

PERENCANAAN FONDASI *BORED PILE* GEDUNG RSUD IBU FATMAWATI SOEKARNO KOTA SURAKARTA DENGAN PROGRAM ALLPILE

**Andina Yolanda; Agus Susanto, S.T., M.T.
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Surakarta**

Abstrak

Pada proyek Pembangunan Rumah Sakit Umum Daerah Ibu Fatmawati Soekarno Kota Surakarta jenis fondasi yang terpasang berupa fondasi tiang pancang dengan diameter 60 cm dan kedalaman 10 m. Pemilihan jenis fondasi tiang pancang dengan melihat kapasitas dukung tiang dan kekuatan bahan tiang sebesar 1988,742 kN yang hanya mampu menembus sampai kedalaman 2,054 m, sehingga dalam pelaksanaannya terdapat kendala dan menjadi kurang efektif. Oleh karena itu, perlu dicari alternatif lain yaitu fondasi *bored pile* sebagai fondasi dalam pada bangunan tersebut. Penelitian ini menggunakan variasi diameter 0,7 m, 0,8 m, dan 0,9 m dengan kedalaman 7 m menggunakan perhitungan manual metode Meyerhof dan program Allpile. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung tiang menggunakan perhitungan manual dan program Allpile yang lebih efektif dari fondasi yang sudah terpasang. Hasil perhitungan nilai kapasitas dukung ultimit manual dengan diameter 0,7 m didapatkan nilai sebesar 3506,420 kN, diameter 0,8 m sebesar 4540,073 kN, dan diameter 0,9 m sebesar 5706,910 kN. Pada daya dukung kelompok tiang diameter 0,7 m dengan 4 tiang didapat nilai sebesar 5576,381 kN, diameter 0,8 m dengan 4 tiang sebesar 7220,235 kN, dan diameter 0,9 m dengan 2 tiang sebesar 4537,948 kN. Dari analisis tersebut dipilih diameter yang paling efisien yaitu 0,7 m dengan 4 tiang berdasarkan ukuran diameter, nilai efisiensi kelompok tiang (E_g), dan jumlah tiang yang digunakan. Pada program Allpile didapat nilai kapasitas dukung ultimit tiang tunggal diameter 0,7 m sebesar 8514,222 kN dan kelompok sebesar 12125,609 kN. Penurunan tiang tunggal hasil perhitungan manual sebesar 6,518 cm dan program Allpile sebesar 1,245 cm, sedangkan penurunan kelompok tiang hasil perhitungan manual sebesar 13,036 cm dan program Allpile sebesar 0,424 cm. Berdasarkan hasil perhitungan manual dan program Allpile didapatkan nilai analisis manual lebih kecil dibandingkan dengan program Allpile, sehingga dipilih analisis secara manual karena telah memenuhi syarat nilai yang ditentukan. Desain penulangan tiang bor 11D22 untuk tulangan longitudinal dan D16-200 untuk tulangan sengkang.

Kata Kunci : Bored pile, Kapasitas Dukung, Penurunan Tiang, Allpile

Abstract

In the project of Construction of Regional General Hospital Mrs. Fatmawati Soekarno Surakarta City, the type of foundation installed is a pile foundation with a diameter of 60 cm and a depth of 10 m. Selection of the type of pile foundation

by looking at the bearing capacity of the pile and the strength of the pile material of 1988,742 kN which is only able to penetrate to a depth of 2,054 m, so that in its implementation there are obstacles and becomes less effective. Therefore, it is necessary to find another alternative, namely the bored pile foundation as the deep foundation of the building. This research uses diameter variations of 0,7 m, 0,8 m, and 0,9 m with a depth of 7 m using manual calculation of Meyerhof method and Allpile program. This study aims to determine the bearing capacity of poles using manual calculations and the Allpile program which is more effective than the installed foundation. The results of the calculation of the ultimate bearing capacity value manually with a diameter of 0,7 m obtained a value of 3506,420 kN, a diameter of 0,8 m of 4540,073 kN, and a diameter of 0,9 m of 5706,910 kN. In the bearing capacity of the pile group of 0,7 m diameter with 4 poles, a value of 5576,381 kN was obtained, 0,8 m diameter with 4 poles amounted to 7220,235 kN, and 0,9 m diameter with 2 poles amounted to 4537,948 kN. From this analysis, the most efficient diameter of 0,7 m with 4 poles was chosen based on the diameter size, the efficiency value of the pole group (Eg), and the number of poles used. In the Allpile program, the ultimate bearing capacity value of a single pile with a diameter of 0,7 m is 8514,222 kN and a group of 12125,609 kN. The decrease of a single pole from manual calculation is 6,518 cm and the Allpile program is 1,245 cm, while the decrease of the pole group from manual calculation is 13,036 cm and the Allpile program is 0,424 cm. Based on the results of manual calculations and the Allpile program, the value of manual analysis is smaller than the Allpile program, so manual analysis is chosen because it meets the requirements of the specified value. Reinforcement design of 11D22 bored pile for longitudinal reinforcement and D16-200 for stirrup reinforcement.

Keywords: Bored pile, Bearing Capacity, Pole Settlement, Allpile

1. PENDAHULUAN

Fondasi merupakan bagian paling bawah dari suatu struktur yang berfungsi meneruskan beban struktur ke lapisan tanah pendukung di bawahnya. Dalam struktur apapun, seluruh beban yang ada baik yang disebabkan oleh berat sendiri maupun akibat beban rencana harus disalurkan ke dalam suatu lapisan pendukung, dalam hal ini adalah tanah yang ada di bawah struktur tersebut. Secara garis besar fondasi dikelompokkan menjadi dua jenis fondasi yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam (Listyawan, 2017).

Pada Pembangunan RSUD Ibu Fatmawati Soekarno Kota Surakarta dilakukan penyelidikan tanah dengan uji *Standart Penetration Test* (SPT) yang mana dari hasil pengujian tersebut didapatkan jenis tanah pada lokasi Pembangunan RSUD Ibu Fatmawati Soekarno Kota Surakarta merupakan jenis tanah lanau kelempungan dan batuan pasir, tidak ditemukan muka air tanah, dan kedalaman tanah keras berada pada kedalaman 6 m dengan nilai N-SPT

>50. Berdasarkan data yang ada pada Proyek Pembangunan RSUD Ibu Fatmawati Soekarno Kota Surakarta jenis fondasi yang terpasang berupa fondasi tiang pancang dengan diameter 60 cm dan kedalaman 10 m. Pemilihan jenis fondasi dengan kedalaman tersebut mengakibatkan terjadinya kesulitan pada saat pemancangan karena tiang pancang harus menembus tanah keras dengan nilai N-SPT >50. Oleh karena itu, perlu dicari alternatif lain yaitu fondasi *bored pile* sebagai fondasi dalam pada bangunan tersebut. Pada penelitian ini direncanakan perencanaan ulang dengan jenis fondasi *bored pile* dengan 3 variasi diameter, yaitu diameter 70 cm, 80 cm, dan 90 cm dengan kedalaman 7 m. Perencanaan ulang dengan jenis fondasi yang berbeda ini diharapkan mampu memikul beban momen yang terjadi dan pada prosesnya menjadi lebih efisien. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui beban aksial kolom terbesar, gaya geser, dan momen yang diterima fondasi, mengetahui kapasitas daya dukung tiang tunggal dan kelompok menggunakan perhitungan manual dan program Allpile, mengetahui penurunan fondasi menggunakan perhitungan manual dan program Allpile, mendesain dan menghitung penulangan *pile cap* dan *bored pile*.

Penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2019) dengan judul Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Pondasi *Bored Pile* Menggunakan Program Allpile V6.52 dengan Metode Empiris O'Neil dan Reese (Studi Kasus: Proyek Trans Icon Surabaya). Dari analisis yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa besar daya dukung ultimit metode O'Neil dan Reese untuk bored pile TP1A, TP2A, TP3A, TP4A, TP5A, TP1B, dan TP2B berturut-turut sebesar 1142,08 ton, 1311,50 ton, 1241,56 ton, 1378,24 ton, 1239,50 ton, 451,24 ton, dan 1033,76 ton. Sedangkan besarnya daya dukung ultimit dengan program Allpile V6.52 untuk bored pile TP1A, TP2A, TP3A, TP4A, TP5A, TP1B, dan TP2B berturut-turut sebesar 1288,99 ton, 1423,40 ton, 1396,49 ton, 1475,90 ton, 1448,73 ton, 610,53 ton, dan 996,16 ton. Perhitungan metode O'Neil dan Reese lebih kecil daripada program Allpile V6.52 untuk enam *bored pile* dan lebih besar pada satu *bored pile*. Dari hasil tersebut, daya dukung yang dihasilkan metode O'Neil dan Reese relatif lebih kecil daripada program Allpile V6.52.

Perencanaan ini menggunakan rumus-rumus berikut :

1.1 Perhitungan Daya Dukung Tiang

Skempton (1986) dalam Hardiyatmo (2014) menyarankan persamaan untuk mengoreksi N dari lapangan dengan memperhatikan pengaruh prosedur pengujian, diameter lubang bor dan panjang batang bor :

$$N_{60} = \frac{1}{0,6} E_f \cdot C_b \cdot C_s \cdot C_r \cdot N \quad (1)$$

dengan,

N_{60} = 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

1.1.1 Kapasitas Dukung Ultimit Netto (Q_u)

Meyerhof (1956) mengemukakan persamaan berikut untuk menghitung kapasitas dukung ultimit berdasarkan data SPT untuk tiang bor :

Daya dukung ultimit netto (Q_u) :

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (2)$$

$$Q_u = 133 \cdot N_{cor} \cdot A_b + 0,67 \cdot \bar{N}_{cor} \cdot A_s \quad (3)$$

dengan,

Q_u = Daya dukung ultimit netto (kN)

N_{cor} = Nilai SPT terkoreksi di ujung tiang

A_b = Luas penampang ujung tiang (m²)

$\bar{N}_{cor}$ = Nilai rata-rata SPT terkoreksi di sepanjang tiang

A_s = Luas selimut tiang (m²)

1.1.2 Kapasitas Dukung Ijin Tiang (Q_a)

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \quad (4)$$

dengan,

Q_a = Kapasitas dukung ijin (kN)

Q_u = Daya dukung ultimit netto (kN)

SF = Angka keamanan (*safety factor*)

Tomlinson (1997) dalam Hardiyatmo (2015) menyarankan faktor aman untuk tiang bor digunakan rumus sebagai berikut :

Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan $d < 2$ m :

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \quad (5)$$

Untuk tiang tanpa pembesaran di bagian bawahnya :

$$Q_a = \frac{Q_u}{2} \quad (6)$$

1.1.3 Jumlah Tiang (n)

$$n = \frac{P}{Q_a} \quad (7)$$

dengan, :

n = Jumlah tiang

P = Gaya aksial yang terjadi (kN)

Q_a = Daya dukung ijin tiang (kN)

1.1.4 Jarak Antar Tiang Bor dalam Kelompok (S)

Menurut Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L (Sardjono, 1991) dalam Triningsih (2022), pada perencanaan jarak tiang disyaratkan sebagai berikut :

$$S \geq 2,5 D$$

$$S \leq 3 D$$

dengan,

S = jarak pusat ke pusat tiang

D = diameter tiang

1.1.5 Efisiensi Kelompok Tiang (E_q)

Menurut Listyawan (2017), persamaan pendekatan untuk mengestimasi efisiensi tiang yang disarankan oleh “Converse-Labarre Formula” adalah sebagai berikut:

$$E_q = 1 - \theta \frac{(n - 1) m + (m - 1) n}{90 mn} \quad (8)$$

dengan :

E_q = Efisiensi kelompok tiang

m = Jumlah baris tiang

n = Jumlah tiang dalam satu baris

- θ = Arc tg d/s (°)
s = Jarak pusat ke pusat tiang (m)
d = Diameter tiang (m)

1.1.6 Daya Dukung Kelompok Tiang (Q_g)

$$Q_g = E_q \cdot n \cdot m \cdot Q_a \quad (9)$$

dengan,

- Q_g = Daya dukung ultimit kelompok tiang
 E_q = Efisiensi kelompok tiang
n.m = Jumlah tiang dalam satu kelompok
 Q_a = Kapasitas dukung ultimit tiang tunggal (kN)

1.2 Penurunan Fondasi Tiang Bor

1.2.1 Penurunan Tiang Tunggal

Berikut adalah persamaan penurunan fondasi tiang tunggal :

$$S = S_s + S_p + S_{ps} \quad (10)$$

dengan :

- S = Penurunan total
 S_s = Penurunan akibat deformasi aksial tiang (m)
 S_p = Penurunan dari ujung tiang (m)
 S_{ps} = Penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang

Penurunan akibat deformasi aksial tiang (kN)

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \cdot Q_s) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \quad (11)$$

dengan :

- S_s = Penurunan akibat deformasi aksial tiang (m)
 Q_p = Beban yang didukung ujung tiang (kN)
 Q_s = Beban yang didukung selimut tiang (kN)
L = Panjang tiang (m)
 A_p = Luas penampang tiang (m²)
 E_p = Modulus elastisitas tiang ($4700 \cdot \sqrt{f'c}$) (kN/m²)

α = Koefisien yang bergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang tiang (Vesic, 1977). Vesic menyarankan $\alpha = 0,5$ untuk distribusi gesekan yang seragam (Rahardjo, 2013).

Penurunan dari ujung tiang

$$S_s = \frac{Q_p \cdot C_p}{d \cdot q_p} \quad (12)$$

dengan :

Q_p = Beban yang didukung ujung tiang (kN)

C_p = Koefisien empiris

d = diameter tiang (m)

q_p = Tekanan ujung batas tiang (kN/m²)

Tabel 1. Nilai koefisien C_p (Vesic, 1977)

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir	0,02 – 0,04	0,09 – 0,18
Lempung	0,02 – 0,03	0,03 – 0,06
Lanau	0,03 – 0,05	0,09 – 0,12

(Sumber : Fachrudin, 2022)

Penurunan akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang

$$S_{ps} = \frac{Q_p}{p \cdot L} \cdot \frac{d}{E_s} (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws} \quad (13)$$

dengan :

Q_p = Beban yang didukung ujung tiang (kN)

p = Keliling tiang (m)

L = panjang tiang (m)

E_s = Modulus elastisitas tanah (kN/m²)

μ_s = *Poisson's ratio* tanah (μ)

I_{ws} = Faktor pengaruh

Tabel 2. Perkiraan rasio poison tanah (Bowles, 1968)

Macam Tanah	μ
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,30
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir padat	0,20 – 0,40
Pasir kasar ($e = 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasir halus ($e = 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu	0,10 – 0,40
<i>Loess</i>	0,10 – 0,30

(Sumber : Hardiyatmo, 2003)

Tabel 3. Perkiraan modulus elastis tanah (Bowles, 1977)

Macam Tanah	E (kN/m ²)
<i>Lempung :</i>	
Sangat lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500
<i>Pasir :</i>	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak padat	10000 – 25000
Padat	50000 – 100000
<i>Pasir dan kerikil :</i>	
Padat	80000 – 200000
Tidak padat	50000 – 140000
<i>Lanau</i>	2000 – 20000
<i>Loess</i>	15000 – 60000
<i>Cadas</i>	140000 – 1400000

