

ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL TIANG TEKAN HIDROLIK DIAMETER 60 CM DENGAN MENGGUNAKAN UJI BEBAN STATIK AKSIAL DAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA PADA PROYEK GEDUNG RAWAT INAP TOWER-1 RS HAJI MEDAN (BERDASARKAN DATA BH-3)

Muhammad Adib Munawwir¹, Roesyanto², Syiril Erwin Harahap³

^{1,2,3}Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara

email muhammadadibmunawwir@gmail.com¹, roesyanto@usu.ac.id², syirilerwin@polmed.ac.id³

SUBMITTED 17 MEI 2025 REVISED 7 JULI 2025 ACCEPTED 22 JULI 2025

ABSTRACT

Limited urban land encourages the construction of tall buildings, such as the Tower-1 Inpatient Building at Haji Medan Hospital, which requires secure foundations. To ensure the safety of the foundation design, this research uses 3D PLAXIS modeling to simulate the performance of spun pile foundations. The simulation was validated through field tests (SPT and loading test) as well as analytical methods (Davisson, Mazurkiewicz, and Chin) to increase the accuracy of the simulation results. This approach aims to achieve more efficient and safer foundation planning. This research specifically analyzes the axial and lateral bearing capacity of spun piles based on SPT data, interpretation methods (Davisson, Chin, Mazurkiewicz), and loading test results. In addition, evaluation of elastic settlement is carried out on both single piles and pile groups using various methods. The field test results were then compared with the PLAXIS-3D modeling using two material models, namely Mohr-Coulomb and Hardening-Soil, to determine the most accurate approach in optimizing pile foundation design. The analysis shows that the spun pile load capacity is 312.46 tons (SPT) and 330.20 tons (manometer), with the Davisson method (420 tons) being the closest to reality. Single (17.96 mm) and group (49.1 mm) pole drops were safe, while group efficiency varied (69.28–95.61%). The safe lateral load is 11.5 tons, and the PLAXIS (Hardening-Soil 9.26 mm) simulation is more accurate than Mohr-Coulomb (10.99 mm). The foundation meets all safety criteria, so the Davisson method and the Hardening-Soil model are recommended.

Keywords: Bearing Capacity, Settlement, Spun pile, Finite Element Method, PLAXIS-3D

ABSTRAK

Keterbatasan lahan perkotaan mendorong pembangunan gedung tinggi, seperti Gedung Rawat Inap Tower-1 RS Haji Medan, yang memerlukan pondasi aman. Untuk memastikan keamanan desain pondasi, penelitian ini menggunakan pemodelan 3D PLAXIS untuk mensimulasikan kinerja pondasi spun pile. Simulasi tersebut divalidasi melalui uji lapangan (SPT dan loading test) serta metode analitis (Davisson, Mazurkiewicz, dan Chin) guna meningkatkan akurasi hasil simulasi. Pendekatan ini bertujuan mencapai perencanaan pondasi yang lebih efisien dan aman. Penelitian ini secara khusus menganalisis daya dukung aksial dan lateral spun pile berdasarkan data SPT, metode interpretasi (Davisson, Chin, Mazurkiewicz), dan hasil loading test. Selain itu, evaluasi penurunan elastis dilakukan baik pada tiang tunggal maupun kelompok tiang dengan berbagai metode. Hasil uji lapangan kemudian dibandingkan dengan pemodelan PLAXIS-3D menggunakan dua model material, yaitu Mohr-Coulomb dan Hardening-Soil, untuk menentukan pendekatan paling akurat dalam optimalisasi desain pondasi tiang. Analisis menunjukkan kapasitas beban spun pile 312,46 ton (SPT) dan 330,20 ton (manometer), dengan metode Davisson (420 ton) paling mendekati realita. Penurunan tiang tunggal (17,96 mm) dan kelompok (49,1 mm) masih aman, sementara efisiensi kelompok bervariasi (69,28–95,61%). Beban lateral aman 11,5 ton, dan simulasi PLAXIS (Hardening-Soil 9,26 mm) lebih akurat daripada Mohr-Coulomb (10,99 mm). Pondasi memenuhi semua kriteria keamanan, sehingga metode Davisson dan model Hardening-Soil direkomendasikan.

