

**ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG *SPUN PILE*
MENGUNAKAN DATA *CONE PENETRATION TEST*
MELALUI PERHITUNGAN ANALITIK DAN EMPIRIS**

SKRIPSI

OLEH

**M RAFI PUTRA AKBAR
228110044**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/8/26

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repositori.uma.ac.id)10/8/26

**ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG *SPUN PILE*
MENGUNAKAN DATA *CONE PENETRATION TEST*
MELALUI PERHITUNGAN ANALITIK DAN EMPIRIS**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sajarna di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area



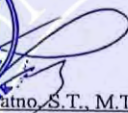
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

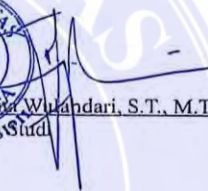
HALAMAN PENGESAHAN

Judul skripsi : Analisis Daya Dukung Tiang *Spun Pile* Menggunakan Data
Cone Penetration Test Melalui Perhitungan Analitik dan
Empiris
Nama : M Rafi Putra Akbar
Npm : 228110044
Fakultas : Teknik

Disetujui oleh
Komisi pembimbing


Ir. Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T
Pembimbing


Prof. Drs. Subratno, S.T., M.T.
Dekan


Ir. Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T
PROG. TEKNIK STUDI

Tanggal lulus : 5 Maret 2026

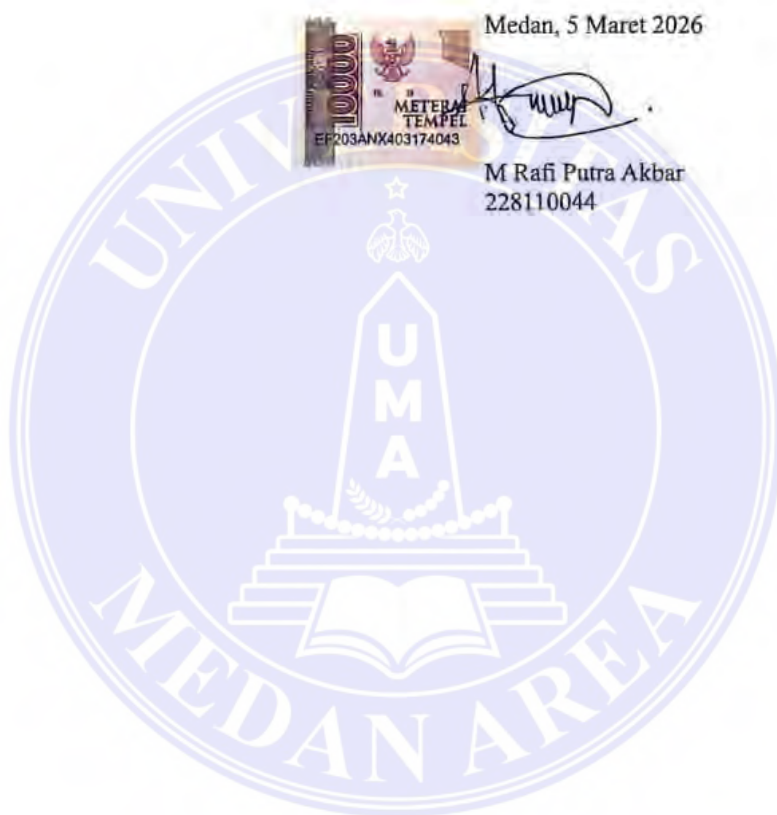
HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 5 Maret 2026



M Rafi Putra Akbar
228110044



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik universitas medan area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: M Rafi Putra Akbar
Npm	: 228110044
Program Studi	: Teknik Sipil
Fakultas	: Teknik
Jenis Karya	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul Analisis Daya Dukung Tiang *Spun Pile* Menggunakan Data *Cone Penetration Test* Melalui Perhitungan Analitik Dan Empiris. Sebagai Parameter Geoteknik, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 5 Maret 2026
Yang menyatakan



(M Rafi Putra Akbar)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di medan pada tanggal 3 Agustus 2003 dari ayah M Subagio dan ibu Hanana penulis merupakan putra ke-3 dari 4 bersaudara. Tahun 2022 penulis lulus dari SMA SWASTA R.A Kartini dan pada tahun 2022 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Pada tahun 2025 penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di PT. Alfo Konstruksi Abadi pada Proyek Pembangunan Gedung Showroom Dan Kantor.

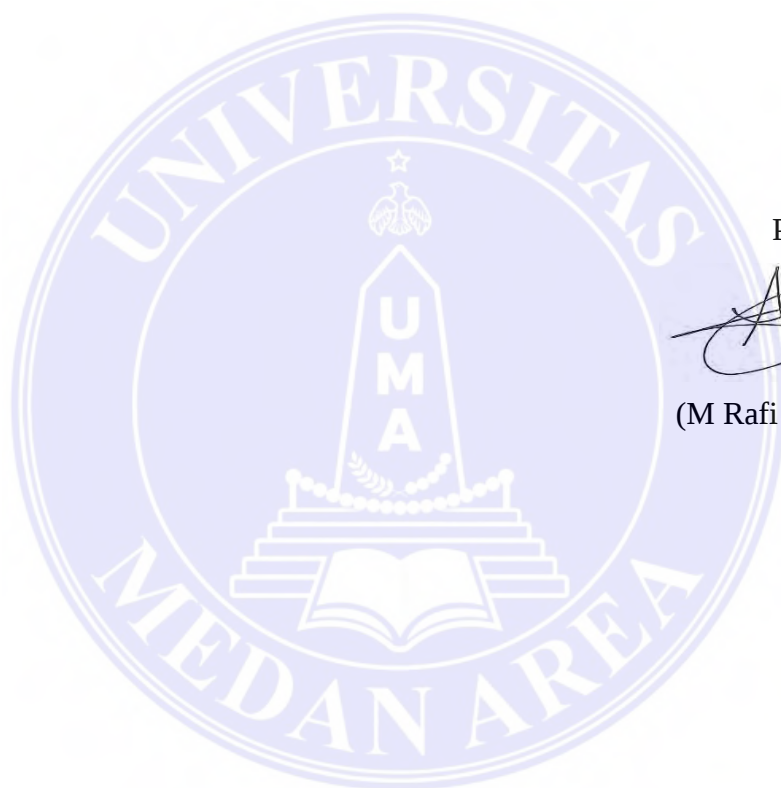


KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah geoteknik dengan judul berjudul Analisis Daya Dukung Tiang *Spun Pile* Menggunakan Data *Cone Penetration Test* Melalui Perhitungan Analitik Dan Empiris

1. Ibu Ir. Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil sekaligus dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan arahan, bimbingan, masukan, serta motivasi kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini. Berkat kesabaran, perhatian, dan ilmu yang diberikan, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Semoga segala kebaikan dan bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang setimpal dari Tuhan Yang Maha Esa.
2. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua tercinta, Ibu Hanana dan Bapak M. Subagio, yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan, motivasi, serta pengorbanan yang tiada henti kepada penulis. Segala bentuk dukungan yang diberikan selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini menjadi sumber kekuatan dan semangat bagi penulis untuk menyelesaikan pendidikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam menyelesaikan skripsi ini tidak terlepas dari doa, kerja keras, dan pengorbanan yang telah diberikan oleh kedua orang tua. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, kebahagiaan, dan keberkahan kepada mereka berdua.
3. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada saudara-saudara tercinta, yaitu Sakinah Nurulitha, Adhe Hizra Mahendra, Adib Fachturahman, dan Chairunisa Azahra, yang selalu memberikan dukungan, semangat, doa, serta kebahagiaan dalam setiap proses yang penulis jalani. Terima kasih atas perhatian, bantuan, dan motivasi yang diberikan, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan dan penyusunan skripsi ini dengan baik. Kehadiran dan dukungan kalian menjadi salah satu sumber semangat bagi penulis untuk terus berusaha dan tidak mudah menyerah dalam menghadapi berbagai tantangan selama masa studi.
4. Penulis juga ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada sahabat-sahabat terbaik penulis selama masa perkuliahan, yaitu Jadihot Simanullang, M. Ilham Habib Harahap, Mulfi Hazwi Harahap, dan Niken Saqina. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, perhatian, serta berbagai pengalaman yang telah dilalui bersama sejak awal perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini. Kehadiran kalian telah memberikan banyak warna dalam perjalanan akademik penulis, baik melalui diskusi, kerja sama dalam berbagai kegiatan perkuliahan, maupun melalui canda tawa yang mampu mengurangi rasa lelah dan tekanan selama menjalani masa studi. Penulis sangat bersyukur dapat mengenal dan bertumbuh bersama sahabat-sahabat yang selalu saling mendukung dalam menghadapi berbagai

tantangan selama perkuliahan. Terima kasih karena telah menjadi tempat berbagi cerita, bertukar pikiran, memberikan semangat ketika menghadapi kesulitan, serta selalu hadir dalam berbagai momen penting selama masa perkuliahan. Dukungan yang diberikan, baik secara langsung maupun tidak langsung, telah menjadi salah satu faktor yang membantu penulis tetap termotivasi untuk menyelesaikan pendidikan dan penyusunan skripsi ini.



Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'AR' followed by some cursive flourishes.

(M Rafi Putra Akbar)

ABSTRAK

Pondasi merupakan elemen struktural yang berfungsi menyalurkan beban bangunan ke tanah pendukung secara aman. Pada proyek pembangunan gedung showroom dan kantor di Kota Medan, digunakan pondasi dalam berupa tiang *spun pile* untuk mengakomodasi beban struktur dan kondisi tanah yang bervariasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis daya dukung pondasi *spun pile* berdasarkan data *Cone Penetration Test* (CPT) melalui pendekatan perhitungan analitik empiris. Kajian teori meliputi konsep daya dukung tanah, karakteristik tanah, metode Aoki-De Alencar untuk tiang tunggal, metode Converse-Labarre untuk tiang kelompok, serta pemodelan numerik menggunakan Plaxis 2D. Metode penelitian bersifat kuantitatif dengan pengumpulan data primer berupa CPT dan *Pile Driving Analyzer* (PDA) Test, serta data sekunder dari laporan proyek dan literatur. Hasil analisis menunjukkan bahwa daya dukung tiang tunggal berdasarkan metode Aoki-De Alencar sebesar 381,4 ton, hasil pemodelan Plaxis 2D sebesar 288,4 ton, dan hasil PDA Test sebesar 306,5 ton, sedangkan daya dukung pondasi kelompok menggunakan metode Converse-Labarre diperoleh sebesar 12996,135 kN. Sehingga kapasitas dukung pondasi lebih besar dibandingkan beban kerja, yaitu $12996,135 \text{ kN} > 7627,23 \text{ kN}$, yang menunjukkan bahwa pondasi berada dalam kondisi aman. Perbandingan hasil menunjukkan bahwa nilai PDA Test lebih kecil 19,64% dibandingkan metode Aoki-De Alencar, sedangkan hasil Plaxis 2D lebih kecil 5,91% terhadap PDA Test dan 24,38% terhadap metode Aoki-De Alencar. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kombinasi metode analitik, pemodelan numerik, dan pengujian lapangan memberikan hasil analisis daya dukung pondasi *spun pile* yang lebih akurat dan andal.

Kata kunci: daya dukung *spun pile*, Aoki De Alencar , Converse- Labarre, Plaxis

ABSTRACT

Foundations are structural elements that function to safely transfer building loads to the supporting soil. In the construction project of a showroom and office building in Medan City, deep foundations in the form of spun pile piles were employed to accommodate structural loads and varying soil conditions. This study aims to analyze the bearing capacity of spun pile foundations based on Cone Penetration Test (CPT) data using empirical calculation approaches and finite element modeling. The theoretical framework includes soil bearing capacity concepts, soil characteristics, the Aoki-De Alencar method for single piles, the Converse-Labarre method for pile groups, and numerical modeling using Plaxis 2D. The research adopts a quantitative approach with primary data obtained from CPT and Pile Driving Analyzer (PDA) tests, as well as secondary data from project reports and relevant literature. The analysis results indicate that the single pile bearing capacity obtained using the Aoki-De Alencar method is 381.4 tons, the Plaxis 2D modeling result is 288.4 tons, and the PDA test result is 306.5 tons, while the pile group bearing capacity is 12,996.135 kN. ($12,996.135 \text{ kN} > 7,627.23 \text{ kN}$), confirming that the foundation is in a safe condition. Comparative analysis shows that the PDA test result is 19.64% lower than the Aoki-De Alencar method, whereas the Plaxis 2D result is 5.91% lower than the PDA test and 24.38% lower than the Aoki-De Alencar method. This study concludes that combining empirical methods, numerical modeling, and field testing provides a more accurate and reliable analysis of spun pile foundation bearing capacity.

