

ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PADA TANAH BERBUTIR HALUS DAN TANAH BERBUTIR KASAR PADA N-SPT 30

Indah Wati¹ dan Alfred Jonathan Susilo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Indah.325180031@stu.untar.ac.id

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

Masuk: 09-09-2022, revisi: 12-10-2022, diterima untuk diterbitkan: 18-10-2022

ABSTRACT

Foundation is the lowest part of the structure that bear all the loads of the building above it. To create a solid building, the foundation must be designed and worked thorough and carefully. Standard penetration test is one of the methods used to determine the parameters of the soil where the building will be built. In designing the foundation, it is often found that the foundation is designed to reach hard soil with N-SPT = 50 even though the soil at N-SPT = 30 is also hard soil. This study aims to analyze the axial bearing capacity and the settlement of spun pile and boring pile that occur on fine-grained soils and coarse-grained soils at N-SPT = 30. This analysis is reviewed in areas in Cikarang. The methods used in calculating the bearing capacity of the spun pile are Meyerhof and Vesic. The methods used in calculating the bearing capacity of bored piles are Reese & Wright and O-Neil. The results of this study will show that the bearing capacity of coarse-grained soils are bigger than fine grained soil and the settlement of coarse-grained soils are bigger than fine coarse-grained soils

Keywords: foundation, fine-grained soil, coarse-grained soil, bearing capacity, settlement

ABSTRAK

Fondasi merupakan bagian paling bawah dari struktur yang berfungsi memikul seluruh beban bangunan yang ada di atasnya. Untuk menciptakan bangunan yang kokoh, fondasi harus dirancang dan dikerjakan dengan teliti dan hati-hati. Standard penetration test merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui parameter-parameter tanah dimana akan dibangun bangunan. Dalam mendesain fondasi, sering kali dijumpai fondasi yang dirancang hingga mencapai tanah keras dengan N-SPT = 50 walaupun tanah pada N-SPT = 30 juga merupakan tanah keras. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya dukung aksial dan penurunan fondasi tiang pancang dan tiang bor yang terjadi pada tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar pada N-SPT = 30. Analisis ini ditinjau pada daerah di Cikarang. Metode yang digunakan dalam perhitungan daya dukung *spun pile* adalah Meyerhof dan Vesic. Pada daya dukung *bored pile* digunakan metode Reese & Wright dan O-Neil & Reese. Hasil penelitian ini akan menunjukkan daya dukung pada tanah berbutir kasar memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan tanah berbutir halus dan penurunan pada tanah berbutir kasar memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan tanah berbutir halus.

Kata kunci: fondasi, tanah berbutir halus, tanah berbutir kasar, daya dukung, penurunan

1. PENDAHULUAN

Fondasi merupakan bagian paling bawah dari struktur yang berfungsi memikul seluruh beban bangunan yang ada di atasnya. Untuk menciptakan bangunan yang kokoh, fondasi harus dirancang dan dikerjakan dengan teliti dan hati-hati. *Standard penetration test* (SPT) merupakan salah satu contoh pengujian untuk perhitungan daya dukung dan potensi penurunan tanah atau sedimen yang akan dipertimbangkan dalam merancang fondasi.

SPT memiliki berbagai kelebihan, yaitu: mengidentifikasi jenis tanah secara visual, parameter tanah didapatkan dengan korelasi empiris, proses yang cepat, dan sederhana sehingga biaya lebih murah. Namun, SPT memiliki berbagai kelemahan, yaitu: pengeboran tidak baik, tinggi jatuh *hammer* bervariasi, nilai N-SPT yang berbeda pada tanah yang memiliki kepadatan yang sama akibat tekanan tanah (*overburden pressure*), dll. Kekurangan dalam SPT ini dapat berpengaruh pada parameter tanah yang didapatkan dari korelasi empiris yang dapat menyebabkan kesalahan desain pada suatu struktur.

Jr et al. (2011) meneliti tentang cara mengembangkan produktivitas proyek pembangunan jembatan di rural Florida yang mengalami keterlambatan akibat struktur yang dirancang dengan elevasi yang rendah di tempat yang rawan banjir dan kondisi situs yang tidak terduga berupa lapisan tanah lempung semen (*cementitious clay*) yang lebih tebal dari yang diperkirakan. (Orlando & Sentosa, 2021) melakukan studi kasus kemiringan gedung 4 lantai akibat perbedaan tanah pada bagian kiri dan kanan. Tanah pada bagian kiri bangunan lebih lembut dari bagian kanan, sehingga pada tahap pembangunan terjadi pergerakan pada tanah yang mengakibatkan kemiringan bangunan.

Sering kali dijumpai fondasi yang dirancang hingga mencapai tanah keras dengan $N = 50$ walaupun tanah pada $N = 30$ juga merupakan tanah keras. Adriani (2013) melakukan penelitian analisa daya dukung pada 4 lokasi di kabupaten bengkayang. Fondasi tiang di lokasi *Chimney* dirancang dengan kedalaman 17 m hingga menyentuh tanah keras $N = 55$ padahal pada kedalaman 14 m sudah dijumpai tanah keras dengan $N = 30$ dan di lokasi *Boiler* dirancang dengan kedalaman 16 m hingga menyentuh tanah keras $N = 55$ padahal pada kedalaman 12 m sudah dijumpai tanah keras dengan $N = 40$. Christiani & Kawanda (2019) melakukan analisis daya dukung fondasi tunggal pada proyek di Jakarta. Fondasi pada proyek ini dirancang hingga kedalaman 21 meter hingga menyentuh tanah keras $N = 55$ padahal pada kedalaman 17 m sudah dijumpai tanah keras dengan $N = 30$. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap penurunan fondasi yang terjadi pada tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar pada N-SPT = 30 untuk mengetahui jenis tanah yang mengalami penurunan lebih besar.

