:2019 kedalaman pemancangan maksimal pada tiang pancang yang dapat dicapai hanya sebesar 5,67 meter. Oleh karena itu, penggunaan tiang pancang ini tidak direkomendasikan karena berisiko melampaui kapasitas material dan menyebabkan kegagalan struktur. Karena itu, bored pile dipilih sebagai fondasi pada jembatan tersebut. Untuk merencanakan fondasi bored pile diperlukan ketelitian yang tinggi, sehingga pada penelitian ini direncanakan secara manual dengan metode Meyerhoff dan dilengkapi program Allpile serta Bentley Geoststructural analysis. Penelitian ini berfokus pada perencanaan struktur fondasi bored pile dengan metode perhitungan manual dan menggunakan program dengan variasi diameter fondasi (0,5 m; 0,6 m; dan 0,7 m) untuk menentukan kapasitas dukung, penurunan tiang, dan desain penulangan. Dari perhitungan manual, diperoleh yang paling efisien yaitu kelompok tiang bored pile diameter 0,6 m sebanyak 8 tiang dengan kapasitas dukung kelompok sebesar 4692,094 kN. Berdasarkan perhitungan menggunakan program Allpile, diperoleh kapasitas dukung kelompok tiang sebesar 19.670,869 kN. Sedangkan berdasarkan program Bentley Geoststructural Analysis, kapasitas dukung tiang kelompok sebesar 27.707,20 kN. Besarnya penurunan tiang kelompok pada metode manual sebesar 1,243 cm, sedangkan pada program Allpile sebesar 0,138 cm, dan pada program Bentley Geoststructural sebesar 5,53 cm. Kebutuhan tulangan tiangbored pile adalah sebesar 8D22 untuk tulangan utama dan D16-200 untuk tulangan geser. Analisis kapasitas dukung tiang bored pile menggunakan program Allpile dan program Bentley Geoststructural Analysis digunakan sebagai kontrol terhadap hasil perhitungan kapasitas dukung secara manual.

Kata Kunci : Metode Meyerhoff, Program Allpile, Program Bentley Geoststructural Analysis, Kapasitas dukung, Bored pile

Abstract

The Bravo Inlet Bridge is a bridge connecting the road in the Dhoho Kediri airport area. The results of soil observations show that the soil is hard soil. Based on SNI 2847:2019, the maximum driving depth for piles that can be

achieved is only 5.67 meters. Therefore, the use of piles is not recommended because there is a risk of exceeding the material capacity and causing structural failure. Therefore, Bored Pile was chosen as the foundation for the bridge. To plan a borepile foundation requires high accuracy, so in this research it was planned manually using the Meyerhoff method and equipped with the Allpile and Bentley Geosttructural analysis programs. This research focuses on planning bored pile foundation structures using manual calculation methods and using programs with variations in foundation diameter (0.5 m; 0.6 m; and 0.7 m) to determine bearing capacity, pile settlement and reinforcement design. From manual calculations, the most efficient one was obtained, namely a group of 0.6 m diameter bored piles of 8 piles with a group bearing capacity of 4692.094 kN. Based on calculations using the Allpile program, the bearing capacity of the pile group is 19,670,869 kN. Meanwhile, based on the Bentley Geosttructural Analysis program, the bearing capacity of group piles is 27,707.20 kN. The amount of group pile reduction in the manual method was 1.243 cm, while in the Allpile program it was 0.138 cm, and in the Bentley Geosttructural program it was 5.53 cm. The need for bored pile reinforcement is 8D22 for main reinforcement and D16-200 for shear reinforcement. Analysis of the bearing capacity of bored piles using the Allpile program and the Bentley Geosttructural Analysis program is used as a control for the results of manual bearing capacity calculations.

Keywords: Meyerhoff method, Allpile Program, Bentley Geosttructural Analysis Program, Bearing capacity, Bored pile

1. PENDAHULUAN

Jembatan Inlet Bravo di Kediri Jawa Timur dibangun untuk membantu mobilitas yang lebih mudah dan aman bagi pengguna jalan dengan menghubungkan akses jalan yang terputus oleh aliran sungai. Hasil pengujian lapangan menunjukkan bahwa kondisi tanah di tempat tersebut memiliki karakteristik yang cukup keras pada kedalaman 10 m. Dalam memilih jenis fondasi, hal ini harus dipertimbangkan dengan hati-hati karena fondasi harus memberikan kestabilan dan mampu menahan beban jembatan. Dengan karakteristik tanah keras di lokasi, penelitian ini menggunakan fondasi *bored pile* sebagai struktur bawah Jembatan Inlet Bravo. Fondasi *bored pile* dipilih karena memiliki kemampuan dukung yang tinggi dan sangat cocok untuk kondisi tanah keras, serta mampu menahan beban besar yang dihasilkan oleh struktur jembatan. Penelitian ini berfokus pada perencanaan ulang struktur fondasi dengan mengaplikasikan metode perhitungan manual dengan metode Meyerhoff, serta menggunakan perangkat lunak Allpile dan Bentley Geosttructural Analysis. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dan membandingkan hasil perhitungan serta kinerja fondasi *bored pile* karena perencanaan

ini memerlukan ketelitian yang tinggi.

Software Allpile dimaksudkan untuk menganalisis dan menghitung kapasitas dukung, stabilitas, dan dimensi fondasi tiang bor (Susetia, 2023). Selain itu, penggunaan *software Allpile* juga harus memverifikasi keakuratan hasil dengan data lapangan atau uji beban yang valid.

Bentley Systems, *Incorporated* adalah perusahaan yang berdedikasi untuk menyediakan solusi perangkat lunak lengkap untuk infrastruktur yang berkelanjutan. Paket terintegrasi ini menangani berbagai masalah dan analisis geoteknik, seperti penggalian penopang, dinding penahan tanah, fondasi, *settlement*, stabilitas lereng, terowongan, *pillling*, terowongan dan berbagai analisis lainnya (Atmaja L, 2021).