(Sumber : Hardiyatmo, 2003)

1.2.2 Penurunan Tiang Tunggal yang Diijinkan

$$S_{\text{total}} \leq S_{\text{ijin}} \quad (14)$$

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

$$D = \text{diameter tiang (m)}$$

1.2.3 Penurunan Kelompok Tiang

Menurut Vesic (1997) dalam Triningsih (2022), penurunan kelompok tiang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$S_g = S \cdot \sqrt{\frac{B_g}{D}} \quad (15)$$

dengan :

S_g = Penurunan kelompok tiang (m)

S = Penurunan fondasi tiang (m)

B_g = Lebar kelompok tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

1.2.4 Penurunan Kelompok Tiang yang Diijinkan

Menurut SNI 8460 : 2017, penurunan yang diijinkan sebagai berikut :

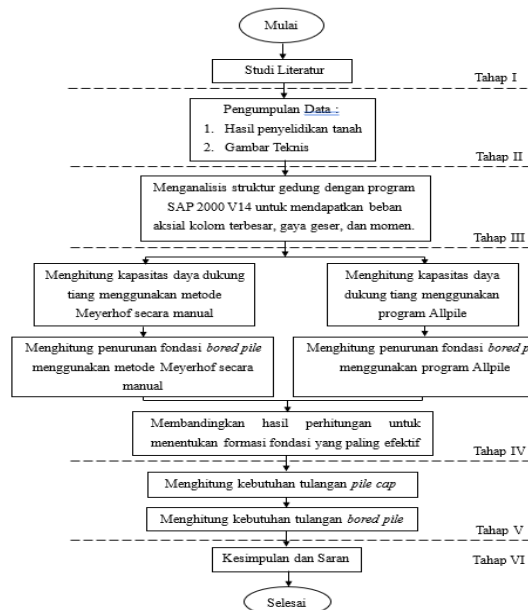
$$S \leq 15 + b/600 \quad (16)$$

dengan :

b = lebar fondasi (cm)

2. METODE

Perencanaan ini dilakukan secara bertahap. Tahap awal dimulai dengan studi literatur, yaitu mencari informasi yang sesuai dengan topik yang dijadikan sebagai perencanaan melalui jurnal, artikel, maupun buku sebagai bahan referensi. Tahap kedua yaitu pengumpulan data berupa data laporan penyelidikan tanah dan gambar teknis dari Proyek Pembangunan Gedung RSUD Ibu Fatmawati Soekarno Kota Surakarta. Tahap ketiga yaitu menganalisis struktur gedung dengan program SAP 2000 V14 untuk mendapatkan beban aksial kolom terbesar, gaya geser, dan momen. Tahap keempat yaitu menghitung kapasitas daya dukung tiang tunggal dan kelompok, menghitung penurunan secara manual dan menggunakan program Allpile. Setelah itu membandingkan hasil perhitungan secara manual dengan program Allpile untuk menentukan formasi fondasi yang paling efektif. Tahap kelima yaitu menghitung kebutuhan tulangan *pile cap* dan *bored pile*. Tahap terakhir yaitu penyusunan kesimpulan dan saran sesuai dengan hasil analisis yang dilakukan.

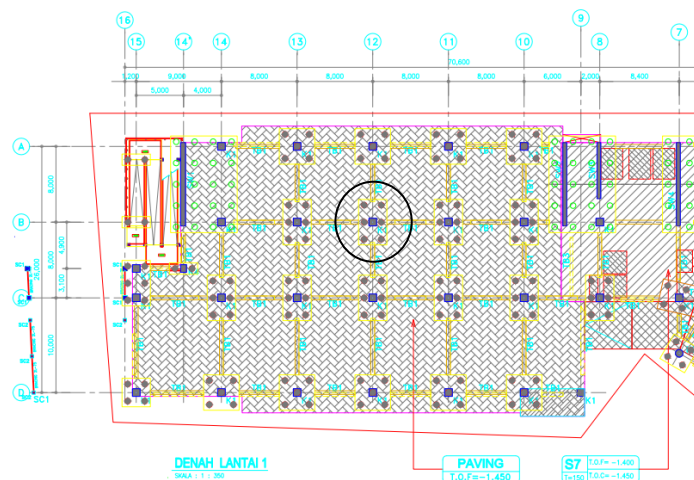


Gambar 1. *Flow Chart* Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembebanan Struktur

Perencanaan fondasi *bored pile* menggunakan data sekunder hasil analisis struktur yang menggunakan bantuan software SAP 2000 V14 yang menghasilkan data berupa beban aksial, momen, dan gaya geser. Fondasi tiang yang direncanakan adalah fondasi di bawah kolom dengan beban aksial terbesar yaitu terletak pada joint 133 pada kolom K1 dengan data sebagai berikut : $P = 3848,479 \text{ kN}$, $M_x = 135,841 \text{ kN.m}$, $M_y = 4,490 \text{ kN.m}$, $V_x = 2,139 \text{ kN}$, $V_y = -0,853 \text{ kN}$.



Gambar 2. Letak kolom 133

3.2 Analisis Fondasi *Bored Pile*

3.2.1 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Secara Manual

a. Tahanan Ujung Ultimit (Q_b)

$$\begin{aligned}A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\&= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,7^2 \\&= 0,385 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$N_{\text{rata-rata}} = 60$$

$$\begin{aligned}N_{\text{cor}} &= 1/0,6 \cdot E_f \cdot C_b \cdot C_s \cdot C_r \cdot N \\&= 1/0,6 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 60 \\&= 63,75\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_b &= 133 \cdot N_{\text{cor}} \cdot A_b \\&= 133 \cdot 63,75 \cdot 0,385 \\&= 3263,005 \text{ kN}\end{aligned}$$

b. Tahanan Gesek Ultimit (Q_s)

Tahanan gesek ultimit dihitung pada kedalaman 1,8 – 7 m, bekerja sebagai tanah pendukung tiang.

1) Lapisan lanau pada kedalaman 1,8 – 5 m

$$\begin{aligned}A_{s1} &= \pi \cdot d \cdot h \\&= \pi \cdot 0,7 \cdot 3,2 \\&= 7,037 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_{\text{rata-rata}} &= \left(0,2 \frac{11+12}{2}\right) + \left(0,225 \frac{12+12}{2}\right) + \left(0,225 \frac{12+12}{2}\right) + \\&\quad \left(1,55 \frac{12+8}{2}\right) + \left(0,225 \frac{8+7}{2}\right) + \left(0,225 \frac{7+15}{2}\right) + \\&\quad \left(0,55 \frac{15+35}{2}\right) \\&\quad \hline &\quad \quad \quad 3,2\end{aligned}$$

$$= 12,848$$

$$\begin{aligned}\bar{N}_{\text{cor}} &= 1/0,6 \cdot E_f \cdot C_b \cdot C_s \cdot C_r \cdot N \\&= 1/0,6 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 12,848 \\&= 13,651\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{s1} &= 0,67 \cdot \bar{N}_{\text{cor}} \cdot A_{s1} \\&= 0,67 \cdot 13,651 \cdot 7,037\end{aligned}$$

$$= 64,361 \text{ kN}$$

2) Lapisan lanau pada kedalaman 5 – 6 m

$$A_{s2} = \pi \cdot d \cdot h$$

$$= \pi \cdot 0,7 \cdot 1$$

$$= 2,199 \text{ m}^2$$

$$N_{\text{rata-rata}} = \frac{\left(0,45 \frac{35+60}{2}\right) + \left(0,55 \frac{60+60}{2}\right)}{1}$$

