

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG BOR BIASA DAN *MULTI-BELLED PILE*

Brian Gian¹ dan Aniek Prihatiningsih²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
briangian28@gmail.com

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

Masuk: 29-12-2023, revisi: 13-01-2024, diterima untuk diterbitkan: 07-02-2024

ABSTRACT

Foundation is an important structure as a support for the building on it and no less important is the soil on which the foundation is built. The importance of soil investigation to determine geotechnical properties and identify soil layers and thickness at the project site. The utilization of the lens soil layer can increase the bearing capacity of the pole. In this writing, we will discuss the increase in carrying capacity and decrease of ordinary bored pile foundations against drill piles with pile magnification in two lens soils (multi-belled pile) for magnification diameters of 0.7m, 0.8 m, and 0.9 m in two different concrete qualities, namely 20 and 35 MPa. The dimensions of the mast use a diameter of 0.6 m. The results showed that the use of multi-belled piles on the lens layer is better than ordinary drilled piles, because the magnification of the pole on the lens layer can increase the bearing capacity and reduce the decrease that occurs in the pile foundation, and improving the quality of concrete can also reduce the decrease that occurs in the foundation pile.

Keywords: Bored pile foundation; multi belled pile; lens soil; bearing capacity; settlement

ABSTRAK

Fondasi ialah struktur penting sebagai penopang bangunan di atasnya dan tidak kalah penting yaitu tanah yang berada pada lokasi dibangunnya fondasi tersebut. Pentingnya penyelidikan tanah untuk mengetahui sifat-sifat geoteknik serta mengidentifikasi lapisan-lapisan serta ketebalan tanah di lokasi proyek. Pemanfaatan lapisan tanah lensa dapat meningkatkan daya dukung tiang. Pada penulisan ini akan membahas mengenai peningkatan daya dukung dan penurunan fondasi tiang bor biasa terhadap tiang bor dengan perbesaran tiang di dua tanah lensa (*multi-belled pile*) untuk diameter perbesaran sebesar 0,7m, 0,8 m, dan 0,9 m pada dua mutu beton yang berbeda yaitu 20 dan 35 MPa. Dimensi tiang menggunakan diameter 0,6 m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *multi-belled pile* pada lapisan lensa lebih baik dari tiang bor biasa, dikarenakan dengan adanya perbesaran tiang pada lapisan lensa dapat meningkatkan daya dukung serta mengurangi penurunan yang terjadi pada fondasi tiang, dan peningkatan mutu beton juga dapat mengurangi penurunan yang terjadi pada tiang fondasi.

Kata kunci: Fondasi tiang bor; *multi belled pile*; tanah lensa; daya dukung; penurunan

1. PENDAHULUAN

Fondasi merupakan sebuah struktur berfungsi untuk mentransfer beban bangunan ke tanah dan memastikan stabilitasnya. Dalam kondisi tanah yang lemah atau memiliki daya dukung rendah, fondasi dangkal tidak selalu cukup untuk menopang beban struktur. Fondasi tiang bor menjadi solusi fondasi dalam yang dapat diandalkan. Kondisi lapisan tanah sekitar fondasi juga berpengaruh pada kekuatan daya dukung dan penurunan struktur fondasi yang akan dibangun. Pada umumnya sering dijumpai lapisan tanah berupa tanah lunak atau tanah keras pada daerah yang akan dibangun suatu struktur fondasi, namun tidak menutup kemungkinan adanya lapisan tanah keras diantara lapisan tanah lunak yang bisa disebut sebagai lapisan lensa.

Daya dukung tiang juga dipengaruhi oleh gesekan selimut tiang fondasi dan juga tahanan ujung tiang, sehingga agar daya dukung tiang meningkat dapat digunakan alternatif dengan memperbesar ukuran penampang tiang yang dapat disebut dengan *belled-pile*, dan jika tiang memiliki lebih dari satu perbesaran maka dapat disebut *multi-belled pile* (Septiadi & Prihatiningsih, 2020). Selain itu, penggunaan mutu beton untuk tiang fondasi juga harus diperhatikan karena dapat berpengaruh pada penurunan yang akan terjadi pada tiang fondasi.

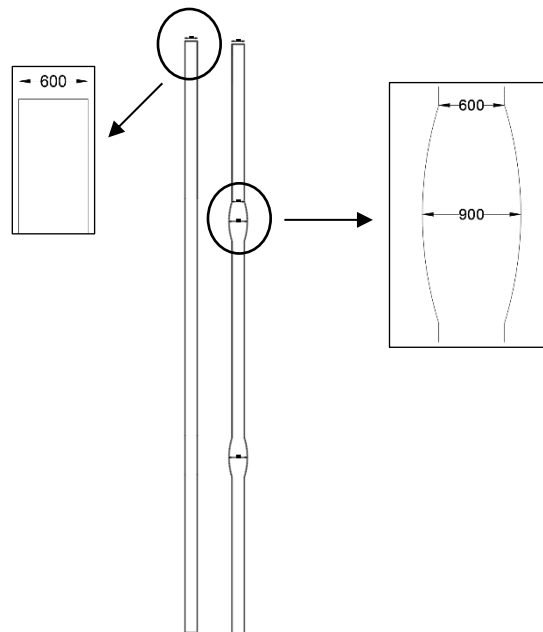
Dalam studi kasus ini, terdapat lahan dengan kondisi lapisan tanah yang memiliki dua lapisan lensa berupa tanah lempung dan tanah pasir. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung dan penurunan tiang bor biasa dan tiang dengan perbesaran diameter pada area lapisan lensa, serta membandingkan penurunan yang terjadi pada tiang bor biasa dan *multi-belled pile* dengan mutu beton yang berbeda yaitu 20 dan 35 MPa.

