

ANALISIS BANGUNAN BERUNDAK DENGAN KETINGGIAN 4, 8, 12, 16, 20, DAN 24 LANTAI PADA TIANG UJUNG

Kevin Anderson¹ dan Alfred Jonathan Susilo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
kevin.325190016@stu.untar.ac.id

²Program Studi Doktor Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
alfred@ft.untar.ac.id

Masuk: 18-01-2023, revisi: 17-02-2023, diterima untuk diterbitkan: 01-03-2023

ABSTRACT

Different elevation buildings require more careful foundation design than other structures. Because the different elevation buildings have different heights, so the placement of the foundation depths is also different. The load data to be used varies according to the height of the building to be analyzed. Starting from a four-story building to twenty-four floors. Each floor has a height of three meters. The foundation analyzed by using end bearing piles. The soil data is from Central Jakarta. The foundation will be analyzed under the following condition. The foundation will be placed at the same depth which is on end bearing and uses different pile diameters. In this study, the bearing capacity and soil settlement analysis was carried out using end bearing piles on the conditions described before. The result of this research will provide information about bearing capacity and settlement that occurs on different elevation building if the foundation uses an end bearing piles. This research concluded that the end bearing pile foundation can be used in all buildings even though they have different elevations in the building. The results of bearing capacity can support the load of the building and the settlement that occurs is relatively small throughout the building.

Keywords: deep foundation; end bearing piles; different elevation building; bearing capacity; settlement

ABSTRAK

Bangunan berundak memerlukan perancangan fondasi yang lebih teliti daripada struktur lain. Karena bangunan berundak memiliki ketinggian yang berbeda-beda sehingga penempatan kedalaman fondasi juga berbeda-beda. Data beban yang akan digunakan bervariasi sesuai dengan ketinggian bangunan yang akan dianalisis. Mulai dari bangunan empat lantai hingga dua puluh empat lantai. Setiap lantainya memiliki ketinggian sebesar tiga meter. Fondasi yang dianalisa menggunakan fondasi tiang ujung. Data tanah berasal dari Jakarta Pusat. Fondasi akan dianalisis dengan kondisi berikut. Fondasi akan diletakkan pada kedalaman yang sama yaitu di tanah keras dengan dimensi diameter yang berbeda. Dalam penelitian ini dilakukan analisa daya dukung dan penurunan tanah menggunakan tiang ujung untuk mengetahui hasil daya dukung dan penurunan tanah pada kondisi yang telah dijelaskan. Hasil dari penelitian ini memberikan informasi mengenai daya dukung dan penurunan tanah yang terjadi pada bangunan berundak jika fondasi menggunakan fondasi tiang ujung. Hasil dari penelitian ini menyimpulkan bahwa fondasi tiang ujung dapat digunakan pada seluruh bangunan meskipun memiliki perbedaan elevasi pada bangunannya. Daya dukung yang dihasilkan dapat menopang beban bangunan dan penurunan tanah yang terjadi relatif kecil pada seluruh bangunan.

Kata kunci: fondasi dalam; tiang ujung; bangunan berundak; daya dukung; penurunan tanah

1. PENDAHULUAN

Fondasi merupakan suatu bagian konstruksi bangunan yang merupakan struktur bawah suatu bangunan (Bowles, 1997). Fondasi berfungsi sebagai komponen struktur rendah dari bangunan yang berperan untuk meneruskan beban dari struktur atas ke tanah secara merata (Hardiyatmo, 2002). Berdasarkan Hardiyatmo (1996) fondasi memiliki beberapa macam tipe seperti fondasi memanjang, fondasi telapak, fondasi rakit, fondasi sumuran, dan fondasi tiang. Menurut Hardiyatmo (2008) fondasi dalam dapat ditinjau berdasarkan cara mendukung beban yaitu:

1. Tiang geser (*friction pile*)
Tiang geser adalah tiang yang kapasitas daya dukungnya ditentukan oleh gaya geser. Gaya geser ini bekerja antara dinding tiang dengan tanah sekitar tiang.
2. Tiang ujung (*end bearing pile*)
Tiang ujung adalah tiang yang kapasitas daya dukungnya ditentukan oleh konsistensi tanah di ujung tiang. Umumnya tiang ini akan diletakkan pada lapisan tanah keras.

