

Evaluasi kapasitas aksial tekan tiang bor berdasarkan data SPT dan SLT : studi kasus Gedung Rumah Sakit Klaten

Muhammad Rafi' Nur Rahman^{1,*}, Dika Kusuma Pertiwi¹, Muhammad Irfan Marasabessy¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Article Info

Available online

Keywords:

Bored Pile
Axial Capacity
SPT
SLT
Kulhawy Method
Reese-Wright Method

Corresponding Author:

Muhammad Rafi' Nur Rahman
22511094@students.uii.ac.id

Abstract

Bored pile foundations are frequently used in multi-story and infrastructure projects due to their ability to transfer large loads to deeper soil layers with higher bearing capacity. In this study, the axial bearing capacity of bored pile foundations in the construction project of Klaten General Hospital was evaluated using empirical methods based on Standard Penetration Test (SPT) data and verified through a field test using Static Loading Test (SLT). The empirical approaches applied were the Kulhawy (1984) and Reese-Wright (1977) methods, which utilize N-SPT values to estimate skin friction and end bearing capacity. The pile under evaluation had a diameter of 0.8 meters and a depth of 26 meters, with a design load of 200 tons. SLT was performed with a 500-ton hydraulic jack and interpreted using the Mazurkiewicz graphical method. The ultimate bearing capacity (Q_{ult}) results obtained from Kulhawy and Reese-Wright were 565.577 tons and 570.588 tons, respectively, while the result from SLT interpretation was 590 tons. The percentage differences were -4.14% for Kulhawy and -3.3% for Reese-Wright compared to SLT, indicating that both methods provided conservative and close estimations to the actual field data. Based on the comparison, the Reese-Wright method produced results that more closely aligned with the SLT outcome. This study shows that integrating empirical SPT-based calculations with SLT verification provides a reliable approach for evaluating bored pile performance in local soil conditions, especially in clay-dominated strata like those found at the project site.

Copyright © 2025 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Fondasi merupakan bagian penting dari struktur bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban dari atas ke lapisan tanah penyangga di bawahnya. Salah satu jenis fondasi dalam (*deep foundation*) yang sering digunakan pada bangunan bertingkat dan proyek infrastruktur berskala besar adalah *bored pile* atau fondasi bor. Jenis fondasi ini memiliki kemampuan untuk menyalurkan beban yang besar ke lapisan tanah yang lebih kuat pada kedalaman tertentu, serta keunggulan dalam pelaksanaannya yang minim getaran dan dapat diterapkan di area terbatas (Mulyono, 2021).

Pada proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Klaten, digunakan fondasi tiang bor

memiliki kedalaman mencapai 26 meter. Fondasi ini bekerja dengan cara mentransfer beban struktur atas ke tanah melalui kombinasi tahanan gesek sepanjang sisi tiang dan tahanan ujung pada dasar tiang. Dalam konteks Pembangunan Gedung bertingkat, fondasi dalam menjadi komponen utama yang menopang sistem struktur secara keseluruhan, sehingga perhitungan kapasitas dukung fondasi harus dilakukan secara teliti dan berdasarkan kondisi tanah actual di lapangan (Mishra et al., 2019).

Umumnya, penghitungan daya dukung aksial pada fondasi tiang bor dilakukan melalui pendekatan empiris dengan memanfaatkan data dari hasil uji penetrasi

standar (*Standard Penetration Test* atau SPT). Nilai pukulan (N-SPT) yang diperoleh dari pengujian ini memberikan informasi mengenai karakteristik tanah di lokasi, yang dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan kapasitas dukung aksial fondasi (Bowles, 2019). Dalam praktik rekayasa geoteknik, beberapa metode empiris telah dikembangkan untuk memperkirakan daya dukung aksial berdasarkan data SPT, di antaranya adalah metode Kulhawy (1984) dan metode Reese & Wright (1977). Kedua metode ini menggunakan pendekatan nilai faktor adhesi (α) untuk menghitung tahanan gesek (*skin friction*) serta tahanan ujung (*end bearing*), namun dengan formulasi dan asumsi yang berbeda.

