

Kapasitas Dukung Dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Pada Proyek Transmisi Gistet 500 kV

Gita Tri Depi^{1*)}; Dyah Pratiwi Kusumastuti¹

1. Program Studi S1 Teknik Sipil Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat,
Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11750, Indonesia

**)Email: gita1821016@itpln.ac.id*

Received: 28 November 2023 | Accepted: 29 November 2023 | Published: 15 Desember 2023

ABSTRACT

Bore pile is a building construction that functions to support the load of the building above it. The thing that needs to be considered in planning the bore pile is to consider the value of the bearing capacity and its settlement. The purpose of this study was to calculate and compare the value of bearing capacity and foundation settlement with diameters of 40 cm, 50 cm and 60 cm using the Reese and Wright and Reese and O'neil methods on the 500 kV Muara Karang Baru GISTET transmission project. The results showed that the value of the pile bearing capacity of the P7A type group which was calculated based on SPT data at point BH-4 with a diameter of 40 cm, 50 cm and 60 cm using the Reese and Wright, respectively, was 2636.9357 kN, 2652.4911 kN, 2667.7913 kN and Reese and O'Neil method 2591.7643 kN, 2623.0389 kN and 2554.2373 kN, respectively. Where both methods meet the total axial load (P_u) of 2483.13 PkN. The pile design taken is the Reese and One'il diameter of 40 cm and the number of piles 15, which has a critical bearing capacity value or is close to the maximum working load. The result of the reduction in the Reese and O'Neil diameter of 40 cm is also safe and has a low reduction value, which is 7.5923 cm with a decrease in clearance of 15.8667 cm.

Keywords: *Bore Pile, Bearing Capacity, Reese and Wright, Reese and O'neil, Settlement*

ABSTRAK

Fondasi bore pile merupakan konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menopang beban bangunan di atasnya. Hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan fondasi bore pile ialah dengan memperhitungkan nilai kapasitas dukung dan penurunannya. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung dan membandingkan nilai kapasitas dukung dan penurunan fondasi diameter 40 cm, 50 cm dan 60 cm dengan metode Reese and Wright dan Reese and O'neil pada proyek transmisi GISTET 500 kV Muara Karang Baru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kapasitas dukung tiang kelompok tipe P7A yang dihitung berdasarkan data SPT pada titik BH-4 diameter 40 cm, 50 cm dan 60 cm dengan metode Reese and Wright berturut – turut sebesar 2636,9357 kN, 2652,4911 kN, 2667,7913 kN dan metode Reese and O'neil berturut – turut sebesar 2591,7643 kN, 2623,0389 kN dan 2554,2373 kN. Dimana kedua metode tersebut memenuhi beban aksial total (P_u) sebesar 2483,13 kN. Rancangan tiang yang diambil yaitu pada metode Reese and O'neil diameter 40 cm dan jumlah tiang 15, yang memiliki nilai kapasitas dukung kritis atau mendekati beban kerja maksimal. Hasil penurunan pada metode Reese and O'neil diameter 40 cm tersebut juga aman dan memiliki nilai penurunan yang rendah, yaitu sebesar 7,5923 cm dengan penurunan izin sebesar 15,8667 cm.

Kata Kunci: *Bore Pile, Kapasitas Dukung, Metode Reese and Wright, Metode Reese and O'neil, Penurunan*

1. PENDAHULUAN

Struktur fondasi merupakan bagian dari struktur bawah bangunan untuk meneruskan gaya-gaya yang bekerja pada struktur. Berdasarkan laporan penyelidikan tanah pada proyek Transmisi GISTET 500 kV Muara Karang Baru khususnya pada titik BH-4 area GIS, kondisi tanah diketahui memiliki jenis tanah lunak hingga kedalaman 14 m. Karakteristik dari tanah ini kurang baik karena memiliki kapasitas dukung yang buruk dengan nilai N-SPT tidak lebih dari 4 [1]. Oleh karena itu, pada kondisi tanah lunak ini nilai beban dan dimensi fondasi harus optimal untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya penurunan.