Perhitungan kapasitas dukung fondasi tiang bor pada pembangunan Jembatan Inlet Bravo menggunakan data lapangan dan data labotarium yang didapatkan dari hasil *boring test* pada titik BH02 dengan titik koordinat X=604238.504 m E; Y=9142424.740 m S; Z=+91.491 m.

2. METODE

Persiapan dimulai dengan literatur topik yang akan direncanakan. Tahap kedua, mengumpulkan data. Setelah dilakukannya pengumpulan data dilanjutkan tahap ketiga dengan perhitungan kapasitas dukung tiang tunggal, kelompok, penurunan dan jumlah tiang *bored pile*. Memilih kelompok tiang yang digunakan paling efisien. Setelah didapatkan hasil perhitungan manual dilanjutkan mengontrol hasil perhitungan dengan *software Allpile* dan *software Bentley Geosturctural Analysis*. Kemudian tahap keempat menghitung jumlah tulangan *bored pile*. Tahap terakhir dilakukan penyusunan kesimpulan. Pembangunan Jembatan Inlet Bravo terletak di Bandara Internasional Dhoho Kediri, Jawa Timur dan berikut lokasi penelitian yang dijadikan tugas akhir.



Sumber : Pt. Lancarjaya Mandiri Abadi

Gambar 1. Denah lokasi jembatan Inlet Bravo

2.1 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang

2.1.1 Kapasitas dukung tiang dihitung dengan menggunakan metode Meyerhoff berdasarkan nilai N-SPT

Tahanan ujung tiang dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_p = A_p \cdot q_p \quad (1)$$

Dengan :

Q_p : tahanan ujung tiang (kN)

q_p : tahanan ujung per satuan luas (kN/m^2) dengan $f_b < 10700 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

A_p : luas penampang tiang bor (m^2)

Tahanan gesek ultimit selimut tiang dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_s = 0,67 \cdot N_{\text{cor}} \cdot A_s \quad (2)$$

Dengan :

Q_s : Tahanan gesek ultimit selimut tiang (kN)

N_{cor} : N-SPT terkoreksi

A_s : Luas selimut tiang (m^2)

Nilai N-SPT terkoreksi menurut Skemton dalam Hardiyatmo (2014) dihitung dengan

rumus:

$$N_{cor} = \frac{1}{6} E_f . C_b . C_s . C_r . N \dots \dots \dots (3)$$

Dengan :

N60: N-SPT telah dikoreksi

E_f : Efisiensi pemukul

C_b : Koreksi diameter lubang bor

C_s : Koreksi oleh tipe tabung sampler

C_r : Koreksi untuk panjang batang bor

N : Nilai N-SPT hasil uji di lapangan

2.1.2 Kapasitas Dukung Ultimit (Q_u)

Kapasitas dukung ultimit (Q_u) :

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots \dots \dots (4)$$

Dengan :

Q_u : kapasitas dukung ultimit tiang (kN)

Q_p : tahanan ujung ultimit tiang (kN)

Q_s : tahanan gesek selimut tiang (kN)

2.1.3 Kapasitas Dukung Ijin Tiang (Q_a)

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \dots \dots \dots (5)$$

Dengan :

Q_u: kapasitas dukung ultimit tiang (kN)

Q_a: Kapasitas dukung ijin tiang (kN)

SF: Faktor aman

Faktor aman yang disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989) dalam Hardiyatmo (2008)

Tabel 1 Faktor aman yang disarankan

Klasifikasi Struktur	Faktor Aman (SF)			
	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol Sangat Jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4

Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,3	2,8

2.1.4 Jumlah Tiang (n)

Jumlah tiang dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$n = P/Qa \dots\dots\dots (6)$$

Dengan :

P : beban yang bekerja (kN)

Qa : kapasitas dukung ijin tiang tunggal (kN)

2.1.5 Efisiensi Kelompok Tiang (Eg)

Efisiensi kelompok tiang menurut Listyawan (2017) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Eg = 1 - \left[\frac{(n-1)m + m(n-1)}{90mn} \right] \emptyset \dots\dots\dots (7)$$

dengan :

Eg : efisiensi kelompok tiang.

m : jumlah baris tiang.

n' : jumlah tiang dalam satu baris.

$\emptyset$: Arc tg d/s, dalam derajat.

s : jarak pusat ke pusat tiang (m)

2.1.6 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang (Qg)

Kapasitas dukung kelompok tiang dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Qg = Qa \times m \times n \times Eg \dots\dots\dots (8)$$

Dengan :

Qg :

kapasitas dukung tiang kelompok (kN)

Eg : efisiensi kelompok tiang

m : jumlah bari tiang

n : jumlah tiang dalam satu baris

Qa : kapasitas dukung ijin tiang tunggal (kN)

2.2 Penurunan Fondasi Tiang Bor

2.2.1 Penurunan Tiang Tunggal

Penurunan tiang tunggal dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q \cdot L}{A_p \cdot E_p} \dots\dots\dots (9)$$

Dengan :

S : penurunan total di kepala tiang (m)

D : diameter tiang (m)

Q : beban yang bekerja (kN)

Ab : luas penampang tiang (m²)

L : Panjang tiang (m)

Ep : modulus elastisitas tiang (kN/ m²)

2.2.2 Penurunan Tiang Tunggal yang Diiijinkan

$$S \leq S_{ijin} \dots\dots\dots (10)$$

$$S_{ijin} = 10\%.D$$

D= diameter tiang (m)

2.2.3 Penurunan Kelompok Tiang

Penurunan kelompok tiang menurut Vesic dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{D}} \dots\dots\dots (11)$$

Dengan :

Sg : Penurunan kelompok tiang (m)

S : penurunan fondasi tiang tunggal (m)

Bg : Lebar kelompok tiang (m)

D : diameter tiang (m)

2.2.4 Penurunan Kelompok Tiang yang Diiijinkan

Menurut SNI 8460 : 2017, penurunan kelompok tiang yang diijinkan dihitung sebagai berikut :

$$S \leq 15 + b/600 \dots\dots\dots (12)$$

dengan :

b= lebar fondasi (cm)