Metode Kulhawy (1984) mengaitkan factor adhesi (α) dengan kuat geser tanah *undrained* (c_u) atau nilai N-SPT, serta memberikan pendekatan yang lebih konservatif dan bersifat semi-analitis. Di sisi lain, metode Reese & Wright (1977) menggunakan nilai $\alpha = 0,55$ yang telah ditentukan berdasarkan jenis tanah dan banyak digunakan, studi komparatif terhadap akurasi perhitungan antara keduanya terhadap hasil pengujian lapangan masih terbatas, khususnya pada tanah dengan karakteristik local seperti di Indonesia.

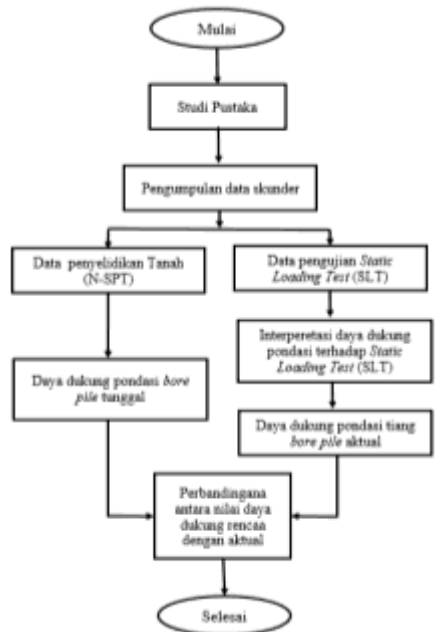
Untuk memverifikasi keandalan hasil perhitungan kapasitas fondasi yang diperoleh dari metode empiris, diperlukan data pengujian lapangan seperti *Static Loading Test* (SLT). Pengujian SLT memberikan informasi langsung mengenai perilaku fondasi terhadap pembebanan aksial bertahap, serta menghasilkan grafik hubungan beban penurunan (*load settlement curve*) yang menggambarkan performa fondasi secara actual. Oleh karena itu, penggabungan perhitungan daya dukung menggunakan metode Kulhawy dan Reese Wright dengan verifikasi data SLT menjadi pendekatan yang efektif dalam perencanaan fondasi tiang bor.

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan di atas, perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil analisis kemampuan daya dukung ultimate (*Qult*) *bore pile* secara individual menggunakan metode Kulhawy (1984) dan Reese & Wright, berdasarkan data *drilling log* dibandingkan dengan hasil pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) pada lokasi proyek Gedung Rumah Sakit Klaten.
2. Hasil kemampuan daya dukung ultimate (*Qult*) *bore pile* secara tunggal menggunakan variasi korelasi kuat geser tanah dan nilai N-SPT.
3. Memvalidasi kemampuan daya dukung tiang ultimate dari perhitungan numerik terhadap hasil monitoring lapangan berdasarkan *Static Loading Test* (SLT).

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, sumber data yang digunakan berasal dari data sekunder yang diambil dari hasil investigasi tanah dan *Static Loading Test* (SLT) yang diperoleh dari dokumen proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Klaten. Data yang diperoleh dari hasil uji tanah N-SPT selanjutnya dianalisis untuk menentukan nilai daya dukung yang direncanakan bagi tiang bor. Selain itu, data dari pengujian beban tiang bor SLT juga dianalisis untuk menentukan daya dukung yang sebenarnya dengan memanfaatkan metode Kulhawy, Reese Wright, dan Mazurkiwich. Kemudian, dilakukan analisis perbandingan antara daya dukung yang terukur dengan daya dukung yang direncanakan untuk mendapatkan persentase daya dukung aktual dibandingkan dengan daya dukung yang direncanakan pada tiang bor, sehingga dapat ditarik kesimpulan mengenai performa fondasi tiang bor. Data hasil analisis dan uji daya dukung selanjutnya dibandingkan dan ditarik kesimpulan. Diagram alir dari penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Fondasi Bored pile

Fondasi *bored pile* tergolong sebagai tipe fondasi dalam berdasarkan kategori teknik fondasi, karena memiliki kemampuan untuk menyalurkan beban dari struktur ke lapisan tanah yang kuat berada jauh di bawah permukaan tanah. Berbeda dengan tiang pancang yang dipancang secara dinamis, *bored pile* dibuat dengan metode pengeboran tanah terlebih dahulu menggunakan alat bor, kemudian lubang yang terbentuk diisi dengan tulangan dan beton segar. Proses ini memungkinkan pelaksanaan di area terbatas atau dekat bangunan eksisting karena minim getaran dan kebisingan. Fondasi jenis ini biasanya dipilih ketika data hasil penyelidikan tanah (*soil investigation*) memberikan bukti bahwa lapisan tanah keras atau lapisan dengan kemampuan daya dukung yang cukup terletak pada kedalaman yang tidak ekonomis untuk dijangkau oleh fondasi dangkal.