$$= 54,375$$

$$\bar{N}_{cor} = 1/0,6 \cdot E_f \cdot C_b \cdot C_s \cdot C_r \cdot N$$

$$= 1/0,6 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 54,375$$

$$= 57,773$$

$$Q_{s2} = 0,67 \cdot \bar{N}_{cor} \cdot A_{s1}$$

$$= 0,67 \cdot 57,773 \cdot 2,199$$

$$= 85,124 \text{ kN}$$

3) Lapisan batuan padat keras pada kedalaman 6 – 7 m

$$A_{s3} = \pi \cdot d \cdot h$$

$$= \pi \cdot 0,7 \cdot 1$$

$$= 2,199 \text{ m}^2$$

$$N_{\text{rata-rata}} = \frac{\left(1 \frac{60+60}{2}\right)}{1}$$

$$= 60$$

$$\bar{N}_{cor} = 1/0,6 \cdot E_f \cdot C_b \cdot C_s \cdot C_r \cdot N$$

$$= 1/0,6 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 60$$

$$= 63,75$$

$$Q_{s3} = 0,67 \cdot \bar{N}_{cor} \cdot A_{s1}$$

$$= 0,67 \cdot 63,75 \cdot 2,199$$

$$= 93,930 \text{ kN}$$

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3}$$

$$= 64,361 + 85,124 + 93,930$$

$$= 243,415 \text{ kN}$$

c. Kapasitas Dukung Ultimit Netto (Q_u)

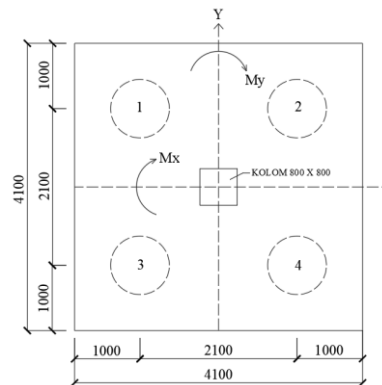
$$\begin{aligned} Q_u &= Q_b + Q_s \\ &= 3263,005 + 243,415 \\ &= 3506,420 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Kapasitas Dukung Ijin Tiang (Q_a)

$$\begin{aligned} Q_a &= Q_u / SF \\ &= 3506,420 / 2 \\ &= 1753,210 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Jumlah Tiang Bor (n)

$$\begin{aligned} n &= P_u / Q_a \\ &= 3848,479 / 1753,210 \\ &= 2,195 \sim 4 \text{ tiang} \end{aligned}$$



Gambar 3. Susunan tiang bor diameter 70 cm

f. Efisiensi Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} \text{Diameter} &= 0,7 \text{ m} \\ s &= 3 \cdot d = 3 \cdot 0,7 = 2,1 \text{ m} \\ m &= 2 \text{ (jumlah baris tiang)} \\ n' &= 2 \text{ (jumlah tiang dalam satu baris)} \\ \theta &= \text{arc tg } 0,8 / 2,4 = 18,435^\circ \\ E_g &= 1 - \theta \frac{(n^1-1) \cdot m + (m-1) \cdot n'}{90 \cdot m \cdot n'} \\ &= 1 - 18,435 \frac{(2-1) \cdot 2 + (2-1) \cdot 2}{90 \cdot 2 \cdot 2} \\ &= 0,795 \end{aligned}$$

g. Daya Dukung Kelompok Tiang (Q_g)

$$\begin{aligned} Q_g &= E_g \cdot n \cdot Q_a \\ &= 0,795 \cdot 4 \cdot 1753,210 \\ &= 5576,381 \text{ kN} > P_u = 3848,479 \text{ kN (Aman)} \end{aligned}$$

Tabel 4. Rekapitulasi analisis daya dukung tiang

Diameter (m)	Q_b (kN)	Q_s (kN)	Q_u (kN)	n	E_g	Q_g (kN)
0,7	3263,005	243,415	3506,420	4	0,795	5576,630
0,8	4261,885	278,188	4540,073	4	0,795	7220,235
0,9	5393,948	312,962	5706,910	2	0,795	4538,108

Dari analisis perhitungan tiang yang telah dilakukan dengan diameter 70 cm, 80 cm, dan 90 cm, dipilih tiang yang paling efisien yaitu diameter 70 cm dengan jumlah 4 tiang bor. Diameter tersebut dipilih berdasarkan ukuran diameter, nilai efisiensi kelompok tiang (E_g), dan jumlah tiang yang digunakan.

3.3 Penurunan *Bored Pile*

3.3.1 Perhitungan Penurunan Tiang Tunggal

a. Penurunan akibat deformasi aksial tiang

$$\begin{aligned} Q_b &= 3263,005 \text{ kN} \\ Q_s &= 243,415 \text{ kN} \\ L &= 7 \text{ m} \\ A_b &= 0,385 \text{ m}^2 \\ f'_c &= 35 \text{ Mpa} \\ E_p &= 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \\ &= 4700 \cdot \sqrt{35} \\ &= 27805,575 \text{ Mpa} \\ &= 27805575 \text{ kN/m}^2 \\ \alpha &= 0,5 \\ S_s &= \frac{(Q_b + \alpha \cdot Q_s) \cdot L}{A_b \cdot E_p} \\ &= \frac{(3263,005 + 0,5 \cdot 243,415) \cdot 7}{0,385 \cdot 27805575} \\ &= 0,00221 \text{ m} \end{aligned}$$

$$= 0,221 \text{ cm}$$

b. Penurunan dari ujung tiang (S_p)

$$C_p = 0,09$$

$$d = 0,7 \text{ m}$$

$$q_p = \frac{Q_b}{A_b}$$

$$= \frac{3263,005}{0,385}$$

$$= 8478,75 \text{ kN/m}^2$$

$$S_p = \frac{Q_b \cdot C_p}{d \cdot q_p}$$

$$= \frac{3263,005 \cdot 0,09}{0,7 \cdot 8478,75}$$

$$= 0,04948 \text{ m}$$

$$= 4,948 \text{ cm}$$

c. Penurunan akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang (S_{ps})

$$p = \pi \cdot d = \pi \cdot 0,7 = 2,199 \text{ m}$$

$$E_s = 30000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,35$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}}$$

$$= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{7}{0,7}}$$

$$= 3,107$$

$$S_{ps} = \frac{Q_b}{p \cdot L} \cdot \frac{d}{E_s} \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws}$$

$$= \frac{3263,005}{2,199 \cdot 7} \cdot \frac{0,7}{30000} \cdot (1 - 0,35^2) \cdot 3,107$$