2.3 Desain Penulangan Fondasi *Bored Pile*

2.3.1 Perhitungan Beban Maksimum Kelompok Tiang

Perhitungan beban maksimum kelompok tiang dalam (Sinatriya, 2024) dihitung dengan

persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{Pu}{n} + \frac{M_y \cdot X_{max}}{n_y \cdot \Sigma x^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{max}}{n_x \cdot \Sigma Y^2} \dots\dots\dots (13)$$

Dengan :

- Pu : gaya aksial terbesar tiang (kN)
- Mx : momen kolom arah sumbu x
- My : momen kolom arah sumbu y
- X : jarak as tiang ke as kolom pada arah sumbu x
- Y : jarak as tiang ke as kolom pada arah sumbu y
- n : jumlah tiang keseluruhan
- nx : jumlah tiang pada arah sumbu x
- ny : jumlah tiang pada arah sumbu y
- P : beban maksimum kelompok tiang (kN)

2.3.2 Perhitungan Tulangan Utama

a. Menghitung momen nominal

$$Ag = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \dots\dots\dots (14)$$

Dengan :

D : diameter fondasi (mm)

b. Menghitung luas tulangan

$$As_{tulangan} = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \dots\dots\dots (15)$$

Dengan :

D : diameter tulangan (mm)

c. Jumlah tulangan

Nilai ρ_{min} – 0,01 dan ρ_{max} – 0,08 (SNI 2847:2013)

$$As_{perlu} = \rho_{min} \cdot Ag \dots\dots\dots (16)$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} \dots\dots\dots (17)$$

Dengan :

As Perlu: Luas tulangan yang diperlukan (mm²)

As Tulangan : Luas tulangan (mm²)

2.3.3 Perhitungan Tulangan Geser

Perhitungan gaya geser yang ditahan oleh (Vc) menurut Fachrudin M. (2022) dihitung

dengan persamaan berikut :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{Vu}{14 \cdot Ag} \right) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \lambda \cdot bw \cdot d \dots \dots \dots (18)$$

Dengan :

V_u : gaya geser nominal

A_g : luas penampang tiang

f'_c : kuat tekan beton yang disyaratkan

b_w : ukuran lebar penampang tiang

d : ukuran tingkal efektif panampang tiang

kontrol : V_u dengan ϕV_c dengan $\phi=0,7$

Perhitungan jarak spiral

$$S = \frac{n \cdot \frac{1}{4} \cdot d^2 \cdot S}{A_{v,u}} \dots \dots \dots (19)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Kapasitas Dukung Tiang Bor Tunggal dan Tiang Kelompok *Bored Pile* dengan Metode Mayerhoff

3.1.1 Menghitung Kapasitas Dukung Tiang Bor Tunggal Diameter 0,6

a. Perhitungan Tahanan ujung tiang

$$\text{Diameter} = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi \cdot 0,6^2 \\ &= 0,283 \text{ m} \end{aligned}$$

$$N = 60$$

$$\begin{aligned} \bar{N}_{cor} &= \frac{1}{0,6} E_f \cdot C_b \cdot C_s \cdot C_r \cdot N \\ &= \frac{1}{0,6} \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 60 \\ &= 45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 qp &= 133. N_{cor} \\
 &= 133.45 \\
 &= 5985 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol terhadap tahanan ujung satuan maksimum ($qp \leq 10700 \text{ kN/m}^2$)

$$\begin{aligned}
 qp &\leq 10700 \text{ kN/m}^2 \\
 5985 &\leq 10700 \text{ kN/m}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Qp &= qp. Ap \\
 &= 5985.0,283 \\
 &= 1691,361 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Tahanan Gesek Ultimit Selimut Tiang

1) Tahanan gesek selimut tiang pada lapisan ke-1 (2-3,4m)

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter} &= 0,6 \text{ m} \\
 L &= 1,4 \text{ m} \\
 As &= \pi. d. L \\
 &= \pi. 0,6. 1,4 \\
 &= 2,638 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{cor_{2m}} &= \frac{1}{0,6} Ef. Cb. Cs. Cr. N \\
 &= \frac{1}{0,6} . 0,6. 1. 1. 0,75. 51 \\
 &= 38,25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{cor_{3,4m}} &= \frac{1}{0,6} Ef. Cb. Cs. Cr. N \\
 &= \frac{1}{0,6} . 0,6. 1. 1. 0,75. 20 \\
 &= 15
 \end{aligned}$$

$$\bar{N}_{cor} = \frac{\sum N}{n}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{38,25+15}{2} \\
&= 26,625 \\
qs &= 0,67. \bar{N}_{cor} \\
&= 0,67.26,625 \\
&= 17,839 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

Kontrol terhadap tahanan gesek satuan maksimum ($q_s \leq 107 \text{ kN/m}^2$)

$$\begin{aligned}
q_s &\leq 107 \text{ kN/m}^2 \\
17,839 &\leq 107 \text{ kN/m}^2 \text{ (memenuhi)} \\
Q_{s1} &= q_s. A_s \\
&= 17,839. 2,638 \\
&= 47,059 \text{ kN}
\end{aligned}$$

2) Tahanan gesek ultimit selimut tiang pada lapisan ke-2 (3,4-6,8m)

$$\begin{aligned}
\text{Diameter} &= 0,6 \text{ m} \\
L &= 3,4 \text{ m} \\
A_s &= \pi. d. L \\
&= \pi. 0,6. 3,4 \\
&= 6,401 \text{ m} \\
N_{cor_{3,4m}} &= \frac{1}{0,6} Ef. Cb. Cs. Cr. N \\
&= \frac{1}{0,6}. 0,6. 1. 1. 0,75. 20 \\
&= 15 \\
N_{cor_4} &= \frac{1}{0,6} Ef. Cb. Cs. Cr. N \\
&= \frac{1}{0,6}. 0,6. 1. 1. 0,75. 6 \\
&= 4,5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{cor_6} &= \frac{1}{0,6} Ef . Cb . Cs . Cr . N \\
 &= \frac{1}{0,6} . 0,6 . 1 . 1 . 0,75 . 10 \\
 &= 7,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{cor_{6,8}} &= \frac{1}{0,6} Ef . Cb . Cs . Cr . N \\
 &= \frac{1}{0,6} . 0,6 . 1 . 1 . 0,75 . 15 \\
 &= 11,25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{N}_{cor} &= \frac{\sum N}{n} \\
 &= \frac{15 + 4,5 + 7,5 + 11,25}{4} \\
 &= 9,562
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_s &= 0,67 . \bar{N}_{cor} \\
 &= 0,67 . 9,562 \\
 &= 6,407 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol terhadap tahanan gesek satuan maksimum ($q_s \leq 107 \text{ kN/m}^2$)

