

**PERENCANAAN FONDASI TIANG BOR GEDUNG PELAYANAN
PENUNJANG RSUD DR. MOEWARDI SURAKARTA DENGAN
PROGRAM *ALL PILE***

**Edward Budiani Prakusya; Agus Susanto, S.T., M.T.
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Surakarta**

Abstrak

Proyek Pembangunan Gedung Pelayanan Penunjang RSUD Dr. Moewardi Surakarta dibangun di area padat aktivitas rumah sakit dan pemukiman warga. Pada proyek tersebut digunakan fondasi tiang bor (*existing*) dengan diameter 80 cm dan panjang 17 meter, dengan nilai Q_u sebesar 6064 kN dan nilai Q_u hasil uji PDA sebesar 7054 kN. Karena nilai kuat dukung ultimit (Q_u) fondasi *existing* lebih rendah dibandingkan dengan hasil uji PDA maka perlu dilakukan perhitungan ulang dengan diameter yang lebih besar untuk memperoleh nilai kuat dukung yang melebihi hasil uji PDA. Pada penelitian ini direncanakan fondasi tiang bor menggunakan perhitungan manual dan program aplikasi *All Pile* dengan variasi diameter sebesar 120 cm, 130 cm, dan 140 cm dengan panjang 20 meter. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan besar daya dukung tiang, penurunan tiang, dan perbandingan hasil analisis dengan nilai hasil uji PDA. Hasil perhitungan manual kapasitas dukung ijin tiang tunggal dengan diameter 120 cm didapatkan nilai sebesar 6384,727 kN, diameter 130 m didapatkan nilai sebesar 7349,636 kN, dan diameter 140 cm didapatkan nilai sebesar 8381,136 kN. Pada kapasitas dukung kelompok tiang fondasi diameter 120 cm dengan 4 tiang didapatkan nilai sebesar 20309,108 kN, diameter 130 cm dengan 4 tiang didapatkan nilai sebesar 23378,374 kN, dan diameter 140 cm dengan 4 tiang didapatkan nilai sebesar 26659,462 kN. Dari hasil analisis menggunakan metode *Mayerhof* dipilih tiang dengan diameter 130 cm dengan 4 tiang karena memiliki nilai efisiensi kelompok tiang (E_g) cukup tinggi, nilai daya dukung kelompok tiang (Q_g) yang memadai untuk mendukung fondasi, serta nilai kuat dukung ultimit (Q_u) yang lebih besar dibandingkan nilai Q_u hasil uji PDA. Dari hasil analisis perhitungan kapasitas dukung ijin tunggal fondasi diameter 130 cm menggunakan metode program *All Pile* didapatkan nilai sebesar 85720,945 kN dan kapasitas dukung kelompok sebesar 115707,313 kN. Hasil perhitungan penurunan tiang tunggal menggunakan metode manual didapatkan nilai sebesar 7,083 cm dan menggunakan analisis program *All Pile* didapatkan nilai sebesar 0,777 cm, sedangkan hasil penurunan tiang kelompok menggunakan metode manual didapatkan nilai sebesar 14,166 cm dan menggunakan analisis program *All Pile* didapatkan nilai sebesar 0,552 cm. Berdasarkan analisis perhitungan manual dan analisis program *All Pile*, ditemukan perbedaan nilai yang cukup signifikan. Perbedaan ini mungkin terjadi karena terdapat parameter atau nilai pada menu pada program *All Pile* yang otomatis terisi dalam program, yang menyebabkan hasil *output* kurang akurat. Sehingga, analisis manual dipilih karena nilai yang

diperoleh dianggap lebih akurat dan sesuai dengan syarat yang berlaku. Desain penulangan *pile cap* untuk menahan momen M_x dan momen M_y menggunakan D29-100 untuk tulangan pokok dan D29-180 untuk tulangan bagi. Desain penulangan tiang bor 35D22 untuk tulangan longitudinal dan D16-130 untuk tulangan sengkang.

Kata Kunci : Tiang Bor, Kapasitas Dukung, Penurunan Tiang, *All Pile*

Abstract

The Construction Project of the Support Services Building at Dr. Moewardi General Hospital in Surakarta is being carried out in a densely populated area with significant hospital and residential activities. The project utilizes existing bored pile foundations with a diameter of 80 cm and a length of 17 meters, with an ultimate bearing capacity (Q_u) value of 6064 kN and a Q_u value from the PDA test of 7054 kN. Since the ultimate bearing capacity (Q_u) of the existing foundation is lower than the PDA test result, a recalculation with a larger diameter is necessary to achieve a bearing capacity value exceeding the PDA test results. In this study, the bored pile foundation is planned to be recalculated manually and using the All Pile application program with diameter variations of 120 cm, 130 cm, and 140 cm, with a length of 20 meters. This study aims to compare the bearing capacity of the piles, the settlement of the piles, and the comparison of the analysis results with the PDA test results. The manual calculation results for the allowable bearing capacity of a single pile with a diameter of 120 cm yielded a value of 6384.727 kN, for a diameter of 130 cm yielded a value of 7349.636 kN, and for a diameter of 140 cm yielded a value of 8381.136 kN. For the group pile bearing capacity, the foundation with a diameter of 120 cm with 4 piles yielded a value of 20309.108 kN, for a diameter of 130 cm with 4 piles yielded a value of 23378.374 kN, and for a diameter of 140 cm with 4 piles yielded a value of 26659.462 kN. From the analysis results using the Mayerhof method, a pile with a diameter of 130 cm with 4 piles was chosen because it has a sufficiently high pile group efficiency (E_g) value, an adequate group pile bearing capacity (Q_g) value to support the foundation, and an ultimate bearing capacity (Q_u) value greater than the Q_u value from the PDA test results. From the analysis of the allowable bearing capacity for a single foundation pile with a diameter of 130 cm using the All Pile program, a value of 85720.945 kN was obtained, and a group bearing capacity of 115707.313 kN was obtained. The calculation results of single pile settlement using the manual method yielded a value of 7.083 cm, and using the All Pile program analysis, a value of 0.777 cm was obtained. For the group pile settlement, the manual method yielded a value of 14.166 cm, and using the All Pile program analysis,

a value of 0.552 cm was obtained. Based on the manual calculation and All Pile program analysis, a significant difference in values was found. This difference may occur due to parameters or values in the All Pile program menu that are automatically filled in the program, leading to less accurate output results. Therefore, the manual analysis was chosen because the obtained values are considered more accurate and in accordance with the applicable requirements. The pile cap reinforcement design to withstand the M_x and M_y moments uses D29-100 for the main reinforcement and D29-180 for the secondary reinforcement. The bored pile reinforcement design uses 35D22 for the longitudinal reinforcement and D16-130 for the stirrup reinforcement.