Bored pile memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas desain dan kemampuan untuk menyesuaikan diameter maupun kedalamannya sesuai kebutuhan struktur dan kondisi tanah. Kapasitas dukung dari fondasi *bored pile* berasal dari dua

komponen utama. Pertama adalah daya dukung ujung (*end bearing capacity*), yaitu reaksi tanah keras pada dasar tiang terhadap beban vertikal yang diteruskan oleh struktur. Komponen ini menjadi dominan apabila ujung tiang menumpu langsung pada lapisan batuan atau tanah sangat keras. Kedua adalah daya dukung gesekan atau selimut (*skin friction*), yang dihasilkan dari gesekan antara permukaan luar tiang dengan tanah sepanjang sisi tiang. Gaya ini sangat berperan, terutama jika tiang menembus lapisan tanah lempung atau pasir dalam yang memiliki kohesi atau friksi internal tinggi.

Secara teknis, distribusi beban antara friksi selimut dan daya dukung ujung bergantung pada jenis tanah, panjang tiang, diameter, serta kondisi pemasangan. Pada kondisi tanah lunak yang tebal dan lapisan keras berada sangat dalam, friksi selimut menjadi andalan utama dalam menopang beban. Sebaliknya, pada tanah yang memiliki lapisan keras di bawah tiang, kontribusi end bearing menjadi lebih signifikan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai karakteristik tanah dan interaksi antara tiang dan tanah sangat penting dalam menentukan efisiensi dan keamanan Fondasi bored pile.

Standard Penetration Test

Standard Penetration Test (SPT) adalah salah satu metode paling sering digunakan untuk pengujian tanah dalam investigasi geoteknik, terutama untuk menilai kondisi di bawah permukaan secara dinamis. Pengujian ini biasanya dilakukan bersamaan dengan proses pengeboran tanah, dengan tujuan memperoleh informasi mengenai sifat fisik tanah serta mengambil contoh tanah terganggu (*disturbed sample*) dari kedalaman tertentu. Teknik pelaksanaannya dilakukan dengan memukul tabung sampel yang disebut *split spoon sampler* ke dalam tanah menggunakan palu standar seberat 63,5 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 76 cm. Jumlah pukulan yang diperlukan untuk menumbuk split spoon sejauh 30 cm terakhir disebut sebagai nilai N-SPT, yang menjadi parameter utama dalam analisis.

SPT termasuk dalam kategori uji dinamis karena proses penetrasi alat dilakukan secara bertumbuk, dan hasilnya sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah, kadar air, serta kepadatan lapisan tanah yang diuji. Nilai N yang diperoleh dari pengujian ini digunakan sebagai dasar untuk memperkirakan berbagai parameter tanah, seperti kepadatan relatif (*relative density*) untuk tanah pasir, konsistensi untuk tanah lempung, serta sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (c) yang penting dalam analisis stabilitas dan perencanaan fondasi. Pengujian ini juga memberikan gambaran awal mengenai stratifikasi tanah dan kedalaman lapisan keras, yang sangat berguna dalam menentukan jenis fondasi yang sesuai dengan kondisi tanah di lokasi proyek.

Selain sebagai dasar estimasi parameter teknik tanah, data SPT juga sering digunakan dalam korelasi empiris untuk menghitung kapasitas dukung fondasi, estimasi penurunan, hingga evaluasi potensi likuifaksi. Keunggulan metode ini terletak pada kesederhanaan pelaksanaannya, biaya yang relatif rendah, serta kemampuan memberikan informasi yang cukup baik pada berbagai jenis tanah, khususnya tanah granular. Oleh karena itu, SPT menjadi bagian penting dalam hampir semua proyek konstruksi, baik untuk bangunan gedung bertingkat, jembatan, maupun infrastruktur skala besar lainnya.