Fondasi tiang bor

Tiang bor dibuat dengan cara mengebor lubang dengan kedalaman yang dibutuhkan dan kemudian diisi dengan tulangan baja dan beton (Septiadi & Prihatiningsih, 2020). Tiang bor biasanya berbentuk lingkaran dari kepala tiang hingga ujung tiang, atau bagian bawahnya dapat diperbesar. Penggunaan fondasi tiang bor sangat fleksibel karena dapat digunakan pada jenis tanah apapun.

Multi-belled pile

Multi-Belled pile adalah tiang bor yang dimodifikasi agar dapat menambahkan daya dukung pada tiang bor. Peningkatan diameter *pile* dapat meningkatkan daya dukung dari *pile*. Kekurangan dari *multi-belled pile* adalah instalasi yang lebih sulit dari tiang bor biasa (Septiadi & Prihatiningsih, 2020). *Multi-Belled pile* berbentuk tiang lurus dengan perbesaran seperti bel, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Tiang bor biasa dan *multi-belled pile*

Tanah lensa

Tanah lensa adalah lapisan tanah padat dan keras dengan N-SPT > 50 diantara lapisan tanah lunak dengan N-SPT < 15. Lapisan ini memiliki ketebalan yang berbeda. Lapisan lensa bisa berupa tanah pasir dan tanah lempung. (Lu & Susilo, 2022)

Daya dukung fondasi tiang

Daya dukung tiang diperoleh dengan menggabungkan daya dukung ujung tiang dengan daya dukung selimut tiang. Sehingga daya dukung tiang dapat diperhitungkan dengan Persamaan 1.

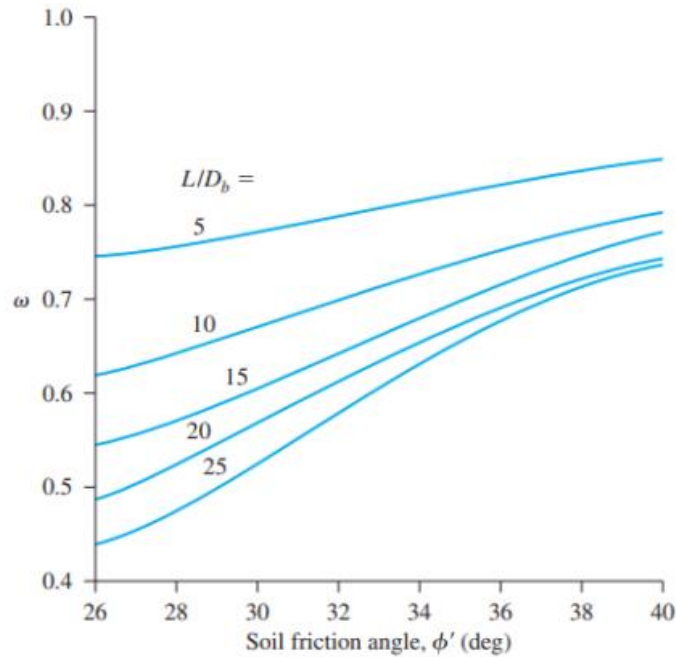
$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_s}{SF} \quad (1)$$

dengan Q_{all} = daya dukung izin (ton), Q_p = daya dukung ujung (ton), dan Q_s = daya dukung selimut (ton), dan SF = faktor keamanan .

Tahanan ujung tiang untuk tanah lempung dapat diperoleh dari metode O'Neill dan Reese (1999) seperti pada Persamaan 2 dan untuk tahanan ujung tiang pada tanah pasir dapat diperoleh dari metode Berezantev et al. (1961) seperti pada Persamaan 3. Nilai ω dapat diperoleh dari grafik pada Gambar 2.

$$Q_p = A_p c_u N_c^* \quad (2)$$

$$Q_p = A_p [q'(\omega N_q^* - 1)] \quad (3)$$



Gambar 2. Grafik nilai koreksi ω terhadap perbandingan panjang dan diameter tiang berdasarkan nilai ϕ' (Das, 2011)

dengan Q_p = daya dukung ujung (ton), A_p = luas penampang ujung tiang (m^2), dan c_u = undrained shear strength (ton/m^2), $N_c^* = 9$, q' = tegangan efektif (ton/m^2), $N_q^* = 0.21e^{0.17\phi'}$, ω = faktor koreksi, L = panjang tiang (m), D_b = diameter tiang (m), dan ϕ' = sudut geser efektif tanah.