$$= 0,0135 \text{ m}$$

$$= 1,35 \text{ cm}$$

d. Penurunan total

$$S_{total} = 0,221 + 4,948 + 1,35$$

$$= 6,518 \text{ cm}$$

e. Penurunan tiang tunggal yang diijinkan

$$S_{total} \leq 10\% \cdot D$$

$$6,518 \leq 10\% \cdot 70$$

$$6,518 \leq 7 \text{ cm (Memenuhi)}$$

3.3.2 Penurunan Kelompok Tiang

a. Penurunan fondasi tiang

$$S = 6,518 \text{ cm} = 0,06518 \text{ m}$$

$$B_g = 2,8 \text{ m}$$

$$D = 0,7 \text{ m}$$

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

$$= 0,06518 \cdot \sqrt{\frac{2,8}{0,7}}$$

$$= 0,13036 \text{ m} = 13,036 \text{ cm}$$

b. Penurunan kelompok tiang yang diijinkan

$$S \leq 15 + B_g/600$$

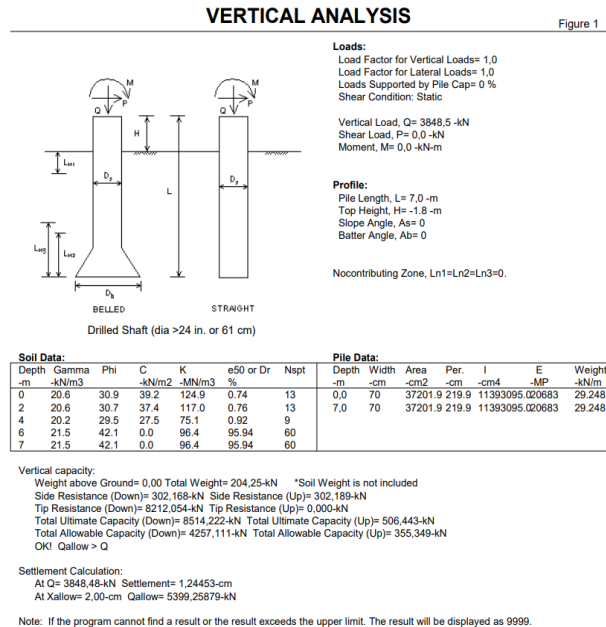
$$13,036 \leq 15 + 2,8/600$$

$$13,036 \leq 15,005 \text{ cm (Memenuhi)}$$

3.4 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Dengan Program Allpile

Allpile merupakan program yang digunakan dalam perencanaan dan pemasangan fondasi, baik itu fondasi dangkal maupun fondasi dalam. Program ini merupakan program komputer yang dikembangkan CivilTech Software. Output yang dihasilkan berupa tahanan ujung, tahanan gesek, tahanan ultimit, daya dukung tiang, dan penurunan.

Hasil dari kapasitas daya dukung fondasi *bored pile* dengan program Allpile dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil *Report* Allpile

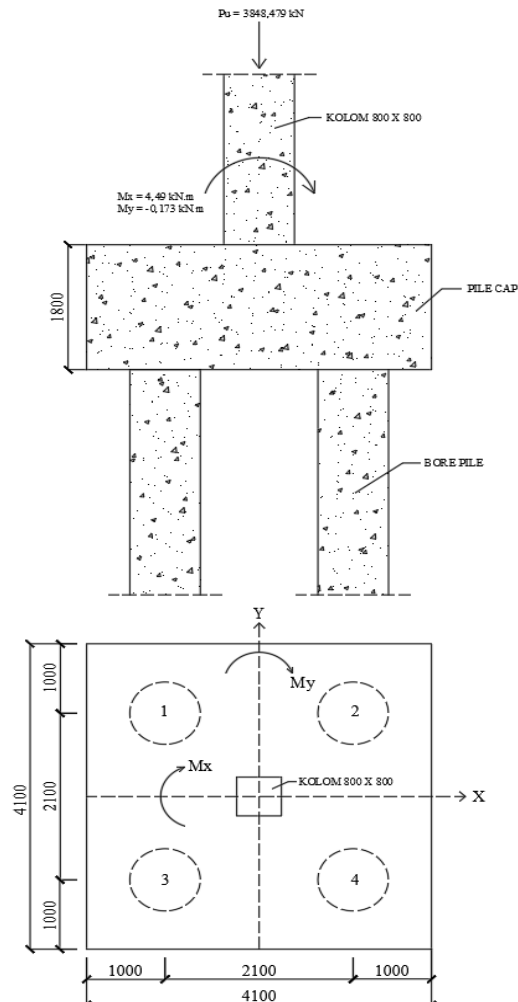
Dari hasil analisis yang dilakukan secara manual dan program Allpile, didapatkan sebagai berikut :

Tabel 5. Perbandingan Perhitungan Manual dan Program Allpile

Metode	Q _b (kN)	Q _s (kN)	Q _u (kN)	Q _a (kN)	S (cm)
Manual	3263,005	243,415	3506,420	1753,210	6,518
Allpile	8212,054	302,168	8514,222	4257,111	1,245

Dari hasil perbandingan perhitungan manual dengan program Allpile didapatkan perbedaan yang cukup besar. Perbedaan pada hasil tersebut kemungkinan dapat terjadi karena perbedaan dalam menentukan parameter lain menggunakan nilai N-SPT. Berdasarkan hasil perhitungan manual dan program Allpile didapatkan nilai analisis manual lebih kecil dibandingkan dengan program Allpile, sehingga dipilih analisis secara manual karena telah memenuhi syarat nilai yang ditentukan.

3.5 Perencanaan *Pile Cap*



Gambar 5. Beban pada *Bored Pile*

3.5.1 Perhitungan beban maksimum kelompok tiang

P_u = beban aksial + beban *pile cap*

$$= 3848,479 + (4,1.4,1.1,8.24)$$

$$= 4574,671 \text{ kN}$$

$$M_x = 135,841 \text{ kN.m}$$

$$M_y = 4,490 \text{ kN.m}$$

$X_{\max}$ = jarak terjauh dari pusat kolom ke tiang yang ditinjau arah x

$Y_{\max}$ = jarak terjauh dari pusat kolom ke tiang yang ditinjau arah y

$$\Sigma X^2 = 2(1,05)^2 + 2(-1,05)^2 = 4,41 \text{ m}$$

$$\Sigma Y^2 = 2(1,05)^2 + 2(-1,05)^2 = 4,41 \text{ m}$$

$$n = 4 \text{ tiang}$$

Beban yang didukung oleh tiang :

$$P_{u, \text{tiang}} = \frac{P_u}{n} + \frac{M_y \cdot X_{\max}}{\Sigma X^2} + \frac{M_x \cdot Y_{\max}}{\Sigma Y^2}$$

$$P1 = \frac{4684,841}{4} + \frac{4,490 \cdot (-1,05)}{4,41} + \frac{135,841 \cdot 1,05}{4,41} = 1174,942 \text{ kN} < Q_a = 1753,210 \text{ kN (Aman)}$$

$$P2 = \frac{4684,841}{4} + \frac{4,490 \cdot 1,05}{4,41} + \frac{135,841 \cdot 1,05}{4,41} = 1177,080 \text{ kN} < Q_a = 1753,210 \text{ kN (Aman)}$$

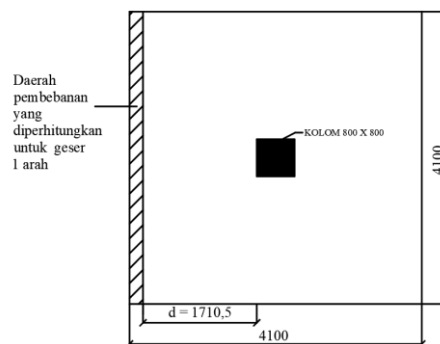
$$P3 = \frac{4684,841}{4} + \frac{4,490 \cdot (-1,05)}{4,41} + \frac{135,841 \cdot (-1,05)}{4,41} = 1110,256 \text{ kN} < Q_a = 1753,210 \text{ kN (Aman)}$$

$$P4 = \frac{4684,841}{4} + \frac{4,490 \cdot 1,05}{4,41} + \frac{135,841 \cdot (-1,05)}{4,41} = 1112,394 \text{ kN} < Q_a = 1753,210 \text{ kN (Aman)}$$

$P_{u, \text{tiang}}$ diambil nilai terbesar yaitu $P_u = 1177,080 \text{ kN}$

3.5.2 Perencanaan Dimensi *Pile Cap*

a. Tegangan geser 1 arah



Gambar 6. Tegangan geser satu arah

Data :

$$b_{\text{kolom}} = 800 \text{ mm}$$

$$h_{\text{kolom}} = 800 \text{ mm}$$

$$B_{\text{pile cap}} = 4400 \text{ mm}$$

$$L_{\text{pile cap}} = 4400 \text{ mm}$$

$$h_{\text{pile cap}} = 1800 \text{ mm}$$

$$D_{\text{tul}} = 29 \text{ mm}$$

$$S_b = 75 \text{ mm (SNI 03-2847-2002 pasal 9.7.1)}$$

$$d_s = 75 + (D/2) = 75 + (29/2) = 89,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s = 1800 - 89,5 = 1710,5 \text{ mm}$$