Untuk mengetahui stabilitas dari fondasi *bore pile* ini maka dilakukan analisis yang memperhitungkan kapasitas dukung tiang, efisiensi tiang kelompok dan penurunan fondasi yang mungkin terjadi [2]. Penggunaan fondasi *bore pile* pada berbagai proyek konstruksi dapat disebabkan letak lapisan tanah yang memiliki kapasitas dukung cukup pada kedalaman yang jauh [3] atau lokasi proyek yang tidak memungkinkan mobilisasi alat pancang.

Pada penelitian ini, analisis kapasitas dukung fondasi *bore pile* dengan variasi diameter 40 cm, 50 cm dan 60 cm. Selain itu, metode yang digunakan dalam analisis kapasitas dukung untuk mengetahui hasil rekomendasi alternatif rancangan fondasi *bore pile* adalah metode *Reese and Wright* (1977) dan *Reese and O'neil* (1989). Menurut Abadi dkk. [4], hasil perhitungan dari analisis fondasi *bore pile* dari data SPT metode *Reese & Wright* (1977) lebih besar dibandingkan dengan menggunakan metode *Reese & O'Neil* (1989).

Sedangkan untuk dapat mengetahui nilai penurunan fondasi, maka dianalisis dengan menggunakan metode *Vesic* (1977) lalu dilakukan pengecekan sesuai persyaratan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik. Hasil analisis kapasitas dukung dan penurunan dengan variasi diameter pada penelitian dapat digunakan sebagai bahan pembandingan atau referensi proyek konstruksi sejenis.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Kebutuhan Data

Sebelum melakukan analisis, diperlukan data – data yang dilengkapi agar dapat dilakukan perhitungan kapasitas dukung dan penurunan fondasi. Diantaranya penggunaan data uji lapangan *Standard Penetration Test* dan uji laboratorium pada *soil investigation* yang diperoleh dari proyek. Berdasarkan uji *Standard Penetration Test* atau SPT dihasilkan bahwa pada kedalaman 0-15 m, diketahui NSPT sebesar 1-7 dengan jenis tanah *clay* dan konsistensi tanah *very soft to medium stiff*. Pada kedalaman 16-18 m dan 26-40 m, diketahui NSPT sebesar 9-25 dengan jenis tanah *clay* dan konsistensi tanah *stiff to very stiff*. Dan untuk kedalaman 19-25 m diketahui NSPT sebesar 36-60 dengan jenis tanah *silt* serta konsistensi tanah *hard*. Berikut data uji laboratorium yang digunakan dalam analisis yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Pengujian Laboratorium dan Fondasi *Bore Pile*

Diameter	(D)	40 cm	50 cm	60 cm
Beban Aksial Total	(P_{aksial})		2489,13 kN	
Mutu Beton K-225	(f_c')		19,3 (MPa)	
Pengujian			<i>Consolidation</i>	
Kedalaman	(H)		15,50 m – 16,00 m	
Tekanan Prakonsolidasi	(P_c)		460,91255 kN/m ²	
Tekanan Overburden Efektif	(P_o)		154,94507 kN/m ²	

Tebal Lapisan	(H)	0,5 m
Koefisien Konsolidasi	(C _c)	13,88 m ² /year
Koefisien Swelling	(C _s)	2,313 m ² /year
Void Ratio	(e _o)	1,12

Sumber: Data Proyek

Apabila terdapat data – data lainnya belum lengkap dalam melakukan analisis, maka dapat dilakukan perhitungan dan pengambilan data ketetapan pada penelitian terdahulu. Adapun data ketetapan yang digunakan dalam melakukan analisis kapasitas dukung fondasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Analisis Kapasitas Dukung

Metode Kapasitas Dukung	<i>Reese and Wright</i>	<i>Reese and O'neil</i>
Faktor kapasitas dukung (N _c)	9	9
Faktor Adhesi (α)	0,55	α = 0,55 – 0,1 c _u (c _u /P _r < 1,50)
Tekanan Atmosfer (P _r)	-	100 kN/m ²
Berat Jenis Beton (γ _{beton})	-	2400 kg/m ³
Berat Jenis Air (γ _{air})	-	1000 kg/m ³
Muka Air Tanah (L _{air tanah})	-	1,5 m
Safety Factor (SF)	3	3

Sumber: Data Analisis

Selanjutnya data ketetapan yang digunakan dalam melakukan analisis penurunan fondasi *bore pile* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Penurunan