Kapasitas Daya Dukung

Perhitungan kapasitas daya dukung fondasi tiang bor (*bored pile*) berdasarkan data hasil uji Standard Penetration Test (N-SPT) dalam studi ini menggunakan metode Kulhawy (1984) dan Reese & Wright (1977). Pemilihan metode ini didasarkan pada kondisi tanah di lokasi proyek yang didominasi oleh jenis tanah lempung, di mana pendekatan empiris Kulhawy terbukti efektif dalam memperkirakan kapasitas tiang pada tanah kohesif. Parameter dasar yang digunakan dalam perhitungan meliputi diameter tiang sebesar 0,8 meter, panjang tiang 26 meter, serta beban rencana struktur sebesar 200 ton. Dengan mengetahui

parameter geometri tiang dan nilai N-SPT pada berbagai kedalaman, maka perhitungan kapasitas daya dukung tiang dapat dilakukan secara bertahap.[1]

Data N-SPT yang diperoleh dari hasil analisis tanah berfungsi sebagai dasar untuk menghitung dua komponen utama kapasitas tiang, yaitu daya dukung ujung (*end bearing capacity*) dan daya dukung friksi selimut (*skin friction capacity*). Perhitungan daya dukung ujung tiang (Q_u) dilakukan dengan menganalisis nilai N-SPT pada kedalaman dasar tiang yang mewakili daya tahan tanah terhadap tekanan vertikal langsung. Sementara itu, daya dukung friksi (Q_s) dihitung dengan menjumlahkan kontribusi gaya gesek sepanjang permukaan tiang yang bersentuhan dengan tanah. Kedua komponen ini kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan kemampuan daya dukung ultimate (Q_{ult}), yaitu kemampuan maksimum yang dapat ditahan oleh fondasi sebelum terjadi kegagalan.

Setelah diperoleh nilai Q_{ult} , dilakukan perhitungan daya dukung izin (Q_{all}) dengan membagi Q_{ult} terhadap faktor keamanan (*safety factor*) yang umumnya berkisar antara 2 hingga 3, tergantung pada jenis struktur dan risiko kegagalan yang dapat ditoleransi. Nilai Q_{all} ini menjadi dasar untuk mengevaluasi apakah fondasi bored pile dengan dimensi dan kedalaman yang direncanakan mampu menopang beban rencana sebesar 200 ton secara aman. Dengan menggunakan metode Kulhawy dan mempertimbangkan karakteristik tanah lokal serta data N-SPT, hasil perhitungan ini diharapkan memberikan gambaran yang akurat dan andal terhadap kinerja fondasi dalam mendukung beban struktur di atasnya.

Kapasitas daya dukung ultimate tiang (Q_{ult}) untuk tanah Lempung dihitung dengan persamaan 1 dan persamaan 2 berikut ini.

$$Q_{ult} = Q_s + Q_p \tag{1}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \tag{2}$$

$$Q_s = f_s \times L_i \times p \tag{3}$$

$$Q_p = A_p \times q_p \quad (4)$$

dengan,

Q_{ult} = Daya dukung ultimate (Ton)

Q_p = Tahanan ujung (Ton)

Q_s = Tahanan gesek/friksi (Ton)

Q_{all} = Daya dukung izin (Ton)

SF = Koefisien *Safety Factor*

A_p = Luas penampang ujung tiang (m^2)

Rumus tahanan ujung tiang pada tanah non-kohesif adalah menggunakan Persamaan 3 berikut :

$$q_p = \text{Tahanan ujung (Ton/m}^2\text{)} \\ = 0,2 \times N\text{-SPT (Ton/m}^2\text{)}$$

Sedangkan, untuk tahanan friksi dapat menggunakan persamaan berikut :

$$f_s = \alpha \times C_u \quad (5)$$

Dimana,

α = Faktor adhesi

C_u = Kuat geser tanah

Kapasitas daya dukung ultimate tiang (Q_{ult}) untuk tanah pasir dihitung dengan persamaan 6 dan persamaan 7 berikut ini.

$$Q_{p1} = A_p \times q_p = A_p \times q \times N_q^* \quad (6)$$

$$Q_{p2} = A_p \times q_1 = A_p \times 5 \times N_q^* \times \tan \phi \quad (7)$$

dengan,

Q_p = Tahanan ujung (Ton)

q_p =Tahanan ujung (Ton/ m^2)