Keywords : Bore Pile, Bearing Capacity, Pile Lowering, All Pile

1. PENDAHULUAN

Fondasi adalah bagian paling bawah dari bangunan yang berfungsi meneruskan beban ke tanah di bawahnya. Terdapat dua klasifikasi fondasi: fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal mendukung beban secara langsung, sedangkan fondasi dalam meneruskan beban ke tanah keras yang relatif jauh dari permukaan (Hardiyatmo, 2014).

Perencanaan fondasi melibatkan pemilihan jenis, kedalaman, perhitungan daya dukung, dan faktor lainnya, berdasarkan fungsi bangunan, beban yang disalurkan, serta kondisi tanah (Sardjono, 1998). Penyelidikan tanah pada proyek ini menggunakan metode *Standard Penetration Test* (SPT) di dua titik, BM.01 dan BM.04, menunjukkan kedalaman tanah keras pada 6,5 meter dari permukaan dengan nilai N-SPT 55 (BM.01) dan 52 (BM.04). Jenis tanah di lokasi adalah pasir dengan sedikit kerikil.

Proyek ini menggunakan fondasi tiang bor berdiameter 80 cm dengan panjang 17 meter dan mutu beton f'_c 30 MPa. Penelitian ini akan merencanakan ulang struktur bawah dengan variasi diameter fondasi 50 cm, 60 cm, dan 70 cm serta panjang 20 meter, menggunakan perhitungan manual dengan metode *Reese & Wright* dan program *All Pile* untuk membandingkan daya dukung dan penurunan tiang. Program *All Pile* dipilih karena memungkinkan perhitungan kapasitas daya dukung fondasi secara efisien dan belum banyak digunakan dalam penelitian tugas akhir.

Perencanaan ulang fondasi *bored pile* Gedung RS Universitas Muhammadiyah Surakarta yang dilakukan oleh Muhammad Aqshal MF (2022) dengan menggunakan metode *Resse and Wright* dan Program Geo5. Hasil perhitungan manual didapat nilai kapasitas dukung tiang tunggal sebesar 1497,85 kN, nilai kapasitas dukung kelompok sebesar 8354,46 kN, nilai penurunan tiang tunggal dan kelompok sebesar 3,989 cm dan 7,462 cm. Hasil perhitungan Software Geo5 didapat nilai kapasitas dukung tiang tunggal sebesar 1588,19 kN, nilai kapasitas dukung kelompok sebesar 8858,32 kN.

1.1 Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor

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

$N_{koreksi}$:

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

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)

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

Daya dukung ultimit netto (Q_u) :

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

$$Q_u = 1,33 \cdot N_{cor} \cdot A_b + 0,67 \cdot \bar{N}_{cor} \cdot A_s \quad (3)$$

Dengan,

Q_u = Daya dukung ultimit netto (kN)

N_{cor} = Nilai SPT terkoreksi di ujung tiang

A_b = Luas penampang ujung tiang (m^2)

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

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

1.1.2 Kapasitas Dukung Ijin Tiang (Q_a)

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit dengan faktor aman tertentu.

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

Dengan,

Q_a = Kapasitas dukung ijin (kN)

Q_u = Daya dukung ultimit netto (kN)

SF = Angka keamanan (*safety factor*)

Tomlinson (1997) dalam Hardiyatmo (2020) menyarankan faktor aman untuk tiang bor digunakan rumus sebagai berikut :

Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan $d < 2 \text{ m}$:

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

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), 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-LAparre 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 ($^\circ$)
- s = Jarak pusat ke pusat tiang (m)
- d = Diameter tiang (m)

1.1.6 Daya Dukung Kelompok Tiang (Q_g)

$$Q_g = E_q \cdot n \cdot Q_u \quad (9)$$

Dengan,

- Q_g = Daya dukung ultimit kelompok tiang
- E_q = Efisiensi kelompok tiang
- $n \cdot m$ = Jumlah tiang dalam satu kelompok
- Q_u = Kapasitas dukung ultimit tiang tunggal (kN)

1.2 Perhitungan Penurunan 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 : Vesic, 1977)

Penurunan akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang

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

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 angka *poisson* tanah (Bowles, 1977)

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

$$\begin{aligned}
 S_{\text{total}} &\leq S_{\text{ijin}} \\
 S_{\text{ijin}} &= 10\%.D \\
 D &= \text{Diameter tiang (m)}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

1.2.3 Penurunan Kelompok Tiang

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

$$S_g = S \cdot \sqrt{\frac{B_g}{D}} \tag{15}$$

Dengan :

$$\begin{aligned}
 S_g &= \text{Penurunan kelompok tiang (m)} \\
 S &= \text{Penurunan fondasi tiang (m)} \\
 B_g &= \text{Lebar kelompok tiang (m)} \\
 D &= \text{Diameter tiang (m)}
 \end{aligned}$$