Daya dukung selimut tiang dicari menggunakan dua metode yaitu metode Alpha dan Reese & Wright. Metode Alpha dapat dilihat pada Persamaan 1 (Terzaghi et al., 1996). Metode Reese & Wright (1977) dapat dilihat pada Persamaan 2.

$$Q_s = \Sigma \alpha S_u K_p \Delta H \quad (1)$$

$$Q_s = \Sigma f_s L p = \Sigma A_s f_s \quad (2)$$

dengan Q_s = daya dukung selimut tiang (kN), α = faktor adhesi empiris berasal dari korelasi c_u , S_u = kohesi pada ujung tiang undrained (kN), K_p = keliling tiang (m), ΔH = tebal lapisan (m), $f_s = \alpha S_u$, L = kedalaman tanah (m), dan p = keliling (m).

Daya dukung ujung tiang dicari dengan menggunakan dua metode yaitu metode Meyerhoff dan metode CPT. Metode Meyerhoff (1956) dapat dilihat pada Persamaan 3. Metode CPT berdasarkan CernicQ (1995) dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$Q_p = 9 S_u A_p \quad (3)$$

$$Q_p = \frac{A_p \times P}{SF} \quad (4)$$

dengan Q_p = daya dukung ujung tiang (kN), A_p = luas permukaan (m²), P = nilai konus rata-rata hasil sondir (kN/cm²), dan SF = faktor keamanan.

Penurunan tanah

Penurunan tanah terdiri dari penurunan elastis dan penurunan konsolidasi primer. Penurunan elastis adalah penurunan yang terjadi akibat deformasi elastis yang terjadi pada tanah basah, jenuh air, atau kering, tanpa mempengaruhi kadar air dalam tanah. Penurunan elastis menggunakan metode Vesic. Berdasarkan buku Das (2019) metode Vesic dibagi menjadi 3 komponen yaitu:

- Penurunan batang tiang, $S_{e(1)}$
- Penurunan ujung tiang akibat beban yang bekerja, $S_{e(2)}$
- Penurunan akibat gesekan selimut sepanjang tiang akibat beban yang bekerja, $S_{e(3)}$

Rumus penurunan tersebut dapat dihitung dengan Persamaan 5-14 (Das, 2019).

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \quad (5)$$

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \quad (6)$$

$$F_{Q_s} = \frac{Q_s}{Q_p + Q_s} \quad (7)$$

$$F_{Q_p} = \frac{Q_p}{Q_p + Q_s} \quad (8)$$

$$Q_{WP} = \frac{F_z}{n F_{Q_p}} \quad (9)$$

$$Q_{ws} = \frac{F_z}{n F_{Q_s}} \quad (10)$$

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (11)$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{p L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} \quad (12)$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p} \quad (13)$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (14)$$

dengan S_e = penurunan elastis (m), $S_{e(1)}$ = pemendekkan elastis tiang (m), $S_{e(2)}$ = penurunan ujung tiang (m), $S_{e(3)}$ = penurunan akibat gesekan selimut tiang (m), Q_{WP} = beban yang bekerja pada ujung tiang (kN), Q_{WS} = beban yang bekerja pada gesekan selimut tiang (kN), ξ = konstanta nilai skin friction (0,5-0,67), q_{wp} = beban luas area pada ujung tiang, n = jumlah tiang, E_s = modulus elastisitas tanah (kN/m²), I_{wp} dan I_{ws} = faktor pengaruh, C_s = konstanta empiris, p = perimeter tiang (m).

Penurunan konsolidasi adalah penurunan yang terjadi akibat pengurangan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari pori-pori tanah (Budhu, 2010). Persamaan 15-19 merupakan rumus penurunan konsolidasi primer.