Metode Penurunan	<i>Vesic</i>
Faktor α	0,5
Rasio Poisson Tanah (μ _s)	0,3
Faktor Pengaruh (I _{wp})	0,85
Modulus Elastisitas Tanah (E _s)	20000 kN/m ²

Sumber: Data Analisis

2.2. Metode Analisis

Kapasitas dukung ultimit (Q_u) tiang tunggal dianalisis dengan menggunakan rumus persamaan pada metode *Reese and Wright (1977)* dan *Reese and O'neil(1989)*, yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rumus Analisis Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal

Metode <i>Reese and Wright (1977)</i>			Metode <i>Reese and O'neil (1989)</i>		
Kapasitas Dukung	c _u	= $\frac{2}{3} \cdot N\text{-SPT} \cdot 10$	Kapasitas Dukung	f _b	= c _u N _c ' ≤ 4000
Ujung	Q _b	= N _c · c _u · A _b	Ujung	N _c '	= 6 (1+0,2 $\frac{L}{d_b}$) ≥ 9
	N _c	= 9 [5]		Q _b	= A _b f _b

Kapasitas Dukung Gesek	f Q_s	$= \alpha \cdot c_u$ $= f \cdot t \cdot k$	Kapasitas Dukung Gesek	f_s α Q_s	$= \alpha \cdot c_u$ $= 0,55 - 0,1 c_u$ $(c_u/P_r < 1,50)$ $= A_s f_s$
Kapasitas Dukung Ultimit	Q_u	$= Q_b + Q_s$	Kapasitas Dukung Ultimit	W_p U Q_u U	$= A_b L \gamma_{beton}$ $= A_b \gamma_{air} (L - L_{air tanah})$ $= Q_b + Q_s - W_p + U$
Kapasitas Dukung Izin	Q_{all}	$= \frac{Q_u}{SF}$ SF > 2,5 SNI 8460:2017	Kapasitas Dukung Izin	Q_{all}	$= \frac{Q_u}{SF}$ SF > 2,5 SNI 8460:2017

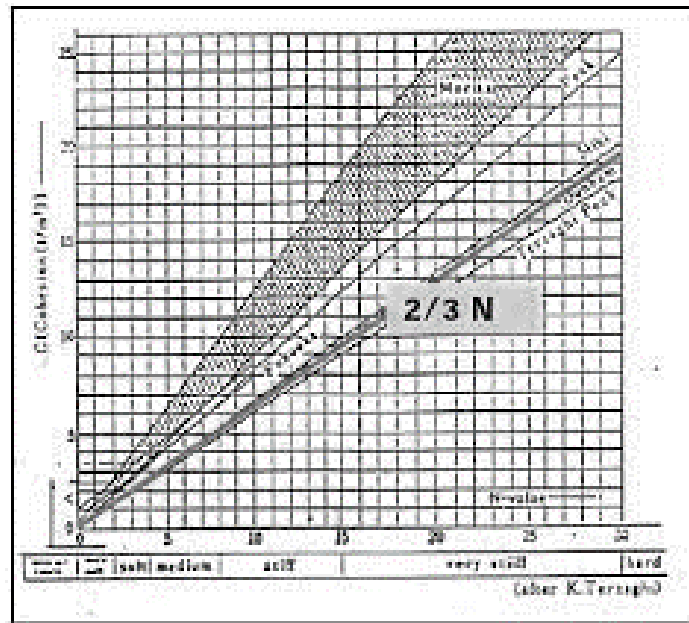
Sumber: [6]

Untuk analisis penurunan digunakan metode *Vesic* (1977). Metode *Vesic* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mencari nilai penurunan pada fondasi tiang yaitu dengan menggunakan Metode Empiris *Vesic* (1977). Adapun rumus analisis penurunan tiang tunggal dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rumus Analisis Penurunan Fondasi Tiang Tunggal

Metode <i>Vesic</i> (1977)		
Penurunan Elastis Tiang	$S_{e(1)}$	$= \frac{(Q_{wp} + \alpha \cdot Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p}$
Penurunan Ujung Beban Tiang	q_{wp}	$= \frac{Q_{wp}}{A_p}$
	$S_{e(2)}$	$= \frac{q_{wp} \cdot D}{E_s} (1 - \mu_s^2) \cdot I_{wp}$
Penurunan Sepanjang Tiang	I_{ws}	$= 2 + 0,35 \cdot \sqrt{\frac{L}{D}}$
	$S_{e(3)}$	$= \left(\frac{Q_{ws}}{P \cdot L}\right) \cdot \frac{D}{E_s} \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws}$
Penurunan Tiang Tunggal	S_e	$= S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$