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 f_y &= 420 \text{ Mpa} \\
 V_u &= \Sigma P_u = P_1 + P_2 \\
 &= 1174,942 + 1177,080 \\
 &= 2352,022 \text{ kN} \\
 \Sigma P_u &= P_3 + P_4 \\
 &= 1110,256 + 1112,394 \\
 &= 2222,649 \text{ kN} \\
 \Sigma P_u &= P_1 + P_3 \\
 &= 1174,942 + 1110,256 \\
 &= 2285,197 \text{ kN} \\
 \Sigma P_u &= P_2 + P_4 \\
 &= 1177,080 + 1112,394 \\
 &= 2289,474 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dipilih V_u terbesar yaitu $V_u = 2352,022 \text{ kN}$

Gaya geser yang mampu ditahan beton (V_c) :

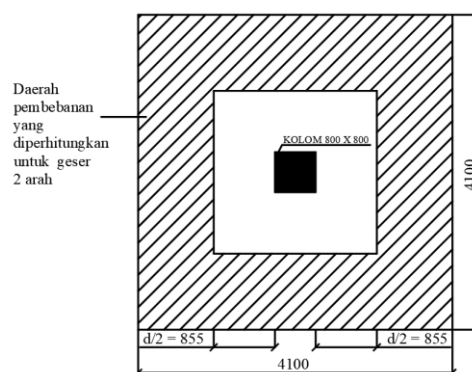
$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot L \cdot d \\
 &= 0,17 \cdot \sqrt{35} \cdot 4100 \cdot 1710,5 \\
 &= 7053259,765 \text{ N} \\
 &= 7053,260 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 7053,260 = 5289,945 \text{ kN}$$

Kontrol : $V_u = 2352,022 \text{ kN} < \phi \cdot V_c = 5289,945 \text{ kN}$ (Aman)

Jadi, konstruksi *poer* fondasi aman terhadap tegangan geser 1 arah.

b. Tegangan geser 2 arah



Gambar 7. Tegangan geser dua arah

$$\beta_c = L/B = 4,1/4,1 = 1,00 \text{ m}$$

$$b_o = 2 \cdot \{(b_k+d)+(h_k+d)\} = 2 \cdot \{(800+1710,5)+(800+1710,5)\} = 10042 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \Sigma P_u \\ &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \\ &= 1174,942 + 1177,080 + 1110,256 + 1112,394 \\ &= 4574,671 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser terkecil yang mampu ditahan oleh beton (V_c) :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \\ &= 0,33 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 10042 \cdot 1710,5 \\ &= 33534455,387 \text{ N} \\ &= 33534,455 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \\ &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 10042 \cdot 1710,5 \\ &= 51825976,507 \text{ N} \\ &= 51825,977 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,083 \cdot \left(2 + \frac{\alpha_s \cdot d}{b_o}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \\ &= 0,083 \cdot \left(2 + \frac{40 \cdot 1710,5}{10056}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 10042 \cdot 1710,5 \\ &= 74335812,461 \text{ N} \\ &= 74335,812 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dipilih nilai V_c terkecil yaitu 33534,455 kN

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 33534,455 = 25150,842 \text{ kN}$$

$$\text{Kontrol : } V_u = 4574,671 \text{ kN} < \phi \cdot V_c = 25150,842 \text{ kN (Aman)}$$

Jadi, konstruksi *poer* fondasi aman terhadap tegangan geser 2 arah.

3.5.3 Perhitungan Penulangan *Pile Cap*

a. Perhitungan penulangan arah x

$$\begin{aligned} M_{ux} &= \Sigma P_u \cdot l_y \\ \Sigma P_u \cdot l_y &= (P_1 + P_2) \cdot l_y \\ &= (1174,942 + 1177,080) \cdot 1,05 \\ &= 2469,623 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma P_u \cdot l_y &= (P3 + P4) \cdot l_y \\ &= (1110,256 + 1112,394) \cdot 1,05 \\ &= 2333,782 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Dipilih M_u terbesar yaitu, $M_u = 2469,623 \text{ kN.m}$

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$d_s = 75 + (D/2) = 75 + (29/2) = 89,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s = 1800 - 89,5 = 1710,5 \text{ mm}$$

$$f'_c = 35 \text{ Mpa} > 28 \text{ Mpa}, \beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot ((f'_c - 28)/7) = 0,8$$

Menghitung faktor pikul (K) :

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{2469,623}{0,9 \cdot 4100 \cdot 1710,5^2} = 0,229 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}K_{maks} &= \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1) \cdot f'_c}{(600 + f_y)^2} \\ &= \frac{382,5 \cdot 0,8 \cdot (600 + 420 - 225 \cdot 0,8) \cdot 35}{(600 + 420)^2} = 8,647 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$K < K_{maks} = 0,213 \text{ Mpa} < 8,647 \text{ Mpa} \text{ (Memenuhi)}$$

$$\begin{aligned}a &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \cdot d \\ &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,229}{0,85 \cdot 35}} \right) \cdot 1710,5 = 13,203 \text{ mm}\end{aligned}$$

Menghitung tulangan pokok perlu ($A_{s,u}$) :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 12,274 \cdot 4100}{420} = 3834,380 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{f_y} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{35} \cdot 4100 \cdot 1710,5}{420} = 24696,288 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f_y} = \frac{1,4 \cdot 4100 \cdot 1710,5}{420} = 23376,833 \text{ mm}^2$$

Nilai $A_{s,u}$ dipilih yang terbesar yaitu = $24696,288 \text{ mm}^2$

Menghitung jarak antar tulangan pokok (S) :

Digunakan tulangan D29

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 4100}{24696,288} = 109,657 \text{ mm}$$

$$S = 3 \cdot h = 3 \cdot 1800 = 5400 \text{ mm}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

Nilai S dipilih yang terkecil yaitu = 109,657 mm = 100 mm

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 4100}{100} \\ &= 27081,314 \text{ mm}^2 > 24696,288 \text{ mm}^2 \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

Jadi, dipakai tulangan pokok $A_s = D29 - 100 \text{ mm}$

Menghitung luasan tulangan bagi perlu ($A_{sb,u}$) :

$$A_{sb} = 20\% \cdot A_{s,u} = 20\% \cdot 24696,288 = 4939,258 \text{ mm}^2$$

$$A_{sb} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 4100 \cdot 1800 = 14760 \text{ mm}^2$$

Nilai $A_{sb,u}$ diambil yang terbesar yaitu = 14760 mm²

Menghitung jarak antar tulangan bagi (S) :

Digunakan tulangan D29

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{sb,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 4100}{14760} = 183,478 \text{ mm}$$

$$S = 3 \cdot h = 3 \cdot 1800 = 5400 \text{ mm}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

Nilai S dipilih yang terkecil yaitu = 183,478 mm = 180 mm

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 4100}{180} \\ &= 15045,174 \text{ mm}^2 > 14760 \text{ mm}^2 \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

Jadi, dipakai tulangan bagi $A_{sb} = D20 - 180 \text{ mm}$

b. Perhitungan penulangan arah y

$$M_{uy} = \Sigma P_u \cdot l_x$$

$$\begin{aligned}\Sigma P_u \cdot l_x &= (P1 + P3) \cdot l_x \\ &= (1174,942 + 1110,256) \cdot 1,05 \\ &= 2399,457 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma P_u \cdot l_x &= (P2 + P4) \cdot l_x \\ &= (1177,080 + 1112,394) \cdot 1,05 \\ &= 2403,947 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Dipilih M_u terbesar yaitu, $M_u = 2403,947 \text{ kN.m}$