Keywords: bearing capacity, spun pile, Aoki De Alencar, Converse Labarre, Plaxis

DAFTAR ISI

COVER.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	Error! Bookmark not defined.
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiiiiv
NOTASI	xiii
 BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
 BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Perbedaan dengan penelitian terdahulu	11
2.3 Defenisi Tanah.....	12
2.4 Karakteristik Tanah	13
2.5 Ukuran partikel tanah.....	17
2.6. Klasifikasi Tanah.....	18
2.7 Daya dukung (<i>Bearing Capacity</i>)	20
2.8 <i>Cone Penetration Test</i> (CPT) / Sondir	23
2.8.1 Alat Sondir	25
2.8.2 Peralatan parameter pada konus	26
2.9 Korelasi antara daya dukung pondasi <i>spun pile</i> dengan data sondir	27
2.10 Pondasi	29
2.10.1 <i>Spun pile</i>	30
2.10.2 Proses Pelaksanaan <i>Spun pile</i>	31
2.10.3 <i>Pile Driving Analyzer Test</i>	32
2.10.4 Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Metode Aoki De Alencar	34
2.10.5 Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok Metode Converse Labarre	36
2.11 Plaxis 2D	38
2.12 Parameter Tanah Yang Dibutuhkan	39
2.12.1 Berat Isi Tanah	39
2.12.2 Modulus Elastisitas (E'_{ref})	39
2.12.3 <i>Poisson Ratio</i> (ν)	40

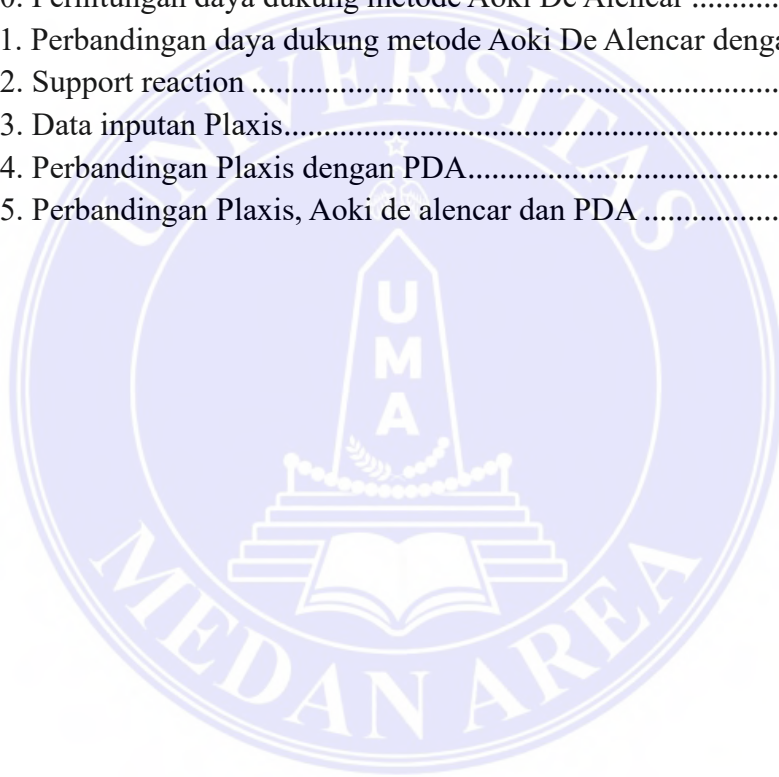
2.12.4	Kohesi (C_{ref})	41
2.12.5	Sudut Geser (ϕ)	42
2.12.6	Sudut Dilatasi (ψ)	42
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	44
3.1.	Lokasi Penelitian	44
3.2.	Kondisi Tanah Eksisting	44
3.3	Data Teknis <i>Spun Pile</i>	47
3.4.	Teknik Pengumpulan Data	47
3.4.1	Data Primer	47
3.4.2	Data Sekunder	50
3.5	Metode Analisis	50
3.6	Tahapan Penelitian	51
3.7	Kerangka Berpikir	52
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1	Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal	54
4.1.1	Perhitungan daya dukung tiang tunggal dengan metode Aoki & De alencar	54
4.2.	Perhitungan daya dukung tiang kelompok berdasarkan efisiensi	62
4.2.1.	Perhitungan daya dukung tiang kelompok menggunakan metode Converse – Labarre	62
4.3	Perhitungan daya dukung dengan <i>Tekla Structural Designer</i> ...	64
4.3.1	Pemodelan Struktur	64
4.3.2	Hasil pemodelan menggunakan <i>Tekla Structural Designer</i>	65
4.4	Perhitungan daya dukung dengan Plaxis	68
4.4.1	Data Parameter Tanah	68
4.4.2	Pemodelan	69
4.4.3	Input Material	70
4.4.4	<i>Generate Mesh 2D</i>	71
4.4.5	<i>Initial Phase</i>	72
4.4.6	<i>Calculate</i>	73
4.5	Pembahasan	74
BAB V	PENUTUP	80
5.1	Kesimpulan	80
5.2	Saran	81
DAFTAR PUSTAKA		xiv
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peralatan Sondir	25
Gambar 2. syarat penggunaan konus	26
Gambar 3. Pondasi <i>Spun Pile</i>	31
Gambar 4. <i>Pile Driving Analyzer Test</i>	34
Gambar 5. Pondasi Tiang Tunggal	34
Gambar 6. Pondasi Tiang Kelompok	36
Gambar 7. Lokasi Proyek	44
Gambar 8. Grafik Sondir S3	50
Gambar 9. Kerangka Berpikir	53
Gambar 10. Pemodelan menggunakan tekla structural designer	65
Gambar 11. Pemodelan pada plaxis	70
Gambar 12. Input Material	71
Gambar 13. <i>Generate Mesh</i>	72
Gambar 14. <i>Initial Phase</i>	73
Gambar 15. Proses Calculate	74
Gambar 16. Hasil perhitungan menggunakan Plaxis	74
Gambar 17. Grafik perhitungan metode Aoki De Alencar	75
Gambar 18. Grafik perbandingan antara metode Aoki De Alencar dan PDA	77

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Batasan – batasan ukuran golongan tanah.....	18
Tabel 2. Batasan – batasan ukuran golongan jenis tanah	20
Tabel 3. Batasan – batasan ukuran golongan jenis tanah	35
Tabel 4. faktor empiric α_s untuk tipe tanah berbeda	35
Tabel 5. Hubungan antara Jenis Tanah dan Modulus Elastisitas.....	40
Tabel 6. Nilai Sudut Geser Dalam Berbagai Jenis Tanah	42
Tabel 7. Deskripsi Tanah Lobang Bor Mesin Titik 1 (BH-1)	45
Tabel 8. Hasil Pengujian Laboratorium	45
Tabel 9. Data sondir titik ke 3 (S3)	48
Tabel 10. Perhitungan daya dukung metode Aoki De Alencar	55
Tabel 11. Perbandingan daya dukung metode Aoki De Alencar dengan PDA test	59
Tabel 12. Support reaction	65
Tabel 13. Data inputan Plaxis.....	68
Tabel 14. Perbandingan Plaxis dengan PDA.....	78
Tabel 15. Perbandingan Plaxis, Aoki de alencar dan PDA	79



NOTASI

Q_{ult}	=	Kapasitas daya dukung ultimit tiang
Q_b	=	Kapasitas daya dukung ujung tiang
Q_s	=	Kapasitas daya dukung gesek selimut tiang
Q_g	=	Kapasitas daya dukung kelompok tiang
Q_{all}	=	Kapasitas daya dukung izin tiang
Q_c	=	Tahanan konus hasil pengujian CPT/Sondir
q_{ca}	=	Nilai rata-rata tahanan konus di sekitar ujung tiang
q_b	=	Kapasitas dukung ujung per satuan luas
f	=	Tahanan gesek selimut per satuan luas
f_s	=	Hambatan geser selimut (<i>sleeve friction</i>) dari hasil CPT
A_p	=	Luas penampang ujung tiang
A_s	=	Luas selimut tiang
D	=	Diameter tiang pancang
L	=	Panjang tiang pancang
K	=	Keliling penampang tiang
F_b	=	Faktor empiris tahanan ujung metode Aoki–De Alencar
F_s	=	Faktor empiris tahanan selimut metode Aoki–De Alencar
α_s	=	Faktor friksi tanah (<i>friction ratio</i>)
E_g	=	Efisiensi kelompok tiang
m	=	Jumlah tiang dalam satu baris
n	=	Jumlah tiang dalam satu kolom
d	=	Diameter tiang pada perhitungan efisiensi kelompok
s	=	Jarak antar tiang atau spasi tiang

θ = Sudut pada persamaan Converse–Labarre

c' = Kohesi efektif tanah

φ' = Sudut geser dalam efektif tanah ($^{\circ}$)

ψ = Sudut dilatasi tanah ($^{\circ}$)

γ_{unsat} = Berat isi tanah tidak jenuh (kN/m^3)

γ_{sat} = Berat isi tanah jenuh (kN/m^3)

E_{ref} = Modulus elastisitas tanah (kN/m^2)

ν = Rasio Poisson tanah



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pondasi merupakan komponen struktural yang memegang peranan sangat penting dalam suatu sistem bangunan karena berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke lapisan tanah pendukung secara aman dan stabil. Pada proyek konstruksi berskala besar, seperti proyek pembangunan *showroom* dan kantor, perencanaan pondasi menjadi aspek yang sangat krusial mengingat besarnya beban struktur yang harus dipikul, baik beban mati, beban hidup, maupun beban dinamis akibat aktivitas pengguna bangunan. Oleh karena itu, pemilihan dan perancangan pondasi yang tepat sangat diperlukan untuk menjamin keamanan, kestabilan, serta kinerja struktur dalam jangka panjang. Salah satu jenis pondasi yang umum digunakan untuk bangunan dengan beban besar adalah pondasi dalam tipe *spun pile*, yang dirancang untuk menyalurkan beban hingga ke lapisan tanah yang lebih dalam dengan daya dukung yang lebih baik dibandingkan tanah permukaan.

Agar pondasi *spun pile* dapat berfungsi secara optimal, diperlukan analisis daya dukung yang menyeluruh dan akurat. Analisis daya dukung bertujuan untuk memastikan bahwa pondasi mampu menahan beban struktur tanpa mengalami kegagalan, seperti penurunan berlebih (*excessive settlement*) maupun keruntuhan geser tanah. Salah satu metode pengujian tanah yang banyak digunakan dalam perencanaan pondasi adalah uji sondir atau CPT (*Cone Penetration Test*). Uji CPT memberikan data kondisi tanah secara in-situ berupa tahanan ujung konus dan gesekan selimut pada berbagai kedalaman, yang dapat digunakan untuk

mengidentifikasi stratifikasi tanah serta memperkirakan kapasitas daya dukung pondasi *spun pile* secara analitik dan analitis.

Namun, analisis daya dukung pondasi tidak hanya dapat dilakukan dengan pendekatan konvensional berdasarkan data CPT semata. Seiring berkembangnya teknologi dan metode analisis dalam bidang geoteknik, Plaxis yang merupakan pemodelan numerik dengan metode elemen hingga atau FEM (*Finite Element Method*) semakin banyak digunakan untuk menganalisis perilaku tanah dan pondasi secara lebih realistis. Plaxis memungkinkan pemodelan interaksi antara tanah dan struktur pondasi dengan mempertimbangkan sifat nonlinier tanah, kondisi tegangan-regangan, serta distribusi deformasi dan tegangan di sekitar pondasi. Dengan Plaxis, perilaku pondasi *spun pile* di bawah beban dapat disimulasikan secara mendekati kondisi sebenarnya di lapangan, sehingga hasil analisis tidak hanya terbatas pada nilai kapasitas daya dukung ultimit, tetapi juga mencakup respon deformasi dan mekanisme keruntuhan tanah.