- *Normally consolidated*

$$S_c = \frac{C_c H_c}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \quad (15)$$

- *Over consolidated*

Kondisi $\sigma'_o + \Delta\sigma' \leq \sigma'_c$

$$S_c = \frac{C_s H_c}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \quad (16)$$

Kondisi $\sigma'_o + \Delta\sigma' > \sigma'_c$

$$S_c = \frac{C_s H_c}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c H_c}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_c} \quad (17)$$

Indeks kompresibilitas dan indeks pemuaihan

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right)} \quad (18)$$

$$C_c = \frac{1}{5} \sim \frac{1}{10} C \quad (19)$$

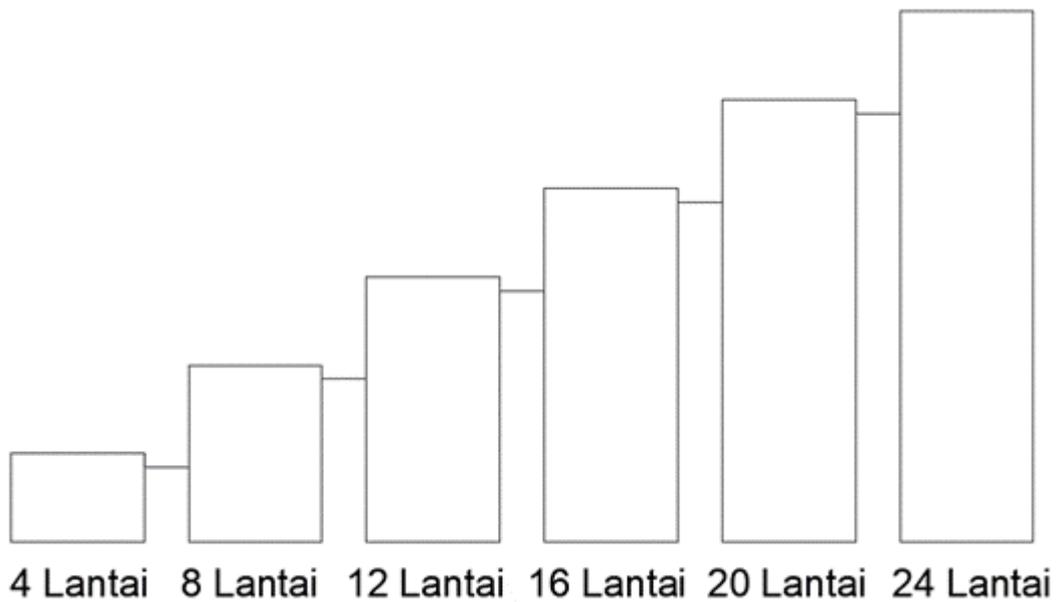
dengan S_c = penurunan konsolidasi primer (m), e_o = angka pori awal tanah, C_c = indeks kompresibilitas, C_s = indeks pemuaihan, H_c = ketebalan lapisan tanah (m), σ'_o = *effective overburden pressure* (kN/m²), σ'_c = tekanan prakonsolidasi (kN/m²), $\Delta\sigma'$ = perubahan tekanan (kN/m²)

Berdasarkan SNI 8460:2017 besar penurunan yang terjadi dan beda penurunan yang diijinkan berdasarkan fungsi dan kestabilan struktur memiliki syarat dapat dilihat pada Persamaan 20.

$$Penurunan\ total < 15\ cm + b/600 \quad (20)$$

Bangunan berundak

Bangunan berundak merupakan sebuah struktur yang memiliki perbedaan elevasi. Perbedaan elevasi pada struktur membuat daya dukung yang dibutuhkan dan penurunan tanah yang dihasilkan akan berbeda. Bangunan berundak membutuhkan desain fondasi yang khusus dikarenakan terdapat perbedaan elevasi antar strukturnya. Bangunan berundak dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi konfigurasi bangunan berundak dengan berbagai ketinggian