1.2.4 Penurunan Kelompok Tiang yang Diijinkan

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

$$S \leq 15 + b/600 \tag{16}$$

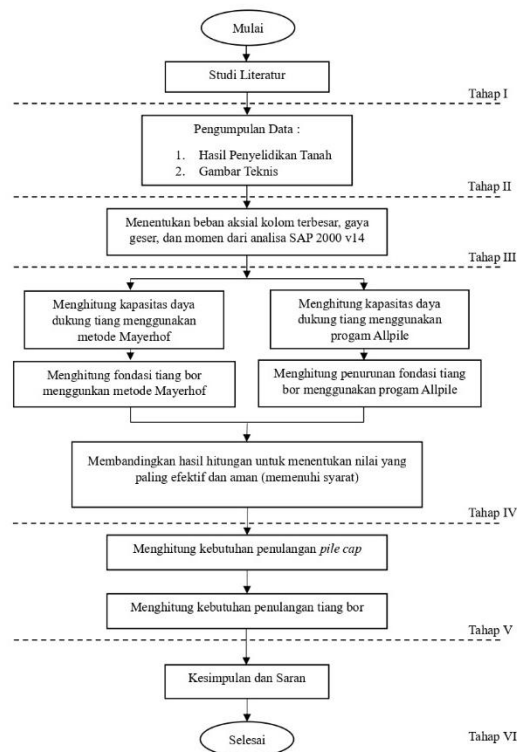
Dengan :

$$b = \text{Lebar fondasi (cm)}$$

2. METODE

Tahapan penelitian yang akan dilakukan yaitu Tahap I merupakan tahap awal penelitian yang dimulai dengan studi literatur untuk mencari informasi yang relevan dengan topik dan masalah yang sedang diteliti dari jurnal, artikel, dan buku. Tahap II adalah pengumpulan data penelitian berupa data sekunder yang dapat diperoleh dari pihak proyek, antara lain data penyelidikan tanah, gambar teknis, serta data pendukung lainnya. Tahap III melibatkan analisis beban struktur dengan menggunakan program aplikasi SAP 2000 v14 untuk mendapatkan beban aksial terbesar, gaya geser, dan momen terbesar. Pada Tahap IV, dilakukan analisis dengan

metode manual pada perhitungan kapasitas dukung tiang, perhitungan jumlah tiang yang dibutuhkan, perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang, dan analisis kapasitas dukung tiang tunggal dan kelompok. Selanjutnya, dilakukan pemilihan tiang untuk perhitungan penurunan fondasi, dilanjutkan dengan perhitungan tulangan *pile cap* dan fondasi tiang bor. Tahap V adalah proses penyusunan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian.



Gambar 1. *Flow Chart* Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembebanan Struktur

Perencanaan fondasi tiang bor menggunakan data sekunder hasil analisa struktur menggunakan software aplikasi SAP2000, untuk mengetahui nilai beban aksial, gaya geser, dan momen. Fondasi tiang bor yang direncanakan adalah fondasi di bawah kolom dengan beban aksial tersebar yaitu pada joint 159 (Kolom K1), untuk hasil dan detail letak kolom dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 P &= 9874,572 \text{ kN} & V_x &= 6,433 \text{ kN} \\
 M_x &= -163,832 \text{ kN.m} & V_y &= 11,717 \text{ kN} \\
 M_y &= 5,83 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$



Gambar 2. Detail Letak Kolom dengan Beban Aksial Terbesar

3.2 Analisis Fondasi Tiang Bor

3.2.1 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang

a. Tahanan Ujung Ultimit (Q_b)

$$\begin{aligned}
 A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1,3^2 \\
 &= 1,323 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 N_{\text{cor}} &= 1/0,6 \cdot E_f \cdot C_b \cdot C_s \cdot C_r \cdot N_{\text{rata-rata}} \\
 &= 1/0,6 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 60 \\
 &= 63,750
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_b &= 1,33 \cdot N_{\text{cor}} \cdot A_b \\
 &= 1,33 \cdot 63,750 \cdot 1,323 \\
 &= 11254,039 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Tahanan Gesek Ultimit (Q_s)

Tahanan gesek ultimit dihitung pada kedalaman 10,8 – 30,8 meter, bekerja sebagai tanah pendukung tiang.

1) Lapisan pasir kerikil batuan pada kedalaman 10,8 – 12 meter.

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= \pi \cdot d \cdot h \\
 &= \pi \cdot 1,3 \cdot 1,2 \\
 &= 4,900 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$N_{rata-rata} = \frac{\left(1,2 \frac{58+59}{2}\right)}{1,2}$$

$$= 58,5$$

$$\bar{N}_{cor} = 1/0,6.Ef.Cb.Cs.Cr.N_{rata-rata}$$

$$= 1/0,6.0,85.1.1.0,75. 58,5$$

$$= 62,156$$

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

$$= 0,67 \cdot 62,156 \cdot 4,900$$

$$= 204,095 \text{ kN}$$

2) Lapisan pasir kerikil batuan pada kedalaman 12 – 20,2 meter.

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

$$= \pi.1,3.8,2$$

$$= 33,489 \text{ m}^2$$

$$N_{rata-rata} = \frac{\left(0,6 \frac{58+57}{2}\right) + \left(2,6 \frac{57+56}{2}\right) + (5.60)}{8,2}$$

$$= 59,341$$

$$\bar{N}_{cor} = 1/0,6.Ef.Cb.Cs.Cr.N_{rata-rata}$$

$$= 1/0,6.0,85.1.1.0,75.59,341$$

$$= 63,050$$

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

$$= 0,67 \cdot 63,050 \cdot 33,489$$

$$= 1414,715 \text{ kN}$$

3) Lapisan pasir kerikil batuan pada kedalaman 20,2 – 30,8 meter.

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

$$= \pi.1,3.10,6$$

$$= 43,291 \text{ m}^2$$

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

$$N_{60} = 1/0,6.Ef.Cb.Cs.Cr.N_{rata-rata}$$

$$= 1/0,6.0,85.1.1.0,75.60$$

$$= 63,750$$

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

$$= 0,67 \cdot 63,750 \cdot 43,291$$

$$\begin{aligned}
 &= 1849,073 \text{ kN} \\
 Q_s &= Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} \\
 &= 204,095 + 1414,715 + 1849,073 \\
 &= 3445,884 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Kapasitas Dukung Ultimit Netto (Q_u)