A_p = Luas penampang ujung tiang (m^2)

q = Tegangan Vertikal efektif

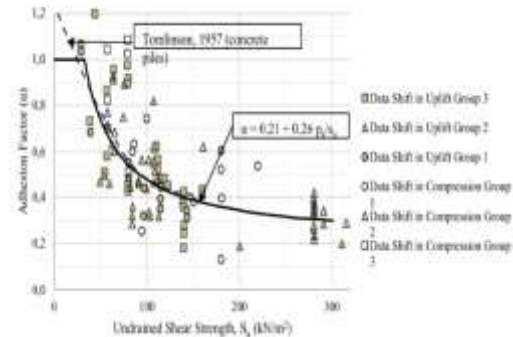
N_q^* = Faktor daya dukung ujung

q_1 = Daya dukung batas

ϕ = Sudut Geser Dalam

Faktor adhesi tanah dalam penelitian ini menggunakan persamaan dari Kulhawy dan Reese & Wright ($\alpha = 0,55$). Sedangkan, untuk nilai factor adhesi berdasarkan nilai

Kulhawy dapat menggunakan Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Korelasi antara Faktor Adhesi dan Kekuatan Geser (S_u)

Analisis Perhitungan, Data Hasil Uji *Static Loading Test* (SLT)

Hasil penyelidikan tanah

Pengujian *Standard Penetration Test* (N-SPT) dilakukan pada dua titik bor yang sudah ditentukan di lokasi proyek, sebagai perwakilan dari kondisi tanah di bawah permukaan secara vertikal. Tujuan dari pengujian di kedua titik tersebut adalah untuk mendapatkan data mengenai karakteristik tanah pada kedalaman tertentu, yang nantinya digunakan dalam perhitungan kapasitas daya dukung fondasi tiang bor. Lokasi serta hasil dari pengujian pada kedua titik tersebut dapat dilihat dalam Gambar 3.



Gambar 3. Titik pengujian N-SPT

Nilai N-SPT pada setiap lapisan tanah ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Data N-SPT pada Titik BH 1

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT
0,0 – 3,0	Lempung kelanauan	8 – 15
3,0 – 5,0	Lanau kepasiran halus	12-20
5,0 – 9,0	Pasir berbutir halus - sedang	≥ 60
9,0 – 14,0	Pasir halus kelanauan	30 – 50
14,0 – 18,0	Pasir halus	30 – 50
18,0 – 22,0	Lanau lempung organik	≥ 60
22,00 – 40,0	Pasir halus sedang	≥ 60

(Sumber : Data Proyek, 2025)

Perhitungan daya dukung tiang bor berdasarkan data N-SPT

Perhitungan daya dukung fondasi tiang bor dilakukan berdasarkan data N-SPT dengan menggunakan dua metode, yaitu metode Kulhawy (1984) dan metode Reese Wright (1977). Uji coba juga dilakukan dengan variasi nilai koefisien S_u mulai dari 5N hingga 10N untuk menentukan nilai yang paling mendekati ketika dibuat grafik.

Perhitungan numerik yang dilakukan mencakup perhitungan Daya Dukung Ujung Tiang (Q_u), perhitungan Daya Dukung Friksi (Q_s), perhitungan Kapasitas Daya Dukung Ultimate (Q_{ult}), serta perhitungan Daya Dukung Izin (Q_{all}). Hasil dari analisis perhitungan numerik menggunakan metode Kulhawy (1984) dan metode Reese Wright (1977) dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kapasitas Daya Dukung dengan Metode Numerik

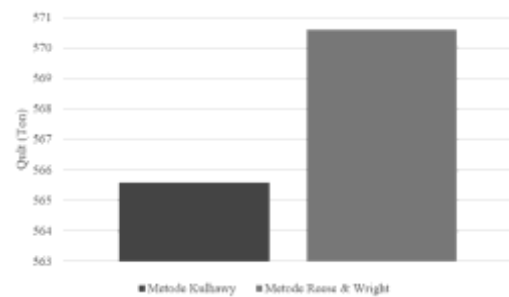
Metode	Q_s (Ton)	Q_p (Ton)	Q_{ult} (Ton)
Kulhawy	395,805	169,771	565,57
Resse & Wright	400,816	169,771	570,58

Hasil dari perhitungan kapasitas daya dukung izin (Q_{all}) dapat dilihat pada Tabel 3 berikut

Tabel 3. Daya Dukung Izin (Q_{all})

Metode	SF	Q_{all} (Ton)
Kulhawy	2,5	226,231
Resse & Wright	2,5	228,235

Grafik perbandingan hasil perhitungan numerik dengan metode kulhawy (1984) dengan metode Reese & Wright (1977) dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Grafik Hasil Metode Kulhawy dan Metode Reese & Wright