Sumber: [7]



Gambar 1. Kurva korelasi antara nilai N-SPT dan kohesi tanah (Terzaghi)

Sumber: [6]

Tabel 6. Korelasi N-SPT dengan konsistensi Tanah Lempung

<i>Cohesive Soils</i>	
<i>Consistency</i>	<i>Number of blows per 3 m (1 ft.) (N)</i>
<i>Very Soft</i>	0 – 1
<i>Soft</i>	2 – 4
<i>Medium Stiff</i>	5 – 8
<i>Stiff</i>	9 – 15
<i>Very Stiff</i>	16 – 30
<i>Hard</i>	31 – 60
<i>Very Hard</i>	61

Sumber : [8]

Selanjutnya dalam menganalisis kapasitas dukung ultimit tiang kelompok dianalisis dengan menggunakan rumus persamaan yang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rumus Analisis Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Kelompok

Jumlah Tiang Bor	$N_{(tiang)} = \frac{p}{Q_a}$
Efisiensi Kelompok Tiang	$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 m.n}$
	$Q_g = E_g \times N \times Q_a$

Sumber: [9]

Dalam melakukan analisis penurunan fondasi tiang kelompok dan penurunan konsolidasi digunakan rumus persamaan analisis pada metode yang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rumus Penurunan Fondasi Tiang Kelompok dan Penurunan Konsolidasi

Metode Vesic (1977)	
Penurunan Tiang Kelompok	$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} \cdot S_e$
Penurunan Konsolidasi	<i>Overconsolidated (OCR > 1)</i> $\Delta p = \frac{Q_g}{(L_g + Z)(B_g + Z)}$ Apabila $P_o + \Delta p \geq P_c$ maka, $S_c = \left(\frac{H}{1+e_o} \cdot C_s \cdot \log \frac{P_c}{P_o} \right) + \left(\frac{H}{1+e_o} \cdot C_c \cdot \log \frac{P_o + \Delta p}{P_c} \right)$ Apabila $P_o + \Delta p < P_c$ maka, $S_c = \frac{H}{1+e_o} \cdot C_s \cdot \log \left(\frac{P_o + \Delta p}{P_o} \right)$ $S_{e(2)} = \frac{q_{wp} \cdot D}{E_s} (1 - \mu_s^2) \cdot I_{wp}$
Perencanaan fondasi tiang dengan umur layan bangunan 25 tahun	$T = \frac{\pi}{4} (U)^2$ untuk $U \leq 60\%$ $S_c \text{ saat } t = U \times S_c \text{ total}$ $S_{total} = S_{(g)e} + S_c \text{ saat } t$

Sumber: [10]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

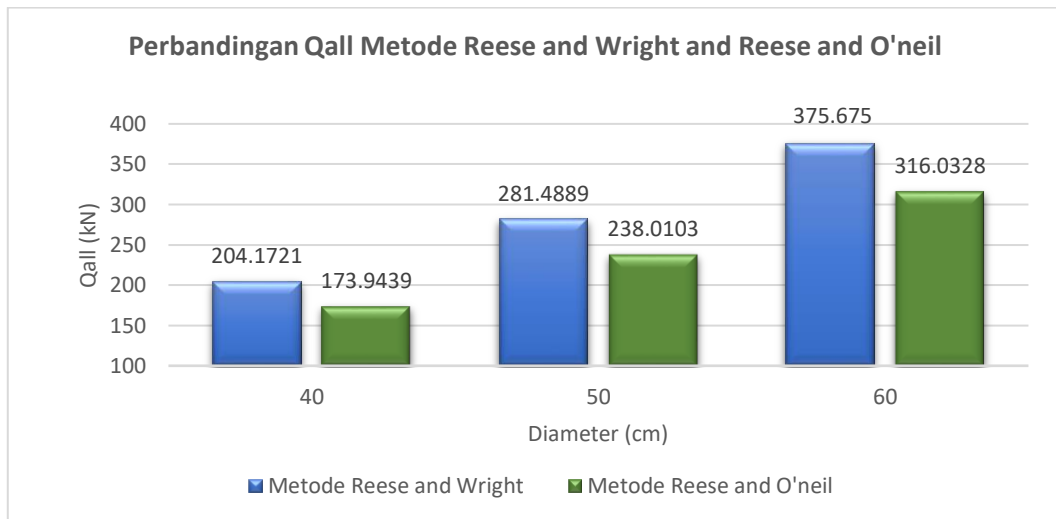
3.1. Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal

Untuk mendapatkan nilai kapasitas dukung tiang tunggal, maka langkah yang dilakukan adalah pengolahan data N_{SPT} seperti koreksi terhadap muka air tanah, N_{SPT} rata-rata dari setiap kedalaman yang ditinjau sampai nilai N_{SPT} tersebut dapat digunakan dalam persamaan kapasitas dukung. Hasil perhitungan kapasitas dukung izin fondasi tiang tunggal berdasarkan data *Standar Penetration Test* dengan menggunakan metode *Reese and Wright* dan metode *Reese and O'neil* (SF = 3) pada Tabel 9 berikut.

Tabel 2 Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal

Metode Reese and Wright				
Diameter (cm)	Kedalaman (m)	Q_b (kN)	Q_s (kN)	Q_{all} (kN)
40	16	56,8314	555,6849	204,1721
50	16	95,7204	748,7462	281,4889
60	16	149,8999	977,1251	375,6750
Metode Reese and O'neil				
Diameter (cm)	Kedalaman (m)	Q_b (kN)	Q_s (kN)	Q_{all} (kN)
40	16	51,1483	500,1164	173,9439
50	16	86,1484	673,8716	238,0103
60	16	134,9099	879,4126	316,0328

Sumber : Data Analisis



Gambar 2. Grafik Perbandingan Q_{all} Metode *Reese and Wright* dan *Reese and O'neil*
 Sumber: Data Analisis

Pada Tabel 9 dan Gambar 2 diatas, diketahui bahwa nilai kapasitas dukung tiang tunggal metode *Reese and Wright* lebih besar dari metode *Reese and O'neil*. Hal tersebut dikarenakan rumus untuk metode *Reese and O'neil* memperhitungkan lebih banyak faktor empiris dan parameter tanah. Misalnya menghitung kapasitas dukung utimit *netto* yaitu dengan mengurangi nilai berat *bore pile* (W_p) dan gaya angkat *bore pile* (U), sehingga kapasitas dukung yang dihasilkan lebih kecil.

3.2. Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Kelompok

Selanjutnya, berdasarkan hasil perhitungan kapasitas dukung tiang tunggal akan ditentukan jumlah kebutuhan tiang kelompok. Setelah didapatkan jumlah kebutuhan tiang kelompok, maka disusunlan konfigurasi kelompok tiang yang nantinya digunakan dalam menghitung efisiensi tiang kelompok. Hasil perhitungan efisiensi tiang kelompok dengan menggunakan metode *Converse Labarre* untuk mengetahui jumlah tiang (n) dan nilai kapasitas dukung tiang kelompok (Q_g) pada tabel sebagai berikut.

Tabel 3 Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Kelompok

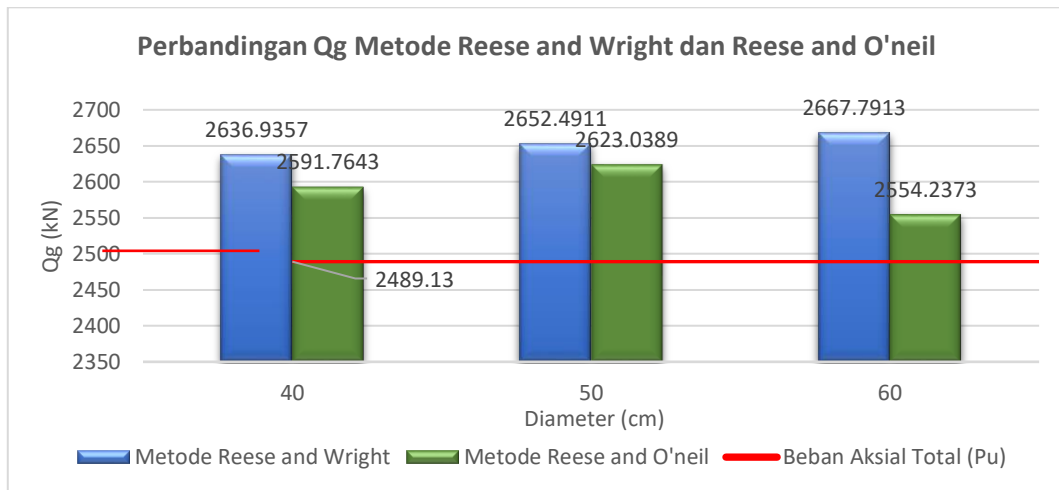
Diameter (cm)	Kedalaman (m)	Jumlah Tiang a	Jumlah Tiang b	Efisiensi Tiang a	Efisiensi Tiang b	Q _g a (kN)	Q _g b (kN)
40	16	13	15	0,9935	0,9935	2636,9357	2591,7643
50	16	9	11	0,9941	0,9937	2652,4911	2623,0389
60	16	7	8	0,9941	0,9941	2667,7913	2554,2373

