

ANALISIS EFISIENSI TIANG UJUNG PADA FONDASI TIANG BOR DI PROYEK GADING SERPONG

Nathania Olivia Fernanda¹ dan Alfred Jonathan Susilo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
nathania.325190036@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: 14-02-2023, diterima untuk diterbitkan: 01-03-2023

ABSTRACT

The foundation is a building structure that is below ground level to support the load above it. So the foundation selection must be adjusted to the load used and the carrying capacity of the soil that can withstand the foundation used. This is because the selection is adjusted to the carrying capacity with conditions on the soil in the field. There will be two types in the selection of foundation poles end bearing piles and friction piles. The pole used is a drill pole because it is quite easy to adjust the diameter and depth to be used. Research in this journal will analyze the foundation of the drill pile using an end bearing pile, which is a foundation pole occupied on hard ground, and minimize There will be the decrease in the foundation. The purpose of analyzing this foundation pile is to find out which end foundation pole is more efficient to use based on the calculation of bearing capacity, settlement, and work cost factors foundation pole. In the study's results, an efficient and optimum pole was used based on calculations of an end bearing pile with a diameter of 60 cm and a depth of 48 m.

Keywords: foundation; end bearing pile; soil bearing capacity; settlement; cost

ABSTRAK

Fondasi merupakan struktur bangunan yang berada dibawah permukaan tanah untuk menumpu beban yang berada diatasnya. Sehingga dalam pemilihan suatu fondasi harus disesuaikan dengan beban yang digunakan serta daya dukung tanah yang mampu menahan fondasi yang digunakan. Hal ini dikarenakan pemilihan disesuaikan kapasitas daya dukung dengan kondisi pada tanah yang berada di lapangan. Dalam pemilihan tiang fondasi yang akan terdapat dua tipe yaitu tiang ujung (*end bearing pile*) dan tiang gesek (*friction pile*). Tiang yang digunakan merupakan tiang bor dikarenakan cukup mudah untuk mengatur diameter serta kedalaman yang akan digunakan. Dalam penelitian pada jurnal ini akan menganalisis fondasi tiang bor menggunakan tiang ujung (*end bearing pile*) merupakan tiang fondasi yang diduduki pada tanah keras dan meminimalisir akan terjadi penurunan pada fondasi. Tujuan menganalisis tiang fondasi ini untuk mengetahui tiang fondasi ujung yang lebih efisien untuk digunakan berdasarkan perhitungan daya dukung, penurunan, serta faktor biaya pengerjaan tiang fondasi. Dalam hasil penelitian didapat tiang yang efisien dan optimum digunakan berdasarkan perhitungan yaitu tiang ujung dengan diameter 60 cm kedalaman 48 m.

Kata kunci: fondasi; tiang ujung; daya dukung; penurunan; biaya

1. PENDAHULUAN

Dalam merancang suatu infrastruktur terkadang struktur yang direncanakan memiliki kapasitas yang berlebih, kapasitas atau daya tahan dalam yang berlebih akan mengakibatkan keborosan, maka dari itu dalam perancangan suatu infrastruktur harus dirancang secara efisien dan optimum sehingga struktur yang digunakan sesuai dengan kebutuhan. Dalam pembangunan fondasi menjadi hal yang penting karena membantu untuk berdirinya suatu bangunan yang akan dibangun. Menurut Bowles (1997) fondasi merupakan bagian dari sistem yang meneruskan beban yang di topang oleh fondasi dan beratnya fondasi sendiri kedalam tanah atau batuan yang terletak dibawahnya. Dalam kebutuhannya fondasi dirancang/ direncanakan sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan sehingga dalam perancangan menjadi efisien dan optimum dari unsur material maupun biaya. Untuk mengetahui penggunaan fondasi yang efisien dan optimum yaitu dengan daya dukung, penurunan, serta faktor-faktor yang mempengaruhi suatu fondasi. Dalam memikul beban yang berada diatasnya fondasi memiliki kriteria yaitu tanah dengan kondisi baik dengan memiliki daya dukung yang tinggi serta penurunan yang dihasilkan relatif dengan nilai yang kecil, sedangkan apabila tanah dengan kondisi buruk memiliki daya dukung yang relatif rendah serta penurunan yang dialami cukup

besar sehingga perlu adanya usaha untuk memperbaiki daya dukung tanah dengan memilih fondasi yang tepat. Hal ini didapat fondasi yang sesuai untuk memikul beban dengan kondisi tanah yang berada di lapangan.