Tahanan selimut tiang untuk tanah lempung dapat diperoleh dari metode Kulhaway dan Jackson (1989) seperti pada Persamaan 4 dan untuk tanah pasir dapat diperoleh dari metode Reese et al. (1976) seperti pada Persamaan 5.

$$Q_s = \alpha^* c_u p \Delta L \quad (4)$$

$$Q_s = K p_0 \tan \delta (\pi D_s) \Delta L \quad (5)$$

dengan Q_s = daya dukung selimut (ton), $\alpha^* = 0.4$, $p = \pi D_s$, D_s = diameter tiang (m), ΔL = panjang selimut tiang (m), K = faktor tekanan lateral (Tabel 1), dan δ = sudut geser tanah pasir.

Tabel 1. Nilai K koefisien faktor tekanan lateral

Depth to base, m	K
$\leq 7,5$	0,7
$7,5 < L \leq 12$	0,6
> 12	0,5

Daya dukung multi-belled pile

Daya dukung *multi-belled* diperoleh dari daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang (Septiadi & Prihatiningsih, 2020). Jika perbesaran tiang berada di tengah tiang, untuk daya dukung ujung *belled* pada tanah lempung dapat dihitung dengan Persamaan 6 dan untuk daya dukung ujung *belled* pada tanah pasir dapat dihitung dengan Persamaan 7.

$$Q_p = (A_b - A_p) c_u N_c^* \quad (6)$$

$$Q_p = (A_b - A_p) [q'(\omega N_q^* - 1)] \quad (7)$$

dengan Q_p = daya dukung ujung (ton), A_p = luas penampang ujung tiang (m^2), c_u = undrained shear strength (ton/m^2), $N_c^* = 9$, A_p = luas penampang ujung tiang (m^2), A_b = luas penampang ujung *belled* (m^2), q' = tegangan

efektif (ton/m²), $N_q^* = 0.21e^{0.17\phi'}$, ω = faktor koreksi, L = panjang tiang (m), fsn $D_b = D_s$ = diameter ujung tiang *belled* (m).

Untuk mencari nilai ω dibutuhkan besar nilai diameter ujung tiang *belled* yang dapat diperoleh dari Persamaan 8.

$$D_b = D_a - D_s \quad (8)$$

dengan D_b = diameter ujung *belled* (m), D_a = diameter *belled* (m), D_s = diameter tiang (m).

Daya dukung selimut tiang *multi-belled* pada tanah lempung dapat dihitung dari Persamaan 9 dan untuk tanah pasir dapat dihitung berdasarkan Persamaan 10. Jika ada perbedaan jenis lapisan tanah, maka daya dukung selimut tiang diperhitungkan sesuai dengan jenis lapisan tanah dan tebal lapisan tanah tersebut.

$$Q_s = \alpha^* c_u p \Delta L \quad (9)$$

$$Q_s = K p_0 \tan \delta (\pi D_a) \Delta L \quad (10)$$

dengan Q_s = daya dukung selimut (ton), $\alpha^* = 0.4$, $p = \pi D_s$, ΔL = panjang selimut tiang (m), K = faktor tekanan lateral, δ = sudut geser tanah pasir, dan D_a = diameter *belled* (m).

Pada tiang dengan *multi-belled*, maka daya dukung diperoleh berdasarkan total daya dukung tiap perbesaran dan total daya dukung selimut tiang seperti pada Persamaan 11.

$$Q_{all} = \frac{Q_{p1} + Q_{p2} + Q_s}{SF} \quad (11)$$

dengan Q_{all} = daya dukung izin, Q_{p1} = daya dukung ujung tiang, Q_{p2} = daya dukung ujung tiang akibat perbesaran di tengah, Q_s = daya dukung selimut tiang, SF = faktor keamanan.

Penurunan elastis

Penurunan elastis merupakan penurunan yang terjadi setelah beban pada tiang bekerja yang menyebabkan deformasi elatis pada tanah tanpa merubah kadar air tanah (Lu & Susilo, 2022). Penurunan elastis tiang dibagi menjadi tiga faktor, yaitu:

1. Penurunan tiang akibat pemendekan tiang ($S_{e(1)}$)
2. Penurunan tiang akibat beban yang bekerja pada ujung tiang ($S_{e(2)}$)
3. Penurunan tiang akibat beban yang bekerja pada selimut tiang ($S_{e(3)}$)

Penurunan elastis tiang akibat beban yang bekerja dapat dihitung dengan Persamaan 12.

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \quad (12)$$

Untuk penurunan tiang akibat pemendekan tiang dapat dihitung dengan Persamaan 13.

$$s_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \quad (13)$$

Kemudian untuk penurunan tiang akibat beban yang bekerja pada ujung tiang diperoleh dari Persamaan 14.

$$s_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} = \frac{Q_{wp} C_p}{D q_p} \quad (14)$$

Kemudian untuk penurunan tiang akibat beban yang bekerja pada selimut tiang diperoleh dari Persamaan 15.

$$s_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} \quad (15)$$

dengan Q_{wp} = beban yang bekerja pada ujung tiang (ton), Q_{ws} = beban yang bekerja pada selimut tiang (ton), A_p = luas penampang tiang (m²), L = panjang tiang (m), E_p = modulus elastisitas tiang (ton/m²), ξ = konstanta nilai *skin friction* (0,5-0,67), D = diameter tiang (m), q_{wp} = beban per luas area yang bekerja pada ujung tiang (ton/m²), E_s = modulus elastisitas tanah (ton/m²), μ_s = *poisson's ratio* tanah, q_p = tahanan ujung tiang (ton/m²), I_{wp} = factor pengaruh (0,85), C_p = koefisien empiris, C_s = konstanta empiris, p = perimeter tiang (m), dan I_{ws} = factor pengaruh.