Penerapan analisis daya dukung pondasi *spun pile* pada proyek pembangunan *showroom* dan kantor menjadi semakin penting mengingat lokasi proyek memiliki karakteristik tanah yang beragam. Variasi kondisi tanah tersebut dapat memengaruhi kinerja pondasi apabila tidak dianalisis secara komprehensif. Melalui kombinasi data hasil uji sondir (CPT) dan pemodelan elemen hingga, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai kemampuan pondasi *spun pile* dalam menahan beban struktur. Pendekatan ini juga dapat membantu meminimalkan potensi kegagalan pondasi, meningkatkan efisiensi desain, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi.

Pada proyek pembangunan *showroom* dan kantor, sistem pondasi yang digunakan adalah pondasi *spun pile* dengan konfigurasi tiang tunggal dan kelompok pada setiap titik kolom. Kondisi tersebut menuntut evaluasi daya dukung setiap tiang secara individual maupun kelompok agar mampu menahan beban yang bekerja secara aman. Oleh karena itu, dalam penelitian ini penulis tertarik untuk menganalisis daya dukung pondasi *spun pile* berdasarkan data uji sondir dengan dukungan Plaxis sebagai pemodelan elemen hingga. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan analisis daya dukung yang lebih komprehensif dan akurat, serta memberikan kontribusi dalam memastikan bahwa pondasi yang direncanakan aman, stabil, dan sesuai untuk mendukung proyek pembangunan *showroom* dan kantor.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana nilai daya dukung *spun pile* menggunakan metode yaitu : metode Aoki de alencar sebagai tiang tunggal dan Converse – Labarre sebagai tiang kelompok dan Plaxis 2D V.24.2
2. Bagaimana hasil perbedaan nilai daya dukung pada *spun pile* dengan perhitungan metode analitik dan simulasi Plaxis 2D V.24.2 dengan *Pile Driving Analyer (PDA) Test*.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis daya dukung pondasi *spun pile* pada proyek pembangunan *showroom* dan kantor di Jl. H. Adam Malik No. 17 Medan dengan menggunakan beberapa pendekatan perhitungan, baik

secara analitik maupun numerik. Penelitian ini dimaksudkan untuk memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai kemampuan pondasi dalam menahan beban struktur, serta menilai tingkat kesesuaian antara hasil perhitungan teoritis dengan hasil pengujian di lapangan. Sedangkan tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Menganalisis nilai daya dukung pondasi *spun pile*, baik sebagai tiang tunggal maupun tiang kelompok, pada proyek pembangunan *showroom* dan kantor. Analisis dilakukan berdasarkan data *Cone Penetration Test* (CPT) dengan menggunakan metode Aoki–De Alencar untuk perhitungan daya dukung tiang tunggal, metode Converse–Labarre untuk daya dukung tiang kelompok, serta pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D V.24.2.
2. Menganalisis perbedaan hasil nilai daya dukung pondasi *spun pile* dengan metode analitik dan simulasi Plaxis 2D V.24.2 dengan *Pile Driving Analyzer* (PDA) Test

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Penelitian pada judul ini menggunakan metode analitik dengan metode Aoki de alencar sebagai metode perhitungan daya dukung tiang tunggal dan metode Converse – Labarre sebagai perhitungan daya dukung tiang kelompok
2. Data yang digunakan hanya berupa data *Cone Penetration Test* (CPT) pada titik sondir S3 dan data *Pile Driving Analyzer* (PDA) pada titik 01 AS 2C

3. Hanya fokus pada hasil perbandingan daya dukung pondasi *spun pile* secara analitik dan Plaxis 2D V.24.2 sebagai pemodelan hingga dengan *Pile Driving Analyzer* (PDA)

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu :

1. Manfaat bagi Penulis

Penelitian ini memberikan pengalaman dan pemahaman yang lebih mendalam bagi penulis mengenai analisis daya dukung pondasi tiang *spun pile* dengan memanfaatkan data *Cone Penetration Test* (CPT) melalui pendekatan perhitungan analitik dan pemodelan elemen hingga. Selain itu, penelitian ini menjadi sarana penerapan teori geoteknik yang diperoleh selama perkuliahan ke dalam permasalahan nyata di lapangan, sehingga meningkatkan kemampuan analisis, interpretasi data tanah, serta penguasaan perangkat lunak geoteknik dalam perencanaan pondasi.

2. Manfaat bagi Akademisi

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dan bahan pembanding bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan analisis daya dukung pondasi tiang berbasis data CPT. Penelitian ini juga dapat memperkaya kajian akademik mengenai perbandingan metode analitik dan pemodelan elemen hingga dalam analisis pondasi, serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang geoteknik, khususnya dalam peningkatan akurasi perencanaan pondasi tiang *spun pile*.

3. Manfaat bagi Perusahaan

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dan acuan teknis bagi perusahaan konsultan perencana maupun kontraktor dalam menentukan metode analisis daya dukung pondasi tiang *spun pile* yang lebih akurat dan efisien. Dengan adanya perbandingan antara perhitungan analitik dan pemodelan elemen hingga, perusahaan dapat memperoleh gambaran yang lebih representatif terhadap kondisi tanah aktual, sehingga dapat meminimalkan risiko kegagalan pondasi serta meningkatkan keamanan dan efektivitas perencanaan konstruksi.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu memiliki peranan yang sangat penting sebagai dasar dalam memperkuat kerangka teoritis dan metodologis penelitian ini. Melalui penelaahan berbagai rujukan yang relevan, penulis memperoleh gambaran mengenai pendekatan, metode, serta hasil penelitian yang telah dilakukan, sehingga dapat menentukan strategi penelitian yang paling sesuai. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi yang lebih bermakna bagi pengembangan keilmuan yang berkaitan dengan topik yang dibahas.

Adapun beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan acuan dan relevan dengan penelitian yang dilakukan penulis akan dipaparkan sebagai berikut.

1. (Napitupulu & Sari, 2023) menganalisis daya dukung dan penurunan pondasi *spun pile* berbasis data CPT pada proyek Pasar Baru Panyabungan dengan membandingkan metode analitis, pemodelan Plaxis 2D, dan hasil PDA Test. Analisis tiang tunggal menggunakan metode Aoki dan De Alencar, Schmertmann dan Nottingham, serta Meyerhof, sedangkan pemodelan numerik menggunakan model tanah *Mohr-Coulomb*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode analitis menghasilkan daya dukung lebih besar dibandingkan PDA Test, sementara hasil Plaxis paling mendekati kondisi lapangan, dengan nilai daya dukung 43,25 ton dan penurunan 4,29 mm. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kombinasi data CPT dan pemodelan elemen hingga Plaxis lebih representatif untuk perencanaan pondasi *spun pile*.

2. Penelitian oleh (Tampubolon et al., 2024) menganalisis daya dukung aksial dan penurunan pondasi *spun pile* berdiameter 80 cm pada proyek kompleks kantor-apartemen di Jakarta Selatan dengan menggunakan metode analitis, interpretasi *loading test*, dan pemodelan elemen hingga PLAXIS 2D. Daya dukung ultimit dihitung menggunakan metode O'Neil & Reese berdasarkan data SPT sebesar 1242 ton, metode Davisson sebesar 875 ton, Mazurkiewicz sebesar 960 ton, Chin sebesar 876 ton, serta PLAXIS 2D sebesar 1364 ton dengan model tanah Mohr–Coulomb. Penurunan pondasi diperoleh sebesar 22,85 mm dari metode analitis, 7,95 mm dari *loading test*, dan 14,12 mm dari PLAXIS 2D, yang seluruhnya masih berada di bawah batas penurunan izin 25 mm dengan faktor keamanan 2,5. Data penelitian berasal dari boring log BH-01, uji pembebanan statik ASTM D1143-07, serta parameter tanah N-SPT dan modulus elastisitas, dengan pemodelan PLAXIS 2D *axisymmetric* menggunakan *mesh* medium dan *stage construction* yang merepresentasikan kondisi uji lapangan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa seluruh metode memenuhi persyaratan keamanan, dengan PLAXIS 2D memberikan prediksi penurunan paling mendekati kondisi lapangan, sementara metode berbasis SPT bersifat lebih konservatif, sehingga validasi multi metode direkomendasikan dalam perencanaan pondasi dalam.
3. (Doohan et al., 2025) menganalisis kapasitas daya dukung dan penurunan pondasi *spun pile* berdiameter 80 cm pada proyek Jembatan Timan Molang Tulungagung menggunakan metode analitis berbasis data SPT (Reese–Wright) dan pemodelan elemen hingga PLAXIS 2D *axisymmetric*. Daya

dukung ultimit tiang tunggal diperoleh sebesar 827,73 ton dengan metode Reese–Wright pada kedalaman 33,45 m dan 1180,60 ton dari PLAXIS pada kedalaman 36 m dengan faktor keamanan 1,73, yang menunjukkan kondisi struktur aman. Analisis pondasi kelompok sebanyak 21 tiang menghasilkan efisiensi kelompok sebesar 63,1% (Converse–Labarre), 78,1% (Los Angeles Group), dan 96,5% (Seiler–Keeney), dengan daya dukung kelompok maksimum mencapai 10.968 ton. Penurunan elastis dihitung sebesar 18,34 mm secara analitis dan 18,84 mm dari PLAXIS, yang masih berada dalam batas toleransi 40–100 mm. Data penelitian diperoleh dari boring log, beban total abutment sebesar 676,9 ton, serta parameter tanah N-SPT, berat isi jenuh, modulus elastisitas, dan kohesi, dengan pemodelan tanah Mohr–Coulomb dan *stage construction* pada PLAXIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PLAXIS memberikan nilai daya dukung lebih besar dibandingkan metode SPT, sementara nilai penurunan relatif serupa dan aman, sehingga seluruh metode memenuhi persyaratan perencanaan dan validasi multi metode direkomendasikan untuk analisis pondasi dalam.

4. Penelitian oleh (Simanjuntak & Harahapan, 2024) menganalisis daya dukung lateral dan defleksi pondasi *spun pile* berdiameter 80 cm pada proyek Menara BRI Medan menggunakan metode analitis berbasis data SPT dan *lateral loading test*, serta pemodelan numerik dengan Allpile dan PLAXIS 3D menggunakan model tanah Mohr–Coulomb dan Hardening Soil. Daya dukung lateral ultimit diperoleh sebesar 18,92 ton dengan metode Broms, 18 ton dengan metode Davisson, 18,98 ton dengan metode

Chin, dan 19 ton dengan metode Mazurkiewicz, yang menunjukkan hasil relatif konsisten. Defleksi pada beban lateral 200 ton diperoleh sebesar 4,25 mm dari Allpile, 3,0 mm dari PLAXIS 3D Mohr–Coulomb, dan 2,99 mm dari PLAXIS 3D Hardening Soil, dengan model Hardening Soil memberikan hasil paling mendekati kondisi lapangan. Analisis dilakukan berdasarkan data boring log BH-01, gambar kerja, dan hasil *lateral loading test*, dengan pendekatan grafik Broms, interpretasi kurva defleksi, serta pemodelan numerik yang merepresentasikan proses pembebanan aktual. Penelitian ini menyimpulkan bahwa seluruh metode memenuhi persyaratan desain, dan kombinasi uji lapangan dengan analisis elemen hingga meningkatkan akurasi dan keamanan perencanaan pondasi, khususnya pada proyek bangunan bertingkat.