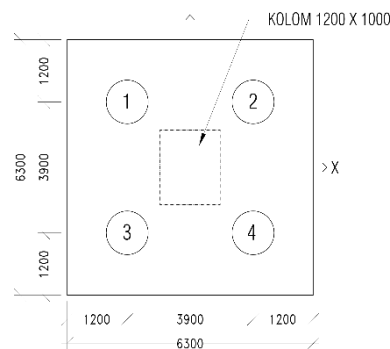
$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_b + Q_s \\
 &= 11254,039 + 3445,884 \\
 &= 14699,271 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Kapasitas Dukung Ijin (Q_a)

$$\begin{aligned}
 Q_a &= Q_u / SF \\
 &= 14699,271 / 2 \\
 &= 7349,635 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Jumlah Tiang Bor (n)

$$\begin{aligned}
 n &= P / Q_a \\
 &= 9874,572 / 7349,635 \\
 &= 1,344 \approx 4 \text{ tiang}
 \end{aligned}$$



Gambar 3. Kelompok tiang bor diameter 130 cm dengan 4 tiang

f. Efisiensi Kelompok Tiang

$$\begin{aligned}
 d &= 1,3 \text{ meter} \\
 s &= 3.d \\
 &= 3.1,3 \\
 &= 3,9 \\
 m &= 2 \text{ tiang (jumlah baris tiang)} \\
 n' &= 2 \text{ tiang (jumlah tiang dalam 1 baris)} \\
 \theta &= \text{arc tg } 1,3/3,9
 \end{aligned}$$

$$= 18,435^\circ$$

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1) \cdot m + (m-1) \cdot n'}{90 \cdot m \cdot n'} = 1 - 18,435 \frac{(2-1) \cdot 2 + (2-1) \cdot 2}{90 \cdot 2 \cdot 2} \\ = 0,795$$

g. Daya Dukung Kelompok Tiang (Q_g)

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a \\ = 0,795 \cdot 4 \cdot 7349,635 \\ = 23378,374 \text{ kN}$$

$$Q_g = 23378,374 \text{ kN} > P_u = 9874,572 \text{ kN} \rightarrow (\text{Aman})$$

Tabel 4. Rekapitulasi analisa daya dukung tiang

Diameter (m)	Qb (kN)	Qs (kN)	Qu (kN)	Qa (kN)	n	Eg	Qg (kN)
1,2	9589,240	3180,214	12769,455	6384,727	4	0,795	20309,108
1,3	11254,039	3445,232	14699,271	7349,636	4	0,795	23378,374
1,3	13052,022	3710,250	16762,272	8381,136	4	0,795	26659,462

Berdasarkan hasil analisis perhitungan tiang dengan variasi diameter 120 cm, 130 cm, dan 140 cm, dipilih tiang dengan diameter 130 cm dan jumlah 4 tiang bor sebagai pilihan yang paling efisien. Pemilihan ini didasarkan pada beberapa faktor, yaitu nilai efisiensi kelompok tiang (E_g) yang lebih tinggi, nilai daya dukung kelompok tiang (Q_g) yang memadai untuk mendukung fondasi, serta nilai kuat dukung ultimit (Q_u) yang lebih besar dibandingkan nilai Q_u hasil uji PDA.

3.3 Penurunan Fondasi Tiang Bor

3.3.1 Penurunan Fondasi Tiang Tunggal

a. Penurunan akibat deformasi aksial tiang (S_s)

$$Q_p = 11254,039 \text{ kN}$$

$$Q_s = 3445,232 \text{ kN}$$

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

$$A_p = 1,327 \text{ m}^2$$

$$E_p = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{35}$$

$$= 27805,575 \text{ MPa} = 27805575 \text{ kN/m}^2$$

$$a = 0,5$$

$$S_s = \frac{(Q_p + a \cdot Q_s) \cdot L}{A_p \cdot E_p} = \frac{(11254,039 + 0,5 \cdot 3445,232) \cdot 20}{1,327 \cdot 27805575}$$

$$= 0,00703 \text{ m} = 0,703 \text{ cm}$$

b. Penurunan dari ujung tiang (S_p)

$$C_p = 0,090$$

$$d = 1,3 \text{ m}$$

$$q_p = \frac{Q_p}{A_p} = \frac{2123,214}{1,327}$$

$$= 8479 \text{ kN/m}^2$$

$$S_p = \frac{Q_p \cdot c_p}{d \cdot q_p} = \frac{11254,039 \cdot 0,09}{1,3 \cdot 8479}$$

$$= 0,061 \text{ m} = 6,126 \text{ cm}$$

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

$$p = \pi \cdot d = \pi \cdot 1,3 = 4,084 \text{ m}$$

$$E_s = 200000 \text{ kN/m}^2$$

$$V_s = 0,4$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \cdot \sqrt{\frac{L}{D}} = 2 + 0,35 \cdot \sqrt{\frac{20}{1,3}}$$

$$= 3,373$$

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

$$= \frac{11254,039}{4,084 \cdot 20} \cdot \frac{1,3}{200000} \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 3,373$$

$$= 0,00253 \text{ m} = 0,253 \text{ cm}$$

d. Penurunan total

$$S_{total} = S_s + S_p + S_{ps}$$

$$= 0,703 + 6,126 + 0,253$$

$$= 7,083 \text{ cm}$$

e. Penurunan tiang tunggal yang diijinkan

$$S_{total} \leq S_{ijin}$$

$$7,083 \leq 10\% \cdot D$$

$$7,083 \leq 10\% \cdot 1,3$$

$$7,083 \leq 13 \text{ cm (Memenuhi)}$$

3.3.2 Penurunan Kelompok Tiang

a. Penurunan fondasi tiang

$$S = 7,083 \text{ cm}$$

$$= 0,071 \text{ m}$$

$$B_g = 5,2 \text{ m}$$

$$D = 1,3 \text{ m}$$

$$S_g = S \cdot \sqrt{\frac{B_g}{D}} = 0,071 \cdot \sqrt{\frac{5,2}{1,3}}$$

$$= 0,142 \text{ m} = 14,166 \text{ cm}$$

b. Penurunan kelompok tiang yang diijinkan

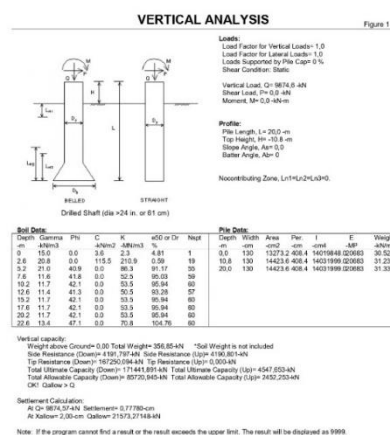
$$S_g \leq 15 + b_g/800$$

$$14,166 \leq 15 + 5,2/800$$

$$14,166 \leq 15,009 \text{ cm (Memenuhi)}$$

3.4 Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan dengan Program *All Pile*

Hasil analisis kapasitas dukung dan penurunan fondasi tiang bor dengan program *All Pile*, dapat dilihat dalam gambar dibawah ini.