Static loading test

Static Loading Test (SLT) merupakan salah satu metode pengujian lapangan yang paling andal dan banyak digunakan untuk mengevaluasi kapasitas dukung aksial fondasi dalam, seperti tiang pancang dan bored pile. Pengujian ini dilakukan dengan pembebanan bertahap secara statis dan terkontrol langsung di lapangan. Tujuannya adalah untuk mengetahui deformasi atau penurunan pondasi akibat beban yang diberikan melalui sistem reaksi, seperti kentledge atau tiang reaksi yang mampu menahan gaya vertikal. Selama pengujian, penurunan vertikal (*settlement*) diukur menggunakan alat presisi seperti dial gauge atau LVDT, yang kemudian menghasilkan kurva hubungan beban-penurunan.

Kurva beban-settlement yang diperoleh dari SLT sangat penting dalam menilai kinerja fondasi, khususnya untuk menentukan kapasitas ultimit, yaitu beban maksimum yang masih dapat ditahan sebelum mengalami penurunan berlebih atau kegagalan teknis. Data ini menjadi dasar evaluasi keamanan fondasi terhadap beban rencana maupun beban aktual di lapangan. Dengan demikian, SLT memberikan gambaran yang nyata terhadap kondisi kerja fondasi, sehingga hasilnya dapat digunakan dalam verifikasi atau koreksi desain perencanaan.

Dalam studi ini, kapasitas dukung ultimit dianalisis menggunakan metode Kulhawy dan Reese & Wright, yang merupakan metode empiris berbasis data tanah lapangan. Metode Kulhawy digunakan untuk menghitung daya dukung ujung dan friksi kulit berdasarkan parameter tanah, seperti kohesi dan sudut geser dalam, sedangkan metode Reese & Wright lebih menekankan pada interaksi antara tanah dan struktur, terutama pada kondisi tanah berlapis. Kedua metode ini dipilih karena mampu memberikan hasil yang realistis dan konservatif sesuai dengan kondisi geoteknik lokal di Indonesia. Oleh karena itu, penggunaan metode ini dalam interpretasi hasil SLT memberikan hasil yang lebih akurat dan dapat diandalkan dalam perencanaan fondasi tiang.

Perhitungan daya dukung tiang bor berdasarkan data pengujian static loading test

Uji Beban Statis (Static Loading Test) pada proyek Gedung Rumah Sakit Klaten dilaksanakan dengan menggunakan hydraulic jack berkapasitas 500 ton, sesuai dengan standar ASTM D1143-81. Beban rencana sebesar 250 ton (100%) dan beban maksimum 500 ton (200%) akan diterapkan secara bertahap untuk menilai kemampuan dukung fondasi.

Tiang bor yang diuji berdiameter 80 cm, memakai beton mutu $f'c$ 30 MPa, dengan beban kerja yang direncanakan sebesar 200 ton. Hasil pengujian digunakan untuk menghasilkan kurva beban-penurunan sebagai dasar interpretasi kapasitas ultimit fondasi. Tabel hasil pembebanan siklus tiang bor tunggal yang ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Uji Pembebanan Siklus Tiang Bor Tunggal

Siklus	Beban		Penurunan
	(%)	(Ton)	(mm)
	0	0	0
1	25	63	0,35
	50	125	0,93
	25	63	0,66
	0	0	0,16
2	50	125	0,97
	75	188	1,62
	100	250	2,57
	75	187,5	2,9
	50	125	1,95
	0	0	0,74
3	50	125	1,98
	100	250	3,34
	125	313	5,04
	150	375	6,36
	125	313	6,12
	100	250	5,83
	50	125	4,49
	0	0	2,6
	50	125	4,04
	100	250	4,83
4	150	375	5,82
	175	437	6,68
	200	500	11
	150	375	8,48
	100	250	7,42
	50	125	6,09
0	0	4,11	

(Sumber : Data Proyek, 2025)

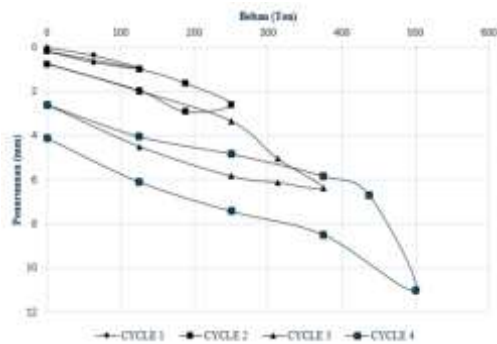
Dari Tabel pembebanan siklus tiang bor Tunggal dibuat rekapitulasi hasil *Static Loading Test* (SLT) yang ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Pengujian Static Loading Test