Penurunan konsolidasi primer

Penurunan konsolidasi primer terjadi dikarenakan meningkatnya tegangan akibat oleh beban sehingga keluarnya air pori tanah. Proses ini akan berlangsung sampai air pori dalam kondisi yang seimbang dengan tekanan hidrostatik di sekitarnya. (Fernanda & Susilo, 2023)

Untuk penurunan konsolidasi *normally consolidated* dapat dihitung dari Persamaan 16.

$$S_c = \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \frac{P'_o + \Delta\sigma}{P'_o} \quad (16)$$

Kemudian untuk penurunan konsolidasi *over consolidated* dapat dihitung dari Persamaan 17-18.

Jika kondisi $P'_o + \Delta\sigma \leq P'_c$

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

Jika kondisi $P'_o + \Delta\sigma > P'_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_o} \log \frac{P'_c}{P'_o} + \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \frac{P'_o + \Delta\sigma}{P'_c} \quad (18)$$

dengan S_c = penurunan konsolidasi primer (m), C_c = indeks pemuaian, C_s = indeks pemampatan kembali, H = tebal lapisan tanah (m), P'_o = tegangan efektif tanah (ton/m^2), P'_c = tekanan prakonsolidasi (ton/m^2), dan e_o = angka pori tanah.

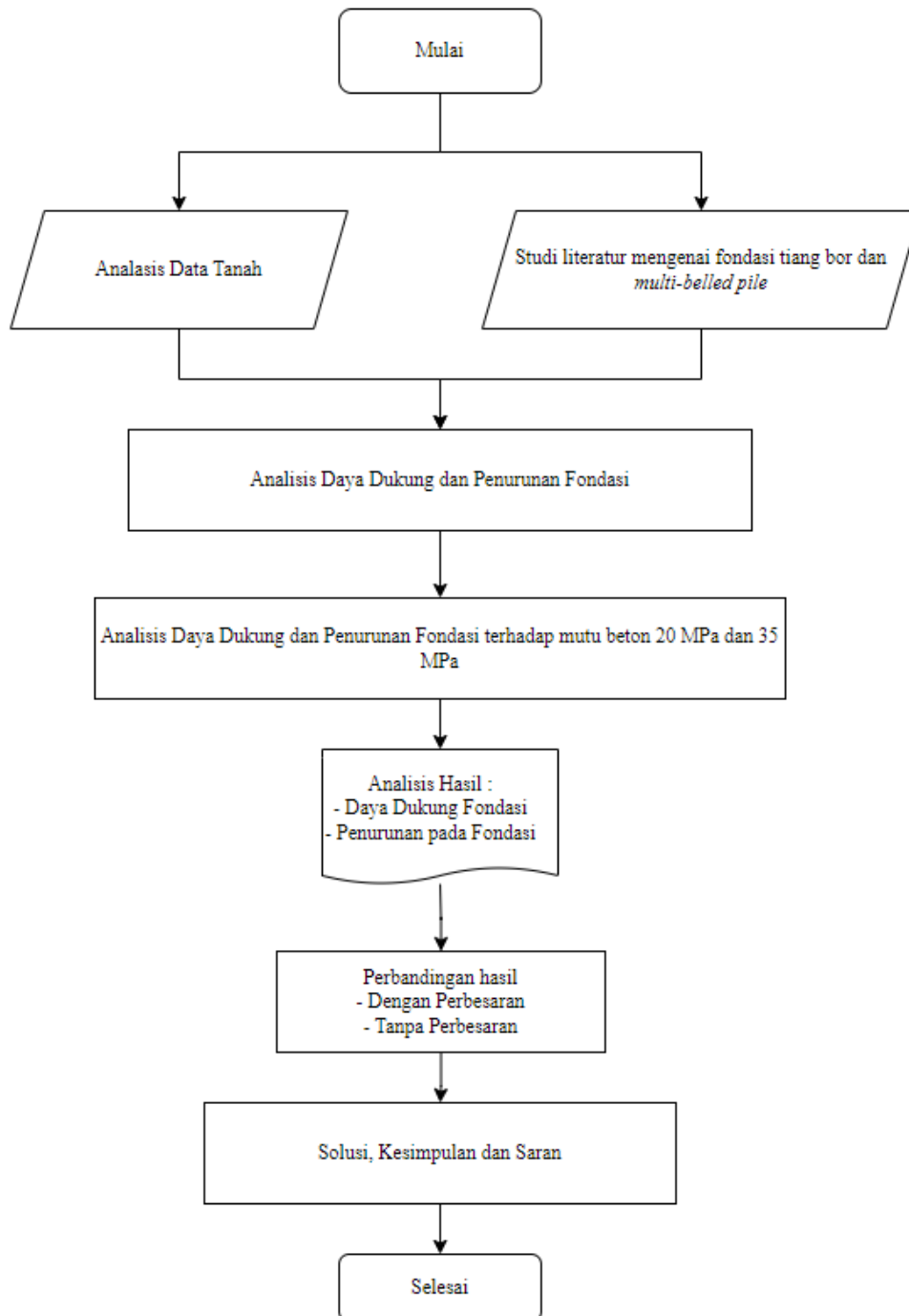
Penurunan ijin

Berdasarkan SNI 8460-2017 pasal 9.8.1, penurunan (*settlement*) tiang dibatas 25 mm untuk tiang dengan diameter maksimum 80 cm, dan 4% diameter tiang untuk tiang dengan diameter lebih dari 80 cm.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3. Untuk penjelasan diagram alir jurnal:

1. 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 dianalisis.
3. Lalu menganalisis sifat tanah, daya dukung dan penurunan fondasi. Dan menentukan parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan
4. Selanjutnya melakukan perhitungan daya dukung dan penurunan pada fondasi dengan perbesaran dan tanpa perbesaran terhadap mutu beton 20 MPa dan 35 MPa.
5. Membuat kesimpulan dan saran untuk analisis yang dilakukan.



Gambar 3. Diagram alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter tanah (Tabel 2) didapat dengan menggunakan dua titik *boring log* sedalam 30 m dari kawasan Cibitung. Pada kondisi tanah di lapangan, terdapat lapisan lensa pada kedalaman 8-14 m yang berupa tanah pasir dan 18-22 m berupa tanah lanau. Perbesaran tiang berada pada kedalaman 8 – 10 m dan 20 – 22 m.

Daya dukung fondasi

Berdasarkan data tanah yang didapat bahwa terdapat lapisan lensa pada kedalaman 8-14 m yang berupa tanah pasir, dan pada kedalaman 18-22 m yang berupa tanah lanau. Perhitungan daya dukung ujung tiang menggunakan metode O'Neill dan Reese (1999) untuk tanah lempung dan metode Berenzantev et al. (1961). Untuk daya dukung selimut tiang dihitung menggunakan metode Kulhaway dan Jackson (1989) untuk tanah lempung dan metode Reese et al.

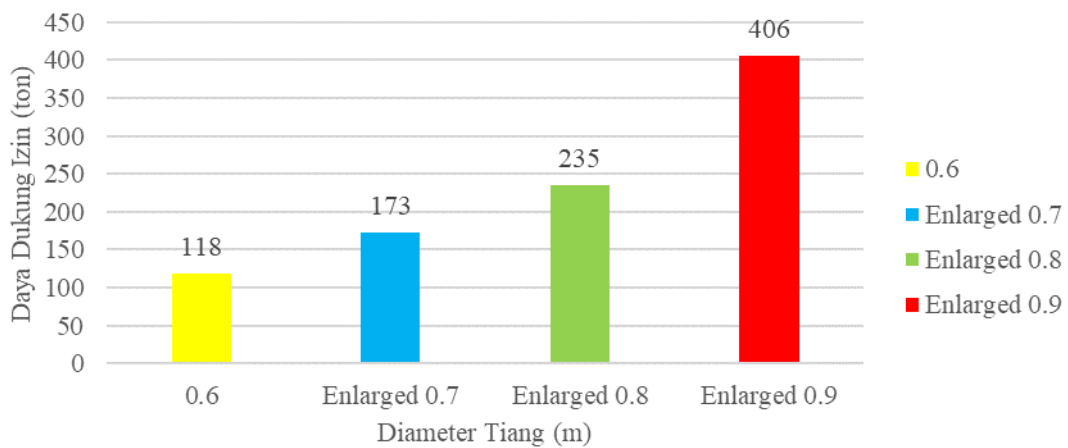
1976. Panjang tiang sedalam 30 m Perhitungan daya dukung tiang terdapat pada Tabel 3. Untuk peningkatan daya dukung fondasi dapat dilihat pada Gambar 4-5.