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$d_s = 75 + (D/2) = 75 + (29/2) = 89,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s = 1800 - 89,5 = 1710,5 \text{ mm}$$

$$f'_c = 35 \text{ Mpa} > 28 \text{ Mpa}, \beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot ((f'_c - 28)/7) = 0,8$$

Menghitung faktor pikul (K) :

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{2403,947}{0,9 \cdot 4100 \cdot 1710,5^2} = 0,223 \text{ Mpa}$$

$$K_{maks} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1) \cdot f'_c}{(600 + f_y)^2}$$

$$= \frac{382,5 \cdot 0,8 \cdot (600 + 420 - 225 \cdot 0,8) \cdot 35}{(600 + 420)^2} = 8,647 \text{ Mpa}$$

$$K < K_{maks} = 0,223 \text{ Mpa} < 8,647 \text{ Mpa} \text{ (Memenuhi)}$$

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \cdot d$$

$$= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,223}{0,85 \cdot 35}} \right) \cdot 1710,5 = 12,851 \text{ mm}$$

Menghitung tulangan pokok perlu ($A_{s,u}$) :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 12,851 \cdot 4100}{420} = 3732,025 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{f_y} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{35} \cdot 4100 \cdot 1710,5}{420} = 24696,288 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f_y} = \frac{1,4 \cdot 4100 \cdot 1710,5}{420} = 23376,833 \text{ mm}^2$$

$$\text{Nilai } A_{s,u} \text{ dipilih yang terbesar yaitu } = 24696,288 \text{ mm}^2$$

Menghitung jarak antar tulangan pokok (S) :

Digunakan tulangan D29

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 4100}{24696,288} = 109,657 \text{ mm}$$

$$S = 3 \cdot h = 3 \cdot 1800 = 5400 \text{ mm}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

$$\text{Nilai } S \text{ dipilih yang terkecil yaitu } = 109,657 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 4100}{100}$$

$$= 27081,314 \text{ mm}^2 > 24696,288 \text{ mm}^2 \text{ (Aman)}$$

$$\text{Jadi, dipakai tulangan pokok } A_s = D29 - 100 \text{ mm}$$

Menghitung luasan tulangan bagi perlu ($A_{sb,u}$) :

$$A_{sb} = 20\% \cdot A_{s,u} = 20\% \cdot 24696,288 = 4939,258 \text{ mm}^2$$

$$A_{sb} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 4100 \cdot 1800 = 14760 \text{ mm}^2$$

Nilai $A_{sb,u}$ diambil yang terbesar yaitu = 14760 mm²

Menghitung jarak antar tulangan bagi (S) :

Digunakan tulangan D29

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{sb,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 4100}{14760} = 183,478 \text{ mm}$$

$$S = 3 \cdot h = 3 \cdot 1800 = 5400 \text{ mm}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

Nilai S dipilih yang terkecil yaitu = 183,478 mm = 100 mm

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 4100}{180} \\ &= 15045,174 \text{ mm}^2 > 14760 \text{ mm}^2 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Jadi, dipakai tulangan bagi A_{sb} = D29 – 180 mm

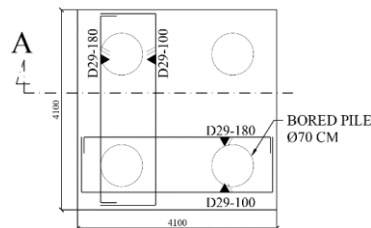
Jadi, tulangan yang dipakai untuk penulangan *pile cap* adalah :

Arah x = tulangan pokok D29 – 100

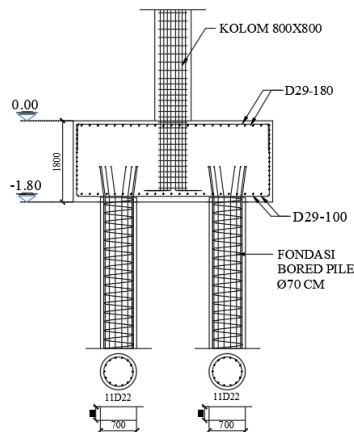
tulangan bagi D29 – 180

Arah y = tulangan pokok D29 – 100

tulangan bagi D29 – 180



Gambar 8. Penulangan *Pile Cap*



Gambar 9. Potongan A-A

3.5.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tegangan (l_d)

$$l_d = \frac{f_y}{1.1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c}} \cdot \frac{\psi_t \cdot \psi_e \cdot \psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \cdot d_b$$

dengan :

$$\psi_t = 1,0 \text{ (beton segar di bawah tulangan, } 75 \text{ mm} < 300 \text{ mm)}$$

$$\psi_e = 1,0 \text{ (tulangan tanpa lapis epoksi)}$$

$$\psi_s = 0,8 \text{ (tulangan D19 atau lebih kecil)}$$

$$1,0 \text{ (tulangan D22 atau lebih besar)}$$

$$d_b = 29 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)}$$

$$c_b = 75 \text{ mm (selimut beton 75 mm)}$$

$$K_{tr} = 0 \text{ (untuk penyederhanaan) (SNI 03-2847-2013)}$$

$$(c_b + K_{tr})/d_b = (75+0)/29$$

$$= 2,586 > 2,5, \text{ dipakai } (c_b + K_{tr})/d_b = 2,5$$

$$l_{dl} = \frac{420}{1.1 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}} \cdot \frac{1 \cdot 1 \cdot 1}{\left(\frac{75+0}{29}\right)} \cdot 29 = 748,653 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$$

$$\text{digunakan } l_d = 748,653 \text{ mm} = 0,749 \text{ m}$$

Panjang tersedia (l_t) :

$$l_t = B/2 - b_k/2 - 75 = 4100/2 - 800/2 - 75 = 1975 \text{ mm} = 1,975 \text{ m}$$

Karena $l_t > l_d$, maka lebar fondasi $B = 4,1 \text{ m}$ sudah cukup.

3.6 Perencanaan Tulangan *Bored Pile*

3.6.1 Perhitungan tulangan utama

$$A_{S, \text{perlu}} = 1\% \cdot A_g$$

$$= 1\% \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot 700^2$$

$$= 3848,451 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 1/4 \cdot \pi \cdot D_{tul}^2$$

$$= 1/4 \cdot \pi \cdot 22^2$$

$$= 380,133 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{S, \text{perlu}} / A_{st}$$

$$= 3848,451 / 380,133$$

$$= 10,124 \text{ dibulatkan menjadi 11 batang}$$

$$A_{Spakai} = 1/4 \cdot \pi \cdot D_{tul}^2 \cdot n$$

$$= 1/4 \cdot \pi \cdot 22^2 \cdot 11$$

$$= 4181,460 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{Spakai}} = 4181,460 \text{ mm}^2 > A_{\text{S,perlu}} = 3848,451 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Jadi, digunakan tulangan utama 14D22

3.6.2 Perhitungan Tulangan Sengkan *Bored Pile*

$$V_u = \frac{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}}{n} = \frac{\sqrt{2,139^2 + 0,853^2}}{4} = 0,576 \text{ kN} = 575,702 \text{ N}$$