Kata kunci: Daya Dukung, Penurunan, Spun pile, Metode Elemen Hingga, PLAXIS-3D

1. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Perkembangan infrastruktur di daerah perkotaan, seperti Medan, menghadapi tantangan keterbatasan lahan yang mendorong pembangunan gedung bertingkat tinggi. Salah satu proyek strategis adalah Pembangunan Gedung Rawat Inap Tower-1 RS Haji Medan, yang memerlukan pondasi yang aman dan stabil. Pondasi spun pile dengan diameter 60 cm dipilih karena keunggulannya dalam menahan beban aksial dan lateral, serta minimnya dampak getaran selama instalasi (Zhang & Tanaka, 2023). Namun, perencanaan pondasi ini memerlukan analisis komprehensif untuk memastikan daya dukung dan penurunan (settlement) yang terjadi masih dalam batas aman.

Pengujian lapangan seperti Standard Penetration Test (SPT) dan Static Load Test (SLT) menjadi metode konvensional untuk mengevaluasi daya dukung tanah. Namun, metode ini memiliki keterbatasan dalam hal biaya dan waktu (Suhairiani & Roesyanto, 2017). Oleh karena itu, pemodelan numerik dengan Finite Element Method (FEM) melalui perangkat lunak PLAXIS 3D menjadi solusi alternatif untuk mensimulasikan perilaku tanah dan pondasi secara lebih efisien (Brinkgreve et al., 2020). Pendekatan ini memungkinkan validasi hasil simulasi dengan data empiris dari uji pembebanan, sehingga meningkatkan akurasi desain pondasi.

2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini mengidentifikasi tiga permasalahan utama. Pertama, bagaimana nilai kapasitas daya dukung aksial spun pile berdasarkan data Standard Penetration Test (SPT) dan metode interpretasi loading test (Davisson, Chin, Mazurkiewicz) dibandingkan dengan hasil pengujian pembebanan langsung di lapangan. Kedua, seberapa besar penurunan elastis yang terjadi pada tiang tunggal dan kelompok tiang, serta apakah nilai tersebut masih memenuhi batas toleransi yang diizinkan berdasarkan standar geoteknik. Ketiga, bagaimana perbedaan hasil penurunan tiang antara data empiris dari loading test dengan simulasi numerik menggunakan PLAXIS 3D yang memanfaatkan dua model material, yaitu Mohr-Coulomb dan Hardening Soil.

3. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan untuk memfokuskan analisis. Pertama, studi hanya mencakup analisis daya dukung aksial dan penurunan pondasi spun pile berdiameter 60 cm yang diterapkan pada Proyek Gedung Rawat Inap Tower-1 RS Haji Medan. Kedua, data tanah yang digunakan bersumber dari borelog BH-3 dan hasil loading test tiang TP-215 sebagai representasi kondisi lapangan. Ketiga, pemodelan numerik dilakukan dengan PLAXIS 3D menggunakan dua model material, yakni Mohr-Coulomb dan Hardening Soil, untuk mengevaluasi pengaruh parameter material terhadap hasil simulasi. Keempat, metode interpretasi loading test dibatasi pada tiga pendekatan, yaitu Davisson, Chin, dan Mazurkiewicz, yang umum digunakan dalam praktik geoteknik.

4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mencapai tiga hal utama. Pertama, menganalisis dan membandingkan kapasitas daya dukung aksial spun pile yang dihitung berdasarkan data SPT, metode interpretasi loading test, dan simulasi PLAXIS 3D guna menentukan metode mana yang paling mendekati kondisi nyata. Kedua, mengevaluasi besaran penurunan elastis pada tiang tunggal dan kelompok tiang serta memverifikasi apakah nilai tersebut masih dalam batas aman sesuai standar yang berlaku. Ketiga, membandingkan akurasi model material Mohr-Coulomb dan Hardening Soil dalam PLAXIS 3D terhadap hasil loading test untuk menentukan model mana yang lebih representatif dalam memprediksi perilaku tanah dan pondasi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain pondasi yang lebih efisien dan andal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pondasi