Fondasi

Fondasi merupakan bagian terbawah dari suatu struktur bangunan infrastruktur yang bertujuan menyalurkan beban suatu bangunan ke tanah yang berada dibawahnya (Hardiyatmo, 1996). Dalam melakukan perancangan fondasi harus memperhatikan beban yang ditumpu agar beban yang diteruskan ke fondasi tidak melebihi dari kekuatan yang harus ditumpu, apabila fondasi yang digunakan melebihi batas ijin dari kekuatan tanah maka akan terjadinya kegagalan terhadap infrasturktur yaitu menimbulkan penurunan sehingga dapat beresiko akan terjadinya keruntuhan pada bangunan.

Tiang ujung (*end bearing pile*)

Tiang ujung merupakan tiang yang kapasitas daya dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Tiang ini dipasang mencapai batuan atau tanah keras yang dapat memberi daya dukung lebih besar sehingga tidak mengalami penurunan yang signifikan pada fondasi (Hardiyatmo, 2002).

Tiang bor

Pada umumnya proses pelaksanaan fondasi tiang bor dilakukan dengan pengeboran tanah terlebih dahulu, kemudian tanah yang sudah dibor dimasukan tulangan baja yang sudah dirakit lalu memasukan beton segar langsung kedalam lubang yang sudah dibor dan dimasukan tulangan (Septiadi & Prihatiningsih, 2020). Tiang bor biasa dipakai untuk tanah dengan kondisi stabil dan kaku, sehingga pada saat tanah di lubang dengan bor masih dengan keadaan yang stabil. Jika pada tanah terdapat muka air tanah maka dibutuhkan pipa besi untuk menahan dinding lubang dan pipa diangkat ke atas pada saat pengecoran beton. Penggunaan tiang bor dapat dijadikan alternatif lain apabila dalam pelaksanaan lokasi cukup sulit untuk menggunakan tiang pancang, seperti masalah peralatan yang digunakan dapat menimbulkan gangguan terhadap lingkungan sekitar lokasi dan dapat mengganggu kondisi pekerjaan lain yang berada di lokasi.

Daya dukung Reese and Wright

Perhitungan daya dukung untuk fondasi tiang bor yang diletakkan pada tanah lunak dapat menggunakan Persamaan 1-2 dengan metode Reese and Wright.

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

$$q_p = 9 S_u \quad (2)$$

Untuk tahanan gesek pada tiang bor dinyatakan Persamaan 3-4.

$$Q_s = f_s L P \quad (3)$$

$$f_s = c_d = \alpha c_u \quad (4)$$

Penurunan fondasi

Penurunan merupakan perubahan pada volume tanah saat diberi pembeban diatas permukaannya yang dapat menyebabkan gerakan tertentu pada suatu infrastruktur bangunan. Umumnya suatu penurunan yang terjadi tidak seragam lebih membahayakan bangunan dibandingkan penurunan total yang terjadi. Hal yang perlu diketahui dalam terjadinya suatu proses penurunan terjadi yaitu besar penurunan dan kecepatan penurunan (Muhshi et al., 2020).

Penurunan segera (*immediate settlement*)

Penurunan segera terjadi setelah diberi pembebanan sehingga menyebabkan deformasi elastis pada tanah tanpa adanya perubahan kadar air. Penurunan segera diakibatkan oleh distorsi massa tanah yang tertekan dan terjadi pada volume konstan.

Dalam buku Das & Sivakugan (2017) terdapat metode Vesic yang membagi total penurunan (Persamaan 5) menjadi tiga komponen, sebagai berikut:

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

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

Untuk penurunan batang tiang dapat dihitung dengan Persamaan 6.

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

Kemudian untuk penurunan ujung tiang akibat beban bekerja dengan Persamaan 7.

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} = \frac{Q_{wp} C_p}{D q_p} \quad (7)$$

Kemudian untuk penurunan akibat gesekan selimut sepanjang tiang akibat beban bekerja dengan Persamaan 8.