Tabel 2. Parameter tanah yang digunakan

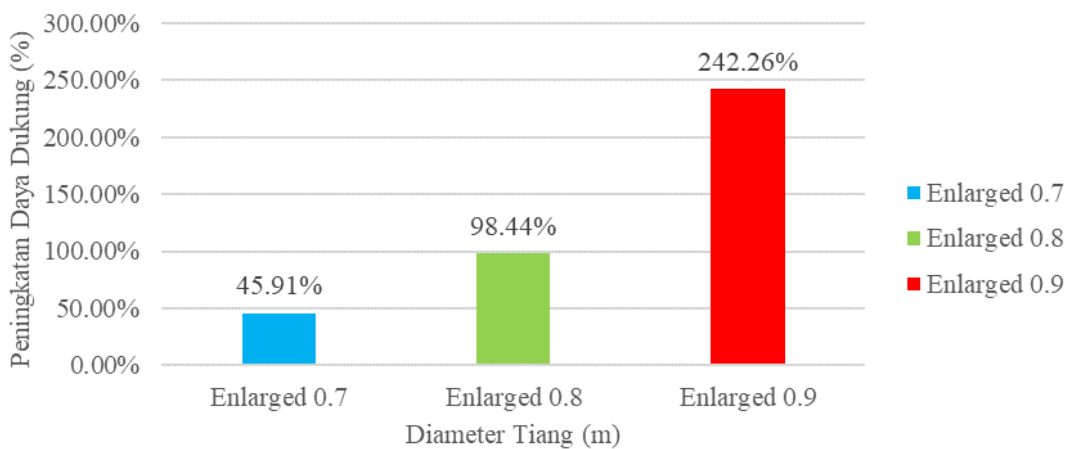
Elevasi (m)	Jenis Tanah	Konsistensi	N-SPT	γ (kN/m^3)	c_u (kPa)	ϕ'	E (MPa)	C_c	C_s	e_0
0 – 8	Clay	Lunak	4	16	30	28	4	0,52	0,11	2,4
8 – 14	Sand	Padat	60	16	360	44	20	-	-	2,4
14 – 18	Silt	Kaku	15	14	100	34	8	0,4	0,08	2,4
18 – 22	Silt	Sangat Kaku	56	14	400	52	26	0,4	0,12	2,4
22 – 30	Clay	Sangat Kaku	20	16	100	34	8	0,5	0,11	2

Tabel 3. Daya dukung fondasi

Kedalaman (m)	Diameter (m)	Q_p (ton)	Q_s (ton)	Q_p Perbesaran (ton)	Q_{ult} (ton)	Q_{all} (ton)
30	0,6	25,45	270,8	-	296,24	118,49
	Enlarged 0,7	25,45	279,46	127,34	432,25	172,9
	Enlarged 0,8	25,45	288,13	274,28	587,85	235,14
	Enlarged 0,9	25,45	296,8	691,65	1012,89	405,56



Gambar 4. Analisis daya dukung fondasi tiang bor biasa dan *multi-belled pile*



Gambar 5. Analisis persentase daya dukung *multi-belled pile* terhadap fondasi tiang bor biasa

Penurunan elastis fondasi tiang

Penurunan elastis yakni penurunan yang terjadi setelah beban bekerja pada tiang, sehingga menyebabkan tanah mengalami deformasi elastis. Perhitungan penurunan elastis dibagi menjadi tiga seperti pada Tabel 4 untuk mutu beton 20 MPa dan Tabel 5 untuk mutu beton 35 MPa.

Tabel 4. Penurunan elastis tiang dengan mutu beton 20 MPa

Kedalaman (m)	Diameter (m)	$S_{e(1)}$ (mm)	$S_{e(2)}$ (mm)	$S_{e(3)}$ (mm)	S_e (mm)
30	0,6	3,24	7,51	25,9	36,64
	<i>Enlarged 0,7</i>	2,89	13,98	1,4	18,3
	<i>Enlarged 0,8</i>	2,13	14,5	1,46	18,08
	<i>Enlarged 0,9</i>	1,66	12,68	0,57	14,91

Tabel 5. Penurunan elastis tiang dengan mutu beton 35 MPa

Kedalaman (m)	Diameter (m)	$S_{e(1)}$ (mm)	$S_{e(2)}$ (mm)	$S_{e(3)}$ (mm)	S_e (mm)
30	0.6	2,45	7,51	25,9	35,85
	<i>Enlarged 0,7</i>	2,19	13,98	1,4	17,57
	<i>Enlarged 0,8</i>	1,61	14,5	1,46	17,56
	<i>Enlarged 0,9</i>	1,25	12,68	0,57	14,5

Penurunan konsolidasi primer

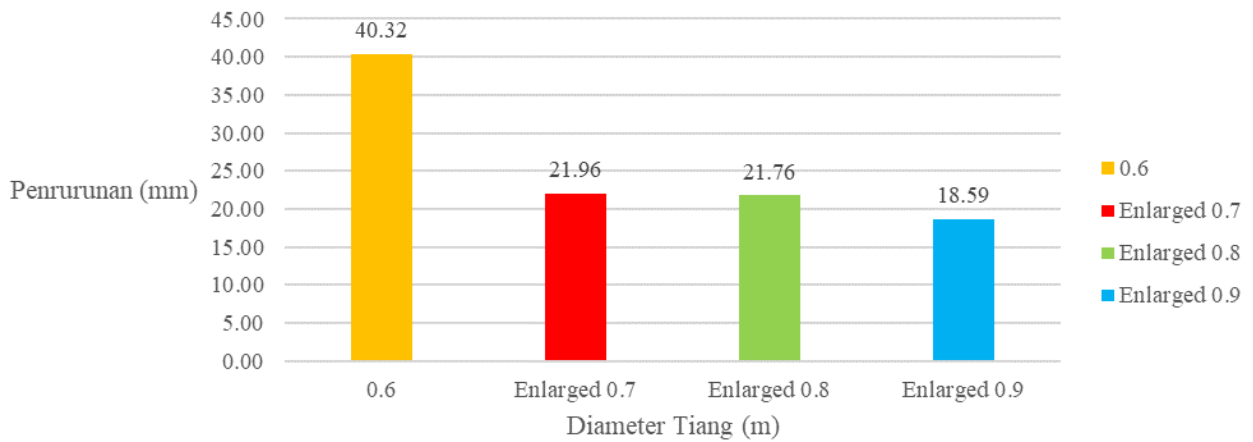
Penurunan konsolidasi primer adalah keluarnya air pori tanah karena meningkatnya tegangan yang dipengaruhi oleh beban. Proses ini akan berlangsung hingga air pori tanah dalam keadaan sebanding dengan tekanan hidrostatik disekitarnya. Beban yang digunakan sebesar 118 ton. Untuk perhitungan penurunan konsolidasi primer dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Penurunan konsolidasi primer