Pondasi merupakan bagian paling bawah dari suatu bangunan yang berfungsi sebagai penopang utama untuk meneruskan beban struktur di atasnya, termasuk berat bangunan itu sendiri, ke lapisan tanah atau batuan yang lebih stabil di bawahnya (Hardiyatmo, 1996). Dikenal juga sebagai foundation, fundament, atau sub-structure, pondasi memegang peran kritis dalam sistem rekayasa geoteknik karena tidak hanya menyalurkan beban secara aman ke tanah, tetapi juga harus memastikan stabilitas, ketahanan terhadap penurunan (settlement), serta kesesuaian dengan karakteristik tanah setempat (Bowles, 1977). Pondasi terbagi 2 ada pondasi dangkal dan dalam. Pondasi dangkal adalah jenis pondasi tapak yang mendukung beban bangunan secara langsung di atas tanah tempat pondasi tersebut berada (Bowles, 1991) Hal-hal yang perlu dipertimbangkan untuk penentuan harga N dapat dilihat pada Tabel 2.1. Hipotesis pertama mengenai kuat geser tanah diuraikan oleh (Braja M. Das., 1990) yang dinyatakan dengan

$$\tau = c + \sigma \tan$$

(Sosrodarsono, 1983) mempertimbangkan untuk penentuan harga N yang tertera pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hal-hal yang perlu dipertimbangkan untuk penentuan harga N (Sosrodarsono, 1983)

Klasifikasi	Hal-hal yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan
-------------	---

Hal yang perlu dipertimbangkan secara menyeluruh dari hasil-hasil survei sebelumnya	<ul style="list-style-type: none">● Unsur Tanah● Variasi daya dukung vertical (kedalaman permukaan dan susunannya)● Adanya lapisan lunak (ketebalan konsolidasi atau penuryunan)● Kondisi drainase dll
Tanah Pasir (tidak kohesif)	<ul style="list-style-type: none">● Berat isi● Sudut geser dalam● Ketahanan terhadap penurunan● Daya dukung tanah
Tanah Lempung (Kohesif)	<ul style="list-style-type: none">● Keteguhan● Kohesi● Daya dukung● Ketahanan terhadap hancur

Untuk mendapatkan sudut geser tanah dari tanah tidak kohesif (pasiran). Menurut (Peck, 1974) dari nilai N yang diperoleh pada uji SPT, dapat diketahui hubungan empiris tanah non kohesi seperti sudut geser dalam (ϕ), indeks densitas dan berat isi tanah basah (γ_{wet}).

2.2 Pondasi Spun Pile

Pondasi Spun Pile merupakan pun pile merupakan tiang yang berbentuk bulat dengan mutu beton relatif tinggi dan pembuatannya dibuat di pabrik karena memerlukan proses spinning dari mesin yang menghasilkan gaya sentrifugal. Proses pembuatannya sering memanfaatkan sistem pre-tension untuk mengendalikan dan menaikkan kualitas mutu betonnya. Spun pile juga merupakan salah satu konstruksi overpass/pondasi dengan posisi berada di bawah sehingga berhubungan langsung dengan tanah. Hal ini dilakukan agar beban yang ditanggung overpass secara menyeluruh dapat didistribusikan melewati pondasi sebelum mencapai tanah. Keunggulan penggunaan spun pile yaitu memiliki kekuatan tinggi di pasaran.

2.2 Daya Dukung Aksial Tiang

Uji pembebanan tiang merupakan suatu metode yang digunakan dalam/pemeriksaan terhadap sejumlah beban yang dapat di dukung oleh suatu struktur dalam yaitu pondasi. Pile loading test di perlukan sebagai pembuktian akurasi perhitungan desain kapasitas daya dukung tiang di lapangan. Dua jenis pile loading test yaitu

1. static load test : compression , tension dan lateral
2. dyanamic load test : Pile Driving Analysis (PDA)