$$q_s \leq 107 \text{ kN/m}^2$$

$$6,407 \leq 107 \text{ kN/m}^2 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{s2} &= q_s . A_s \\
 &= 6,407 . 6,401 \\
 &= 41,010 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3) Tahanan gesek ultimit selimut tiang pada lapisan ke-3 (6,8-9m)

$$\text{Diameter} = 0,6 \text{ m}$$

$$L = 2,2 \text{ m}$$

$$A_s = \pi . d . L$$

$$= \pi \cdot 0,6 \cdot 2,2$$

$$= 4,145 \text{ m}$$

$$N_{cor_{6,8}} = \frac{1}{0,6} Ef \cdot Cb \cdot Cs \cdot Cr \cdot N$$

$$= \frac{1}{0,6} \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 15$$

$$= 11,25$$

$$N_{cor_8} = \frac{1}{0,6} Ef \cdot Cb \cdot Cs \cdot Cr \cdot N$$

$$= \frac{1}{0,6} \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 18$$

$$= 13,5$$

$$N_{cor_9} = \frac{1}{0,6} Ef \cdot Cb \cdot Cs \cdot Cr \cdot N$$

$$= \frac{1}{0,6} \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 30$$

$$= 22,5$$

$$\bar{N}_{cor} = \frac{\Sigma N}{n}$$

$$= \frac{11,35 + 13,5 + 22,5}{3}$$

$$= 15,75$$

$$q_s = 0,67 \cdot \bar{N}_{cor}$$

$$= 0,67 \cdot 15,75$$

$$= 10,552 \text{ kN/m}^2$$

Kontrol terhadap tahanan gesek satuan maksimum ($q_s \leq 107 \text{ kN/m}^2$)

$$q_s \leq 107 \text{ kN/m}^2$$

$$10,552 \leq 107 \text{ kN/m}^2 \text{ (memenuhi)}$$

$$Q_{s3} = q_s \cdot A_s$$

$$= 10,552.4,145$$

$$= 43,740 \text{ kN}$$

4) Tahanan gesek ultimit selimut tiang pada lapisan ke-4 (9-10m)

$$\text{Diameter} = 0,6 \text{ m}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$As = \pi \cdot d \cdot L$$

$$= \pi \cdot 0,6 \cdot 1$$

$$= 1,884 \text{ m}$$

$$N_{cor_9} = \frac{1}{0,6} Ef \cdot Cb \cdot Cs \cdot Cr \cdot N$$

$$= \frac{1}{0,6} \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 30$$

$$= 22,5$$

$$N_{cor_{10}} = \frac{1}{0,6} Ef \cdot Cb \cdot Cs \cdot Cr \cdot N$$

$$= \frac{1}{0,6} \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 60$$

$$= 45$$

$$\bar{N}_{cor} = \frac{\Sigma N}{n}$$

$$= \frac{22,5 + 45}{2}$$

$$= 33,75$$

$$q_s = 0,67 \cdot \bar{N}_{cor}$$

$$= 0,67 \cdot 33,75$$

$$= 22,612 \text{ kN/m}^2$$

Kontrol terhadap tahanan gesek satuan maksimum ($q_s \leq 107 \text{ kN/m}^2$)

$$q_s \leq 107 \text{ kN/m}^2$$

$$21,242 \leq 107 \text{ kN/m}^2 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} Q_{s4} &= q_s \cdot A_s \\ &= 22,612 \cdot 1,884 \\ &= 42,602 \text{ kN} \end{aligned}$$

5) Total tahanan gesek ultimit selimut tiang

$$\begin{aligned} Q_{s\text{total}} &= Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} \\ &= 47,059 + 41,010 + 43,740 + 42,602 \\ &= 174,411 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Kapasitas Dukung Ultimit

$$\begin{aligned} W_p &= \text{Volume tiang} \cdot \gamma_c \\ &= \pi \cdot 0,3^2 \cdot 8,24 \\ &= 54,260 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u &= \text{Volume tiang} \cdot \gamma_w \\ &= \pi \cdot 0,3^2 \cdot 7,55 \cdot 10 \\ &= 21,336 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{p'} &= W_p - u \\ &= 54,260 - 21,336 \\ &= 32,923 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s - W_{p'} \\ &= 1691,361 + 174,411 - 32,923 \\ &= 1832,849 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jadi didapatkan kapasitas Dukung Ultimit sebesar 1832,849 kN

3.1.2 Menghitung Kapasitas Ijin Tiang Tunggal

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{Q_u}{SF} \\ &= \frac{1832,849}{2} \\ &= 916,424 \text{ kN} \end{aligned}$$

3.1.3 Menghitung Jumlah Tiang

Data yang diketahui

Beban yang bekerja (P) = 432,382 ton = 4241,67 kN

$$\begin{aligned}n &= \frac{p}{Qa} \\&= \frac{4241,67}{916,424} \\&= 4,628 \\&= 8 \text{ buah tiang}\end{aligned}$$