Berdasarkan hal yang telah disampaikan pada latar belakang masalah, maka akan menghasilkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Menghitung besar daya dukung fondasi yang diperlukan di bangunan berundak pada tiang tunggal dan tiang kelompok jika menggunakan fondasi tiang ujung.
2. Menghitung besar penurunan tanah yang terjadi di bangunan berundak pada tiang tunggal dan tiang kelompok jika menggunakan fondasi tiang ujung.
3. Menganalisa daya dukung fondasi dan penurunan tanah yang terjadi di bangunan berundak jika menggunakan fondasi tiang ujung.

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

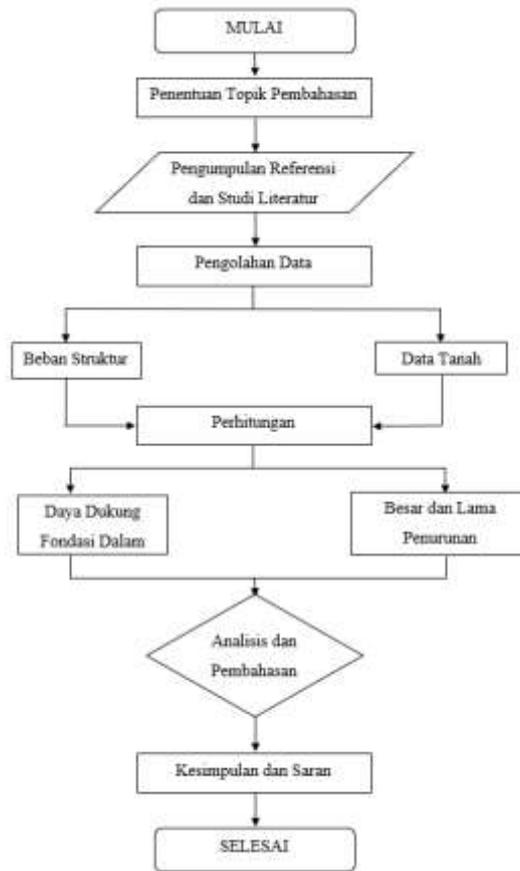
1. Mengetahui pengaruh perbedaan diameter tiang tunggal dan tiang kelompok terhadap daya dukung fondasi pada bangunan berundak jika menggunakan fondasi tiang ujung.
2. Mengetahui pengaruh perbedaan diameter tiang tunggal dan tiang kelompok terhadap besar penurunan tanah pada bangunan berundak jika menggunakan fondasi tiang ujung.
3. Mengetahui hasil analisa daya dukung fondasi dan penurunan tanah jika menggunakan fondasi tiang ujung

2. METODE PENELITIAN

Berikut merupakan tahapan yang dilakukan pada penelitian ini:

1. Menentukan topik yang akan dibahas dalam skripsi ini.
2. Mencari dan mengumpulkan teori yang berguna untuk menguatkan penelitian ini berupa jurnal, buku literatur, artikel yang berhubungan dengan topik yang dibahas
3. Menganalisa sifat tanah, rumus daya dukung tanah, dan jenis penurunan.
4. Mengumpulkan parameter yang diperlukan dari data tanah.
5. Mendesain tipe fondasi dengan tipe fondasi tiang ujung.
6. Menghitung kapasitas daya dukung tanah
7. Menjabarkan hasil penurunan tanah setiap gedung.
8. Membuat kesimpulan dan saran secara menyeluruh berdasarkan hasil penelitian.