Daya dukung

Daya dukung adalah kemampuan tanah dalam menahan beban konstruksi. Fondasi tiang harus dapat memikul beban yang diberikan dan disalurkan ke tanah. Untuk itu fondasi tiang harus memiliki daya dukung yang kuat berupa kombinasi dari daya dukung ujung dan daya dukung selimut tiang yang dapat dilihat dari persamaan (1) berikut menurut Hakam (2008).

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (1)$$

dengan Q_u = daya dukung ultimate, Q_p = daya dukung ujung, dan Q_s = daya dukung selimut

Untuk menghindari terjadinya keruntuhan pada suatu struktur, dibutuhkan nilai daya dukung izin (Q_{all}) yang dinyatakan dalam persamaan (2) berikut menurut Hardiyatmo (2018).

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (2)$$

dengan Q_{all} = daya dukung izin dan $SF = safety\ factor = 2,5$

Daya dukung ujung metode Meyerhof (Das, 2014)

Meyerhof merumuskan daya dukung ujung tiang pancang sebagai berikut:

$$Q_p = 9c_u A_p \text{ tanah kohesif} \quad (3)$$

$$Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p 0,5 p_a N_q^* \tan \phi' \text{ tanah non-kohesif} \quad (4)$$

dengan c_u = kohesi *undrained*, A_p = luas penampang ujung tiang, q' = tegangan efektif vertikal tanah, p_a = tekanan atmosfer (100 kN/m^2), N_q^* = faktor daya dukung, dan ϕ' = sudut geser efektif

Daya dukung ujung metode Vesic (Das, 2014)

Vesic merumuskan daya dukung ujung tiang pancang sebagai berikut.

$$Q_p = A_p c_u N_c^* \text{ tanah kohesif} \quad (5)$$

$$N_c^* = \frac{4}{3} (\ln I_{rr} + 1) + \frac{\pi}{2} + 1 \quad (6)$$

$$I_{rr} = 347 \left(\frac{c_u}{p_a} \right) - 33 \quad (7)$$

$$Q_p = A_p \bar{\sigma}_o' N_o^* \text{ tanah non-kohesif} \quad (8)$$

$$\bar{\sigma}_o' = \frac{(1 + 2 K_o) q'}{3} \quad (9)$$

$$K_o = 1 - \sin \phi' \quad (10)$$

$$E_s = m \times p_a \quad (11)$$

$$\mu_s = 0,1 + 0,3 \left(\frac{\phi' - 25}{20} \right) \quad (\text{untuk } 25^\circ \leq \phi' \leq 45^\circ) \quad (12)$$

$$\Delta = 0,005 \left(1 - \frac{\phi' - 25}{20} \right) \left(\frac{q'}{p_a} \right) \quad (13)$$

$$I_r = \frac{E_s}{2(1+\mu_s)q' \tan \phi'} \quad (14)$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1+I_r \Delta} \quad (15)$$

dengan I_{rr} = rigidity index, $\bar{\sigma}'_o$ = tegangan efektif vertikal rata-rata, N^*_σ = faktor kapasitas daya dukung, dan m = 100-200 (*loose soil*), 200-500 (*medium dense soil*), dan 500-1000 (*dense soil*)

Daya dukung ujung metode Reese & Wright (Rahardjo, 2013)

Reese & Wright merumuskan daya dukung ujung tiang bor sebagai berikut:

$$Q_p = 9c_u A_p \text{ tanah kohesif} \quad (16)$$

$$Q_p = q_p A_p \text{ tanah non-kohesif} \quad (17)$$

dengan q_p = tahanan ujung ultimit

Daya dukung ujung metode O'Neil & Reese (Rahardjo, 2013)

O'Neil & Reese merumuskan daya dukung ujung tiang bor sebagai berikut:

$$Q_p = A_p N^*_c c_u \text{ jika } c_u < 96 \text{ kPa tanah kohesif} \quad (18)$$

$$Q_p = 9c_u A_p \text{ jika } c_u \geq 96 \text{ kPa tanah kohesif} \quad (19)$$

$$Q_p = 57,5 \times N_{60} \times A_p \leq 2900 \text{ MPa tanah non-kohesif} \quad (20)$$

dengan N_{60} = nilai N-SPT terkoreksi

Daya dukung selimut tiang pancang

Untuk menghitung daya dukung selimut tiang pancang digunakan metode-metode sebagai berikut.

$$Q_s = \Sigma f p \Delta L \quad (21)$$

Tanah kohesif

Metode α (Das, 2014)

$$f = \alpha c_u \quad (22)$$

Metode λ (Das, 2014)

$$f = \lambda (\bar{\sigma}'_o + 2c_u) \quad (23)$$

$$\bar{\sigma}'_o = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots}{L} \quad (24)$$

$$c_u = \frac{c_{u(1)} + c_{u(2)} + c_{u(3)}}{L} \quad (25)$$

Metode β (Das, 2014)

$$f = \beta \sigma'_o \quad (26)$$

$$\beta = K \tan \phi'_R \quad (27)$$

$$K = 1 - \sin \phi'_R \text{ untuk tanah } \textit{normally consolidated} \quad (28)$$

$$K = (1 - \sin \phi'_R) \sqrt{OCR} \text{ untuk tanah } \textit{overconsolidated} \quad (29)$$

Coyle & Castello (Rahardjo, 2013) merumuskan daya dukung selimut tiang pancang untuk tanah non-kohesif sebagai berikut.

$$f = K \sigma'_o \tan(0,8 \phi') \quad (30)$$

Daya dukung selimut metode Reese & Wright (Rahardjo, 2013)

Reese & Wright merumuskan daya dukung selimut tiang bor sebagai berikut.