3.1.4 Kapasitas Kelompok Tiang

a. Efisiensi Kelompok Tiang

$$\begin{aligned}n &= 4 \\m &= 2 \\s &= 2,5.d \\&= 2,5.0.6 \\&= 1,5 \\\emptyset &= \text{Arctan} \frac{d}{s} \\&= \text{Arctan} \frac{0,6}{1,5} \\&= 21,801 \\Eg &= 1 - \left[\frac{(n-1).m + m(n-1)}{90.m.n} \right]. \emptyset \\&= 1 - \left[\frac{(4-1).2 + 2(4-1)}{90.2.4} \right]. 21,801 \\&= 0.63665 \\&= 64\%\end{aligned}$$

b. Kapasitas Kelompok Tiang

$$Qg = Qa.m.n.Eg$$

$$= 916,424 \cdot 2.4.64\%$$

$$= 4692,094 \text{ kN (AMAN)}$$

Jadi didapatkan kapasitas kelompok tiang sebesar 4692,094 kN

3.2 Hasil Perhitungan manual dengan metode Meyerhoff

Dengan metode dan cara yang sama, setelah melakukan perhitungan manual dengan metode Meyerhoff pada diameter 0,5m; 0,6 m dan 0,7m didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil perhitungan manual dengan metode Meyerhoff

Diameter (m)	Qp (kN)	Qs (kN)	Qu (kN)	Qall (kN)	N
0,5	1174,556	145,359	1297,052	4980,681	12
0,6	1691,361	174,411	1832,849	4692,094	8
0,7	2301,130	203,503	2445.597	4695,545	6

Data beban yang bekerja pada jembatan sebesar 4241,67 kN, maka dipilih *bored pile* diameter 0,6m sebanyak 8 tiang.

3.3 Penurunan Tiang Fondasi

Penurunan tiang fondasi *bored pile* diameter 0,6 meter dengan jumlah tiang 8 tiang dan menahan beban tiang berikut.

3.3.1 Penurunan fondasi tiang tunggal

Perameter yang digunakan pada perhitungan tersebut adalah sebagai berikut.

$$\text{Beban yang bekerja} : \frac{4241.670}{8} = 530.209 \text{ kN}$$

$$\gamma \text{ beton bertulang} : 24$$

$$A_p : 0.283 \text{ m}^2$$

$$L : 8 \text{ m}$$

$$W_p (\text{berat tiang}) = A_p \cdot \gamma \cdot L$$

$$= 0,283 \cdot 24 \cdot 8$$

$$= 434,074 \text{ kN}$$

$$Q (\text{beban yang bekerja}) = P + W_p$$

$$= 530.209 + 54.2592$$

$$= 584.468 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 E_p &= 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ MPa} \\
 E_p &= 25742960 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Penurunan fondasi tiang diitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{D}{100} + \frac{Q \cdot L}{A_p \cdot E_p} \\
 &= \frac{0,6}{100} + \frac{584.468.8}{0,283 \cdot 25742960} \\
 &= 0.00665 \text{ m} \\
 &= 0,665 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Penurunan fondasi yang diizinkan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{total}} &\leq S_{\text{izin}} \\
 S_{\text{total}} &\leq 10\% \cdot D \\
 0,665 \text{ cm} &\leq 10\% \cdot 60 \\
 0,665 \text{ cm} &\leq 6 \text{ cm} \quad (\text{AMAN})
 \end{aligned}$$

3.3.2 Penurunan fondasi Kelompok tiang

a. Parameter yang digunakan pada perhitungan tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 B_g &= 2,1 \text{ m} \\
 &= 210 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

b. Penurunan fondasi tiang kelompok diitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 S_g &= S \sqrt{\frac{B_g}{D}} \\
 S_g &= 0,665 \sqrt{\frac{210}{60}} \\
 &= 1,243 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

c. Penurunan tiang kelompok fondasi bored pile

Menurut SNI 8460-2017 dalam BSN 2017 penurunan yang diizinkan yaitu:

$$S \leq 15 + \frac{B_g}{600}$$

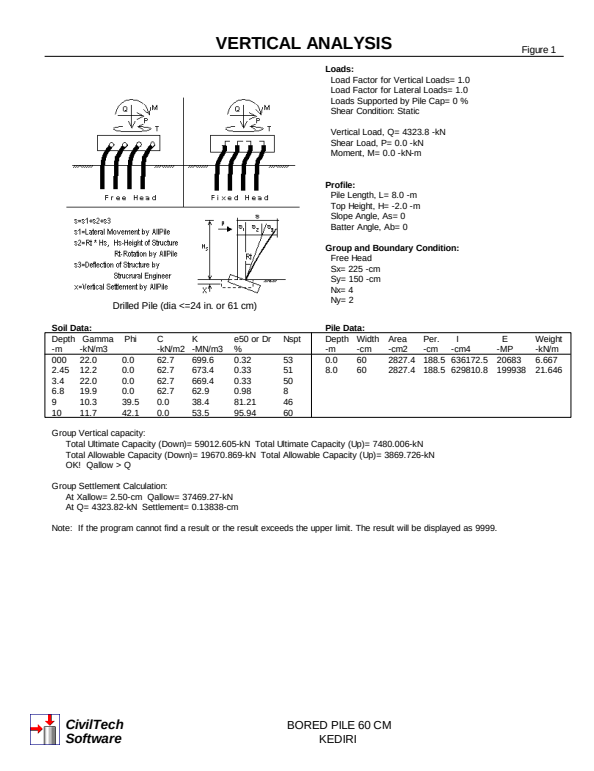
$$S \leq 15 + \frac{210}{600}$$

$$1,243 \text{ cm} \leq 15,35 \text{ cm (AMAN)}$$

3.4 Hasil Analisa Menggunakan Software Allpile

Allpile sering digunakan dalam merencanakan fondasi yang akan dirancang. Software Allpile dapat menganalisa daya dukung fondasi yang terjadi pada fondasi. Berikut ini pemodelan dalam software Allpile. Perencanaan fondasi *bored pile* menggunakan data sekunder yang didapatkan dari struktur atas dan *abutment* berupa beban aksial, momen, dan gaya geser.

$$P = 4323.82 \text{ kN}, M = 4482.02, \text{ dan } V = 294.604 \text{ kN}$$



Gambar 2. Hasil Analisa kapasitas dukung vertikal kelompok tiang fondasi

Dari hasil Analisa di atas, kapasitas dukung vertikal kelompok tiang fondasi adalah sebagai berikut.