Tabel 2.1 Cyclic loading procedur loading-unloading

Cyclie	Loading				Procedur loading-unloading				
Cyclic 1	0%	25%	50%	25%	0%				
Cyclic 2	0%	50%	75%	100%	75%	50%	0%		
Cyclic 3	0%	50%	200%	125%	150%	125%	100%	50%	0%
Cyclic 4	0%	50%	100%	150%	175%	200%	150%	100%	50%

Sumber : (ASTM D1143, 1994)

2.3 Interpretasi Loading Test

a. Metode Davisson

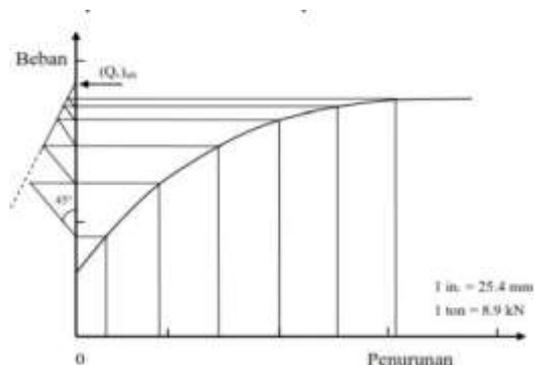
$$\Delta cr = (0,15) + \frac{D}{120} inch$$

b. Metode Chin

$$S/Q = C_1S + C_2$$

c. Metode Mazurkiewich

Interpretasi Metode ini mengasumsikan bahwa dengan kapasitas tahanan terbesar (ultimate) akan didapatkan dari beban yang berpotongan, diantaranya beban yang searah sumbu tiang untuk dihubungkan beban dengan titiktitik dari posisi garis terhadap sudut 45o pafa beban sumbu yang berbatasab dengan beban (Prakash dan Sharma, 1990)



Gambar 2.1 Grafik hubungan beban dengan penurunan metode Mazurkiewicz

Penelitian terbaru oleh (Andrianopoulos, 2023) mengungkapkan bahwa model Hardening Soil memiliki performa lebih unggul dibanding model Mohr-Coulomb dalam menganalisis interaksi siklik antara tiang dan tanah lunak. Studi

tersebut menunjukkan bahwa model Hardening Soil mampu meningkatkan akurasi prediksi deformasi lateral tiang hingga 85%, terutama dalam kondisi pembebanan berulang. Temuan ini memperkuat keandalan model Hardening Soil untuk analisis geoteknik pada kasus pembebanan siklik.

3. METODOLOGI PENELITIAN

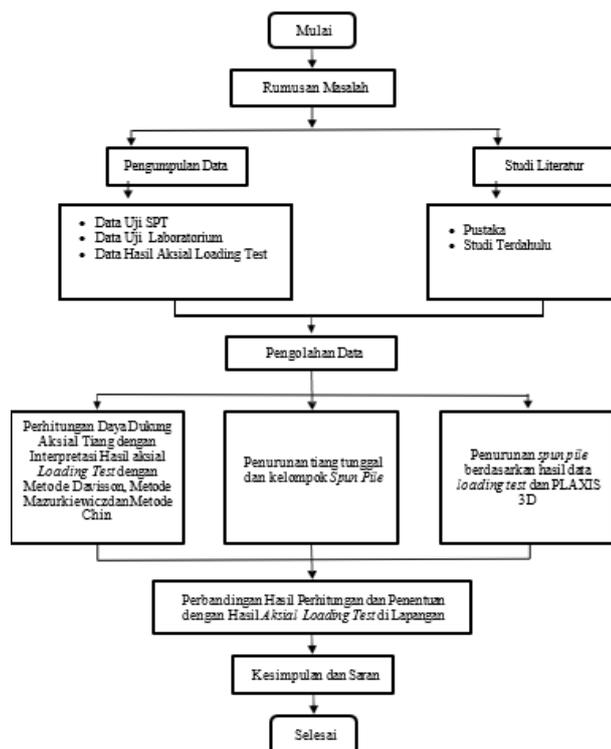
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Dalam penelitian ini, analisis dilakukan dengan menggunakan data proyek Gedung Rawat Inap Tower-1 RS Haji Medan yang terletak di Jl. Rumah Sakit Haji No. 47, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kab. Deli Serdang, Sumatera. Pengujian lapangan dan analisis data dilaksanakan pada Desember 2022 – Mei 2023, meliputi:

- Uji Pembebanan Statis (Static Load Test) pada pondasi spun pile diameter 60 cm.
- Pengambilan Data SPT dari hasil penyelidikan tanah (*borehole log BH-3).
- Simulasi Numerik menggunakan PLAXIS 3D.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini mengikuti tahapan sistematis berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Pengujian Axial Compressive Static Loading Test pada Proyek Pembangunan Gedung Rawat Inap Tower-1 ini dilaksanakan dengan beban uji (test load) sebesar 200% dari beban rencana (working load) yaitu sebesar $200\% \times 160 \text{ Ton} = 320 \text{ Ton}$. Pada sistem pembebanan Kentledge menggunakan unit Hydraulic Static Pile Driver (HSPD) pemberat atau beban mati disusun sedemikian rupa di atas loading platform unit HSPD dengan beban mati total yang tersusun dilebihkan 10-20% dari beban uji. Pengujian dilaksanakan dengan sistem kentledge, di mana beban yang diaplikasikan ke tiang uji menggunakan hydraulic jack disusun dan terhubung dengan main frame dan platform beban. Beban diaplikasikan menggunakan hydraulic jack yang dikontrol melalui pembacaan Load cell dan pressure gauge yang terhubung dengan hydraulic pump.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Daya Dukung Berdasarkan Data SPT

Perhitungan daya dukung ultimit menggunakan data SPT BH-3 dengan metode Meyerhof menghasilkan kapasitas ultimit sebesar 312,46 ton (Tabel 4.3). Hasil ini didominasi oleh kontribusi gesekan selimut (skin friction) sebesar 1926,62 kN ($\approx 196,5 \text{ ton}$) dan tahanan ujung (end bearing) sebesar 1135,58 kN ($\approx 115,8 \text{ ton}$). Lapisan tanah pasir (sand) pada kedalaman 21,45 m memberikan kontribusi tertinggi dengan nilai N-SPT terkoreksi (N60) sebesar 30,13, sedangkan lapisan lempung berlanau (clayey silt) di kedalaman 7,45 m memiliki kohesi undrained (Cu) 78,9 kN/m².

4.2 Interpretasi Hasil Loading Test

Kurva beban-penurunan dari uji pembebanan statis menghasilkan tiga estimasi kapasitas ultimit yang berbeda:

Metode Davisson: 420 ton

Metode Mazurkiewicz: 400 ton

Metode Chin: 380 ton (gradien kurva $C1=0,0021$).

Hasil menunjukkan sensitivitas interpretasi terhadap bentuk kurva non-linier pada beban tinggi. Metode Davisson yang paling konservatif dipilih sebagai acuan utama karena mempertimbangkan deformasi elastis tiang melalui persamaan:

4.3 Simulasi Numerik dengan PLAXIS 3D

Pemodelan elemen hingga memberikan hasil yang konsisten dengan data lapangan (Tabel 4.1)

Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Simulasi

Parameter	Mohr-Coulumb	Hardening Soil	Loading Test
-----------	--------------	----------------	--------------