	Beban		Penurunan	
	(%)	%	ton	mm
0,0%	0	0	0	0
25,0%	25,00	63	0,35	
50,0%	50,00	125	0,93	
75,0%	75,00	188	1,62	
100,0%	100,00	250	2,57	
125,0%	125,00	313	5,04	
150,0%	150,00	375	6,36	
175,0%	175,00	437	6,68	
200,0%	200,00	500	11	

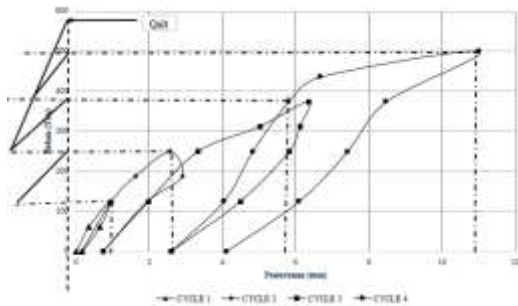
(Sumber : Data Proyek, 2025)

Dari rekapitulasi hasil pengujian *static loading test* dapat dibuat grafik penurunan yang terjadi selama proses uji pembebanan fondasi. Grafik penurunan uji *static loading test* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Penurunan Uji *Static Loading Test*

Dari grafik penurunan uji *static loading test* dapat dilakukan interpretasi untuk mendapatkan daya dukung ultimit (Q_{ult}) menggunakan Metode Mazurkiewich. Metode ini didasarkan pada pendekatan grafis dengan menganalisis grafik hubungan antara beban vertikal terhadap penurunan tiang (*load-settlement curve*). Grafik *Static Loading Test* Metode Marzukiewich dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Hasil Interpretasi Daya Dukung Ultimate Tiang Metode Mazurkiewich

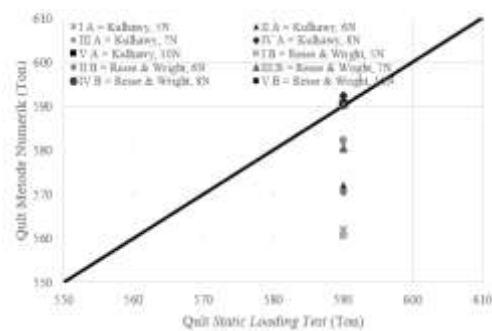
Dari interpretasi grafik yang dilakukan di atas menggunakan metode Mazurkiewich, diperoleh nilai kapasitas daya dukung ultimate (Q_{ult}) dari tiang bor sebesar 590 ton.

Perbandingan antara hasil perhitungan daya dukung aksial tiang bor secara numerik dengan menggunakan metode Kulhawy (1984) dan metode Reese & Wright (1977), serta nilai *trial* S_u , ditunjukkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil *Trial* Koefisien Su Daya dukung Tiang Bor

Su	Metode Kulhawy		Metode Reese Wright	
	Kode	Qult (Ton)	Kode	Qult (Ton)
5N	I A	561,777	I B	560,636
6N	II A	571,958	II B	570,588
7N	III A	582,139	III B	580,541
8N	IV A	592,319	IV B	590,493
10N	V A	612,681	V B	610,398

Hasil perhitungan numerik dengan dua metode dibandingkan dengan hasil lapangan melalui metode Mazurkiewicz dari uji pembebanan statis dapat dilihat dalam bentuk grafik pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Grafik Q_{ult} Perhitungan Numerik Vs Q_{ult} *Static Loading Test*