5. Penelitian (Aryaji et al., 2024) menganalisis daya dukung dan penurunan pondasi *spun pile* pada Proyek Jalan Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo Paket 1.1, khususnya pada abutment jembatan, dengan tujuan memastikan keamanan penyaluran beban struktur ke tanah pendukung. Analisis daya dukung aksial tiang tunggal dilakukan menggunakan metode Meyerhof dan Reese & Wright berdasarkan data SPT, sedangkan penurunan dianalisis dengan metode Poulos & Davis untuk tiang tunggal dan metode Vesic untuk kelompok tiang, serta dibandingkan dengan pemodelan elemen hingga menggunakan Plaxis 8.2. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas daya dukung izin sebesar 451,582 ton (Meyerhof) dan 548,62 ton (Reese & Wright), sehingga untuk menahan beban aksial jembatan sebesar 9.361,482 ton diperlukan kelompok tiang sebanyak 30 buah. Penurunan tiang tunggal

diperoleh sebesar 0,7462 cm secara analitis dan 0,847 cm dari simulasi Plaxis. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pondasi *spun pile* berdiameter 100 cm dengan kedalaman 29 m dinyatakan aman, serta integrasi metode analitis dan numerik direkomendasikan untuk meningkatkan akurasi desain pondasi jembatan.

2.2 Perbedaan dengan penelitian terdahulu

Perbedaan mendasar antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya terletak pada beberapa aspek utama, yaitu lokasi studi, karakteristik pondasi yang dianalisis, serta pendekatan metode analisis yang digunakan. Penelitian ini dilaksanakan pada proyek pembangunan *showroom* dan kantor yang berlokasi di Jalan H. Adam Malik No. 17, Kota Medan, yang memiliki kondisi tanah dan lingkungan geoteknik tersendiri sehingga memerlukan kajian yang spesifik dan kontekstual.

Selain itu, perbedaan juga terlihat pada dimensi geometrik dan kedalaman tiang yang dianalisis, di mana penelitian ini menggunakan tiang spun pile dengan ukuran dan kedalaman tertentu yang disesuaikan dengan kebutuhan struktur serta kondisi lapisan tanah di lokasi penelitian. Variasi dimensi dan kedalaman tersebut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai daya dukung dan perilaku interaksi tanah–struktur.

Dari sisi metodologi, penelitian ini menerapkan pemodelan numerik berbasis metode elemen hingga dengan menggunakan perangkat lunak PLAXIS versi 24. Pendekatan ini dipadukan dengan data hasil pengujian *Cone Penetration Test* (CPT) sebagai dasar penentuan parameter tanah, sehingga analisis yang dihasilkan lebih representatif terhadap kondisi lapangan. Penggunaan PLAXIS V24

memungkinkan simulasi perilaku tanah dan pondasi secara lebih komprehensif, termasuk dalam menggambarkan distribusi tegangan, deformasi, dan mekanisme keruntuhan yang terjadi.

Berdasarkan perbedaan tersebut, penelitian ini dirumuskan dengan judul Analisis Daya Dukung Tiang *Spun Pile* Menggunakan Data *Cone Penetration Test* Melalui perhitungan Analitik dan Empiris, yang diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah berupa pemahaman yang lebih mendalam mengenai kinerja tiang *spun pile* pada kondisi tanah tertentu serta menjadi referensi bagi penelitian dan perencanaan pondasi di masa mendatang.

2.3 Defenisi Tanah

Tanah merupakan material alami yang terbentuk sebagai hasil dari proses pelapukan batuan induk melalui mekanisme fisik, kimia, dan biologis yang berlangsung secara terus-menerus di permukaan bumi. Dalam kajian ilmiah, tanah dipahami sebagai sistem material yang tersusun atas tiga fase utama, yaitu fase padat berupa butiran mineral dan bahan organik, fase cair berupa air pori, serta fase gas berupa udara yang mengisi rongga antarpartikel. Kombinasi ketiga fase tersebut menyebabkan tanah memiliki sifat yang kompleks dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti kadar air, tekanan, serta sejarah pembebanan.

Menurut (Cahyana & Mulyanto, 2024) dalam jurnal *Soil Security*, tanah didefinisikan sebagai material lepas mineral atau organik yang terbentuk akibat interaksi antara litosfer, atmosfer, hidrosfer, dan biosfer, serta berperan penting sebagai media pendukung kehidupan dan aktivitas manusia. Definisi ini menegaskan bahwa tanah tidak hanya dipandang sebagai material teknik, tetapi juga sebagai hasil proses alam yang dinamis dan multifungsi. Dalam perspektif

teknik sipil dan geoteknik, tanah memiliki peran utama sebagai media pendukung struktur, sehingga sifat-sifat teknis seperti ukuran butiran, gradasi, porositas, dan kondisi kejenuhan menjadi faktor penting dalam analisis daya dukung dan stabilitas pondasi. Dengan demikian, pemahaman yang komprehensif mengenai definisi tanah menjadi dasar konseptual yang sangat penting dalam perencanaan, perancangan, dan evaluasi kinerja struktur bangunan serta infrastruktur sipil.

2.4 Karakteristik Tanah

Dalam kajian geoteknik dan ilmu tanah, karakteristik tanah merujuk pada kumpulan sifat fisik, kimia, dan mekanik yang menentukan bagaimana tanah berperilaku di bawah kondisi lingkungan dan beban struktur. Karakteristik ini menjadi dasar analisis dalam desain pondasi, stabilitas lereng, perkerasan, dan berbagai aplikasi teknik sipil lainnya karena tanah bukan material homogen sederhana, tetapi kombinasi kompleks dari partikel mineral, air, udara, dan bahan organik yang saling berinteraksi.

Secara umum, karakteristik tanah dibagi menjadi tiga kelompok utama. Pertama, sifat fisik tanah mencakup parameter seperti distribusi ukuran butiran (tekstur), yang membantu dalam mengklasifikasikan tanah menjadi pasir, lanau, atau lempung; kadar air, yang mempengaruhi plastisitas dan konsistensi tanah; berat jenis partikel dan berat isi tanah, yang berhubungan dengan kepadatan dan ruang pori; dan porositas serta kemampuan drainase, yang menentukan bagaimana air dan udara bergerak melalui massa tanah. Parameter-parameter ini sering diuji melalui ayakan, hidrometer, dan uji batas Atterberg, karena variasinya sangat memengaruhi mekanika tanah (Disposal et al., 2025).

Kedua, sifat kimia tanah adalah karakteristik yang mencerminkan komposisi unsur-unsur kimia dan struktur mineral tanah, seperti pH, kandungan bahan organik, kapasitas tukar kation (KTK), dan kadar unsur hara utama. Sifat kimia ini penting dalam konteks kesuburan tanah untuk pertanian, tetapi juga memengaruhi reaktivitas tanah terhadap bahan stabilisasi dan korelasi antara mineral-mineral tanah serta perilaku perubahan volume pada tanah yang sensitif terhadap perubahan lingkungan. Studi karakteristik kimia ini digabungkan dengan sifat fisik untuk memberikan gambaran lengkap tentang kondisi tanah di lokasi penelitian

Ketiga, sifat mekanik tanah berkaitan dengan respon tanah terhadap gaya eksternal, termasuk kekuatan geser, kompresibilitas, modulus elastisitas, dan permeabilitas hidraulik. Parameter ini menunjukkan sejauh mana tanah mampu menahan beban tanpa mengalami kegagalan atau deformasi berlebih. Misalnya, kekuatan geser didefinisikan oleh kohesi dan sudut gesek dalam tanah, sedangkan kompresibilitas dan modulus menunjukkan bagaimana tanah akan merespon pembebanan dan konsolidasi di bawah sistem pondasi. Sifat mekanik ini juga sering diuji melalui uji laboratorium seperti uji triaksial atau uji pedometer serta uji lapangan seperti *standard penetration test* (SPT) dan *cone penetration test* (CPT).

Para peneliti geoteknik menggabungkan ketiga kelompok karakteristik ini untuk mengklasifikasikan tanah dan memprediksi perilakunya di lapangan, yang kemudian menjadi dasar dalam perencanaan rekayasa tanah yang aman dan efisien. Uji karakteristik tanah yang lengkap memungkinkan insinyur untuk menentukan apakah tanah di lokasi proyek memenuhi syarat kekuatan, stabilitas, dan deformasi

yang diizinkan, atau apakah diperlukan perlakuan tambahan seperti stabilisasi atau pemadatan.

Berikut ini merupakan ciri – ciri dan karakteristik dari berbagai macam jenis tanah :

1. Tanah Pasir (*Sand*)

Tanah pasir memiliki ciri – ciri dan karakteristik yaitu :

- a. Tersusun dari butiran berukuran sedang hingga halus yang dapat dilihat secara kasat mata.
- b. Tidak memiliki sifat plastis dan hampir tidak memiliki kohesi.
- c. Kekuatan tanah terutama berasal dari gesekan antar butiran.
- d. Permeabilitas tinggi sehingga air mudah mengalir melalui tanah.
- e. Daya dukung relatif baik, terutama jika kondisi tanah padat.
- f. Penurunan (*settlement*) terjadi dengan cepat dan relatif kecil.
- g. Kurang stabil jika berada pada kondisi lepas atau jenuh air.

2. Tanah Lempung (*Clay*)

Tanah lempung memiliki ciri – ciri dan karakteristik yaitu :

- a. Tersusun dari partikel sangat halus dan tidak dapat dibedakan secara visual.
- b. Memiliki sifat plastis dan kohesi tinggi.
- c. Permeabilitas sangat rendah sehingga air sulit mengalir.
- d. Sangat dipengaruhi oleh perubahan kadar air.
- e. Dapat mengalami pengembangan dan penyusutan (*swelling–shrinkage*).

- f. Penurunan berlangsung lambat tetapi dapat terjadi dalam jangka waktu lama.
- g. Daya dukung bervariasi tergantung jenis mineral lempung dan kadar air.

3. Tanah Lanau (*Silt*)

Tanah lanau memiliki ciri – ciri dan karakteristik yaitu :

- a. Ukuran butiran berada di antara pasir dan lempung.
- b. Memiliki plastisitas rendah hingga sedang.
- c. Permeabilitas lebih kecil dibanding pasir, tetapi lebih besar dari lempung.
- d. Kekuatan geser relatif rendah.
- e. Sensitif terhadap perubahan kadar air.
- f. Mudah mengalami erosi dan penurunan bila dibebani.
- g. Kurang stabil sebagai tanah dasar tanpa perbaikan tanah.

4. Tanah Kerikil (*Gravel*)

Tanah kerikil memiliki ciri – ciri dan karakteristik yaitu :

- a. Tersusun dari butiran kasar berukuran besar.
- b. Tidak plastis dan tidak memiliki kohesi.
- c. Memiliki permeabilitas sangat tinggi.
- d. Daya dukung sangat baik dan stabil terhadap beban.
- e. Penurunan sangat kecil.
- f. Cocok sebagai lapisan pondasi atau material urugan.
- g. Sulit dipadatkan tanpa alat pemadat yang sesuai.

5. Tanah Organik

Tanah organik memiliki ciri – ciri dan karakteristik yaitu :

- a. Mengandung bahan organik tinggi dari sisa pelapukan tumbuhan atau hewan.
- b. Warna tanah umumnya gelap dan berbau khas.
- c. Daya dukung sangat rendah.
- d. Kompresibilitas sangat tinggi.
- e. Tidak stabil dan mudah mengalami penurunan besar.
- f. Tidak layak sebagai tanah dasar konstruksi tanpa perbaikan.
- g. Sangat dipengaruhi oleh perubahan lingkungan dan kadar air.

6. Tanah Jenuh (*Saturated Soil*)

Tanah jenuh memiliki ciri – ciri dan karakteristik yaitu :

- a. Seluruh rongga tanah terisi oleh air.
- b. Tekanan air pori tinggi.
- c. Kekuatan geser tanah dapat menurun drastis.
- d. Berpotensi mengalami likuifaksi pada tanah pasir halus.
- e. Daya dukung lebih rendah dibanding tanah kering atau tidak jenuh.
- f. Sangat sensitif terhadap beban dinamis dan getaran.
- g. Kondisi ini penting diperhatikan dalam desain pondasi dan stabilitas lereng.