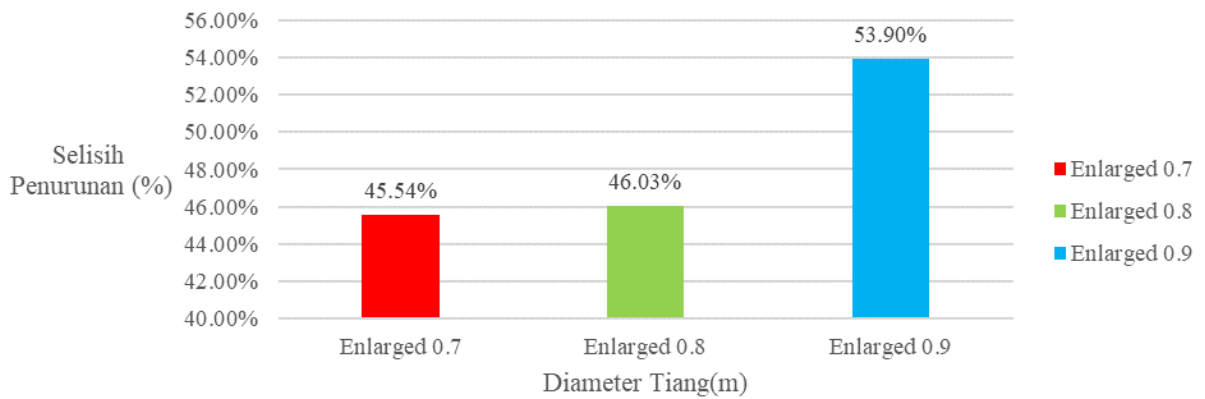
Elevasi (m)	ΔH	$\Delta\sigma$ (kN/m ²)	P'_o (kN/m ²)	$\Delta\sigma + P'_o$ (kN/m ²)	Cek	e_0	C_s	S_c (mm)	
20	22	2	4,08	180	184,1	OC	2,4	0,12	0,69
22	24	2	3,39	192	195,4	OC	2	0,11	0,56
24	26	2	2,86	204	206,9	OC	2	0,11	0,44
26	28	2	2,45	216	218,45	OC	2	0,11	0,36
28	30	2	2,12	228	230,12	OC	2	0,11	0,3
30	32	2	1,85	240	241,85	OC	2	0,11	0,25
32	34	2	1,63	252	253,63	OC	2	0,11	0,21
34	36	2	1,45	264	265,45	OC	2	0,11	0,17
36	48	2	1,29	276	277,3	OC	2	0,11	0,15
38	40	2	1,16	288	289,16	OC	2	0,11	0,13
40	42	2	1,05	300	301,05	OC	2	0,11	0,11
42	44	2	0,96	312	312,96	OC	2	0,11	0,1
44	46	2	0,87	324	324,87	OC	2	0,11	0,085
46	48	2	0,79	336	336,8	OC	2	0,11	0,08
48	50	2	0,74	348	348,74	OC	2	0,11	0,07
Total Penurunan Konsolidasi Primer									3,68

Analisis penurunan

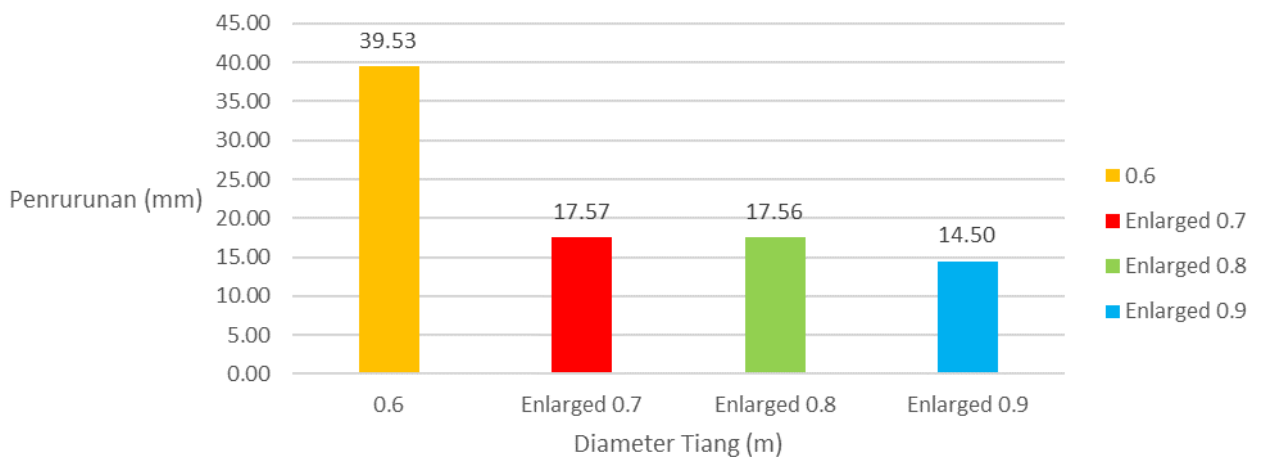
Untuk analisis penurunan dan persentase fondasi tiang bor dengan mutu beton 20 MPa dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Kemudian analisis penurunan dan persentase fondasi tiang bor dengan mutu beton 35 MPa dapat dilihat pada Gambar 8-9.