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{P_p L} \right) \left(\frac{D}{E_{sr}} \right) (1 - \mu_s^2) I_{ws} = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} \quad (8)$$

Penurunan konsolidasi primer

Penurunan konsolidasi primer terjadi akibat kenaikan tegangan yang disebabkan oleh pembebanan yang mengakibatkan keluarnya air dari pori-pori tanah. Pada proses ini akan berlangsung sampai air pori dalam keadaan seimbang dengan tekanan hidrostatik di sekitarnya.

Persamaan 9 untuk penurunan konsolidasi *normally consolidated* $\sigma'_0 > \sigma'_c$.

$$S_c = r \sum \frac{C_c}{1 + e_o} H_i \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad (9)$$

Sedangkan untuk penurunan konsolidasi *over consolidated* $\sigma'_0 < \sigma'_c$ sebagai berikut:

Persamaan 10 jika $\sigma'_1 = \sigma'_0 + \Delta\sigma' < \sigma'_c$

$$S_c = r \sum \frac{C_c}{1 + e_o} H_i \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad (10)$$

Persamaan 11 jika $\sigma'_1 = \sigma'_0 + \Delta\sigma' > \sigma'_c$

$$S_c = r \sum \frac{C_r}{1 + e_o} H_i \log \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} \right) + \frac{C_c}{1 + e_o} H_i \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_c} \right) \quad (11)$$

Penurunan ijin

Berdasarkan SNI 8460:2017, besar penurunan total dan beda penurunan yang diijinkan berdasarkan toleransi masing-masing fungsi dan stabilitas struktur atas dan bangunan sekitarnya. Syarat dihitung dengan Persamaan 12.

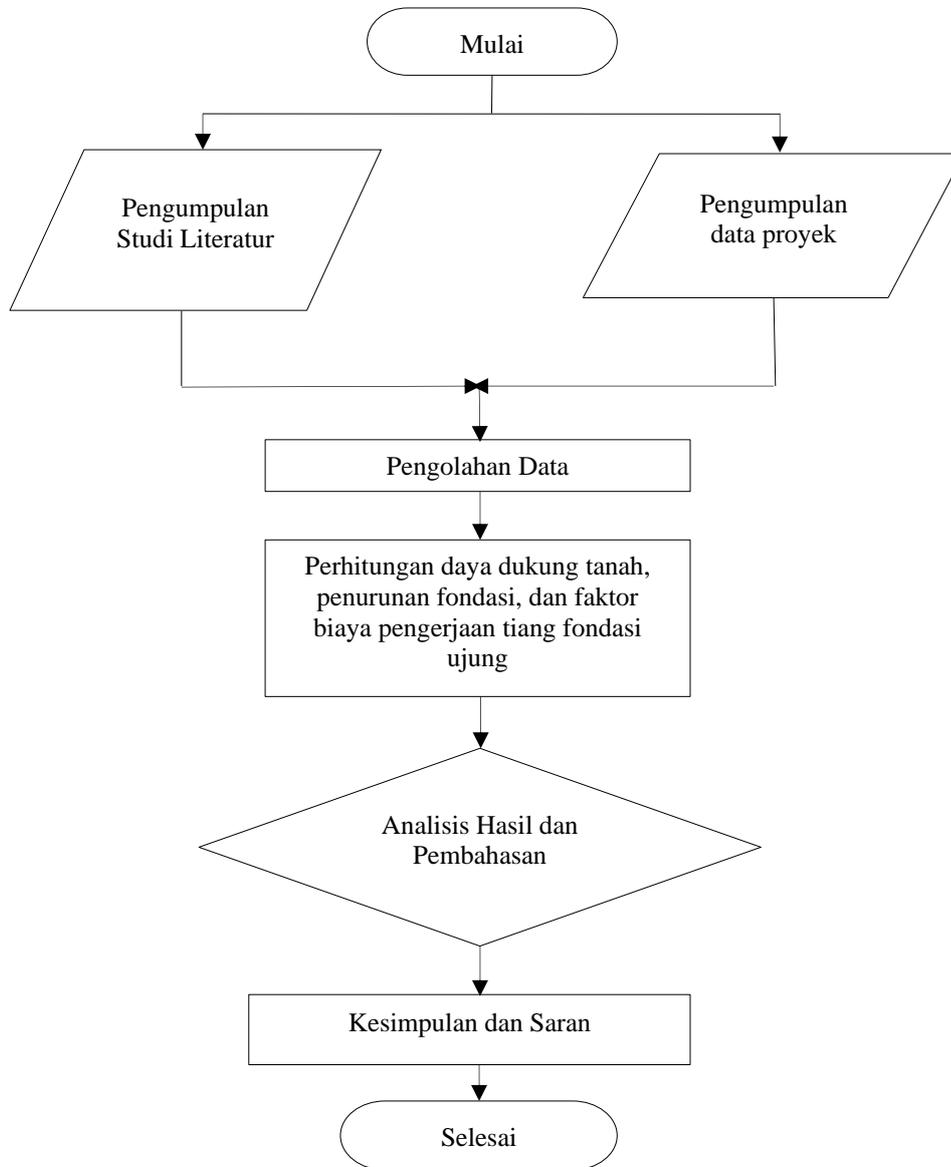
$$\text{Penurunan total ijin} < 15 \text{ cm} + b/600 \quad (12)$$