$$Q_{all} = 19.670,869 \text{ kN}$$

$$Q_{all} > Q \text{ (AMAN)}$$

$$\text{Penurunan} = 0.138 \text{ cm}$$

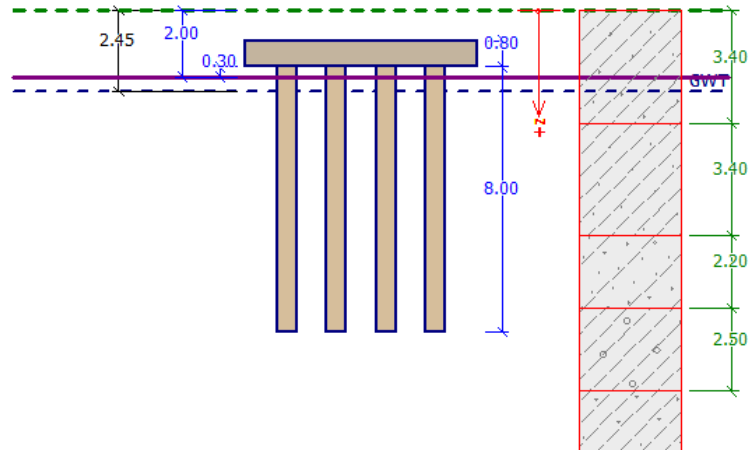
3.5 Hasil Perhitungan Menggunakan Software Bentley Geostruktural Analysis

Perencanaan fondasi *bored pile* menggunakan data sekunder yang didapatkan dari

struktur atas dan *abutment* berupa beban aksial, momen, dan gaya geser.

$P = 4323.82 \text{ kN}$, $M = 4482.02$, dan $V = 294.604 \text{ kN}$

Berikut hasil permodelan fondasi tiang *bored pile* pada aplikasi Bentley Geostrucktural Analysis dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Permodelan Bently Geostructural Analysis

Dari hasil Analisa, hasil kapasitas dukung vertikal kelompok tiang fondasi adalah sebagai berikut.

$Q_{all} = 27.707,20 \text{ kN}$

$Q_{all} > Q \text{ (AMAN)}$

Penurunan = 5,53 cm

3.6 Perhitungan Tulangan *Bored Pile*

Perencanaan tulangan menggunakan data perencanaan hasil analisa perhitungan sebelumnya. Berikut data – data yang didapatkan.

Momen terhadap tekanan tanah lateral : -974,165 kN.m

Beban Axial : 4241.67 kN

Kuat tekan beton F'_c : 30 Mpa

Tegangan leleh baja F_y : 350 Mpa

Diameter tiang *bored pile*, D : 600 mm

Panjang *bored pile*, L : 8000 mm

Diameter tulangan Utama : 22

Diameter tulangan Geser : 16

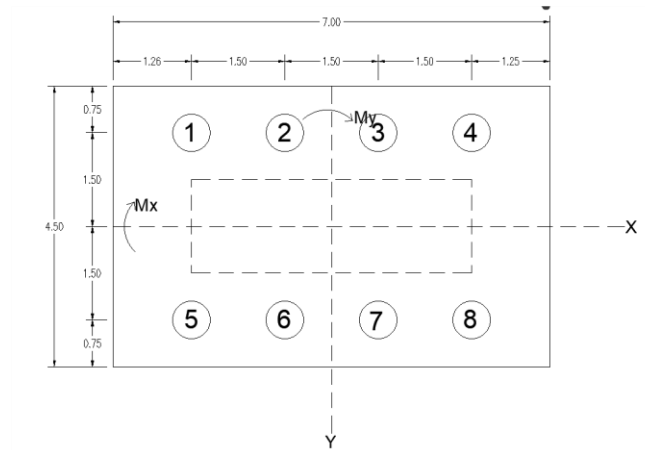
Reduksi kekuatan : 0,75

3.6.1 Perhitungan beban maksimum kelompok tiang

$P_u = \text{beban axial} + \text{beban pile cap}$

$$= 4241.67 + 7.4,5.0,8.24$$

$$= 4846.4696 \text{ kN}$$



Gambar 4. Desain susunan tiang *bored pile*

n tiang : 8

m, ny : 2

n, nx : 4

Jarak as tiang ke pusat *pile cap*:

$$\Sigma x^2 = 4(0.75)^2 + 4(2.25)^2 = 22,5 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = 8(1.5)^2 = 18 \text{ m}^2$$

Momen akibat tekanan tanah lateral adalah sebagai berikut:

Momen terhadap sumbu horizontal $M_x = -974,165 \text{ kN.m}$

Momen terhadap sumbu vertikal $M_y = 0 \text{ kN.m}$

$$P = \frac{pu}{n} + \frac{M_y \cdot X_{max}}{n_y \cdot \Sigma x^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{max}}{n_x \cdot \Sigma Y^2}$$

Diambil contoh perhitungan terhadap pusat *pile cap*:

$$P = \frac{4846.4696}{8} + \frac{0 \cdot -2.25}{2.22,5} \pm \frac{-974,165 \cdot 1,5}{4.18}$$

$$= 569,939 \text{ kN} < Q_a 912,538 \text{ kN OK}$$

Tabel 3. hasil perhitungan beban vertikal

Tiang	x (m)	y (m)	P (kN)
1	-2.25	1.5	569.9386397
2	-0.75	1.5	569.9386397
3	0.75	1.5	569.9386397
4	2.25	1.5	569.9386397
5	-2.25	-1.5	641.6787647
6	-0.75	-1.5	641.6787647
7	0.75	-1.5	641.6787647
8	2.25	-1.5	641.6787647

Kontrol keamanan terhadap Qa sudah aman semua.