Untuk memperjelas metode penelitian dapat dilihat diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir

Data proyek

Untuk menghitung daya dukung fondasi dan penurunan tanah digunakan data proyek berupa *boring log*, sondir, dan data laboratorium di daerah Jakarta Pusat. Data proyek terdiri dari 2 buah titik bor dengan kedalaman 30 meter, 6 buah titik sondir, dan data laboratorium. Dari data proyek ini akan dibuat parameter akhir yang akan menyimpulkan kondisi tanah pada lokasi studi kasus. Parameter akhir tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter tanah

ELEVASI (m)	KEDALAMAN (m)	JENIS TANAH	KONSISTENSI	PI (%)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{wet} (kN/m ³)	e_0
0-5	2,5	LANAU BERLEMPUNG	Lunak	65	18	15	0,75
5-12	8,5	LANAU BERLEMPUNG	Lunak	60	18	15	0,5
12-20	16	CEMENTED LANAU	Sangat Kaku hingga Keras	40	19	15	2
20-29	24,5	LANAU BERLEMPUNG	Sangat Kaku	30	18	15,5	1,5
29-30	29,5	CEMENTED LANAU	Sangat Kaku hingga Keras	30	19	16	1,5

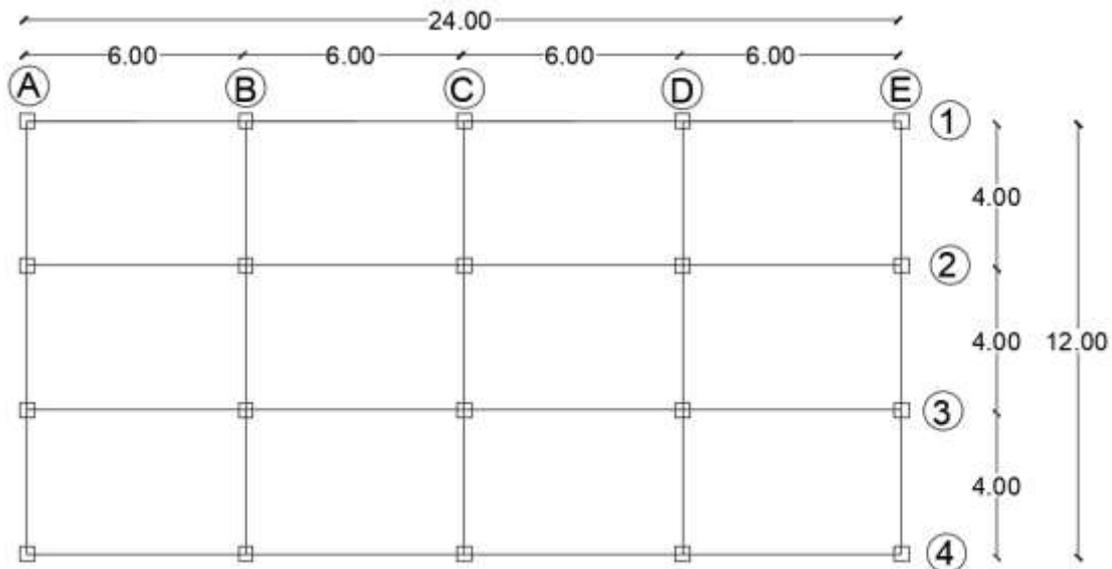
Tabel 1. Parameter tanah (lanjutan)

ELEVASI (m)	C _c	C _s	φ' (°)	S _u (kPa)	C' (kPa)	OCR	P _c ' (kPa)	Eu & E'	N-SPT	q _c
0-5	0,3	0,16	24	20	6	2	100	10	7	12
5-12	0,7	0,14	24	40	8	1	80	10	5	20
12-20	0,6	0,32	40	180	36	8	1100	55	50	250
20-29	0,5	0,14	26	60	12	1.5	400	20	25	250
29-30	0,5	0,14	41	160	30	3.5	1100	50	40	250

dengan PI = indeks plastisitas, e_o = angka pori awal tanah, C_c = indeks kompresibilitas, C_s = indeks pemuaian, S_u = kohesi pada ujung tiang *undrained*, C' = kohesi tanah, OCR = *over consolidation ratio*, P_c' = tekanan prakonsolidasi.