1. Tanah kohesif

$$Q_s = \Sigma c_u \alpha p \Delta l \quad (31)$$

2. Tanah non-kohesif

$$Q_s = 0,32 \times N \times p \times \Delta l \text{ untuk N-SPT} < 53 \quad (32)$$

$$Q_s = \frac{N-35}{450} \times \frac{1}{0,3048} \times p \times \Delta l \text{ untuk N-SPT} \geq 53 \quad (33)$$

Penurunan

Penurunan total adalah penjumlahan dari penurunan seketika, penurunan konsolidasi primer, dan penurunan konsolidasi sekunder yang di rumuskan sebagai berikut:

$$S_{tot} = S_i + S_c + S_s \quad (34)$$

dengan S_{tot} = penurunan total, S_i = penurunan seketika, S_c = penurunan konsolidasi primer, dan S_s = penurunan konsolidasi sekunder

Penurunan elastis (Das, 2014)

Penurunan seketika yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air, tanpa adanya perubahan kadar air. Biasanya penurunan ini banyak terjadi pada tanah granuler, sedangkan untuk tanah berbutir kasar lebih didominasi penurunan konsolidasi.

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \quad (35)$$

1. Penurunan elastis tiang ($S_{e(1)}$)

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \quad (36)$$

2. Penurunan tiang akibat beban pada ujung tiang ($S_{e(2)}$)

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (37)$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p} \quad (38)$$

3. Penurunan tiang akibat gesekan selimut sepanjang tiang ($S_{e(3)}$)

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \left(\frac{D}{E_s} \right) (1 - \mu_s^2) I_{ws} \quad (39)$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (40)$$

Untuk menghitung penurunan kelompok tiang digunakan rumus sebagai berikut.

$$S_g = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e \quad (41)$$

dengan Q_{wp} = Beban terpikul pada ujung tiang pada saat dibebani, Q_{ws} = Beban terpikul pada selimut tiang pada saat dibebani, E_p = modulus elastisitas material tiang, $\xi = 0,5-0,67$, q_{wp} = point load per unit luasan pada ujung tiang, E_s = modulus elastisitas tanah dibawah ujung tiang, p = keliling tiang, L = panjang tiang, dan S_g = penurunan elastis tiang kelompok

Penurunan konsolidasi primer

Penurunan konsolidasi terjadi dari waktu ke waktu pada tanah lempung jenuh yang mendapatkan peningkatan beban yang disebabkan konstruksi fondasi. Penambahan tegangan total ($\Delta\sigma$) terjadi akibat tegangan efektif dan tegangan air pori. Terdapat 3 konsolidasi yang terjadi pada tanah berdasarkan riwayat geologis dan sejarah tegangan pada tanah.

1. *Normally consolidated* ($OCR = 1$)

$$S_c = \frac{c_s H}{1+e_0} \log \frac{\sigma_1'}{\sigma_0} \text{ untuk } \sigma_0 = \sigma_c' \quad (42)$$

2. *Overconsolidated* ($OCR > 1$)

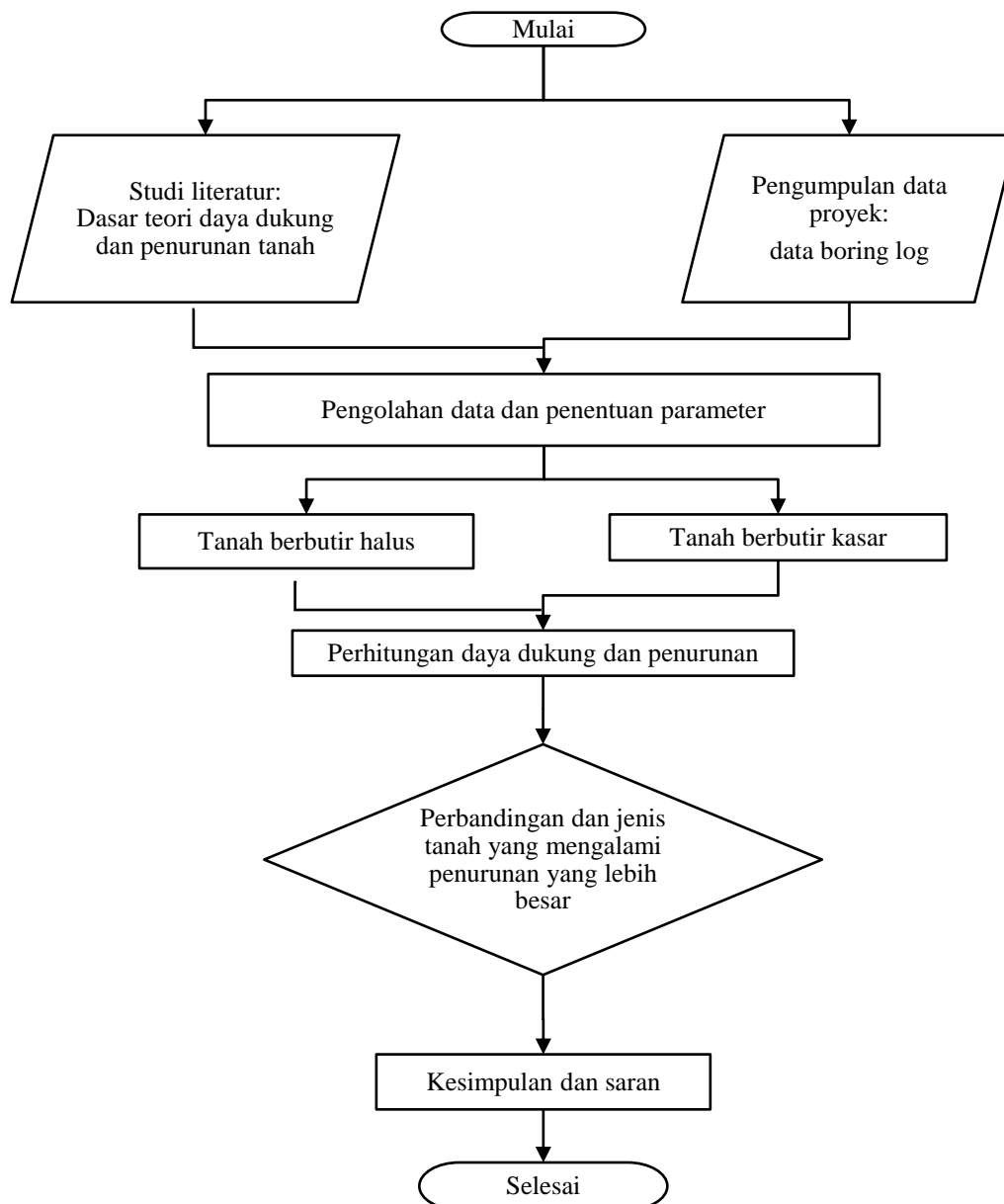
$$S_c = \frac{c_s H}{1+e_0} \log \frac{\sigma_1'}{\sigma_o'} \text{ untuk } \sigma_0 + \Delta\sigma' < \sigma_c' \text{ (OC1)} \quad (43)$$