3.6.2 Perhitungan tulangan utama

- a. Menghitung Luas tiang bor

$$\begin{aligned}
 Ag &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 600^2 \\
 &= 282.600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- b. Menghitung luas tulangan

Digunakan tulangan 22D

$$\begin{aligned}
 As \text{ tulangan} &= 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \\
 &= 0,25 \cdot \pi \cdot 22^2 \\
 &= 379,94 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- c. Jumlah tulangan

$$\begin{aligned}
 As \text{ perlu} &= \rho_{min} \cdot Ag \\
 &= 0,01 \cdot 282600 \\
 &= 2826 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{2826}{379,94} \\
 &= 7,438 \\
 &= 8 \\
 As \text{ pakai} &= 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n \\
 &= 0,25 \cdot \pi \cdot 22^2 \cdot 8
 \end{aligned}$$

$$= 3039,52 \text{ mm}^2$$

As pakai (3039,52) > As perlu (2826) OK!

3.6.3 Perhitungan Tulangan Geser

a. Perhitungan luas tiang bor,

$$\begin{aligned} Ag &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 600^2 \\ &= 282.600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b. Perhitungan ukuran lebar penampang tiang

$$\begin{aligned} bw &= \frac{Ag}{0,8 \cdot h} \\ &= \frac{282.600}{0,8 \cdot 600} \\ &= 588,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

c. Perhitungan ukuran jarak efektif penampang tiang

$$\begin{aligned} ds &= sb + \frac{1}{2} \cdot D_{tul.utama} + D_{tul.sengkan} \\ &= 75 + \frac{1}{2} \cdot 22 + 16 \\ &= 102 \text{ mm}^2 \\ d &= dtiang - ds \\ &= 600 - 102 \\ &= 498 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

d. Gaya geser ultimit, Vu

$$\begin{aligned} Vu &= \Sigma Pu \text{ terbesar} \\ &= Pu1+Pu2+Pu5+Pu6 = Pu3+Pu4+Pu7+Pu8 \\ &= 2423,234809 \text{ kN} \\ &= 2423234,809 \text{ N} \end{aligned}$$

e. Perhitungan gaya geser yang ditahan beton

$$Vc = 0,17 \left(1 + \frac{Vu}{14 \cdot Ag} \right) \cdot \sqrt{f'c} \cdot \lambda \cdot bw \cdot d$$

$$= 0,17. \left(1 + \frac{2423234,809}{14.282600}\right) \cdot \sqrt{30} \cdot 1.588,75.498$$

$$= 16994115,02 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75. V_c$$

$$= 0,75.16994115,02$$

$$= 12745586,27 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{2423234,809 - 12745586,27}{0,75}$$

$$= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$= -13763135,28 \text{ N}$$

$$V_{smaks} = 0,66 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0,66 \sqrt{30} \cdot 588,75.498$$

$$= 1059899,838 \text{ N}$$

Kontrol $V_s < V_{maks}$, maka ukuran tiang sudah cukup

f. Perhitungan luas begel perlu

$$A_{v,u} = \frac{V_s \cdot S}{F_y \cdot d}$$

$$= \frac{-13763135,28 \cdot 1000}{350.498}$$

$$= -78962,3366 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,u} = 0,35 \frac{b_w \cdot S}{F_y}$$

$$= 0,35 \frac{588,75.1000}{350}$$

$$= 588,75 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,u} = 0,062 \cdot \sqrt{f'_c} \frac{b_w \cdot S}{F_y}$$

$$= 0,062 \cdot \sqrt{30} \frac{588,75.1000}{350}$$

$$= 571,2355 \text{ mm}^2$$

Dipilih $A_{v,u}$ terbesar = 588,75 mm²

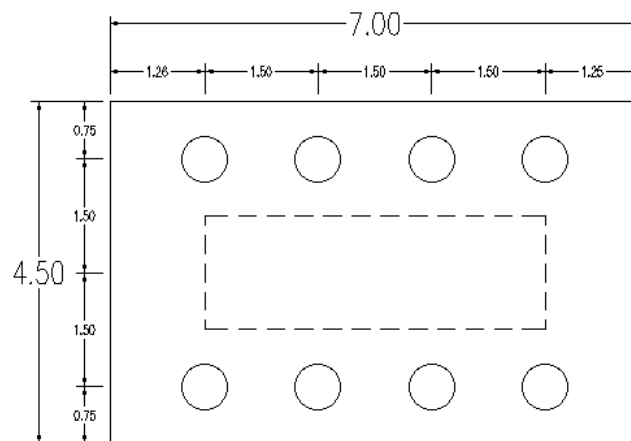
g. Perhitungan jarak begel

$$S = \frac{n \cdot \frac{1}{4} \cdot d^2 \cdot S}{Av, u}$$

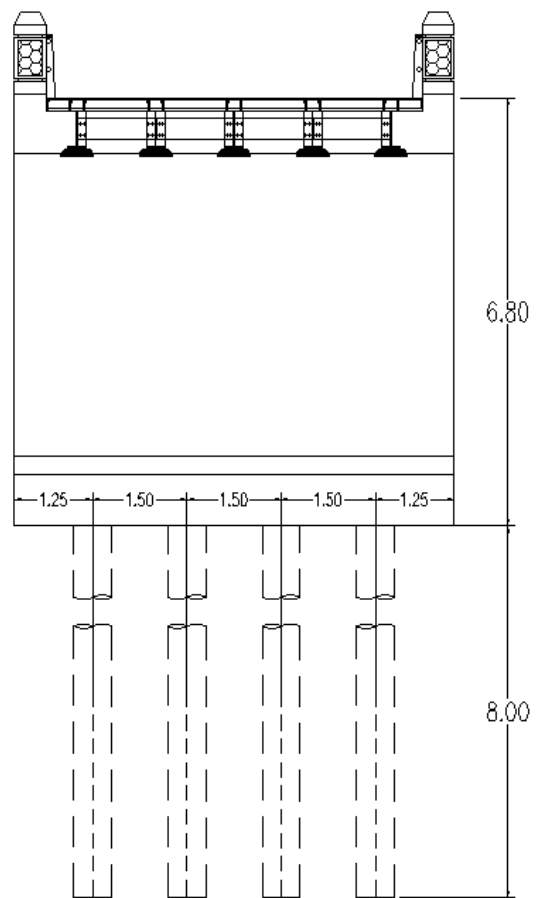
$$= \frac{2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 16^2 \cdot 1000}{588,75}$$