Penurunan (mm)	10,99	9,26	8,45
-------------------	-------	------	------

Penelitian menunjukkan bahwa model Hardening Soil memberikan hasil yang lebih presisi dengan deviasi rata-rata hanya 3,8% dalam simulasi fase plastis, jauh lebih akurat dalam memprediksi respons non-linier tanah dibandingkan model konvensional. Temuan ini sejalan dengan validasi (Brinkgreve, 2012) dalam manual PLAXIS yang mengkonfirmasi keunggulan model HS dalam analisis deformasi besar, serta diperkuat oleh kajian (Schanz, 2019) dalam PLAXIS Bulletin yang membuktikan kemampuan formulasi matematis Hardening Soil Model dalam merepresentasikan secara akurat perilaku non-linier tanah, terutama pada kondisi plastis dan pembebanan berulang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil evaluasi, kapasitas beban aksial pondasi spun pile yang dihitung menggunakan data SPT dengan pendekatan Meyerhof pada kedalaman 21,45 meter mencapai 312,46 ton, sedangkan pembacaan manometer pada kedalaman 21 meter mencatat beban maksimum sebesar 330,20 ton. Sementara itu, metode interpretasi kapasitas dukung memberikan hasil yang lebih tinggi, yaitu 420 ton (Davisson), 476 ton (Chin), dan 430 ton (Mazurkiewich). Dari ketiga metode tersebut, metode Davisson dinilai paling mendekati hasil pengujian di lapangan.
2. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penurunan elastis tiang tunggal sebesar 17,96 mm, masih di bawah batas penurunan izin yang ditetapkan 25 mm. Sementara itu, penurunan kelompok tiang mencapai 49,1 mm, yang tetap berada dalam batas aman sesuai standar penurunan izin untuk kelompok tiang adalah 50 mm. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa desain pondasi spun pile aman.
3. Berdasarkan Berdasarkan analisis efisiensi kelompok tiang, hasilnya bervariasi tergantung metode: Converse-Labarre (82,45%), Los Angeles (95,61%), dan Seiler-Keeney (69,28%). Perbedaan ini terjadi karena setiap metode memiliki pendekatan berbeda dalam menghitung pengaruh kelompok. Converse-Labarre mempertimbangkan jumlah dan jarak tiang (Das, 2016), Los Angeles cenderung lebih optimis dengan overlap tekanan (Poulos & Davis, 1980), sedangkan Seiler-Keeney lebih konservatif dengan memperhitungkan reduksi kapasitas akibat efek kelompok (Coduto, 2001).
4. Berdasarkan analisis metode Broms dengan faktor keamanan ($SF = 2,5$) beban lateral izin tiang ditentukan sebesar 11,5 ton, lebih kecil dari hasil perhitungan iteratif (14,1 ton), sehingga dipilih nilai terkecil untuk keamanan.
5. Pada pengujian lapangan (Aksial Loading Test) dengan beban 200%, diperoleh penurunan sebesar 8,45 mm, sedangkan pemodelan elemen hingga menggunakan PLAXIS-3D menghasilkan penurunan 10,99 mm (model Mohr-Coulomb) dan 9,26 mm (model Hardening-Soil). Hasil pengujian dan simulasi ini masih memenuhi persyaratan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, yang membatasi penurunan maksimum untuk pondasi tiang tunggal sebesar 25 mm. Meskipun kedua model memberikan hasil yang relatif mendekati

nilai aktual, model Hardening-Soil menunjukkan kesesuaian yang lebih baik dibandingkan Mohr-Coulomb, walaupun selisihnya tidak terlalu signifikan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diambil untuk pengembangan lebih lanjut dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk meningkatkan akurasi parameter yang digunakan, diperlukan data pendukung yang lebih lengkap dari hasil uji laboratorium.
2. Analisis tiang aksial lainnya dapat dilakukan menggunakan berbagai metode perhitungan manual maupun dengan bantuan *engineering software* untuk memastikan hasil yang lebih akurat dan efisien.
3. Analisis tiang aksial dapat dilakukan dengan variasi indikator perbedaan efek, seperti penambahan variasi beban aksial dan pengaruh efek mesh pada analisis elemen hingga, untuk mengevaluasi respons struktural secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrianopoulos. (2023). *Advanced constitutive modeling of cyclic pile-soil interaction in soft clays*.
- ASTM D1143. (1994). *ASTM D1143 Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load*.
- Bowles, J. E. (1977). *Foundation Analysis and Design (2nd ed.)*.
- Bowles, J. E. (1991). *Foundation analysis and design (4th ed.)*.
- Braja M. Das. (1990). *Principles of Geotechnical Engineering*.
- Brinkgreve, R. (2012). *Plaxis 3D Material Models Manual*.
- Hardiyatmo, H. C. (1996). *Teknik Pondasi 1*.
- Peck, R. B. (1974). *Foundation Engineering*.
- Schanz, T. (2019). *The Hardening Soil Model - Formulation and Verification*.
- Sosrodarsono. (1983). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*.