2.5 Ukuran partikel tanah

Ukuran partikel tanah merupakan salah satu sifat fisik paling mendasar yang sangat berpengaruh terhadap perilaku mekanik dan hidraulik tanah dalam bidang teknik sipil, khususnya pada perencanaan pondasi, stabilitas lereng, dan pekerjaan geoteknik lainnya. Secara konseptual, ukuran partikel tanah mengacu pada dimensi

butiran penyusun tanah yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan secara fisik, kimia, maupun biologis. Perbedaan ukuran partikel ini menyebabkan variasi sifat tanah, seperti kekuatan geser, permeabilitas, kompresibilitas, dan daya dukung.

Secara keseluruhan, ukuran partikel tanah tidak hanya berfungsi sebagai dasar klasifikasi, tetapi juga menjadi parameter kunci dalam memprediksi dan menganalisis respons tanah terhadap beban dan kondisi lingkungan. Dalam praktik teknik sipil, pemahaman yang baik mengenai ukuran partikel tanah akan membantu perencana dan pelaksana konstruksi dalam menentukan jenis pondasi yang tepat, metode perbaikan tanah yang sesuai, serta strategi mitigasi risiko geoteknik yang efektif.

Tabel 1. Batasan – batasan ukuran golongan tanah (Khatab et al., 2022).

Sistem / Organisasi	Kerikil (mm)	Pasir (mm)	Lanau / Silts (mm)	Lempung / Clay (mm)
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	> 2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	< 0,002
US Department of Agriculture (USDA)	> 2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	< 0,002
American Association of State Highway & Transportation Officials (AASHTO)	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	< 0,002
Unified Soil Classification System (USCS)	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	(Lanau + Lempung) < 0,075	Dikombinasikan halus

2.6. Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan suatu pendekatan sistematis untuk mengelompokkan tanah berdasarkan karakteristik fisik dan perilaku mekaniknya, yang meliputi ukuran butir, tingkat plastisitas, serta komposisi mineral penyusunnya. Proses klasifikasi ini bertujuan untuk menyediakan informasi dasar mengenai sifat-sifat tanah sehingga dapat dimanfaatkan secara optimal dalam berbagai bidang teknik sipil, seperti perencanaan pondasi, pelaksanaan pekerjaan

penggalian, serta analisis dan pengendalian stabilitas lereng. Informasi tersebut selanjutnya menjadi faktor penting yang memengaruhi keputusan dalam perancangan teknik sipil, khususnya pada analisis daya dukung pondasi.

Dalam konteks rekayasa geoteknik, klasifikasi tanah memegang peranan penting karena berkaitan langsung dengan penentuan kekuatan, kestabilan, dan kemampuan tanah dalam menahan beban struktur yang bekerja di atasnya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang dikembangkan untuk keperluan rekayasa didasarkan pada parameter indeks tanah yang relatif sederhana, seperti distribusi ukuran butiran dan sifat plastisitas. Meskipun demikian, hingga saat ini terdapat berbagai macam sistem klasifikasi tanah yang digunakan, namun tidak satu pun sistem tersebut mampu memberikan penjelasan yang sepenuhnya komprehensif untuk semua kondisi dan tujuan penggunaan. Hal ini disebabkan oleh sifat tanah yang sangat kompleks dan bervariasi, baik secara alami maupun akibat pengaruh lingkungan.

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, beberapa sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur telah dikembangkan oleh berbagai lembaga dan organisasi untuk memenuhi kebutuhan spesifik masing-masing. Beberapa di antaranya masih digunakan secara luas hingga saat ini. Salah satu sistem klasifikasi yang cukup dikenal adalah sistem yang dikembangkan oleh *United States Department of Agriculture (USDA)*, yang mengelompokkan tanah berdasarkan ukuran partikel penyusunnya. Dalam sistem ini, tanah diklasifikasikan menjadi pasir dengan diameter butiran antara 2,0 hingga 0,05 mm, lanau dengan diameter butiran berkisar antara 0,05 hingga 0,002 mm, serta lempung yang memiliki ukuran partikel lebih kecil dari 0,002 mm.

Tabel 2. Batasan – batasan ukuran golongan jenis tanah (Prasad et al., 1995)

Golongan Tanah	% Lolos Ayakan No. 10	% Lolos Ayakan No. 40	% Lolos Ayakan No. 200	Batas Cair (LL)	Indeks Plastisitas (PI)	Jenis Tanah Dominan	Kualitas Sebagai Tanah Dasar
A-1-a	≤ 50	≤ 30	≤ 15	–	≤ 6	Batu pecah, kerikil, pasir	Baik sekali
A-1-b	–	≤ 50	≤ 25	–	≤ 6	Batu pecah, kerikil, pasir	Baik
A-3	≤ 51	–	≤ 10	–	NP	Pasir halus	Baik
A-2-4	–	–	≤ 35	≤ 40	≤ 10	Kerikil/pasir berlanau	Baik
A-2-5	–	–	≤ 35	≥ 41	≤ 10	Kerikil/pasir berlanau	Baik
A-2-6	–	–	≤ 35	≤ 40	≥ 11	Kerikil/pasir berlempung	Baik–sedang
A-2-7	–	–	≤ 35	≥ 41	≥ 11	Kerikil/pasir berlempung	Sedang
A-4	–	–	≥ 36	≤ 40	≤ 10	Tanah berlanau	Sedang
A-5	–	–	≥ 36	≥ 41	≤ 10	Tanah berlanau	Sedang–jelek
A-6	–	–	≥ 36	≤ 40	≥ 11	Tanah berlempung	Jelek
A-7-5*	–	–	≥ 36	≥ 41	$\leq LL - 30$	Tanah berlempung	Jelek
A-7-6**	–	–	≥ 36	≥ 41	$\geq LL - 30$	Tanah berlempung	Jelek

2.7 Daya dukung (*Bearing Capacity*)

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk menahan tekanan dari struktur yang bekerja di atasnya melalui sistem pondasi tanpa menyebabkan kegagalan geser atau penurunan yang berlebihan. Konsep ini merupakan salah satu aspek paling penting dalam perencanaan pondasi, karena jika tanah dasar tidak memiliki kapasitas yang cukup, pondasi tidak akan mampu mendistribusikan beban struktur secara aman, yang dapat mengakibatkan kerusakan, penurunan berlebihan, atau bahkan kegagalan struktural total pada bangunan atau infrastruktur

Teori daya dukung tanah dikembangkan berdasarkan prinsip keseimbangan batas (*limit equilibrium*) dan kekuatan tanah terhadap geser (*shear strength*). Dalam analisis geoteknik klasik, beban dari pondasi akan menghasilkan tegangan di dalam massa tanah. Ketika tegangan geser pada suatu titik tanah mencapai kekuatan geser internal tanah, maka tanah tersebut berada pada batas keruntuhan. Besaran tekanan yang menyebabkan kondisi ini disebut daya dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*), yaitu tekanan maksimum sebelum terjadi kegagalan geser pada massa tanah di bawah pondasi. Nilai ini kemudian dibagi dengan faktor keamanan untuk mendapatkan daya dukung izin (*allowable or safe bearing capacity*) yang digunakan dalam desain agar struktur tetap berada dalam batas aman

Kalkulasi daya dukung tanah banyak dipengaruhi oleh parameter tanah seperti kohesi, sudut geser dalam, berat volume tanah, serta dimensi dan kedalaman pondasi. Pendekatan teori klasik seperti yang dikembangkan oleh Terzaghi, Meyerhof, Hansen, Aoki de Alencar dan sebagainya memberikan rumus-rumus analitik-analitik untuk menghitung daya dukung ultimit berdasarkan variabel-variabel tersebut. Misalnya, dalam teori Terzaghi yang paling sering digunakan untuk pondasi dangkal, rumus daya dukung ultimit memperhitungkan kontribusi kohesi tanah terhadap kemampuan menahan tegangan geser, serta peran beban akibat kedalaman dan berat volume tanah di bawah pondasi.

Selain pendekatan analitik, dalam praktik perencanaan modern juga digunakan data uji lapangan dan laboratorium, seperti uji *Standard Penetration Test* (SPT) atau *Cone Penetration Test* (CPT), untuk mendapatkan karakteristik tanah secara langsung di lokasi proyek. Nilai-nilai parameter tanah yang diperoleh kemudian digunakan sebagai input dalam perhitungan daya dukung agar hasilnya

lebih akurat dan sesuai dengan kondisi nyata tanah di proyek. Dengan demikian, daya dukung tanah tidak hanya merupakan konsep teoritis, tetapi juga terkait erat dengan karakteristik lapangan dan sifat mekanik tanah yang nyata.

Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa pemodelan dan simulasi dengan metode numerik serta perbaikan tanah dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas dukung tanah dalam kondisi tertentu, seperti tanah lunak, sehingga desain pondasi dapat lebih efisien dan aman. Hal ini menegaskan bahwa teori daya dukung tanah terus berkembang seiring kemajuan teknologi dan kebutuhan praktis dalam rekayasa geoteknik (Liu & Liu, 2024)

Dalam perencanaan pondasi, daya dukung tanah diklasifikasikan ke dalam dua jenis utama yang memiliki peranan penting dalam menentukan keamanan dan kinerja struktur yaitu

1. Daya dukung ultimit didefinisikan sebagai kapasitas maksimum tanah dalam menahan beban sebelum terjadi kegagalan atau keruntuhan pada massa tanah pendukung. Pada kondisi ini, tanah telah mencapai batas kekuatan gesernya sehingga tidak mampu lagi menerima tambahan beban.
2. Daya dukung izin merupakan nilai daya dukung yang digunakan dalam perencanaan dengan memasukkan faktor keamanan tertentu. Penerapan faktor keamanan ini bertujuan untuk memastikan bahwa tanah masih mampu menahan beban struktur secara aman tanpa menimbulkan keruntuhan maupun penurunan yang berlebihan selama masa layanan bangunan. Besarnya daya dukung tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berkaitan. Salah satu faktor utama yaitu

- a. jenis tanah, di mana tanah berbutir kasar seperti pasir dan kerikil umumnya memiliki kapasitas dukung yang lebih tinggi dibandingkan tanah berbutir halus seperti lempung dan lanau. Selain itu,
- b. tingkat kepadatan tanah juga berperan penting, karena tanah dengan susunan partikel yang lebih rapat cenderung memiliki kekuatan dan daya dukung yang lebih baik.
- c. Kondisi kandungan air dalam tanah turut mempengaruhi kapasitas dukung, di mana tanah yang berada dalam kondisi jenuh biasanya menunjukkan penurunan daya dukung akibat meningkatnya tekanan air pori yang dapat mengurangi gesekan antar butiran tanah.
- d. kedalaman pondasi, karena semakin dalam pondasi ditempatkan, umumnya semakin besar daya dukung yang dapat dikembangkan oleh tanah akibat pengaruh lapisan tanah yang lebih kuat dan tekanan overburden yang lebih besar.
- e. karakteristik beban struktur, meliputi jenis, besar, dan pola distribusi beban, juga mempengaruhi cara tanah menerima dan menyalurkan tekanan di bawah pondasi. Keseluruhan faktor tersebut harus dipertimbangkan secara menyeluruh agar perencanaan pondasi dapat dilakukan secara aman dan efisien.

2.8 *Cone Penetration Test (CPT) / Sondir*

Pengujian sondir merupakan salah satu teknik investigasi tanah yang bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan dukung tanah pada tiap lapisan tanah di

bawah permukaan. Uji ini dikenal juga sebagai *Cone Penetration Test* (CPT), di mana ujung kerucut (konus) didorong secara kontinu ke dalam tanah sambil merekam tahanan ujung konus (q_c) dan hambatan selubung atau gesekan (f_s). Parameter-parameter ini merupakan indikator langsung dari karakteristik mekanis tanah, karena q_c mencerminkan resistensi tanah terhadap penetrasi ujung konus per satuan luas, sedangkan f_s menunjukkan hambatan geser tanah terhadap selubung alat per satuan panjang. Nilai q_c dan f_s ini kemudian digunakan untuk menginterpretasi konsistensi, kepadatan, dan keberadaan lapisan tanah keras yang berpengaruh pada desain pondasi (Setiawan, 2025)

Pengujian sondir dilakukan hingga mencapai kondisi di mana nilai tahanan konus menunjukkan lapisan tanah yang sangat keras, sering ditetapkan contoh batasnya sekitar $q_c \geq 150 \text{ kg/cm}^2$, atau hingga kedalaman kerja maksimum yang telah ditentukan, misalnya 20 meter di bawah permukaan tanah sebelum pekerjaan dihentikan. Apabila data sondir tidak memadai untuk mengidentifikasi secara pasti jenis tanah, evaluasi tambahan dapat dilakukan dengan mengaitkan hasil sondir dengan data dari bor eksplorasi tanah yang berada dekat dengan titik uji CPT.