$$= 217,41$$

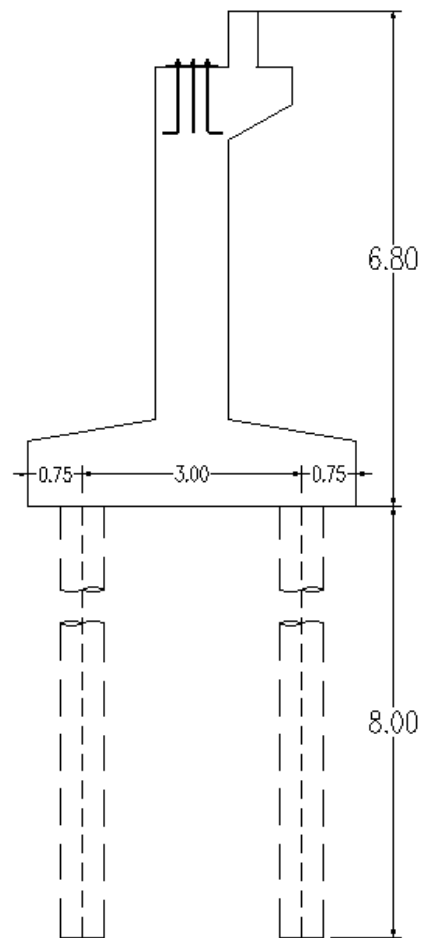
Digunakan tulangan geser, D16-200



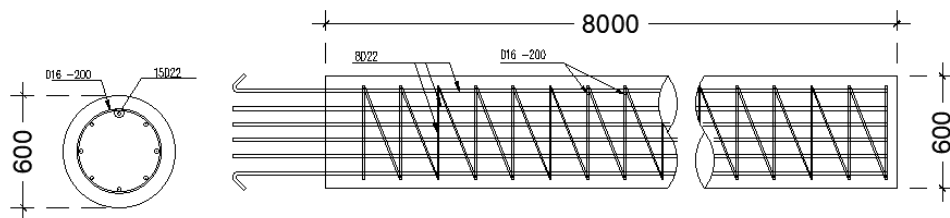
Gambar 5. Desain susunan *bored pile* tampak atas



Gambar 6. Potongan memanjang



Gambar 7. Potongan melintang



Gambar 8. Penulangan *bored pile*

4 PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan fondasi tiang bor pada Jembatan Inlet Bravo Dhoho Kediri, dapat disimpulkan bahwa:

- a. Dari perhitungan manual, diperoleh kapasitas dukung tiang kelompok adalah 4980,681 kN untuk diameter 0,5 m dengan 12 jumlah tiang *bored pile*; 4692,094 kN untuk diameter 0,6 m dengan 8 jumlah tiang *bored pile*; dan 4695,545 kN untuk diameter 0,7 m dengan 6 jumlah tiang *bored pile*. Dipilih *bored pile* diameter 0,6m sebanyak 8 tiang.
- b. Berdasarkan analisis menggunakan *software* Allpile dengan diameter yang telah ditentukan, kapasitas dukung tiang kelompok senilai 19.670,869 kN. Sedangkan pada *software* Bentley Geosttructural Analysis, kapasitas dukung tiang kelompok senilai 27.707,20 kN.
- c. Nilai penurunan kelompok tiang pada metode manual sebesar 1,243 cm, program Allpile sebesar 0,138 cm, dan pada program Bentley Geosttructural didapatkan hasil penurunan sebesar 5,53 cm sehingga masih lebih kecil nilai penurunan kelompok tiang yang diizinkan yaitu sebesar 15,35 cm.
- d. Desain penulangan tiang bor 8D22 untuk tulangan utama dan D16-200 untuk tulangan geser.

4.2 Saran

Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam pengerjaan tugas akhir mengenai perencanaan dan perhitungan fondasi tiang bor:

- a. Dalam pengerjaan tugas akhir mengenai perencanaan fondasi tiang bor, penting untuk mengumpulkan dan memahami data proyek.
- b. Menambah referensi literatur dari berbagai sumber tentang perhitungan fondasi tiang bor juga sangat dianjurkan untuk memperluas pemahaman dan memilih metode perhitungan yang sesuai.
- c. Memahami fungsi-fungsi dalam *software* Allpile dan Bentley Geosttructural Analysis sebelum analisis, agar lebih efisien dan akurat.
- d. Untuk penelitian lanjutan, disarankan menggunakan perangkat tambahan seperti Plaxis sebagai alat verifikasi hasil, agar hasil lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmaja L. (2021). *Perencanaan Fondasi Tiang Pancang Pada Proyek Gedung Mpp (Mall Pelayanan Publik) Kab. Grobogan Jawa Tengah*.
- BSN., 2013. *SNI 1727-2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BSN., 2017. *SNI 8460-2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Fachrudin M. (2022). *Perbandingan Daya Dukung Fondasi Bored Pile Metode . Reese & Wright dan Program Geo5 pada Perencanaan Gedung Rumah Sakit Universitas Muhammadiyah Surakarta. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta*
- Fitri, A. A. (2017). *Perencanaan Ulang Struktur Bawah Abutment Dengan Pondasi Bored Pile (Redesign Bottom Structure Abutment With Bored Pile Foundation)*.
- Listyawan, A. B., dkk. 2017. *Mekanika Tanah dan Rekayasa Fondasi*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2008. *Teknik Pondasi 2*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta, Indonesia.
- Hardiyatmo, H. C. 2014. *Analisis dan Perancangan Fondasi I Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Sinatriya, A. M. N. (2024). *Perencanaan Ulang Fondasi Bored Pile Studi Kasus*.
- Susetia, I. N. D. (2023). *Perbandingan Kapasitas Daya Dukung Pondasi Bore Pile Menggunakan Software Allpile Dan Perhitungan Manual*.