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$D_{\text{tiang}} = 700 \text{ mm}$$

$$D_{\text{tul.utama}} = 22 \text{ mm}$$

$$D_{\text{tul.sengkan}} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah sengkan} = 2$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d_s &= 75 + \frac{1}{2} \cdot D_{\text{tul.utama}} + D_{\text{tul.sengkan}} \\ &= 75 + \frac{1}{2} \cdot 22 + 16 \\ &= 102 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d_s \\ &= 700 - 102 \\ &= 598 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 598^2 \\ &= 280861,525 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_w &= A_g / (0,8 \cdot h) \\ &= 280861,525 / (0,8 \cdot 700) \\ &= 501,538 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c) :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{V_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{575,702}{14 \cdot 280861,525} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 501,538 \cdot 598 \\ &= 301683,759 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi \cdot V_c &= 0,75 \cdot 301683,759 \\ &= 226262,820 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{V_u - \phi \cdot V_c}{\phi} \\ &= \frac{575,702 - 226262,820}{0,75} \\ &= -300916,156 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{smaks} &= 0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,66 \cdot \sqrt{35} \cdot 501,538 \cdot 598 \\ &= 1171071,371 \text{ N}\end{aligned}$$

Kontrol : $V_s < V_{smaks}$ (Memenuhi)

Hitung luas begel perlu per meter panjang tiang ($A_{v,u}$) :

$$\begin{aligned}A_{v,u} &= \frac{V_s \cdot S}{f_{yt} \cdot d} \\ &= \frac{-300916,156 \cdot 1000}{420 \cdot 598} \\ &= -1198,105 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{v,u} &= 0,35 \cdot \frac{b_w \cdot S}{f_y} \\ &= 0,35 \cdot \frac{501,538 \cdot 1000}{420} \\ &= 417,949 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{v,u} &= 0,062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{b_w \cdot S}{f_y} \\ &= 0,062 \cdot \sqrt{35} \cdot \frac{501,538 \cdot 1000}{420} \\ &= 438,007 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Nilai $A_{v,u}$ dipilih yang terbesar yaitu $438,007 \text{ mm}^2$

Hitung spasi sengkang (s) :

$$\begin{aligned}s &= \frac{n \cdot 1/4 \cdot d^2 \cdot S}{A_{v,u}} \\ &= \frac{2 \cdot 1/4 \cdot 16^2 \cdot 1000}{438,007} \\ &= 292,233 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrol jarak sengkang :

$$s \leq 16 \cdot D_{tul.utama} = 16 \cdot 22 = 352 \text{ mm}$$

$$s \leq 48 \cdot D_{\text{tul.senggang}} = 48 \cdot 16 = 768 \text{ mm}$$

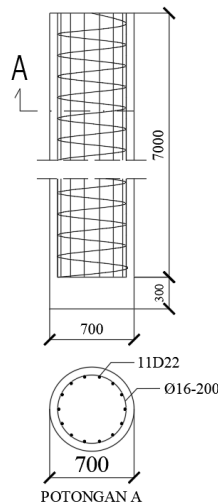
$$s \leq d/2 = 598/2 = 299 \text{ mm}$$

$$s \leq 600 \text{ mm}$$

Nilai s dipilih yang terkecil, $s = 299 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Luas sengkang terpasang} &= \frac{n \cdot 1/4 \cdot d^2 \cdot S}{s} \\ &= \frac{2 \cdot 1/4 \cdot 16^2 \cdot 1000}{200} \\ &= 640 \text{ mm}^2 > A_{v,u} = 438,007 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Jadi, digunakan tulangan sengkang $\text{Ø}16 - 200$.



Gambar 10. Penulangan *bored pile*

4. PENUTUP

Dari analisis yang telah dilakukan untuk mengetahui kapasitas dukung tiang menggunakan perhitungan manual dan program Allpile yang lebih efektif dari fondasi yang sudah terpasang. Hasil perhitungan nilai kapasitas dukung ultimit manual dengan diameter 0,7 m didapatkan nilai sebesar 3506,420 kN, diameter 0,8 m sebesar 4540,073 kN, dan diameter 0,9 m sebesar 5706,910 kN. Pada daya dukung kelompok tiang diameter 0,7 m dengan 4 tiang didapat nilai sebesar 5576,381 kN, diameter 0,8 m dengan 4 tiang sebesar 7220,235 kN, dan diameter 0,9 m dengan 2 tiang sebesar 4537,948 kN. Dari analisis tersebut dipilih diameter yang paling efisien yaitu 0,7 m dengan 4 tiang berdasarkan ukuran diameter, nilai efisiensi kelompok tiang (E_g), dan jumlah tiang yang digunakan. Pada program Allpile didapat nilai kapasitas dukung ultimit tiang tunggal diameter 0,7 m sebesar 8514,222 kN dan kelompok sebesar

12125,609 kN. Penurunan tiang tunggal hasil perhitungan manual sebesar 6,518 cm dan program Allpile sebesar 1,245 cm, sedangkan penurunan kelompok tiang hasil perhitungan manual sebesar 13,036 cm dan program Allpile sebesar 0,424 cm. Berdasarkan hasil perhitungan manual dan program Allpile didapatkan nilai analisis manual lebih kecil dibandingkan dengan program Allpile, sehingga dipilih analisis secara manual karena telah memenuhi syarat nilai yang ditentukan. Desain penulangan tiang bor 11D22 untuk tulangan longitudinal dan D16-200 untuk tulangan sengkang.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, A. 2018. *Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2013*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- BSN., 2017. *SNI 03-1727-1989 Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BSN., 2017. *SNI 8460-2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BSN., 2019. *SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Civiltech. 2007. *Civiltech Software Manual Volume 1 and 2 Civiltech Software 2007*.
- Fachrudin, M. A. 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.
- Fakhrudin, L., dkk. 2022. Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*) Menggunakan Program *ALLPILE 7.3B*. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Vol. 4, No, 1.
- Hardiyatmo, H. C. 2003. *Mekanika Tanah II Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2014. *Analisis dan Perancangan Fondasi I Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2015. *Analisis dan Perancangan Fondasi II Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Hidayat, R., & Nurtjahjaningtyas, I. 2019. Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Pondasi *Bored Pile* Menggunakan Program Allpile V6.52 dengan Metode Empiris O'Neil dan Reese. *Skripsi*. Universitas Jember. Jember.
<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>
- Jonizar, dkk. 2021. Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Kelompok pada Pembangunan Jalan Tol Kapal Betung STA 36+619. *Jurnal, Vol. 7, No. 1*. Universitas Muhammadiyah Palembang. Palembang.
- Kurniawan, F. R., & Siregar, C. A. 2023. Mayerhoff Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode dan Menggunakan Aplikasi Allpile. *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil Vol.3, No.1*.
- Liono, Sugito. 2011. Pendetailan Tulangan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Sesuai SNI-03-2847-2002. *Jurnal Teknik Sipil, Vol. 7, No. 1*. Universitas Kristen Maranatha. Bandung.
- Listyawan, A. B., dkk. 2017. *Mekanika Tanah dan Rekayasa Fondasi*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Murthy, V. N. S., (2008). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering*.
- Nurachim, L., & Yakin, Y. A. 2017. Analisis Daya Dukung Kelompok Tiang Bor pada Jembatan Moh Toha (di Proyek Penambahan Lajur Tol Kopo – Buah Batu). *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, Vol. 3, No. 4*. Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- Putri, A. A., dkk. 2022. Perencanaan Ulang Fondasi Tiang Bor (*Bored Pile*) Pembangunan *Guest House Exindo* Nganjuk – MRK. *Jurnal Online Skripsi, Vol. 3, No. 4*. Politeknik Negeri Malang. Malang.
- Sanjaya, I. M. D. N., dkk. 2023. Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi *Bored Pile* pada Proyek Pembangunan Taman Teknologi Turyapada Tower Komunikasi Bali *Smarts* (KBS). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 27, No. 2*. Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran. Bali.
- Triningsih. 2022. Perencanaan Fondasi *Bored Pile* Gedung RSUD Ketanggungan Brebes. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.