Gambar 4. Hasil *Analysis Results* program *All Pile*

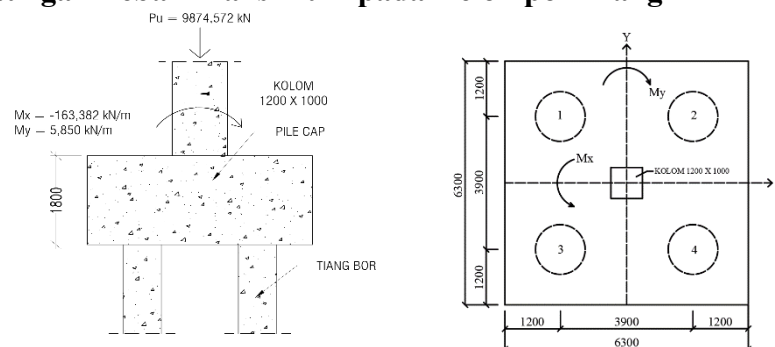
Tabel V.3 Perbandingan hasil perhitungan manual dengan hasil analisis program *All Pile*.

Metode	Qp (kN)	Qs (kN)	Qu (kN)	Qa (kN)	S (cm)
Manual	11254,039	5378,407	14699,271	7349,636	7,083
<i>All Pile</i>	167250,094	4191,797	171441,891	85720,945	0,777

Berdasarkan analisis perhitungan manual dan program *All Pile*, ditemukan perbedaan nilai yang cukup signifikan. Perbedaan ini mungkin terjadi karena terdapat parameter atau nilai pada menu *Pile Properties* dan *Soil Properties* otomatis terisi dalam program, yang menyebabkan hasil *output* kurang akurat dibandingkan dengan hasil analisis manual. Oleh karena itu, analisis manual dipilih karena nilai yang diperoleh dianggap lebih akurat dan sesuai dengan syarat yang berlaku.

3.5 Perencanaan *Pile Cap*

3.5.1 Perhitungan Beban Maksimum pada Kelompok Tiang



Gambar 5. Susunan tiang bor

$$\begin{aligned}
 P_u &= \text{beban aksial} + \text{beban pile cap} \\
 &= 9874,572 + (4,4 \cdot 4,4 \cdot 1,8 \cdot 24) \\
 &= 9874,572 + 1714,608 \\
 &= 11589,178 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$M_x = -163,382 \text{ kN}$$

$$M_y = 5,85 \text{ kN}$$

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

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

$$\Sigma X^2 = 2 (-1,95)^2 + 2 (1,95)^2$$

$$= 15,21 \text{ m}$$

$$\Sigma Y^2 = 2 (-1,95)^2 + 2 (1,95)^2$$

$$= 15,21 \text{ m}$$

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

Beban yang didukung oleh tiang :

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

$$P1 = \frac{11589,178}{4} + \frac{5,85 \cdot -1,95}{15,21} + \frac{-163,382 \cdot 1,95}{15,21} = 2875,598 \text{ kN} < Q_a = 7349,64 \text{ kN (Aman)}$$

$$P2 = \frac{11589,178}{4} + \frac{5,85 \cdot 1,95}{15,21} + \frac{-163,382 \cdot 1,95}{15,21} = 2877,098 \text{ kN} < Q_a = 7349,64 \text{ kN (Aman)}$$

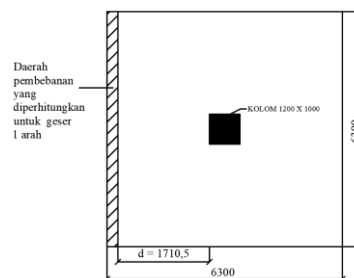
$$P3 = \frac{11589,178}{4} + \frac{5,85 \cdot -1,95}{15,21} + \frac{-163,382 \cdot -1,95}{15,21} = 2917,491 \text{ kN} < Q_a = 7349,64 \text{ kN (Aman)}$$

$$P4 = \frac{11589,178}{4} + \frac{5,85 \cdot -1,95}{15,21} + \frac{-163,382 \cdot 1,95}{15,21} = 2918,991 \text{ kN} < Q_a = 7349,64 \text{ kN (Aman)}$$

$P_{u, \text{tiang}}$ diambil nilai terbesar yaitu $P_u = 2918,991 \text{ kN}$

3.5.2 Perencanaan Dimensi *Pile Cap*

a. Kontrol Tegangan Geser 1 Arah



Gambar 6. Tegangan geser satu arah

Data :

$$b_{\text{kolom}} = 1200 \text{ mm}$$

$$h_{\text{kolom}} = 1000 \text{ mm}$$

$$B_{\text{pilecap}} = 6300 \text{ mm}$$

$$L_{\text{pilecap}} = 6300 \text{ mm}$$

$$h_{\text{pilecap}} = 1800 \text{ mm}$$

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

$$S_b = 75 \text{ mm}$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned} V_u &= \Sigma P_u = P_1 + P_2 \\ &= 2875,598 + 2877,098 \\ &= 5752,696 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= P_3 + P_4 \\ &= 2917,491 + 2918,991 \\ &= 5836,482 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= P_1 + P_3 \\ &= 2875,598 + 2917,491 \\ &= 5793,089 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= P_2 + P_4 \\ &= 2877,098 + 2918,991 \\ &= 5796,089 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dipilih V_u terbesar yaitu, $V_u = 5836,482 \text{ kN}$

Gaya geser yang mampu ditahan beton (V_c)