$$S_c = \frac{c_s H}{1+e_0} \log \frac{\sigma_c'}{\sigma_0} + \frac{c_s H}{1+e_0} \log \frac{\sigma_1'}{\sigma_c'} \text{ untuk } \sigma_0 + \Delta\sigma' > \sigma_c' \text{ (OC2)} \quad (44)$$

3. *Underconsolidated* ($OCR < 1$), dimana tegangan efektif *overburden* yang dialami tidak mencapai maksimum, sehingga konsolidasi dapat berlangsung pada saat sampai tanah diambil.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 4.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini dilakukan secara urut sebagai berikut:

1. Menentukan topik dari penelitian yang akan dianalisis.
2. Melakukan studi literatur dengan mencari dan mengumpulkan dasar teori dan rumus-rumus dari buku literatur, jurnal, artikel, dan *website* yang digunakan untuk menganalisis tanah berbutir halus, tanah berbutir kasar, daya dukung tanah, fondasi dalam, dan penurunan tanah.
3. Mencari dan mengolah data tanah serta menentukan parameter tanah yang dibutuhkan dalam analisis penelitian ini.
4. Menghitung kapasitas daya dukung dan penurunan tanah.
5. Menentukan jenis tanah yang mengalami penurunan lebih besar.
6. Membuat kesimpulan dan saran dari hasil analisis skripsi agar dapat bermanfaat bagi orang-orang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data tanah berupa dua titik *boring log* yang diolah menggunakan korelasi rumus empiris yang ada sehingga menghasilkan parameter tanah yang dibutuhkan yang disusun pada Tabel 1 untuk perhitungan tanah berbutir halus pada N-SPT 30 dan Tabel 2 untuk perhitungan tanah berbutir kasar pada N-SPT 30 sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter tanah berbutir halus pada N-SPT 30 (parameter 1)

Elevasi (m)		Jenis Tanah	Konsistensi	N- SPT	γ_{sat} (kN /m ³)	ϕ' ($^{\circ}$)	e_0	E_u (Mpa)	C_c	C_s	P'c (kN/m ²)
0,0	5,8	clayey silt	very stiff	14	19	31	0,60	50	0,25	0,09	619,49
5,8	6,1	clayey silt	very stiff	30	19	35	0,60	90	0,25	0,09	1341,98
6,1	7,1	clayey silt	very stiff	30	19	35	0,60	90	0,25	0,09	1324,81
7,1	7,6	clayey silt	medium	5	18	28	0,80	21	0,44	0,13	141,69
7,6	9,5	sand	loose	11	18	30	0,80	11	0,20	0,11	366,29
9,5	11,7	silty sand	loose	4	18	28	0,65	11	0,14	0,09	100,45
11,7	12,4	silty sand	medium dense	9	19	29	0,60	17	0,12	0,08	271,03
12,4	14,5	silty sand	medium dense	7	19	29	0,60	17	0,12	0,08	194,29
14,5	17,0	silty sand	very loose	1	18	24	0,65	10,5	0,14	0,09	16,64
17,0	21,0	silty clay	very soft	0	17	5	2,06	5	0,77	0,30	0,00
21,0	23,0	silty clay	very soft	0	17	1	2,36	5	0,95	0,35	0,00
23,0	25,0	silty clay	very soft	0	17	3	1,95	5	0,75	0,29	0,00
25,0	28,5	silty clay	medium	5	18	28	0,80	21	0,22	0,11	114,05
28,5	28,8	silty clay	very stiff	10	21	30	0,60	50	0,16	0,09	266,32
28,8	30,6	silty clay	very stiff	11	21	30	0,60	50	0,16	0,09	297,15

Tabel 2. Parameter tanah berbutir kasar pada N-SPT 30 (parameter 2)

Elevasi (m)		Jenis Tanah	Konsistensi	N- SPT	γ_{sat} (kN /m ³)	ϕ' ($^{\circ}$)	e_0	E_u (Mpa)	C_c	C_s	P'_c (kN/m ²)
0,0	5,8	clayey silt	very stiff	14	19	31	0,60	50	0,25	0,09	619,49
5,8	6,1	Sand	dense	30	18	36	0,80	35	0,13	0,11	1341,98

Tabel 3 (lanjutan). Parameter tanah berbutir kasar pada N-SPT 30 (parameter 2)