Ukuran dan berat bangunan

Bangunan berundak memiliki konfigurasi 24 m × 12 m. Seluruh lantai bangunan berundak menggunakan konfigurasi bangunan yang sama. Ilustrasi konfigurasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Denah bangunan

Berat beban yang akan digunakan untuk masing-masing lantai dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Beban Struktur Atas

Lantai	Konversi Beban Terpusat (kN)	Beban Kolom (kN)	Beban Kolom (ton)
4	8697,6	434,88	44
8	17395,2	869,76	88
12	26092,8	1304,64	131
16	34790,4	1739,52	175
20	43488	2174,4	219
24	52185,6	2609,28	262

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan daya dukung ujung tiang (Q_p)

Daya dukung fondasi perlu memperhitungkan gaya angin, gaya gempa, dan lainnya. Pemilihan fondasi yang efektif dipilih dengan memperhatikan kedalaman tiang fondasi hingga tanah keras (Winata & Susilo, 2022). Daya dukung fondasi memperhitungkan nilai daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang. Perhitungan nilai daya dukung ujung tiang akan dihitung dengan fondasi tiang ujung dengan diameter yang berbeda-beda. Perhitungan daya dukung ujung tiang akan menggunakan dua metode yaitu metode meyerhoff dan metode CPT. Hasil yang akan digunakan dari dua metode ini diambil yang minimum agar dapat mengetahui kondisi daya dukung ujung tiang yang terkecil untuk menghindari kegagalan desain. Perhitungan nilai daya dukung akan diterapkan pada semua lantai yang akan dianalisis. Berikut hasil perhitungan akhir daya dukung ujung tiang pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan akhir daya dukung ujung tiang

Diameter (m)	Q_p Meyerhoff (Ton)	Q_p CPT (Ton)	Q_p Minimum (Ton)
0,4	19	20	19
0,5	29	31	29
0,6	41	44	41
0,7	56	60	56
0,8	73	78	73
0,9	92	98	92
1	114	121	114

Perhitungan daya dukung selimut tiang (Q_s)

Perhitungan nilai daya dukung selimut tiang akan dihitung dengan fondasi tiang ujung dengan diameter yang berbeda-beda. Perhitungan daya dukung selimut tiang akan menggunakan dua metode yaitu metode alpha dan metode reese & wright. Hasil yang akan digunakan dari dua metode ini diambil yang minimum agar dapat mengetahui hasil daya dukung selimut tiang yang terkecil untuk menghindari kegagalan desain. Perhitungan nilai daya dukung akan diterapkan pada semua lantai yang akan dianalisis. Berikut hasil perhitungan akhir daya dukung selimut tiang a dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan akhir daya dukung selimut tiang

Diameter (m)	Q_s Alpha (Ton)	Q_s Reese & Wright (Ton)	Q_s Minimum (Ton)
0,4	170	175	170
0,5	213	219	213
0,6	255	263	255
0,7	298	307	298
0,8	340	350	340
0,9	383	394	383
1	425	437	425

Perhitungan daya dukung fondasi tiang ujung (Q_{all})

Berdasarkan perhitungan daya dukung ujung tiang dan selimut tiang dapat dihasilkan nilai daya dukung fondasi. Berikut hasil perhitungan Q_{all} dapat dilihat pada Tabel 5. Korelasi berat beban dengan Q_{all} dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. *Summary* daya dukung fondasi

Diameter (m)	Q_p Meyerhoff (Ton)	Q_s Alpha (Ton)	Q_{all} (ton)
0.4	19	170	63
0.5	29	213	81

Tabel 5 (lanjutan). *Summary* daya dukung fondasi

Diameter (m)	Qp Meyerhoff (Ton)	Qs Alpha (Ton)	Q all (ton)
0.6	41	255	99
0.7	56	298	118
0.8	73	340	138
0.9	92	383	159
1	114	425	173

Tabel 6. Korelasi berat beban dengan Qall

Lantai	Berat Beban (ton)	Q all Single Pile (ton)
4	44	63
8	88	99
12	131	138
16	175	Cek Group Pile
20	219	Cek Group Pile
24	262	Cek Group Pile