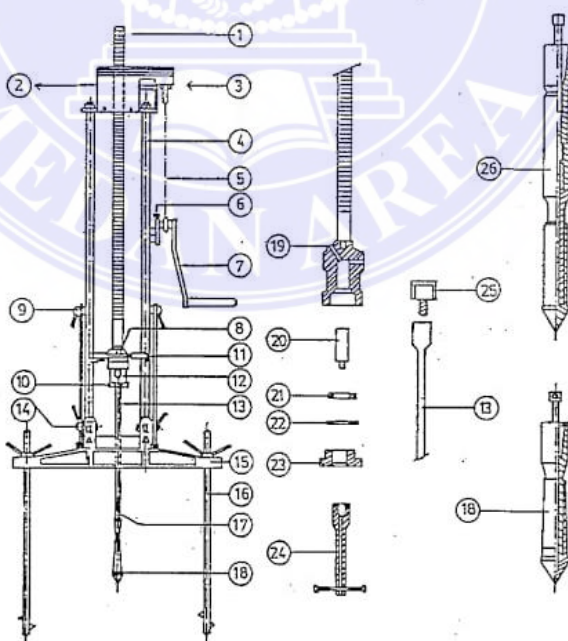
Dalam konteks perencanaan geoteknik, data sondir menjadi sangat krusial untuk menentukan profil per lapisan tanah, nilai kapasitas dukung tanah, dan rekomendasi tipe pondasi yang sesuai. Misalnya, nilai tahanan konus yang dicatat pada suatu lokasi dapat menunjukkan lapisan tanah keras yang layak menjadi dasar pondasi dan nilai hambatan geser yang memungkinkan untuk mengevaluasi risiko deformasi tanah ketika beban struktur bekerja. Kajian analitik pada banyak penelitian telah menunjukkan bahwa interpretasi CPT yang dikombinasikan dengan

data bor atau uji tanah lainnya sangat membantu dalam merancang pondasi yang aman dan efisien (Mildawati & Dewi, 2025)

Contoh penerapan dalam penelitian nyata: dalam sebuah studi perencanaan pondasi bangunan, hasil sondir direkam hingga kedalaman tertentu, dan nilai q_c serta f_s dianalisis untuk mengidentifikasi karakteristik lapisan tanah dan menentukan daya dukung tanah yang tersedia sebagai landasan perencanaan pondasi. Data tersebut kemudian dipakai untuk memilih jenis pondasi yang tepat, baik itu pondasi dangkal maupun dalam, berdasarkan karakteristik geoteknik tanah setempat.

2.8.1 Alat Sondir

Penjelasan terkait alat dan komponen yang digunakan dalam pelaksanaan pengujian sondir ditunjukkan pada Gambar 1 berikut :



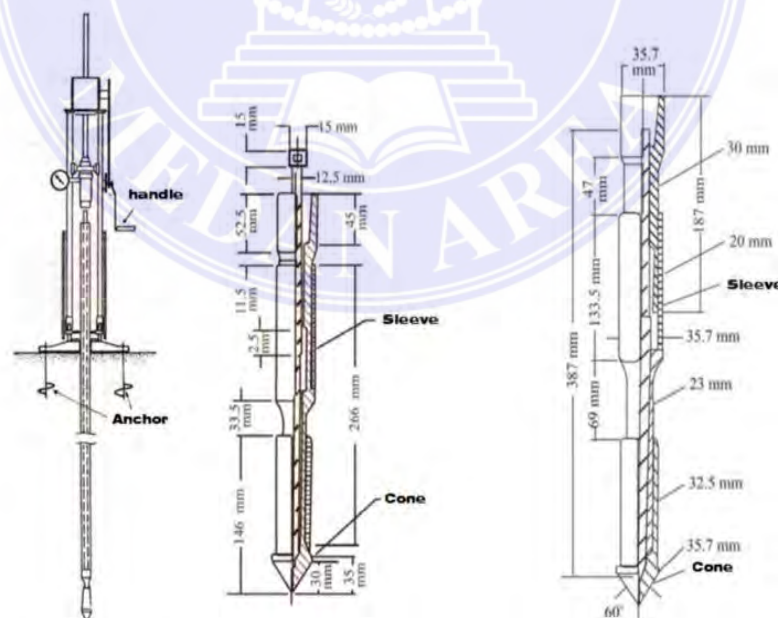
Gambar 1. Peralatan Sondir (SNI 8460-2017)

1. Gigi Penekan 14. kunci tiang

- | | |
|--------------------|------------------------|
| 2. Gigi cepat | 15. kaki sondir |
| 3. Gigi lambat | 16. jangkar spiral |
| 4. Tiang pelurus | 17. Stang dalam |
| 5. Rantai | 18. Paten Konus |
| 6. Stelan rantai | 19. Lubang pengisi oli |
| 7. Engkol pemutar | 20. Piston |
| 8. Ruang oli | 21. Oli seal |
| 9. Kunci tiang | 22. Ring penahan seal |
| 10. Trecker | 23. Mur penjepit |
| 11. Manometer | 24. Kunci piston |
| 12. Kaki ruang oli | 25. Kop penarik |
| 13. Stang sondir | 26. Bikonus |

2.8.2 Peralatan parameter pada konus

Spesifikasi dan persyaratan konus yang digunakan pada pengujian sondir dijelaskan pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. syarat penggunaan konus (SNI 827 : 2008).

- a. Ujung konus harus memiliki sudut puncak sebesar 60° dengan toleransi $\pm 5^\circ$.
- b. Diameter konus ditetapkan sebesar 35,7 mm dengan toleransi $\pm 0,4$ mm, yang setara dengan luas penampang proyeksi konus sebesar 10 cm^2 .
- c. Bagian ujung runcing konus harus memiliki jari-jari kurang dari 3 mm, serta konus ganda diwajibkan dibuat dari material baja dengan jenis dan tingkat kekerasan yang memadai agar mampu menahan keausan akibat gesekan dan abrasi tanah.

2.9 Korelasi antara daya dukung pondasi *spun pile* dengan data sondir

Korelasi antara data hasil pengujian sondir (*Cone Penetration Test* / CPT) dan daya dukung pondasi didasarkan pada hubungan langsung antara parameter tahanan tanah yang diukur di lapangan dengan mekanisme pemikul beban pada pondasi tiang. Pengujian CPT menghasilkan data utama berupa nilai tahanan ujung konus (*cone resistance*, q_c) dan hambatan geser selimut (*sleeve friction*, f_s) yang merepresentasikan kekuatan dan karakteristik tanah secara kontinu terhadap kedalaman. Parameter q_c mencerminkan kemampuan tanah dalam menahan beban tekan pada ujung tiang, sedangkan f_s menggambarkan interaksi geser antara tanah dan permukaan selimut tiang. Oleh karena itu, kedua parameter ini secara teoritis dan analitik sangat relevan untuk digunakan dalam analisis kapasitas daya dukung pondasi spun pile.

Dalam analisis daya dukung *spun pile*, kapasitas ultimit pondasi umumnya dipisahkan menjadi dua komponen utama, yaitu tahanan ujung (*end bearing capacity*) dan tahanan geser selimut (*skin friction capacity*). Nilai

tahanan ujung tiang dapat dikorelasikan dengan nilai q_c rata-rata di sekitar kedalaman ujung *spun pile*, karena q_c mencerminkan kekuatan tanah yang menerima beban langsung dari ujung pondasi. Sementara itu, kontribusi gesekan selimut dihitung berdasarkan distribusi nilai f_s atau hasil korelasi antara q_c dan gesekan tanah di sepanjang dinding tiang. Pendekatan ini memungkinkan estimasi kapasitas aksial spun pile dilakukan secara lebih realistis berdasarkan kondisi tanah aktual di lapangan.

Berbagai peneliti telah mengembangkan metode analitik yang menghubungkan data CPT dengan kapasitas daya dukung spun pile, seperti metode Meyerhoff, Schmertmann, Nottingham, serta Aoki dan de Alencar. Metode-metode tersebut pada dasarnya memanfaatkan nilai q_c sebagai indikator utama kekuatan tanah, dengan menerapkan faktor koreksi tertentu untuk menyesuaikan kondisi lapangan, jenis tanah, serta metode pelaksanaan spun pile.

Selain digunakan dalam perhitungan kapasitas daya dukung, data sondir juga berperan penting dalam menentukan kedalaman efektif *spun pile*. Nilai q_c yang meningkat secara signifikan pada kedalaman tertentu menandakan keberadaan lapisan tanah keras yang ideal sebagai tumpuan ujung tiang. (Meyerhof, 1956) menegaskan bahwa pemilihan kedalaman pondasi berdasarkan nilai tahanan konus yang memadai akan meningkatkan stabilitas dan kinerja pondasi secara keseluruhan. Dengan demikian, pemanfaatan data CPT tidak hanya meningkatkan ketelitian perhitungan daya dukung *spun pile*, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan desain pondasi yang lebih aman, efisien, dan sesuai dengan kondisi geoteknik lapangan.

2.10 Pondasi

Pondasi merupakan bagian penting dari suatu struktur bangunan yang berfungsi sebagai penopang beban dari struktur atas dan mentransfernya ke tanah dasar secara aman dan efisien. Dengan kata lain, pondasi bertindak sebagai mediator antara beban vertikal dan horizontal dari struktur dengan karakteristik mekanik tanah di bawahnya, sehingga kestabilan dan keamanan bangunan sangat bergantung pada kinerja pondasi tersebut. Pondasi dirancang untuk menghindari kegagalan daya dukung yang dapat menyebabkan keruntuhan atau penurunan tanah (*settlement*) di luar batas toleransi, yang berpotensi merusak elemen struktur. Salah satu aspek penting dalam perancangan pondasi adalah kapasitas daya dukung tanah, yaitu kemampuan tanah untuk menahan beban yang diberikan tanpa mengalami keruntuhan geser atau deformasi berlebihan. Berbagai penelitian teknik sipil menegaskan bahwa pondasi yang dirancang dengan pemahaman yang baik tentang interaksi tanah–struktur akan menghasilkan performa struktur yang lebih optimal dan tahan lama, terutama pada kondisi tanah yang heterogen dan kompleks (BAENE, 2023)

Dalam konteks *geoteknik*, pondasi dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam tergantung pada kedalaman penempatan dan distribusi beban ke tanah. Pondasi dangkal biasanya digunakan ketika lapisan tanah kuat berada dekat dengan permukaan tanah, sedangkan pondasi dalam seperti *spun pile* atau tiang pancang diperlukan saat lapisan kuat berada jauh di bawah permukaan atau ketika beban struktur sangat besar. Analisis kapasitas dukung tanah mencakup *bearing capacity* (daya dukung tanah terhadap beban vertikal) dan *settlement* (penurunan pondasi), yang harus

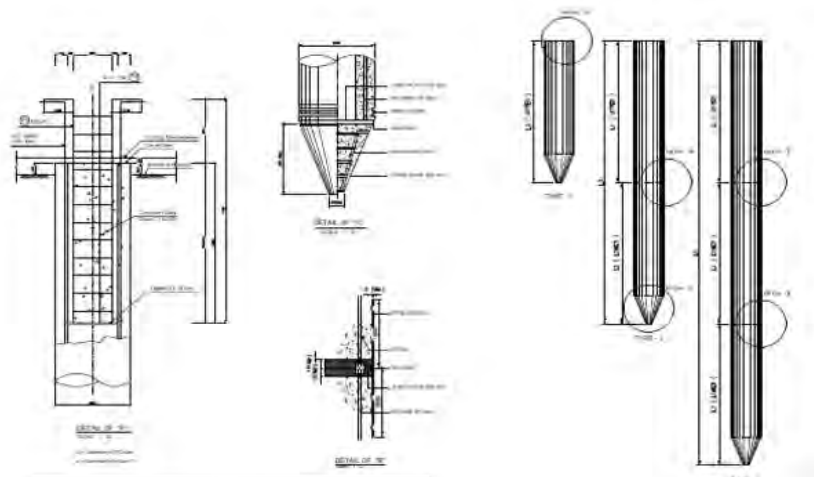
dipastikan berada dalam batas aman sesuai standar perancangan. Metode analitik klasik seperti persamaan Terzaghi atau Meyerhof sering dipakai untuk menentukan kapasitas dukung pondasi dangkal dengan mempertimbangkan berat volume tanah, kohesi, serta sudut geser dalam tanah.