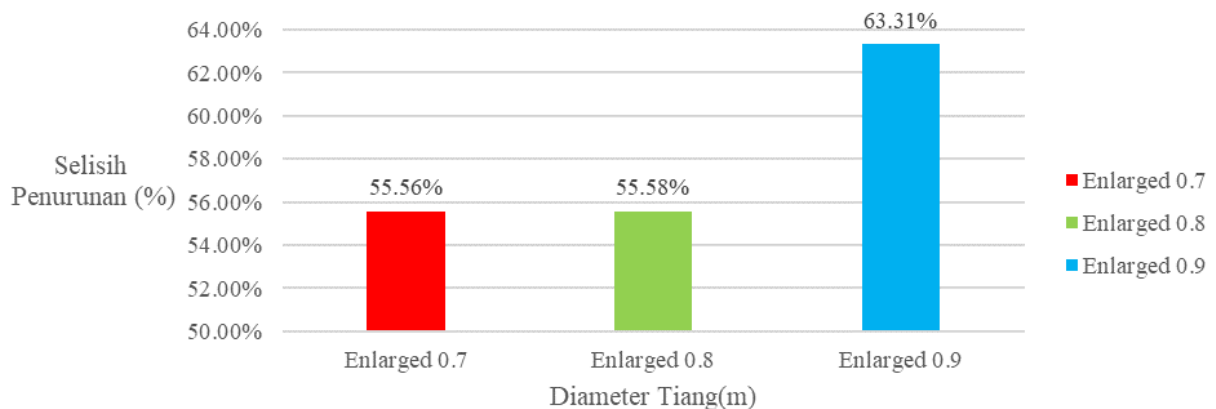
Gambar 6. Analisis penurunan tiang bor biasa dan *multi-belled pile* untuk mutu beton 20 MPa



Gambar 7. Persentase penurunan fondasi *multi-belled pile* terhadap tiang bor biasa untuk mutu beton 20 MPa



Gambar 8. Analisis penurunan tiang bor biasa dan *multi-belled pile* untuk mutu beton 35 MPa



Gambar 9. Persentase penurunan fondasi *multi-belled pile* terhadap tiang bor biasa untuk mutu beton 35 MPa

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Penggunaan *multi-belled pile* pada lapisan lensa dapat meningkatkan daya dukung fondasi tiang lebih besar dari daya dukung fondasi tiang bor biasa. Hal ini dibuktikan dengan analisis daya dukung antara *multi belled pile* perbesaran 0,9 m dengan tiang bor biasa yang meningkat sebesar 242,26%.
2. Berdasarkan hasil analisis, perbesaran diameter tiang *multi-belled pile* 0,9 m lebih efisien karena menghasilkan persentase peningkatan daya dukung yang cukup tinggi sebesar 242,26% dari daya dukung tiang bor biasa dan memiliki persentase penurunan yang berkurang banyak dari tiang bor biasa sebesar 61,42% dengan total penurunan 14,5 mm, juga memenuhi syarat penurunan fondasi tiang pada SNI 2847-2017 Pasal 9.8.1.
3. Mutu beton berpengaruh terhadap penurunan elastis yang terjadi pada fondasi tiang. Hal ini dibuktikan berdasarkan analisis penurunan pada tiang bor biasa dengan mutu beton 20 MPa sebesar 38,38 mm dan mutu beton 35 sebesar 37,59 mm.

Saran

1. Karena menggunakan *multi-belled pile*, dicoba melakukan analisis lebih lanjut untuk bagian perbesaran tiang agar mendapat dimensi yang lebih efisien untuk digunakan.
2. Melakukan analisis daya dukung *multi-belled pile* dengan *software* agar hasil yang didapat semakin akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2019) *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan* (SNI 2847:2019).
- Das, B. M. (2011). *Principles of foundation engineering* (edisi ke 7). Christopher M. Shortt.
- Fernanda, N. O., & Susilo, A. J. (2023). Analisis efisiensi tiang ujung pada fondasi tiang bor di proyek gading serpong. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(2), 301-308. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i2.21904>
- Lu, M., & Susilo, A. J. (2022). Analisis perbandingan penurunan tiang fondasi pada lapisan lensa dan lapisan tanah keras. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 5(1), 113-128. <https://doi.org/https://doi.org/10.24912/jmts.v5i1.16645>
- Septiadi, K., & Prihatiningsih, A. (2020). Studi manfaat daya dukung belled pile dan multi-belled pile. *JMTS : Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(4), 1113-1124. <https://doi.org/https://doi.org/10.24912/jmts.v3i4.8394>