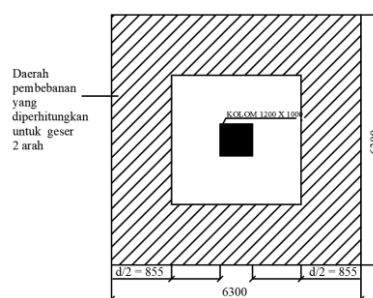
$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \sqrt{f_c} \cdot L \cdot D = 0,17 \cdot \sqrt{35} \cdot 6300 \cdot 1710,5 \\ &= 10837935,74 \text{ N} = 10837,935 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 10837,935 = 8128,452 \text{ kN}$$

Kontrol $V_u = 8128,452 \text{ kN} < \phi \cdot V_c = 10837,935 \text{ kN}$ (Aman)

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

b. Kontrol Tegangan Geser 2 Arah



Gambar 7. Tegangan geser dua arah

$$\begin{aligned} \beta_c &= L/B \\ &= 6,3 / 6,3 \\ &= 1 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_o &= 2 \cdot \{(b_k + d) + (h_k + d)\} \\
 &= 2 \cdot \{(1200 + 1710,5) + (1000 + 1710,5)\} \\
 &= 11242 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= \Sigma P_u \\
 &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \\
 &= 2875,598 + 2877,098 + 2917,491 + 2918,991 \\
 &= 11589,178 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya geser terkecil yang mampu ditahan oleh beton (V_c)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \\
 &= 0,33 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 11242 \cdot 1710,5 \\
 &= 37541759,356 \text{ N} = 37541,759 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \\
 &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 11242 \cdot 1710,5 \\
 &= 48755531,632 \text{ N} = 48755,531 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,083 \cdot \left(2 + \frac{a \cdot d}{b_o}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \\
 &= 0,083 \cdot \left(2 + \frac{40 \cdot 1710,5}{11242}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 11242 \cdot 1710,5 \\
 &= 76351607,791 \text{ N} = 76351,607 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dipilih nilai V_c terkecil yaitu, $V_c = 37541,759 \text{ kN}$

Gaya geser yang mampu ditahan beton (V_c)

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 37541,759 = 28156,320 \text{ kN}$$

Kontrol $V_u = 11589,178 \text{ kN} < \phi \cdot V_c = 28156,320 \text{ kN}$ (Aman)

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

3.5.3 Perencanaan Penulangan *Ple Cap*

a. Perhitungan Penulangan Arah X

$$\begin{aligned}
 M_{ux} &= \Sigma P_u \cdot l_y \\
 \Sigma P_u \cdot l_y &= (P_1 + P_2) \cdot l_y \\
 &= 2875,598 + 2877,098 \cdot 1,95 \\
 &= 11217,758 \text{ kNm} \\
 \Sigma P_u \cdot l_y &= (P_3 + P_4) \cdot l_y
 \end{aligned}$$

$$= 2917,491 + 2918,991 \cdot 1,95$$

$$= 11381,140 \text{ kNm}$$

Dipilih M_u terbesar yaitu, $M_u = 11381,140 \text{ kNm}$

$$b_{\text{kolom}} = 1200 \text{ mm}$$

$$h_{\text{kolom}} = 1000 \text{ mm}$$

$$B_{\text{pilecap}} = 6300 \text{ mm}$$

$$L_{\text{pilecap}} = 6300 \text{ mm}$$

$$h_{\text{pilecap}} = 1800 \text{ mm}$$

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

$$S_b = 75 \text{ mm}$$

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

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

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

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

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) = 0,85 - 0,05 \cdot \left(\frac{35 - 28}{7} \right) = 0,800$$

Menghitung faktor pikul (K) :

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{11381,140}{0,9 \cdot 6300 \cdot 1710,5^2} = 0,686 \text{ MPa}$$

$$K_{\text{maks}} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1) \cdot f'_c}{(600 + f_y)^2} = \frac{382,5 \cdot 0,800 \cdot (600 + 420 - 225 \cdot 0,800) \cdot 35}{(600 + 420)^2} \\ = 8,647 \text{ MPa}$$

$$K = 0,686 \text{ MPa} < K_{\text{maks}} = 8,647 \text{ MPa} \text{ (Memenuhi)}$$

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \cdot d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,686}{0,85 \cdot 35}} \right) \cdot 1710,5 \\ = 39,911 \text{ mm}$$

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

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 39,911 \cdot 6300}{420} = 17810,139 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{f_y} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{35} \cdot 6300 \cdot 1710,5}{420} = 37947,954 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f_y} = \frac{1,4 \cdot 6300 \cdot 1710,5}{420} = 35920,5 \text{ mm}^2$$

Nilai $A_{s,u}$ dipilih yang terbesar yaitu = 37947,954 mm²

Menghitung jarak antar tulangan pokok (S) :

Digunakan tulangan D29

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 6300}{37947,954} = 109,657 \text{ mm}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s}{S} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 6300}{100} \\ &= 41612,751 \text{ mm}^2 \geq A_{s,u} = 37947,954 \text{ mm}^2 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

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

$$A_{sb} = 20\% \cdot A_{s,u} = 20\% \cdot 37947,954 = 7589,591 \text{ mm}^2$$

$$A_{sb} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 6300 \cdot 1800 = 22680 \text{ mm}^2$$

Nilai $A_{sb,u}$ dipilih yang terbesar yaitu = 22680 mm²

Menghitung jarak antar tulangan bagi (S) :

Digunakan tulangan D29

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s}{A_{sb,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 6300}{22680} = 183,477 \text{ mm}$$