Berdasarkan perbandingan pada grafik di atas, nilai Q_{ult} SLT tercatat sebesar 590 ton. Hasil estimasi dari metode Reese & Wright dengan $S_u = 8N$ menghasilkan Q_{ult} sebesar 590,493 Ton, yang secara praktis identik dengan hasil SLT, dengan selisih absolut hanya 0,493 atau sebesar 0,08%.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengevaluasi kapasitas aksial fondasi tiang bor dengan pendekatan empiris berbasis data Standard Penetration Test (SPT) serta memverifikasinya melalui pengujian lapangan menggunakan *Static Loading Test* (SLT). Metode Kulhawy (1984) dan Reese & Wright (1977) digunakan untuk menentukan daya dukung ultimit tiang tunggal, dengan hasil perhitungan yang secara umum mendekati hasil dari SLT. Hal

ini menunjukkan bahwa pendekatan numerik Reese & Wright dengan parameter $S_u = 8N$ memberikan estimasi paling akurat dan sangat representatif terhadap kondisi lapangan. metode Reese & Wright menunjukkan hasil yang sedikit lebih dekat ke data lapangan dibanding metode Kulhawy standar, namun masih berada di bawah akurasi pendekatan $S_u = 8N$. Kesesuaian hasil ini memperkuat validitas penggunaan metode empiris berbasis SPT dalam desain fondasi, terutama jika didukung oleh verifikasi SLT. Penelitian ini juga mendukung temuan terdahulu mengenai keandalan metode Reese & Wright dalam tanah berlapis, sekaligus memberikan kontribusi baru dalam konteks lokal Indonesia, khususnya pada tanah lempung di wilayah Klaten. Dengan demikian, pendekatan kombinasi SPT dan SLT terbukti efektif dalam mengevaluasi performa fondasi tiang bor dan dapat diandalkan sebagai dasar perencanaan fondasi yang akurat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih yang mendalam disampaikan kepada pihak manajemen proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Klaten atas izin dan bantuan dalam penyediaan data lapangan. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang positif dalam pengembangan ilmu teknik sipil, khususnya dalam bidang geoteknik dan perencanaan fondasi. L.

Daftar Pustaka

- Fitria, L., & Nugroho, E. (2018). Evaluasi penurunan **Th** pondasi tiang bor berdasarkan SLT di Bekasi. *Jurnal Teknik Perumahan dan Permukiman*.
- Mazurkiewicz, B. K., 1972. Test Loading of Piles According to Polish Regulations (Prel. Rep. 35). Stockholm: Swedish Academy of Engineering Sciences, Sciences [Preprint].
- Kulhawy, F. H., 1984. Limiting Tip and Side Resistance - Fact or Fallacy, in Analysis and Design of Pile Foundations. New York, N.Y.: American Society of Civil Engineers, pp. 80–98. Available at:

- <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:114719688>.
- Kulhawy, F. H., & Jackson, C. S., 1989. Some Observations on Undrained Side Resistance of Drilled Shafts, in Foundation Engineering: Current Principles and Practices Congress Evanston Illinois, pp. 1011–1025. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:115093131>.
- Mulyono, T. (2019). *Teknologi beton* (Ed. revisi). Yogyakarta, Indonesia: Penerbit Andi.
- Sutrisno, E. (2018). *Geoteknik lanjut: pondasi dalam dan uji lapangan*. Jakarta, Indonesia: Erlangga.
- Nugraha, I. (2020). *Teknik pondasi tiang bor dan mekanika tanah*. Bandung, Indonesia: Penerbit Alfabeta.
- Fadilah, U. N., dan Tunafiah, H. (2018). Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data N-SPT Menurut Rumus Reese dan Wright dan Penurunan. *Jurnal IKRAITH Teknologi*, 2(3), 7-13. Jakarta.
- Robert, S., dan Sentosa, G. S. (2021). Pengaruh Jarak Antar Tiang Terhadap Efisiensi Daya Dukung Tiang Kelompok Bor. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 441-446. Jakarta.
- Bowles, J.E. 1997. *Analisa dan Desain Pondasi Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Naomi Roniar, C. Hartanto, M. Irsyam, Y. I. Basarah, and T. B. Sihite, "Evaluation of Empirical Formulas to Estimate Axial Capacity of Bored Pile in West Java, Indonesia," *Indonesian Geotechnical Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 73–84, Dec. 2023, doi: 10.56144/igj.v2i3.62
- U. N. Fadilah and H. Tunafiah, "Analisa daya dukung pondasi bored pile berdasarkan datan-spt menurut rumus reese dan wright dan penurunan," *IKRA-ITH Teknol.*, vol. 2, no. 3, pp. 7–13, 2018, [Online]. Available: <https://journals.upi-yai.ac.id/index.php/ikraith-teknologi/article/view/326/217>
- Reese, Lymon C. and Wright, Stephen J, 1977. Drilled Shaft Manual, Washington, D. C: U. S. Dept. of Transportation Federal Highway Administration, Offices of Research and Development, Implementation Division.