Elevasi (m)		Jenis Tanah	Konsistensi	N- SPT	γ_{sat} (kN /m ³)	ϕ' ($^{\circ}$)	e ₀	E _u (Mpa)	C _c	C _s	P' _c (kN/m ²)
6,1	7,1	Sand	dense	30	18	36	0,80	35	0,13	0,11	1324,81
7,1	7,6	clayey silt	medium	5	18	29	0,80	21	0,44	0,13	141,69
7,6	9,5	Sand	loose	11	18	30	0,80	11	0,20	0,11	366,29
9,5	11,7	silty sand	loose	4	18	28	0,65	11	0,14	0,09	100,45
11,7	12,4	silty sand	medium dense	9	19	30	0,60	17	0,12	0,08	271,03
12,4	14,5	silty sand	medium dense	7	19	29	0,60	17	0,12	0,08	194,29
14,5	17,0	silty sand	very loose	1	18	24	0,65	10,5	0,14	0,09	16,64
17,0	21,0	silty clay	very soft	0	17	5	2,06	5	0,77	0,30	0,00
21,0	23,0	silty clay	very soft	0	17	1	2,36	5	0,95	0,35	0,00
23,0	25,0	silty clay	very soft	0	17	3	1,95	5	0,75	0,29	0,00
25,0	28,5	silty clay	medium	5	18	29	0,80	21	0,22	0,11	114,05
28,5	28,8	silty clay	very stiff	10	21	30	0,60	50	0,16	0,09	266,32
28,8	30,5	silty clay	very stiff	11	21	30	0,60	50	0,16	0,09	297,15

Spesifikasi fondasi

Spesifikasi fondasi yang digunakan sebagai berikut.

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

$$A_p = \pi r^2 = 0,28 \text{ m}^2$$

$$p = \pi D = 1,89 \text{ m}$$

Tanah berbutir halus

Perhitungan daya dukung dilakukan berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan dan diperoleh besar daya dukung tiang tunggal pada Tabel 5 dan daya dukung tiang kelompok (n = 4 dan 9) pada Tabel 6.

Tabel 4. Daya dukung ujung

Fondai Tiang	Metode	Q _p (Ton)
Pancang	Meyerhof	46,69
	Vesic	64,41
Bor	Reese & Wright	46,69
	O'Neil & Reese	46,69

Tabel 5. Daya dukung selimut tiang

Fondai Tiang	Metode	Q _s (Ton)
Pancang	α	51,54
	λ	70,74
	β	63,34
Bor	Reese & Wright	55,29

Tabel 6. Daya Dukung Tiang Tunggal

Tiang Tunggal	Q_p (Ton)	Q_s (Ton)	Q_u (Ton)	Q_{all} (ton)
Pancang	46,69	51,54	98,24	38,00
Bor	46,69	55,29	101,98	40,00

Tabel 7. Daya dukung tiang kelompok

Tiang	Jumlah Tiang	Q_{u1} (kN)	Q_{u2} (kN)	$Q_{u \text{ group}}$ (kN)	$Q_{all \text{ group}}$	
					(kN)	(Ton)
Pancang	4	3.854,76	11.300,94	3.854,76	1.541,90	156
	9	6.673,20	26.663,04	6.673,20	3.469,28	353
Bor	4	4.001,84	11.300,94	4.001,84	1.600,73	162
	9	9.004,13	26.663,04	9.004,13	3.601,65	367

Penurunan elastis

Berikut Tabel 7 merupakan penurunan elastis tiang tunggal dan kelompok ($n = 4$ dan 9) yang terjadi.

Tabel 8. Penurunan elastis tiang pada parameter 1

Tiang		$S_{e(1)}$ (cm)	$S_{e(2)}$ (cm)	$S_{e(3)}$ (cm)	S_e (cm)	S_g (cm)
Tunggal		0,05	0,74	0,08	0,87	
Pancang	Kelompok ($n = 4$)	0,03	0,37	0,04	0,44	0,82
	Kelompok ($n = 9$)	0,03	0,33	0,04	0,40	0,98
Tunggal		0,05	0,72	0,08	0,85	
Bor	Kelompok ($n = 4$)	0,04	0,36	0,04	0,44	0,82
	Kelompok ($n = 9$)	0,04	0,32	0,04	0,40	0,98

Penurunan konsolidasi primer

Berikut Tabel 8, Tabel 9, dan Tabel 10 merupakan penurunan konsolidasi primer pada tiang tunggal dan kelompok ($n = 4$ dan 9).

Tabel 9. Penurunan konsolidasi primer tiang tunggal pada parameter 1

Kedalaman (m)	H (m)	z (m)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	σ'_o (kN/m ²)	σ'_1 (kN/m ²)	σ'_c (kN/m ²)	Sifat	S _p (m)	
4	5,8	1,8	4,9	18,39	110,20	128,59	619,49	OC1	0,0069
5,8	6,1	0,3	5,95	14,15	115,90	130,05	1341,98	OC1	0,0009
6,1	7,1	1	6,6	12,22	125,09	137,31	1324,81	OC1	0,0023
7,1	7,6	0,5	7,35	10,45	129,19	139,64	141,69	OC1	0,0012
7,6	9,5				PASIR				0
9,5	11,7				PASIR				0
11,7	12,4				PASIR				0
12,4	14,5				PASIR				0
14,5	17				PASIR				0
17	21	4	19	2,22	237,73	239,95	0,00	NC	0,0040
21	23	2	22	1,71	252,11	253,82	0,00	NC	0,0017

Tabel 10 (lanjutan). Penurunan konsolidasi primer tiang tunggal pada parameter 1

Kedalaman (m)	H (m)	z (m)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	σ'_{o} (kN/m ²)	σ'_{l} (kN/m ²)	σ'_{c} (kN/m ²)	Sifat	S _p (m)	
23	25	2	24	1,46	266,49	267,95	0,00	NC	0,0012
25	28,5	3,5	26,75	1,20	295,16	296,36	114,05	NC	0,0008
28,5	28,8	0,3	28,65	1,06	298,51	299,57	266,32	NC	0,00005
28,8	30,6	1,8	29,7	0,99	318,66	319,65	297,15	NC	0,0002
ΣS _p									0,0191