2.10.1 *Spun pile*

Spun pile adalah jenis pondasi tiang beton pracetak yang dibuat dengan metode sentrifugal (*spinning*), yaitu beton segar dituangkan ke dalam cetakan silinder kemudian diputar dengan kecepatan tinggi sehingga menghasilkan tiang beton berongga dengan kepadatan dan mutu beton yang tinggi. Proses pemutaran ini menyebabkan distribusi beton menjadi lebih merata dan menghasilkan struktur beton yang lebih padat dibandingkan beton cor konvensional.

Secara struktural, *spun pile* bekerja sebagai elemen pondasi dalam yang menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah keras melalui kombinasi daya dukung ujung (*end bearing*) dan daya dukung gesek (*skin friction*). Pada tanah lunak hingga sedang, kontribusi gesekan selimut tiang menjadi dominan, sedangkan pada tanah keras atau lapisan pasir padat, daya dukung ujung memiliki peran yang lebih besar.

Keunggulan utama *spun pile* terletak pada mutu beton yang tinggi, kontrol kualitas yang baik karena diproduksi di pabrik, serta kapasitas daya dukung yang besar. Selain itu, *spun pile* memiliki ketahanan yang baik terhadap beban aksial, momen, dan gaya lateral, sehingga banyak digunakan pada bangunan bertingkat, jembatan, dermaga, dan struktur dengan beban besar.



Gambar 3. Pondasi *Spun Pile* (Siagian & Nugroho, 2023)

2.10.2 Proses Pelaksanaan *Spun pile*

Pelaksanaan pondasi *spun pile* merupakan rangkaian kegiatan konstruksi yang bertujuan menempatkan tiang beton pracetak berongga ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman dan kapasitas daya dukung yang direncanakan. Spun pile diproduksi di pabrik dengan mutu beton tinggi melalui metode sentrifugal, sehingga pada tahap pelaksanaan di lapangan fokus utama adalah pada proses pemancangan dan pengendalian mutu.

- a. Tahap awal pelaksanaan *spun pile* diawali dengan pekerjaan persiapan, meliputi pengukuran dan penentuan titik pancang berdasarkan gambar kerja, pembersihan area kerja, serta mobilisasi alat pancang seperti *crawler crane*, *hydraulic hammer*, atau *diesel hammer*. Penentuan titik pancang harus dilakukan dengan ketelitian tinggi karena berpengaruh langsung terhadap stabilitas struktur atas.
- b. Setelah titik pancang ditentukan, *spun pile* diangkat dan ditegakkan pada posisi vertikal menggunakan crane. Pada tahap ini dilakukan pengecekan kelurusan tiang agar deviasi kemiringan tetap berada dalam batas toleransi

yang diizinkan. Selanjutnya, pemancangan dilakukan secara bertahap menggunakan alat pemukul hingga tiang mencapai kedalaman rencana atau hingga diperoleh nilai tahanan tanah yang memenuhi kriteria desain.

- c. Apabila kedalaman rencana belum tercapai sementara panjang tiang terbatas, dilakukan penyambungan *spun pile*. Metode penyambungan umumnya menggunakan sistem las pada plat sambung atau sistem *mechanical joint*, yang harus memenuhi persyaratan kekuatan struktural dan dilakukan dengan pengawasan mutu yang ketat untuk menjamin kesinambungan gaya aksial dan lateral pada tiang.
- d. Selama proses pemancangan, dilakukan pengendalian mutu melalui pencatatan jumlah pukulan, penetrasi per pukulan, serta monitoring energi pemancangan. Data ini digunakan untuk mengevaluasi kapasitas daya dukung tiang di lapangan dan sebagai dasar pelaksanaan pengujian lanjutan seperti *Pile Driving Analyzer (PDA)* atau *static loading test*.
- e. Tahap akhir pelaksanaan adalah pemotongan kepala tiang (*cut-off pile*) pada elevasi yang direncanakan serta perapihan area kerja. Kepala *spun pile* kemudian disiapkan untuk pekerjaan struktur atas, seperti *pile cap* atau poer, sehingga beban bangunan dapat diteruskan secara optimal ke pondasi.

2.10.3 *Pile Driving Analyzer Test*

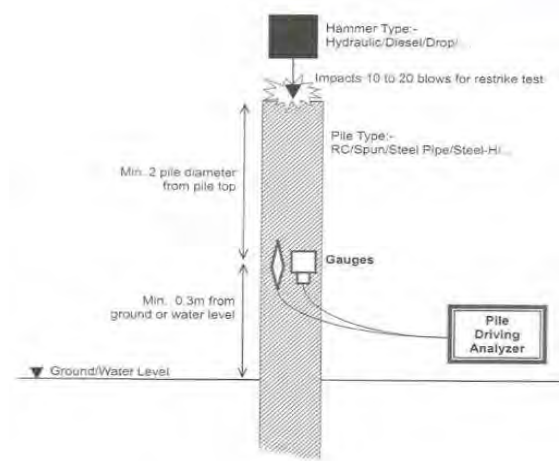
Dalam proses perencanaan pondasi tiang, tahap awal yang harus dilakukan oleh perencana adalah melaksanakan pengujian guna menentukan besarnya kapasitas dukung tiap elemen tiang agar mampu menyalurkan dan menahan beban struktur atas secara aman. Pelaksanaan pengujian ini bertujuan untuk menjamin

kualitas serta kinerja pondasi, sehingga sistem pondasi yang digunakan memenuhi ketentuan teknis dan memiliki tingkat keamanan struktural yang memadai.

Salah satu metode pengujian yang umum digunakan dalam evaluasi kapasitas dukung pondasi tiang adalah *Pile Driving Analyzer Test* (PDA Test). Metode ini merupakan pengujian dinamis yang berfungsi untuk menilai perilaku tiang terhadap beban dinamis serta mengevaluasi kondisi pemancangan setelah proses instalasi di lapangan. Keunggulan utama dari PDA Test adalah efisiensi waktu pelaksanaan, karena pengujian dapat dilakukan pada beberapa tiang dalam waktu yang relatif singkat, bahkan memungkinkan pengujian lebih dari satu tiang dalam satu hari kerja.

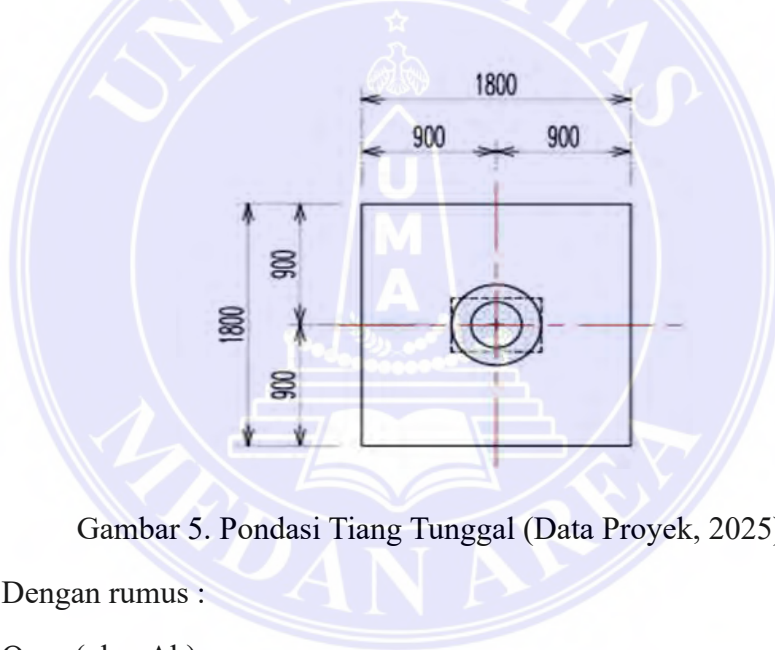
Selain digunakan untuk menentukan kapasitas dukung, PDA Test juga dimanfaatkan untuk menilai integritas tiang serta menganalisis besarnya tegangan dan energi tumbukan palu selama proses pemancangan. Pada pelaksanaannya, palu pemancang memberikan beban tumbukan dinamis pada kepala tiang, dan respons yang terjadi direkam oleh sistem pengujian PDA.

Data hasil pengujian diperoleh dari pengukuran sinyal gaya dan kecepatan yang dihasilkan akibat tumbukan, yang direkam menggunakan perangkat *accelerometer* dan *strain transducer* yang dipasang pada badan tiang uji. Selanjutnya, data tersebut diproses menggunakan perangkat lunak PDA untuk menghasilkan parameter teknis yang diperlukan dalam analisis. Sensor yang digunakan dalam pengujian dapat berupa *Smart Sensor* yang mentransmisikan data secara nirkabel melalui sistem *wireless*, maupun *Traditional Sensor* yang mengirimkan data melalui kabel penghubung.



Gambar 4. *Pile Driving Analyzer Test (PDA)* (Maizir et al., 2015)

2.10.4 Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Metode Aoki De Alencar



Gambar 5. Pondasi Tiang Tunggal (Data Proyek, 2025):

Dengan rumus :

$$Q_u = (q_b \times A_b)$$

Keterangan :

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung *spun pile*

q_b = Tahanan ujung sondir

A_b = Luas penampang tiang

a. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (Q_b)

$$q_b = q_{ca} \text{ (base) } F_b$$

Keterangan :

q_{ca} (base) = perlawanan konus rata-rata 1,5D diatas ujung tiang, 1,5D dibawah ujung tiang

b. Perhitungan kapasitas *skin friction* (Q_s)

Dari persamaan dapat diperoleh daya dukung kulit persatuan (f) :

F_s = (dari tabel 3. faktor empiric F_b)

α_s = rata-rata friction ratio

$$f = q_c \times \frac{A_s}{F_s}$$

$$A_s = K \times L$$

Dari persamaan kapasitas daya dukung kulit diatas maka :

$$Q_s = f \times A_s$$

d. Perhitungan *Q_{ultimate}*

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s$$

Tabel 3. Batasan – batasan ukuran golongan jenis tanah (Prasad et al., 1995)

Tipe Tiang Pancang	F_b	F_s
Spun Pile	3,5	7,0
Baja	1,75	3,5
Pratekan	1,75	3,5

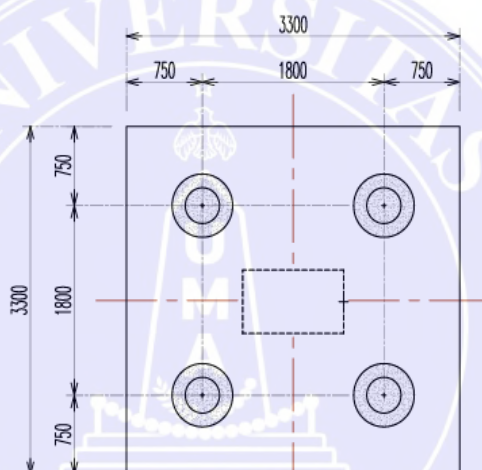
Tabel 4. faktor empiric α_s untuk tipe tanah berbeda (Titi & Farsakh, 1999)

Tipe Tanah	α_s (%)	Tipe Tanah	α_s (%)	Tipe Tanah	α_s (%)
Pasir	1,4	Pasir berlanau	2,2	Lempung berpasir	2,4
Pasir kelanauan	2,0	Pasir berlanau dengan lempung	2,8	Lempung berpasir dengan lanau	2,8

Pasir kelanauan dengan lempung	2,4	Lanau	3,0	Lempung berlanau dengan pasir	3,0
Pasir berlempung dengan lanau	2,8	Lanau berlempung dengan pasir	3,0	Lempung berlanau	4,0
Pasir berlempung	3,0	Lanau berlempung	3,4	Lempung	6,0

2.10.5 Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok Metode Converse

Labarre



Gambar 6. Pondasi Tiang Kelompok (Data Proyek, 2025)

Pondasi kelompok tiang merupakan penggabungan beberapa tiang yang dipasang relatif berdekatan dan digabungkan menggunakan *pile cap*. pondasi kelompok tiang digunakan apabila beban yang harus ditumpu pondasi terlalu besar, dan tidak dapat lagi ditopang oleh pondasi tiang tunggal. Susunan dan jarak tiang berpengaruh pada hasil daya dukung pondasi kelompok tiang.