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1. Untuk penjelasan diagram alir jurnal:

1. Pada tahap awal penelitian melakukan pencarian dan pengumpulan dasar teori yang akan digunakan melalui buku bacaan, jurnal, artikel yang berhubungan dengan topik yang dibahas.
2. Kemudian pengumpulan data proyek berupa data tanah yang akan diteliti
3. Selanjutnya menganalisis sifat tanah, daya dukung tanah, dan penurunan fondasi. Dan menentukan parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan.
4. Mencari tipe fondasi yang cocok digunakan untuk tiang ujung (end bearing pile).
5. Selanjutnya mulai untuk mendesain fondasi tiang ujung (end bearing pile).
6. Selanjutnya melakukan perhitungan daya dukung tanah, penurunan fondasi, dan faktor biaya pengerjaan tiang pada tiang ujung end bearing pile dengan berbagai diameter yang digunakan.
7. Selanjutnya melakukan perbandingan dari hasil daya dukung, penurunan fondasi, dan faktor biaya tiang ujung (end bearing pile) yang lebih efisien digunakan.

- Memberikan kesimpulan dari dasar teori dan hasil perhitungan yang didapat lalu memberi saran dari hasil penelitian



Gambar 1. Diagram alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapat data parameter tanah pada analisis ini menggunakan satu titik *boring log* sedalam 50 meter dari kawasan Gading Serpong, kemudian diolah menggunakan korelasi rumus empiris sehingga menghasilkan parameter tanah dan disusun seperti pada Pembebanan bangunan

Bangunan merupakan apartemen 24 lantai yang memiliki luas $60 \text{ m} \times 24 \text{ m}$ dengan luas setiap lantainya 1440 m^2 . Untuk perhitungan pembebanan dengan menghitung beban mati dan beban hidup seperti pada Tabel 2.

Tabel 1.

Pembebanan bangunan

Bangunan merupakan apartemen 24 lantai yang memiliki luas $60 \text{ m} \times 24 \text{ m}$ dengan luas setiap lantainya 1440 m^2 . untuk perhitungan pembeban dengan menghitung beban mati dan beban hidup seperti pada Tabel 2.

Tabel 1. Parameter data tanah

Kedalaman (m)	Tipe Tanah	Konsistensi	γ (kN/m ³)	e ₀	C _c	C _s	Su (kPa)	c' (kPa)	P _c (kPa)	E' (MPa)	N-SPT
7	Lempung Silt	Lunak	20	1,2	0,38	0,18	25	3	60	6	3
6	Lempung Silt	Lunak	19,5	1,32	0,44	0,2	20	4	70	9	8
12	Lempung Silt	Kaku	19	1,08	0,16	0,1	35	6	90	10	8
10	Lempung Silt	Kaku	19	0,6	0,14	0,0911	50	8	140	14	11
7	Lempung Silt	Sangat Kaku	20	0,5	0,1	0,0761	80	13	270	24	18
8	Silt	Sangat Kaku	19	0,5	0,1	0,0761	115	18	380	34	25

Tabel 2. Perhitungan pembebanan bangunan

Beban	Nilai (kN)
Beban Mati	196,13
Beban Hidup	60
Beban per lantai	256,13
Beban terpusat pada kolom	6147