Perhitungan tiang kelompok

Berdasarkan hasil analisis perhitungan daya dukung fondasi tiang, pada beberapa lantai diperlukan penggunaan tiang kelompok dikarenakan daya dukung tiang tunggal tidak kuat menopang berat beban pada beberapa lantai. Tiang kelompok akan menggunakan dua tiang. Metode yang akan digunakan untuk menghitung tiang kelompok adalah *block failure*. Berikut hasil perhitungan tiang kelompok dan hasil akhir perhitungan daya dukung dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil akhir perhitungan daya dukung fondasi

Lantai	Berat Beban (ton)	Single Pile (ton)	Diameter single pile (m)	Group Pile (2 tiang) (ton)	Diameter Group Pile (m)	Cek
4	44	63	0,4	-	-	Ok
8	88	99	0,6	-	-	Ok
12	131	138	0,8	-	-	Ok
16	175	-	-	198	0,6	Ok
20	219	-	-	236	0,7	Ok
24	262	-	-	276	0,8	Ok

Perhitungan penurunan tanah

Perhitungan nilai penurunan tanah fondasi dalam akan menggunakan metode Vesic. Perhitungan penurunan tanah akan dilakukan pada kedalaman yang telah ditentukan pada perhitungan daya dukung. Perhitungan penurunan tanah terdiri dari penurunan elastis dan penurunan konsolidasi primer. Berikut hasil perhitungan penurunan tanah dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil penurunan tanah

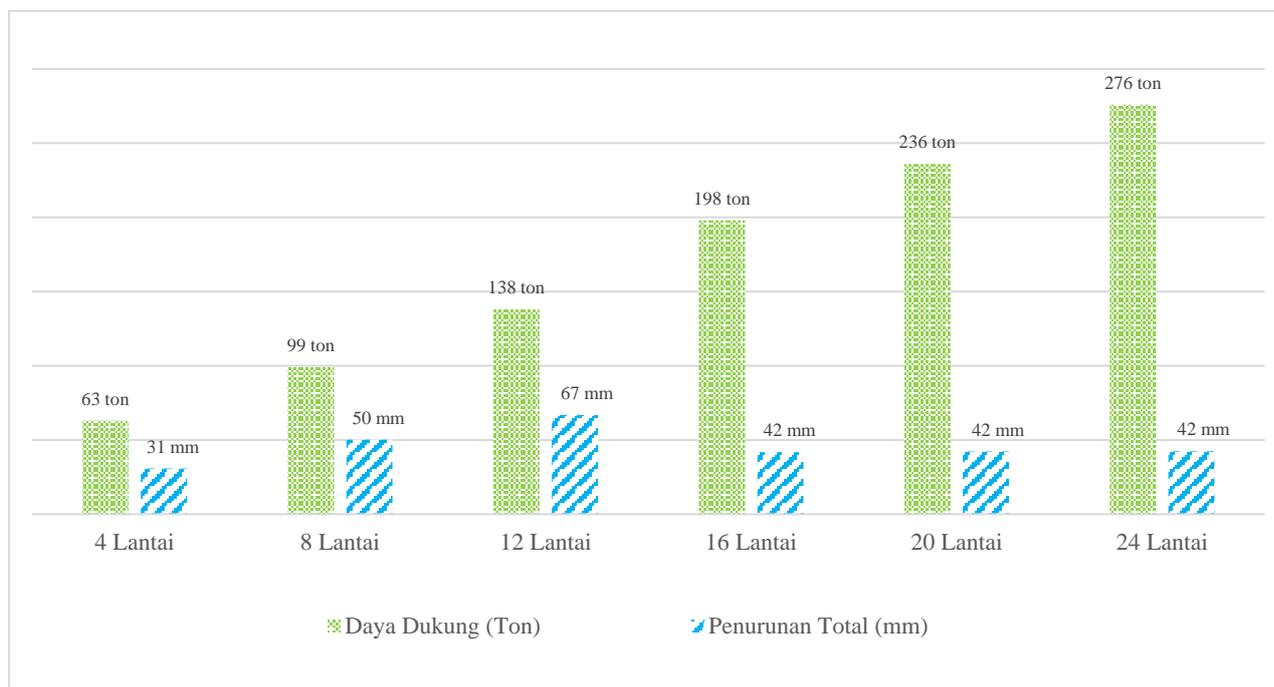
Tipe	Lantai	Diameter Pile (m)	Total Penurunan (mm)	Penurunan Izin (mm)
Single Pile	4	0,4	30,8347	150,6667
Single Pile	8	0,6	50,2500	151,0000
Single Pile	12	0,8	66,8254	151,3333