Tabel 11. Penurunan konsolidasi primer tiang kelompok (n = 4) pada parameter 1

Kedalaman (m)	H (m)	z (m)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	σ'_o (kN/m ²)	σ'_1 (kN/m ²)	σ'_c (kN/m ²)	Sifat	S _p (m)	
4	5,8	1,8	4,9	25,55	110,20	135,75	619,49	OC1	0,0093
5,8	6,1	0,3	5,95	20,49	115,90	136,39	1341,98	OC1	0,0012
6,1	7,1	1	6,6	18,07	125,09	143,16	1324,81	OC1	0,0033
7,1	7,6	0,5	7,35	15,78	129,19	144,97	141,69	NC	0,0061
7,6	9,5				PASIR				0
9,5	11,7				PASIR				0
11,7	12,4				PASIR				0
12,4	14,5				PASIR				0
14,5	17				PASIR				0
17	21	4	19	3,88	237,73	241,61	0,00	NC	0,0070
21	23	2	22	3,04	252,11	255,15	0,00	NC	0,0029
23	25	2	24	2,62	266,49	269,11	0,00	NC	0,0021
25	28,5	3,5	26,75	2,17	295,16	297,33	114,05	NC	0,0014
28,5	28,8	0,3	28,65	1,93	298,51	300,44	266,32	NC	0,0001
28,8	30,6	1,8	29,7	1,81	318,66	320,47	297,15	NC	0,0004
ΣSp									0,0339

Tabel 12. Penurunan konsolidasi primer tiang kelompok (n = 9) pada parameter 1

Kedalaman (m)	H (m)	z (m)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	$\sigma'o$ (kN/m ²)	$\sigma'l$ (kN/m ²)	$\sigma'c$ (kN/m ²)	Sifat	Sp (m)	
4	5,8	1,8	4,9	37,54	110,20	147,74	619,49	OC1	0,0130
5,8	6,1	0,3	5,95	31,02	115,90	146,92	1341,98	OC1	0,0018
6,1	7,1	1	6,6	27,81	125,09	152,90	1324,81	OC1	0,0050
7,1	7,6	0,5	7,35	24,68	129,19	153,86	141,69	NC	0,0092
7,6	9,5				PASIR				0
9,5	11,7				PASIR				0
11,7	12,4				PASIR				0
12,4	14,5				PASIR				0
14,5	17				PASIR				0
17	21	4	19	6,84	237,73	244,57	0,00	NC	0,0124
21	23	2	22	5,43	252,11	257,54	0,00	NC	0,0052
23	25	2	24	4,72	266,49	271,21	0,00	NC	0,0039

Tabel 13 (lanjutan). Penurunan konsolidasi primer tiang kelompok (n = 9) pada parameter 1

Kedalaman (m)		H (m)	z (m)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	$\sigma'o$ (kN/m ²)	$\sigma'l$ (kN/m ²)	$\sigma'c$ (kN/m ²)	Sifat	Sp (m)
25	28,5	3,5	26,75	3,95	295,16	299,11	114,05	NC	0,0025
28,5	28,8	0,3	28,65	3,53	298,51	302,04	266,32	NC	0,0001
28,8	30,6	1,8	29,7	3,32	318,66	321,98	297,15	NC	0,0008
ΣSp									0,0538

Tanah berbutir kasar

Perhitungan daya dukung dilakukan berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan dan diperoleh besar daya dukung tiang tunggal pada Tabel 13 dan daya dukung tiang kelompok (n = 4 dan 9) pada Tabel 15.

Tabel 14. Daya dukung ujung tiang tunggal

Fondasi Tiang	Metode	Q_p (Ton)
Pancang	Meyerhof	175,90
	Vesic	325,03
Bor	Reese & Wright	56,55
	O'Neil & Reese	49,72

Tabel 15. Daya dukung selimut tiang tunggal

Fondasi Tiang	Metode	Q_s (Ton)
Pancang	Coyle & Castelo	53,48
Bor	Reese & Wright	55,60

Tabel 16. Daya dukung tiang tunggal

Tiang Tunggal	Q_p (Ton)	Q_s (Ton)	Q_u (Ton)	Q_{all} (ton)
pancang	175,90	53,48	229,38	91,00
bor	49,72	55,11	104,82	41,00

Tabel 17. Efisiensi tiang kelompok

Jumlah Tiang	Sederhana	Los Angeles	Seiler- Keeney	Converse- Labarre	E_g
4	6,32	0,83	0,85	0,76	0,76
9	12,14	0,75	0,78	0,68	0,68

Tabel 18. Daya dukung tiang kelompok

Fondasi Tiang	Jumlah Tiang	$Q_{u \text{ group}}$ (kN)	$Q_{all \text{ group}}$ (Ton)
Pancang	4	7.234,82	294
	9	15.005,25	611
Bor	4	3.606,32	147
	9	7.733,99	315

Penurunan elastis

Berikut Tabel 16 merupakan penurunan elastis fondasi tiang tunggal dan tiang kelompok (n = 4 dan 9).

Tabel 19. Penurunan elastis pada parameter 2

	Tiang	$S_{e(1)}$ (cm)	$S_{e(2)}$ (cm)	$S_{e(3)}$ (cm)	S_e (cm)	S_g (cm)
	Tunggal	0,06	2,56	0,18	2,79	
Pancang	Kelompok (n = 4)	0,03	1,62	0,06	1,71	3,20
	Kelompok (n = 9)	0,03	1,40	0,06	1,49	3,65
	Tunggal	0,05	2,14	0,22	2,41	
Bor	Kelompok (n = 4)	0,04	0,92	0,13	1,09	2,04
	Kelompok (n = 9)	0,04	0,77	0,12	0,93	2,28

Penurunan konsolidasi primer

Berikut Tabel 17, Tabel 18, dan Tabel 19 merupakan besar penurunan konsolidasi primer tiang tunggal dan kelompok (n = 4 dan 9) yang terjadi pada tanah berbutir kasar.