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

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

Nilai S dipilih yang terkecil yaitu = 183,477 mm → 180 mm

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s}{S} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 6300}{180} \\ &= 23118,195 \text{ mm}^2 \geq A_{sb,u} = 22680 \text{ mm}^2 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Jadi, dipakai tulangan pokok $A_s = \text{D29-180 mm}$

b. Perhitungan Penulangan Arah Y

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

$$\begin{aligned} \Sigma P_u \cdot l_x &= (P_1 + P_3) \cdot l_x \\ &= (2875,598 + 2917,491) \cdot 1,95 \\ &= 11296,524 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma P_u.l_x &= (P2 + P4). l_x \\ &= (2877,098 + 2918,991). 1,95 \\ &= 11302,374 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Dipilih M_u terbesar yaitu, $M_u = 11302,374 \text{ kNm}$

$$b_{\text{kolom}} = 1200 \text{ mm}$$

$$h_{\text{kolom}} = 1000 \text{ mm}$$

$$B_{\text{pilecap}} = 6300 \text{ mm}$$

$$L_{\text{pilecap}} = 6300 \text{ mm}$$

$$h_{\text{pilecap}} = 1800 \text{ mm}$$

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

$$S_b = 75 \text{ mm}$$

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

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

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

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

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) = 0,85 - 0,05 \cdot \left(\frac{35 - 28}{7} \right) = 0,800$$

Menghitung faktor pikul (K) :

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{11302,374}{0,9 \cdot 6300 \cdot 1710,5^2} = 0,681 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}K_{\text{maks}} &= \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1) \cdot f'_c}{(600 + f_y)^2} = \frac{382,5 \cdot 0,800 \cdot (600 + 420 - 225 \cdot 0,800) \cdot 35}{(600 + 420)^2} \\ &= 8,647 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$K = 0,555 \text{ MPa} < K_{\text{maks}} = 8,647 \text{ MPa} \text{ (Memenuhi)}$$

$$\begin{aligned}a &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \cdot d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,681}{0,85 \cdot 35}} \right) \cdot 1710,5 \\ &= 39,631 \text{ mm}\end{aligned}$$

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

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 39,631 \cdot 6300}{420} = 17685,417 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{f_y} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{35} \cdot 6300 \cdot 1710,5}{420} = 37947,954 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f_y} = \frac{1,4 \cdot 6300 \cdot 1710,5}{420} = 35920,5 \text{ mm}^2$$

Nilai $A_{s,u}$ dipilih yang terbesar yaitu = 37947,954 mm²

Menghitung jarak antar tulangan pokok (S) :

Digunakan tulangan D29

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 \cdot 6300}{37947,954} = 109,657 \text{ mm}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s}{S} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 6300}{100} \\ &= 41612,751 \text{ mm}^2 \geq A_{s,u} = 37947,954 \text{ mm}^2 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Jadi, dipakai tulangan pokok A_s = D29-100 mm

$$A_{sb} = 20\% \cdot A_{s,u} = 20\% \cdot 37947,954 = 7589,591 \text{ mm}^2$$

$$A_{sb} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 6300 \cdot 1800 = 22680 \text{ mm}^2$$

Nilai $A_{sb,u}$ dipilih yang terbesar yaitu = 22680 mm²

Menghitung jarak antar tulangan bagi (S) :

Digunakan tulangan D29

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s}{A_{sb,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 6300}{22680} = 183,478 \text{ mm}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s}{S} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot 6300}{180} \\ &= 23118,195 \text{ mm}^2 \geq A_{sb,u} = 22680 \text{ mm}^2 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Jadi, dipakai tulangan pokok A_s = D29-180 mm

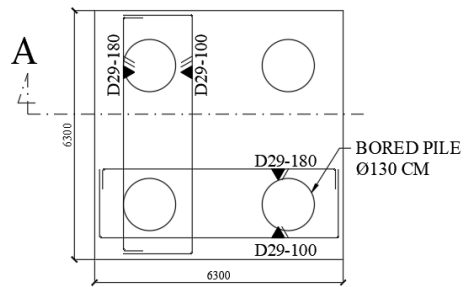
Jadi, tulangan yang dipakai untuk penulangan *pile cap* adalah :

Arah x = tulangan pokok D29-100

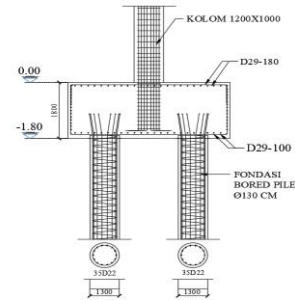
tulangan bagi D29-180

Arah y = tulangan pokok D29-100

tulangan bagi D29-180



Gambar 8. Tegangan geser dua arah



Gambar 9. Potongan A-A

3.5.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tegangan (l_d)

$$l_d = \frac{F_y}{1.1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \cdot \frac{\psi_t \cdot \psi_{te} \cdot \psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \cdot d_b$$

dengan :

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

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

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

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

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

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

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

$$(c_b + K_{tr})/d_b = (75+1)/29$$

$$= 3,409 > 2,5, \text{ dipakai } (c_b + K_{tr})/d_b = 2,5$$

$$l_{d1} = \frac{420}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}} \cdot \frac{1,1 \cdot 1}{2,5} \cdot 29$$

$$= 748,653 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$$

$$\text{digunakan } l_d = 748,922 \text{ mm} = 0,748 \text{ m}$$

Panjang tersedia (l_t) :

$$l_t = B/2 - b_k/2 - 75 = (6300/2) - (1200/2) - 75$$

$$= 2475 \text{ mm} = 2,475 \text{ m}$$

Karena $l_t > l_d$, maka lebar fondasi $B = 6300 \text{ mm}$ sudah mencukupi.

3.6 Penulangan Tiang Bor

3.6.1 Perhitungan Tulangan Utama Tiang Bor

$$A_{s,\text{perlu}} = 1\% \cdot A_g = 1\% \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1300^2 = 13273,229 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 1/4 \cdot \pi \cdot D_{tul}^2 = 1/4 \cdot \pi \cdot 22^2 = 380,133 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s,perlu} / A_{st} = 132732,229 / 380,133$$

$$= 34,917 \rightarrow \text{dibulatkan menjadi 35 batang}$$

$$A_{s,pakai} = 1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n = 1/4 \cdot \pi \cdot 22^2 \cdot 35 = 13304,645 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,pakai} = 13304,645 \text{ mm}^2 > A_{s,perlu} = 13273,229 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$$