Daya dukung fondasi

Dari data tanah yang didapat bahwa lapisan tanah keras berada diposisi yang dalam sehingga dalam perencanaan didapat beberapa desain ukuran diameter yaitu tiang ujung dengan menggunakan beberapa ukuran diameter yang berbeda yaitu diameter 60 cm, 80 cm, dan 100 cm. Tiang-tiang akan dihitung daya dukung, untuk perhitungan daya dukung menggunakan metode Reese and Wright dikarenakan tanah bersifat lunak serta tiang yang digunakan merupakan tiang bor terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan daya dukung fondasi

Kedalaman (m)	Diameter (m)	Q _p (kN)	Q _s (kN)	Q _{all} (kN)	Q _{all} (ton)
48	0,6	292,64	2555,53	949,39	97
	0,8	520,25	3407,62	1309,21	134
	1	812,89	4259,21	1690,7	172

Tiang kelompok

Dikarenakan tiang berada dilapisan tanah lunak maka daya dukung tiang kelompok didasarkan pada aksi blok yaitu dengan kelompok pada tiang sebagai blok. Tabel 4 merupakan hasil perhitungan kelompok tiang ujung.

Tabel 4. Perhitungan tiang kelompok

Kedalaman (m)	Diameter (m)	P (kN)	Q _{all,s} (kN)	n _{tiang} (tiang)	Q _{all,g} (kN)
48	0,6	6147	949,39	7	8544,50
	0,8		1309,21	5	11782,86
	1		1690,7	4	15216,30

Penurunan elastis fondasi tiang

Penurunan segera atau biasa disebut dengan penurunan elastis atau *immediate settlement* merupakan penurunan yang terjadi setelah beban bekerja, hal ini mengakibatkan deformasi elastis pada tanah tanpa adanya perubahan kadar air. Pada perhitungan penurunan segera dibagi menjadi tiga komponen terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5. Penurunan elastis fondasi tiang

Kedalaman (m)	Diameter (m)	n_{tiang} (tiang)	$S_{e(1)}$ (mm)	$S_{e(2)}$ (mm)	$S_{e(3)}$ (mm)	S_e (mm)	$S_{e,g}$ (mm)
48	0,6	7	4,47	4,36	0,7	9,52	22,03
	0,8	5	3,57	5,9	0,97	10,43	22,18
	1	4	2,89	7,1	1,19	11,21	20,97

Penurunan konsolidasi primer fondasi tiang

Penurunan konsolidasi primer terjadi akibat kenaikan tegangan yang dipengaruhi oleh pembebanan yang menyebabkan keluar air dari pori-pori tanah. Pada proses ini akan berlangsung sampai air pori dalam keadaan seimbang dengan tekanan hidrostatis disekitarnya. Beban luar yang digunakan sebesar 6147 kN. Berikut untuk perhitungan tiang ujung diameter 60 cm pada Tabel 6, tiang ujung diameter 80 cm pada Tabel 7, dan tiang ujung diameter 100 cm pada Tabel 8.

Tabel 6. Penurunan tiang kelompok konsolidasi primer pada *end bearing pile* diameter 60 cm kedalaman 48 m

Elevasi (m)	ΔH	$\Delta\sigma$	P'o (z)	$\frac{\Delta\sigma + P'o}{P'o}$	Cek	e0	Cc	Δs_c (mm)	
32	35	3	39,42	400,32	439,74	NC	0,6	0,14	10,71
35	42	7	25,62	471,65	497,27	NC	0,5	0,1	10,72
42	50	8	15,37	545,17	560,54	NC	0,5	0,1	6,44
Total Penurunan Konsolidasi Primer D = 60 cm									27,87

Tabel 7. Penurunan tiang kelompok konsolidasi primer pada *end bearing pile* diameter 80 cm kedalaman 48 m

Elevasi (m)	ΔH	$\Delta\sigma$	P'o (z)	$\Delta\sigma + P'o$	Cek	e0	Cc	Δs_c (mm)	
32	35	3	27,56	400,32	427,88	NC	0,6	0,14	7,59
35	42	7	18,02	471,65	489,67	NC	0,5	0,1	7,6
42	50	8	10,88	545,17	556,05	NC	0,5	0,1	4,58
Total Penurunan Konsolidasi Primer D = 80 cm									19,77

Tabel 8. Penurunan tiang kelompok konsolidasi primer pada *end bearing pile* diameter 100 cm kedalaman 48 m

Elevasi (m)	ΔH	$\Delta\sigma$	P'o (z)	$\Delta\sigma + P'o$	Cek	e0	Cc	Δs_c (mm)	
32	35	3	13,94	400,32	414,26	NC	0,6	0,14	3,9
35	42	7	9,09	471,65	480,74	NC	0,5	0,1	3,87
42	50	8	5,48	545,17	550,65	NC	0,5	0,1	2,32
Total Penurunan Konsolidasi Primer D = 100 cm									10,09

Penurunan total

Penurunan total tiang kelompok yang terjadi pada tiang ujung dengan diameter sebesar 60 cm, 80 cm, dan 100 cm tertera di Tabel 9.