Tabel 8 (lanjutan). Hasil penurunan tanah

Type	Lantai	Diameter Pile (m)	Total Penurunan (mm)	Penurunan Izin (mm)
Group Pile	16	0,6	41,8535	151,0000
Group Pile	20	0,7	42,1962	151,1667
Group Pile	24	0,8	42,3866	151,3333

Analisis perhitungan daya dukung dan penurunan tanah

Gambar 4 memperlihatkan fondasi diletakkan pada endbearing di kedalaman 30 m dengan diameter tiang yang berbeda. Bangunan 4 lantai, 8 lantai, dan 12 lantai tiang tunggal. Bangunan 16 lantai, 20 lantai, dan 24 lantai tiang kelompok.



Gambar 4. Grafik hubungan daya dukung fondasi dan penurunan tanah

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa hasil nilai daya dukung fondasi yang dihasilkan akan semakin besar setiap kenaikan elevasi. Penurunan tanah yang terjadi juga relatif kecil karena tidak mendekati batas penurunan ijin. Hal ini dikarenakan fondasi yang diletakkan pada lapisan tanah keras sehingga penurunan tanah yang terjadi seharusnya tidak terlalu besar. Bangunan 16, 20, dan 24 lantai memiliki penurunan yang lebih kecil daripada bangunan 8 dan 12 lantai dikarenakan bangunan 16, 20 dan 24 lantai menggunakan tiang tunggal sedangkan bangunan 8 dan 12 lantai menggunakan tiang kelompok.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung fondasi diketahui semakin besar diameter tiang maka daya dukung fondasi yang dihasilkan akan semakin besar.
2. Berdasarkan hasil perhitungan besar penurunan tanah pada fondasi tiang ujung menghasilkan penurunan yang tidak terlalu besar atau tidak mendekati batas penurunan ijin.
3. Berdasarkan data tanah dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa penggunaan fondasi tiang ujung menghasilkan nilai daya dukung fondasi yang diperlukan sesuai berat beban dan penurunan tanah yang terjadi relatif kecil.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, penulis dapat memberikan saran yaitu:

1. Perhitungan dapat dicek menggunakan aplikasi perhitungan agar mengetahui hasil yang akurat
2. Dapat dilakukan analisis konstruksi fondasi dalam segi biaya agar dapat memberikan informasi dalam segi biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik (SNI 8460:2017)*.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design* (Edisi kelima). The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundations* (Edisi ketiga). John Wiley & Sons, Inc.
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2019). *Principles of Foundation Engineering*. Cengage learning.
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2019). *Principles of Foundation Engineering*. Cengage learning.
- Hardiyatmo, H. C. (1996). *Teknik Pondasi 1*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah 1*. Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). *Teknik Pondasi 2*. Gadjah Mada University Press.
- Meyerhof, G. G. (1956). Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 82(1), 866. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0000001>
- Reese, L. C., & Wright, S. J. (1977). *Drilled Shaft Manual Vol. 1 – Construction Procedures and Design for Axial Loading*. U.S. Departement of Transportation, Offices of Research and Development, Implementation Devison HDV-22.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (Edisi ketiga). John Wiley & Sons, Inc.
- Venkatramaiah, C. (1995). *Geotechnical Engineering* (Edisi kedua). New Age International.