Tabel 20. Penurunan konsolidasi primer tiang tunggal pada parameter 2

Kedalaman (m)	H (m)	z (m)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	σ'_o (kN/m ²)	σ'_1 (kN/m ²)	σ'_c (kN/m ²)	Sifat	S _p (m)	
4	5,8	1,8	4,9	18,39	110,20	128,59	619,49	OC1	0,0065
5,8	7,1				PASIR				0
7,1	7,6	0,5	7,35	10,45	122,09	132,54	142,84	OC1	0,0012
7,6	9,5				PASIR				0
9,5	11,7				PASIR				0
11,7	12,4				PASIR				0
12,4	14,5				PASIR				0
14,5	17				PASIR				0
17	21	4	19	2,22	230,63	232,85	0,00	NC	0,0042
21	23	2	22	1,71	245,01	246,72	0,00	NC	0,0017
23	25	2	24	1,46	259,39	260,85	0,00	NC	0,0012
25	28,5	3,5	26,75	1,20	288,06	289,26	114,44	NC	0,0008
28,5	28,8	0,3	28,65	1,06	291,41	292,47	267,15	NC	0,00005
28,8	30,6	1,8	29,7	0,99	311,56	312,55	298,18	NC	0,0002
ΣSp									0,0159

Tabel 21. Penurunan konsolidasi primer tiang kelompok (n = 4) pada parameter 2

Kedalaman (m)	H (m)	z (m)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	σ'_o (kN/m ²)	σ'_1 (kN/m ²)	σ'_c (kN/m ²)	Sifat	S _p (m)	
4	5,8	1,8	4,9	25,55	110,20	135,75	619,49	OC1	0,0088
5,8	7,1				PASIR				0
7,1	7,6	0,5	7,35	15,78	122,09	137,87	142,84	OC1	0,0018
7,6	9,5				PASIR				0
9,5	11,7				PASIR				0
11,7	12,4				PASIR				0
12,4	14,5				PASIR				0
14,5	17				PASIR				0
17	21	4	19	3,88	230,63	234,51	0,00	NC	0,0073

Tabel 22 (lanjutan). Penurunan konsolidasi primer tiang kelompok (n = 4) pada parameter 2

Kedalaman (m)	H (m)	z (m)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	σ'_{o} (kN/m ²)	σ'_{1} (kN/m ²)	σ'_{c} (kN/m ²)	Sifat	S _p (m)	
21	23	2	22	3,04	245,01	248,05	0,00	NC	0,0030
23	25	2	24	2,62	259,39	262,01	0,00	NC	0,0022
25	28,5	3,5	26,75	2,17	288,06	290,23	114,44	NC	0,0014
28,5	28,8	0,3	28,65	1,93	291,41	293,34	267,15	NC	0,0001
28,8	30,6	1,8	29,7	1,81	311,56	313,37	298,18	NC	0,0004
ΣSp									0,0251

Tabel 23. Penurunan konsolidasi primer tiang kelompok (n = 9) pada parameter 2

Kedalaman (m)	H (m)	z (m)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	σ'_o (kN/m ²)	σ'_1 (kN/m ²)	σ'_c (kN/m ²)	Sifat	S _p (m)	
4	5,8	1,8	4,9	37,54	110,20	147,74	619,49	OC1	0,0124
5,8	7,1				PASIR				0
7,1	7,6	0,5	7,35	24,68	122,09	146,76	142,84	NC	0,0097
7,6	9,5				PASIR				0
9,5	11,7				PASIR				0
11,7	12,4				PASIR				0
12,4	14,5				PASIR				0
14,5	17				PASIR				0
17	21	4	19	6,84	230,63	237,47	0,00	NC	0,0127
21	23	2	22	5,43	245,01	250,44	0,00	NC	0,0054
23	25	2	24	4,72	259,39	264,11	0,00	NC	0,0040
25	28,5	3,5	26,75	3,95	288,06	292,01	114,44	NC	0,0025
28,5	28,8	0,3	28,65	3,53	291,41	294,94	267,15	NC	0,0002
28,8	30,6	1,8	29,7	3,32	311,56	314,88	298,18	NC	0,0008
ΣS_p									0,0477

Berikut Tabel 20 merupakan perbandingan antara daya dukung tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar pada N-SPT 30 dengan presentase perbandingan daya dukung.

Tabel 24. *Summary* daya dukung

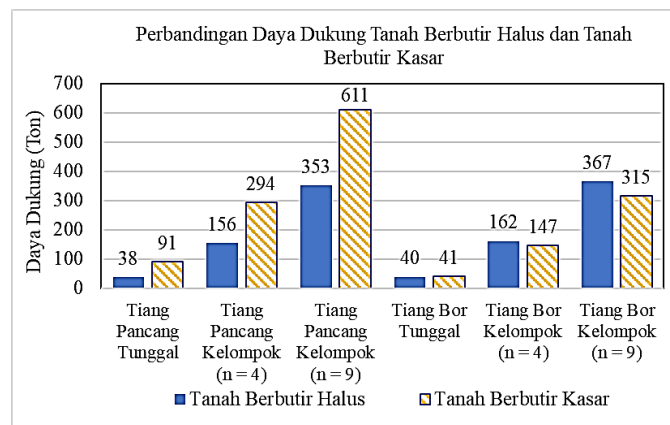
Tiang		Daya Dukung Tanah Berbutir (Ton)		Presentase Perbandingan Daya Dukung	
		Halus	Kasar	Kasar/Halus	Halus/Kasar
Tunggal		38	91	239,47%	41,76%
Pancang	Kelompok (n = 4)	156	294	188,46%	53,06%
	Kelompok (n = 9)	353	611	173,09%	57,77%
Tunggal		40	41	102,50%	97,56%
Bor	Kelompok (n = 4)	162	147	90,74%	110,20%
	Kelompok (n = 9)	367	315	85,83%	116,51%

Berikut Tabel 21 merupakan perbandingan antara penurunan total tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar dengan presentase perbandingan penurunan.