Tabel 9. Penurunan fondasi total

Kedalaman (m)	Diameter (m)	n_{tiang} (tiang)	$S_{e,g}$ (mm)	S_c (mm)	S_{total} (mm)	S_{total} (cm)
48	0,6	7	22,03	27,87	49,89	5
	0,8	5	22,18	19,77	41,95	4,2
	1	4	20,97	10,09	31,06	3,1

Biaya pekerjaan fondasi

Tabel 10 adalah perhitungan anggaran biaya yang diperlukan dalam melakukan pekerjaan tiang bor pada tiang ujung.

Tabel 10. Biaya pekerjaan fondasi tiang ujung

Kedalaman (m)	Diameter (m)	n_{tiang} (tiang)	Biaya 1 Tiang Bor		Biaya per 1 meter Tiang Bor	
48	0,6	7	Rp	66.211.248,52	Rp	1.379.401,01
	0,8	5	Rp	97.134.108,55	Rp	2.023.627,26
	1	4	Rp	107.658.021,01	Rp	2.242.875,44

Tabel perbandingan

Dari hasil perhitungan didapat perbandingan hasil penggunaan tiang ujung dengan diameter sebesar 60 cm, 80 cm, dan 100 cm pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan tiang ujung

Kategori	Tiang Ujung (<i>end bearing pile</i>)		
	0,6 m	0,8 m	1 m
Daya Dukung (ton)	97	134	172
Penurunan (cm)	5	4,2	3,1
Biaya per 1 Tiang Bor (Rp)	66.211.248	97.134.108	107.658.021
Biaya per 1 meter (Rp)	1.379.401	2.023.627	2.242.875

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Berdasarkan hasil perhitungan didapat beban perkolom bangunan apartemen 24 lantai dengan ukuran 60×24 meter yaitu sebesar 627 ton atau 6147 kN.
- Untuk fondasi tiang ujung dari hasil perhitungan didapat semakin besar diameter yang digunakan maka daya dukung yang didapat semakin besar dan jumlah tiang kelompok yang digunakan semakin sedikit begitu pula dengan dengan penurunan yang dialami fondasi semakin kecil, tetapi untuk faktor biaya pengerjaan tiang bor semakin besar diameter yang digunakan semakin mahal dikarena pengaruhi oleh volume pengerjaan dan kebutuhan material yang digunakan.
- Didapat yang efisien dan optimum merupakan tiang bor ujung dengan diameter 60 cm dengan kedalaman 48 m, karena harga lebih ekonomis dibandingkan dengan diameter end bearing maupun friction pile yang sudah diperhitungkan.

Saran

1. Karena menggunakan tiang ujung (end bearing pile) rawan terjadinya longsor, aka nada biaya-biaya pengaman diluar biaya pengerjaan tiang bor yang biaya nya cukup besar.
2. Dicoba melakukan perhitungan tiang gesek friction pile supaya dapat membandingkan efisiensi tiang yang dapat digunakan

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik* (SNI 8460:2017).
- Bowles, J. E. (1997). *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1* (Edisi keempat). Erlangga.
- Das, B., & Sivakugan, N. (2017). *Principles of Geotechnical Engineering* (Edisi kesembilan). Global Engineering.
- Hardiyatmo, H. C. (1996). *Teknik Pondasi 1*. Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah 1*. Universitas Gadjah Mada.
- Muhshi, M., Putra, A. I., & Nugroho, S. A. (2020). Pemetaan Penurunan Elastis Fondasi Tiang Berdasarkan Data Sondir Kota Pekanbaru. *Indonesian Journal Of Civil Engineering Education*, 6(1), 34-49.
- Septiadi, K., & Prihatiningsih, A. (2020). Studi Manfaat Daya Dukung Belled Pile dan Multi Belled Pile. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(4), 1113-1124. <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i4.8394>