Sumber : Data Analisis

Keterangan:

a = Metode *Reese and Wright*

b = Metode *Reese and O'neil*



Gambar 3. Grafik Perbandingan Q_g Metode *Reese and Wright* dan *Reese and O'neil*

Sumber: Data Analisis

Pada Tabel 10 dan Gambar 3, ditunjukkan hasil analisis perbandingan kapasitas dukung tiang kelompok antara metode *Reese and Wright* dan metode *Reese and O'neil* pada kedalaman 16 m jenis tanah lempung dengan konsistensi kaku. Diketahui bahwa Q_g yang dihasilkan $> P_u$ sebesar 2489,13 kN, sehingga nilai kapasitas dukung fondasi ketiga variasi tersebut dapat menopang beban struktur di atasnya. Berdasarkan hasil perbandingan nilai kapasitas dukung tiang kelompok (Q_g), alternatif rancangan fondasi tiang kelompok yang dipilih yaitu fondasi diameter 40 cm pada kedalaman 16 m dan jumlah 15 tiang menggunakan metode *Reese and O'neil* dengan nilai kapasitas dukung sebesar 2591,7643 kN dikarenakan memiliki nilai kapasitas dukung yang kritis atau beban kerja pondasi yang mendekati maksimal.

3.3. Penurunan Fondasi Tiang

Setelah perancangan dan pemilihan konfigurasi tiang kelompok yang digunakan, maka perhitungan penurunan tiang tunggal dan tiang kelompok dilakukan. Perhitungan penurunan sendiri dilakukan dengan beberapa langkah, yaitu penurunan elastis tiang tunggal, penurunan elastis tiang kelompok dan penurunan akibat proses konsolidasi. Hasil penurunan total (penurunan tiang kelompok dan penurunan konsolidasi saat t) berdasarkan hasil perhitungan kapasitas dukung fondasi *bore pile* (metode *Reese and Wright* dan metode *Reese and O'neil*) dengan menggunakan metode *Vesic* pada Tabel 11 berikut.

Tabel 4 Nilai Penurunan Total Fondasi *Bore Pile*

Metode <i>Reese and Wright</i>			
Diameter (cm)	Kedalaman (m)	S Total (cm)	S Izin (cm)
40	16	7,9551	15,8667
50	16	9,1030	15,5833
60	16	9,0894	15,7000
Metode <i>Reese and O'neil</i>			
Diameter (cm)	Kedalaman (m)	S Total (cm)	S Izin (cm)
40	16	7,5923	15,8667
50	16	7,7939	15,8333