Tabel 25. *Summary* penurunan total

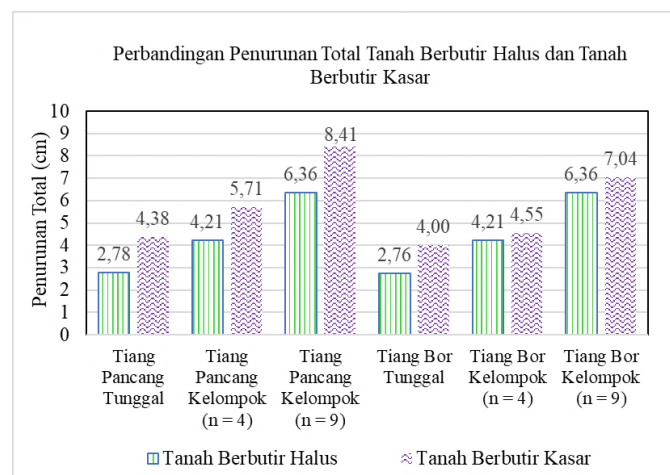
Tiang		Penurunan Tanah Berbutir (cm)		Presentase Perbandingan Penurunan Total	
		Halus	Kasar	Kasar/Halus	Halus/Kasar
Tunggal		2,78	4,38	157,46%	63,51%
Pancang	Kelompok (n = 4)	4,21	5,71	135,49%	73,80%
	Kelompok (n = 9)	6,36	8,41	132,33%	75,57%
Tunggal		2,76	4,00	144,91%	69,01%
Bor	Kelompok (n = 4)	4,21	4,55	107,95%	92,63%
	Kelompok (n = 9)	6,36	7,04	110,76%	90,29%

Berikut Gambar 2 yang menggambarkan perbedaan daya dukung antara tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Daya Dukung Tanah Berbutir halus dan Tanah Berbutir Kasar

Berikut Gambar 3 yang menggambarkan perbedaan penurunan total antara tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Daya Dukung Tanah Berbutir halus dan Tanah Berbutir Kasar

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Daya dukung tiang pancang tunggal pada tanah berbutir halus adalah 38 Ton dan daya dukung pada tanah berbutir kasar adalah 91 Ton dan daya dukung tiang bor tunggal pada tanah berbutir halus adalah 40 Ton dan daya dukung pada tanah berbutir kasar adalah 41 Ton
2. Daya dukung tiang pancang kelompok ($n = 4$) pada tanah berbutir halus adalah 156 Ton dan daya dukung pada tanah berbutir kasar adalah 294 Ton dan daya dukung tiang bor kelompok ($n = 4$) pada tanah berbutir halus adalah 162 Ton dan daya dukung pada tanah berbutir kasar adalah 147 Ton.
3. Daya dukung tiang pancang kelompok ($n = 9$) pada tanah berbutir halus adalah 353 Ton dan daya dukung pada tanah berbutir kasar adalah 611 Ton dan daya dukung tiang bor kelompok ($n = 9$) pada tanah berbutir halus adalah 367 Ton dan daya dukung pada tanah berbutir kasar adalah 315 Ton.
4. Daya dukung pada tanah berbutir halus mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan daya dukung tanah berbutir kasar. Namun, daya dukung tiang bor kelompok pada tanah berbutir halus memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan daya dukung pada tanah berbutir kasar.
5. Penurunan yang terjadi pada tiang tunggal pancang pada tanah berbutir halus adalah 2,78 cm dan penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar adalah 4,38 cm dan penurunan yang terjadi pada tiang bor tunggal pada tanah berbutir halus adalah 2,76 cm dan penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar adalah 4,00 cm.
6. Penurunan yang terjadi pada tiang pancang kelompok ($n = 4$) pada tanah berbutir halus adalah 4,21 cm dan penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar adalah 5,71 cm dan penurunan yang terjadi pada tiang bor kelompok ($n = 4$) pada tanah berbutir halus adalah 4,21 cm dan penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar adalah 4,55 cm.
7. Penurunan yang terjadi pada tiang pancang kelompok ($n = 9$) pada tanah berbutir halus adalah 6,36 cm dan penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar adalah 8,41 cm dan penurunan yang terjadi pada tiang bor kelompok ($n = 9$) pada tanah berbutir halus adalah 6,36 cm dan penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar adalah 7,04 cm
8. Jenis tanah yang mengalami penurunan lebih besar adalah tanah berbutir kasar.

Saran

1. Diperlukan data lab yang lebih lengkap untuk menghasilkan perhitungan daya dukung dan penurunan fondasi yang akurat.
2. Perhitungan fondasi disarankan untuk menggunakan *software* sehingga menghasilkan daya dukung dan penurunan fondasi yang akurat.
3. Untuk penelitian selanjutnya disarankan dimensi fondasi divariasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriani, R. N. (2013). Analisa Daya Dukung Tiang Spunpile Dengan Metode Uji Pembebanan Statik (Loading Test). *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Untan*, 2(2).
<https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/view/3570/3578>
- Christiani, S., & Kawanda, A. (2019). Analisis Daya Dukung Fondasi Dalam Dengan Metode Inner Boring di Jakarta. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(2), 95-104.
- Das, B. M. (2014). *Principles of Foundation Engineering Eight Edition*. Cengage Learning.
- Hakam, A. (2008). *Rekayasa Pondasi Untuk Mahasiswa dan Praktisi*. CV. Bintang Grafika.
- Hardiyatmo, H. C. (2018). *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Gadjah Mada University Press.
- Jr., R. E., Lewis, D. W., & McLeod, L. (2011). Improving Productivity on a Troubled Bridge Project. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(5), 364-371.
- Orlando, & Sentosa, G. S. (2021). Studi Kasus Kemiringan Gedung 4 Lantai Akibat Kegagalan Fondasi di Pangkal Pinang. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(3), 615-622.
- Rahardjo, Paulus P. (2013). *Manual Pondasi Tiang* (4th ed.). Parahyangan Catholic University.