Jadi, digunakan tulangan longitudinal 35D22

3.6.2 Perhitungan Tulangan Utama Tiang Bor

$$V_u = \frac{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{n} = \frac{\sqrt{V_{6,443}^2 + V_{-11,717}^2}}{4} = 3,343 \text{ kN} = 3342,906 \text{ N}$$

$$F'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$F_y = 420 \text{ MPa}$$

$$D_{tiang} = 1300 \text{ mm}$$

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

$$D_{tul,Sengkang} = 16 \text{ mm}$$

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

$$h = 1300 \text{ mm}$$

$$d_s = 75 + 1/2 \cdot 22 + 16$$

$$= 102 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s = 1300 - 102$$

$$= 1198 \text{ mm}$$

$$A_g = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1300^2$$

$$= 1127206,586 \text{ mm}^2$$

$$b_w = A_g / (0,8 \cdot h) = 1127206,586 / (0,8 \cdot 1300)$$

$$= 1083,852 \text{ mm}^2$$

Gaya geser yang ditahan oleh beton (Vc) :

$$V_{u,k} = V_u = 3342,906 \text{ N}$$

Gaya geser yang ditahan oleh beton (Vc) :

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{V_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{3342,906}{14 \cdot 1127206,586}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 1083,852 \cdot 1198$$

$$= 1306176,686 \text{ N}$$

$$\emptyset \cdot V_c = 0,75 \cdot V_c = 0,75 \cdot 1306176,686 = 979632,514 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{Vu - \emptyset \cdot V_c}{\emptyset} = \frac{3342,906 - 979632,514}{0,75} = -1301719,478 \text{ N}$$

$$V_{s_{maks}} = 0,66 \cdot \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d = 0,66 \cdot \sqrt{35} \cdot 1083,852 \cdot 1198 = 5069964,915 \text{ N}$$

Kontrol : $V_s = -1301719,478 \text{ N} < V_{s_{maks}} = 5069964,915 \text{ N}$ (Memenuhi)

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

$$A_{v,u} = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d} = \frac{-1301719,478 \cdot 1000}{420 \cdot 1198} = -3712999843,845 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,u} = 0,35 \cdot \frac{bw \cdot S}{f_y} = 0,35 \cdot \frac{1083,852 \cdot 1000}{420} = 903,210 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,u} = 0,062 \cdot \sqrt{f'c} \cdot \frac{bw \cdot S}{f_y} = 0,062 \cdot \sqrt{35} \cdot \frac{1083,852 \cdot 1000}{420} = 946,557 \text{ mm}^2$$

Nilai $A_{v,u}$ dipilih yang terbesar yaitu $946,557 \text{ mm}^2$

Hitung spasi begel/Sengkan (s) :

$$s = \frac{n \cdot \frac{1}{4} dp^2 \cdot s}{A_{v,u}} = \frac{2 \cdot \frac{1}{4} 16^2 \cdot 1000}{946,557} = 135,227 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak begel :

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

$$s \leq 48 \cdot D_{tul,sengkan} = 48 \cdot 16 = 768 \text{ mm}$$

$$s \leq d/2 = 698/2 = 349 \text{ mm}$$

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

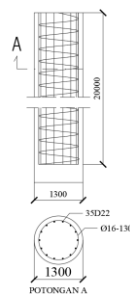
Nilai s dipilih yang terkecil yaitu, $s = 135,227 \text{ mm} \rightarrow$ dibulatkan 130 mm

Luas begel terpasang :

$$= \frac{n \cdot \frac{1}{4} dp^2 \cdot s}{s} = \frac{2 \cdot \frac{1}{4} 16^2 \cdot 1000}{130}$$

$$= 984,615 \text{ mm}^2 > A_{v,u} = 946,557 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$$

Jadi, digunakan tulangan begel (geser spiral) $\emptyset 16 - 130$



Gambar 10. Penulangan tiang bor

4. PENUTUP

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan merancang fondasi tiang bor untuk Proyek Pembangunan Gedung Pelayanan Penunjang RSUD Dr. Moewardi Surakarta. Fondasi ini dibangun di area dengan aktivitas padat dan permukiman warga. Penelitian dilakukan karena nilai kuat dukung ultimit (Q_u) fondasi tiang bor yang digunakan sebelumnya lebih rendah dibandingkan dengan hasil uji PDA, sehingga diperlukan perhitungan ulang dengan diameter yang lebih besar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fondasi tiang bor dengan diameter 130 cm dan panjang 20 meter memberikan performa terbaik dalam hal daya dukung kelompok tiang dan efisiensi kelompok tiang (E_g). Tiang dengan diameter ini juga memiliki nilai kuat dukung ultimit (Q_u) yang lebih besar dari hasil uji PDA, menjadikannya pilihan yang optimal untuk mendukung fondasi. Perhitungan kapasitas dukung ijin tunggal dan kelompok dilakukan baik secara manual maupun menggunakan aplikasi *All Pile*. Analisis menggunakan metode manual menunjukkan hasil yang lebih konservatif dan dianggap lebih akurat dibandingkan dengan hasil dari aplikasi *All Pile*, yang mungkin dipengaruhi oleh parameter otomatis dalam program. Desain penulangan pile cap dan tiang bor juga dirancang untuk memenuhi kebutuhan struktur, dengan penggunaan tulangan D29-100 dan D29-180 untuk pile cap, serta 35D22 dan D16-130 untuk tiang bor. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa metode perhitungan manual lebih dapat diandalkan untuk perencanaan fondasi pada proyek ini, sesuai dengan syarat dan kondisi lapangan.

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.
- 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.
- <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>
- Hidayat, I. 2018. Perencanaan Ulang Struktur Bawah Dengan Fondasi *Bored Pile* Pada Gedung White Hotel Sedan Yogyakarta. *Skripsi*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Listyawan, A. B., dkk. 2017. *Mekanika Tanah dan Rekayasa Fondasi*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Muthmainnah, M. 2021. Analisis Kapasitas Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Dengan Variasi Dimensi (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung *Dental Learning Center* Fakultas Kedokteran UGM). *Skripsi*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Novia, K.S., dkk . 2022. Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Bor (Bored Pile) Menggunakan Progam ALLPILE 7.3B. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol 4, No. 1*. Universitas Siliwangi. Tasikmalaya.