60	16	8,4883	15,7000
----	----	--------	---------

Sumber : Data Analisis

Pada Tabel 11, hasil perhitungan penurunan total menunjukkan bahwa nilai penurunan pada kapasitas dukung metode *Reese and Wright* dan metode *Reese and O'neil* diameter 40 cm, 50 cm dan 60 cm telah memenuhi syarat penurunan izin ($S_{total} < S_{izin}$) sesuai dengan SNI 8460:2017 [11]. Untuk penurunan izin tersebut $< 15 \text{ cm} + b/600$ (b dalam satuan cm). Nilai b merupakan lebar *pilecap* (L_g) dari fondasi tiang kelompok.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis direkomendasikan bahwa alternatif rancangan fondasi yang diambil yaitu pada metode *Reese and O'neil* diameter 40 cm di kedalaman 16 dengan jumlah tiang 15. Rancangan tersebut memiliki nilai kapasitas dukung yang kritis atau beban kerja fondasi yang mendekati maksimal $Q_g = 2591,7643 \text{ kN}$ untuk menopang beban aksial struktur (P_u) sebesar 2483,13 kN. Faktor penentu lainnya yaitu nilai penurunan total pada kapasitas dukung tersebut lebih rendah dengan selisih penurunan izinnya yaitu sebesar 8,0744 cm, sehingga aman dari risiko terjadinya runtuh bangunan. Rancangan fondasi diameter 40 cm ini lebih optimal dibandingkan dengan diameter lainnya, salah satunya dengan meminimalkan penggunaan sumber kapasitas yang dikeluarkan seperti volume material yang digunakan.

Dari hasil penelitian ini disarankan untuk melakukan penambahan variasi metode yang dilaksanakan dalam menganalisis seperti penggunaan program aplikasi *software* untuk menghitung serta merencanakan fondasi. Selanjutnya untuk menganalisis rancangan fondasi *bore pile* disarankan dengan menggunakan variasi diameter berbeda, jarak antar tiang berbeda, atau faktor perencanaan lainnya yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. N. Siska and Y. A. Yakin, "Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Lunak di Gedebage," *RekaRacana J. Tek. Sipil*, vol. 2, no. 4, p. 44, 2016.
- [2] A. Milanova and D. P. Kusumastuti, "Analisis Daya Dukung dan Penurunan Kelompok Tiang Bor Pada Menara Transmisi SUTT," *J. Forum Mek.*, vol. 12, no. 1, pp. 27–45, 2023, doi: <https://doi.org/10.33322/forummekanika.v12i1.2025>.
- [3] D. H. Saragih and D. P. Kusumastuti, "Pengaruh Variasi Jarak Tiang Bor Pada Tanah Lempung Terhadap Daya Dukung Dengan Metode Analisis," *Forum Mek.*, vol. 10, no. 1, pp. 41–48, 2021, doi: [10.33322/forummekanika.v10i1.1357](https://doi.org/10.33322/forummekanika.v10i1.1357).
- [4] S. S. Abadi, R. Roestaman, and S. Permana, "Analisis Perbandingan Kapasitas Kuat Dukung Pondasi Bore Pile Berdasarkan Hasil Pengujian SPT dan CPT," *J. Konstr.*, vol. 19, no. 2, pp. 449–460, 2022, doi: [10.33364/konstruksi/v.19-2.920](https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.19-2.920).
- [5] T. Whitaker and R. W. Cooke, *An investigation of the shaft and base resistances of large bored piles in London Clay*, National g. London: Garston, Watford [England: Building Research Station, Ministry of Technology], 1966.
- [6] E. Yulianawan, T. Sipil, U. Muhammadiyah, T. Rahayu, T. Sipil, and U. Muhammadiyah, "Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Berdasarkan," *J. Konstr.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–13, 2018.
- [7] B. M. Das, *Principles of Foundation Engineering*, 8th ed. USA: Timothy L. Anderson, 2016. doi: [10.1201/9781003211174-45](https://doi.org/10.1201/9781003211174-45).
- [8] AASHTO, *Manual on Subsurface Investigations*. Washington, D.C.: American Association of

- State Highway and Transportation Officials, Inc., 1988.
- [9] F. Oemar, T. R. Utama, and ..., "Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Bore Pile Pada Pembangunan Proyek Fly Over Martadinata Kota Tangerang," *J. Tek. Sipil ...*, vol. 20, no. 1, pp. 121–133, 2021.
- [10] W. I. Manurung, I. B. Mochtar, and dan P. T. K. Sari, "Perencanaan Pondasi Tiang Lekatan pada Gedung Tingkat 3 s/d 5 di Atas Tanah Lunak yang Tebal dengan Ketentuan Penurunan Merata dalam Jangka Panjang," vol. 9, no. 2, pp. 2–7, 2020.
- [11] SNI 8460-2017, "Persyaratan Perancangan Geoteknik," Badan Standarisasi Nas., vol. 8460, p. 323, 2017.