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_{alt}$$

dimana :

Q_g = daya dukung kelompok tiang (kN)

= nilainya tidak harus melampaui $n \cdot Q_u$

N = jumlah tiang dalam kelompok tiang =

C = kohesi tanah di sekeliling tiang grup (kN/m^2)

C_b = kohesi tanah di bawah dasar tiang grup

B = lebar kelompok tiang (m)

L = panjang kelompok tiang (m)

D = kedalaman tiang di bawah permukaan tanah

N_c = faktor daya dukung Untuk persamaan efisiensi grup tiang yang digunakan adalah persamaan Los Angeles

Untuk persamaan efisiensi grup tiang yang digunakan adalah persamaan Los Angeles

$$E_g = 1 - \frac{D}{\mu \times s \times m \times n} (m(n-1) + \sqrt{2(m-1)(n-1)})$$

Untuk persamaan efisiensi grup tiang yang digunakan adalah persamaan Converse

Labbare

$$E_g = 1 - \theta \left(\frac{(n' - 1)m + (m - 1)n'}{90 m n'} \right)$$

dimana :

E_g = efisiensi grup tiang

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{d}{s} \right)$$

m = jumlah tiang dalam baris

n = jumlah tiang dalam kolom

d = diameter tiang

s = jarak spasi tiang

2.11 Plaxis 2D

Plaxis 2D merupakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) yang digunakan untuk menganalisis perilaku tanah dan struktur geoteknik dalam kondisi dua dimensi, baik plane strain maupun axisymmetric. Program ini dikembangkan untuk mensimulasikan respons tanah terhadap pembebanan, perubahan tegangan, deformasi, serta interaksi tanah-struktur secara numerik dan bertahap.

Dalam Plaxis 2D, massa tanah dimodelkan sebagai elemen kontinu yang dibagi menjadi elemen-elemen kecil (*mesh*), di mana hubungan antara tegangan dan regangan ditentukan oleh model konstitutif tanah. Beberapa model tanah yang umum digunakan antara lain Mohr–Coulomb, *Hardening Soil*, dan *Hardening Soil with Small Strain*, yang masing-masing merepresentasikan tingkat kompleksitas perilaku tanah yang berbeda.

Analisis dalam Plaxis 2D dilakukan melalui tahapan konstruksi (*staged construction*), sehingga perubahan kondisi tanah akibat proses pembangunan, seperti pemasangan fondasi, timbunan, atau penggalian, dapat dimodelkan secara realistis. Output utama yang dihasilkan meliputi deformasi, tegangan, gaya dalam, penurunan (*settlement*), serta faktor keamanan, yang sangat berguna dalam evaluasi daya dukung dan stabilitas sistem geoteknik.

Dengan kemampuannya tersebut, Plaxis 2D banyak digunakan dalam analisis fondasi, lereng, dinding penahan tanah, dan permasalahan geoteknik lainnya untuk mendukung perencanaan dan evaluasi desain secara lebih akurat dibandingkan metode analitis konvensional.

2.12 Parameter Tanah Yang Dibutuhkan

Data data yang diperlukan untuk pengujian dengan Plaxis didapat dari pengujian lapangan dan laboratorium ataupun dapat dilakukan dengan menggunakan korelasi CPT.

2.12.1 Berat Isi Tanah

Berat isi tanah merupakan perbandingan antara berat tanah terhadap volume total tanah, termasuk volume butiran tanah, air, dan udara yang terdapat di dalam pori-pori tanah. Parameter ini menunjukkan tingkat kerapatan massa tanah dan berpengaruh langsung terhadap besarnya tegangan yang bekerja di dalam tanah.

Secara umum, berat isi tanah dibedakan menjadi berat isi tanah tidak jenuh (γ_{unsat}) dan berat isi tanah jenuh (γ_{sat}). Berat isi tanah tidak jenuh menggambarkan kondisi tanah di atas muka air tanah, sedangkan berat isi tanah jenuh digunakan untuk kondisi tanah di bawah muka air tanah. Nilai berat isi tanah sangat berperan dalam perhitungan tegangan total, tegangan efektif, serta analisis stabilitas dan deformasi pada permasalahan geoteknik.

Berat isi tanah biasanya diperoleh melalui pengujian laboratorium atau estimasi berdasarkan jenis tanah, dan digunakan sebagai parameter dasar dalam analisis numerik maupun analisis konvensional geoteknik.

2.12.2 Modulus Elastisitas (E'_{ref})

Modulus elastisitas merupakan parameter mekanika tanah yang menyatakan hubungan antara tegangan dan regangan pada kondisi elastis, di mana tanah masih mampu kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan. Parameter

ini menggambarkan tingkat kekakuan tanah, yaitu kemampuan tanah dalam menahan deformasi akibat pembebanan.

Dalam analisis geoteknik, modulus elastisitas menunjukkan seberapa besar regangan yang terjadi akibat tegangan tertentu. Nilai modulus elastisitas yang tinggi menandakan tanah yang lebih kaku dan mengalami deformasi yang lebih kecil, sedangkan nilai yang rendah menunjukkan tanah yang lebih lunak dan mudah mengalami penurunan.

Tabel 5. Hubungan antara Jenis Tanah dan Modulus Elastisitas (Hardiyatmo, 2004)

Jenis Tanah	Kondisi Tanah	Modulus Elastisitas, E (kg/cm ²)
Lempung	Sangat lunak	3 – 30
	Lunak	20 – 40
	Sedang	45 – 90
	Berpasir	300 – 425
Pasir	Berlanau	50 – 200
	Tidak padat	100 – 250
	Padat	500 – 1000
Pasir dan Kerikil	Padat	800 – 2000
	Tidak padat	500 – 1400
Lanau	—	20 – 200
Loses	—	150 – 600
Batuan (Cadas)	—	1400 – 14000

2.12.3 Poisson Ratio (ν)

Poisson's ratio (ν) merupakan parameter mekanika tanah yang menyatakan perbandingan antara regangan lateral terhadap regangan aksial akibat suatu pembebanan. Parameter ini menggambarkan kecenderungan tanah untuk mengalami pengembangan ke arah samping ketika ditekan atau mengalami pemendekan secara vertikal.

Nilai Poisson's ratio berkisar antara 0 hingga 0,5, di mana nilai yang lebih besar menunjukkan material yang semakin sulit mengalami perubahan volume. Dalam analisis geoteknik, nilai Poisson's ratio berpengaruh terhadap distribusi tegangan, deformasi tanah, dan respon tanah terhadap pembebanan.

Pada pemodelan numerik menggunakan Plaxis 2D, Poisson's ratio digunakan bersama dengan modulus elastisitas untuk menentukan perilaku elastis tanah, terutama dalam analisis penurunan dan deformasi. Nilai parameter ini umumnya diperoleh dari pengujian laboratorium atau ditentukan berdasarkan literatur sesuai jenis tanah.

2.12.4 Kohesi (Cref)

Kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menyatakan daya lekat antar partikel tanah yang memberikan kontribusi terhadap kekuatan tanah meskipun tidak ada tekanan normal yang bekerja. Kohesi umumnya dijumpai pada tanah berbutir halus, seperti lempung, akibat adanya gaya tarik antar partikel dan pengaruh ikatan air.

Dalam analisis geoteknik, kohesi berperan penting dalam menentukan kekuatan geser tanah, stabilitas tanah, serta kapasitas dukung tanah. Nilai kohesi biasanya diperoleh dari pengujian laboratorium, seperti uji geser langsung atau uji triaxial, dan digunakan sebagai parameter utama dalam kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb.

Pada pemodelan numerik menggunakan Plaxis 2D, kohesi digunakan bersama sudut geser dalam untuk merepresentasikan perilaku kuat geser tanah dalam analisis stabilitas dan daya dukung.

2.12.5 Sudut Geser (ϕ)

Sudut geser dalam (ϕ) merupakan parameter kuat geser tanah yang menggambarkan besarnya tahanan geser akibat gesekan antar butiran tanah ketika tanah menerima beban. Parameter ini menunjukkan kemampuan tanah untuk menahan pergeseran yang dipengaruhi oleh tekanan normal dan karakteristik butiran tanah.

Nilai sudut geser dalam sangat dipengaruhi oleh jenis tanah, kepadatan, dan kondisi tegangan. Tanah berbutir kasar seperti pasir dan kerikil umumnya memiliki sudut geser yang lebih besar dibandingkan tanah berbutir halus. Dalam analisis geoteknik, sudut geser dalam berperan penting dalam menentukan kekuatan geser, stabilitas tanah, dan daya dukung fondasi.

Tabel 6. Nilai Sudut Geser Dalam Berbagai Jenis Tanah (Das, 2010).

Jenis Tanah	Kondisi Tanah	Sudut Geser Dalam, ϕ (°)
Lempung	Sangat lunak	0 – 5
	Lunak	5 – 10
	Sedang	10 – 20
	Kaku – sangat kaku	20 – 30
Lanau	Lepas	25 – 30
	Padat	30 – 35
Pasir	Lepas	27 – 30
	Sedang	30 – 35
	Padat	35 – 40
Pasir Berkerikil	Lepas	30 – 35
	Padat	35 – 45
Kerikil	Lepas	35 – 40
	Padat	40 – 50

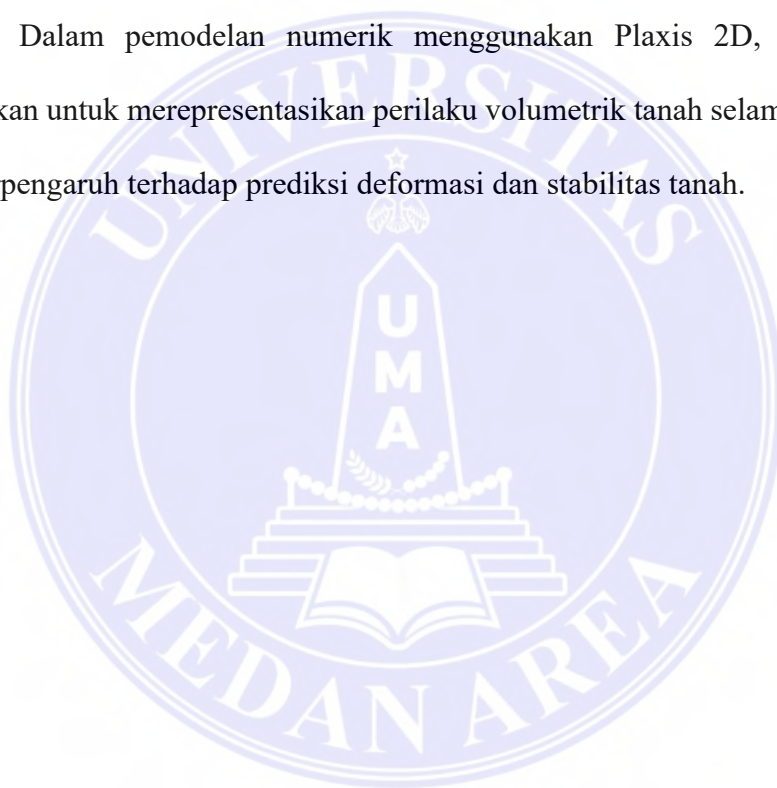
2.12.6 Sudut Dilatasi (ψ)

Sudut dilatasi (ψ) merupakan parameter yang menggambarkan perubahan volume tanah akibat proses geser, khususnya kecenderungan tanah untuk mengembang (dilatasi) atau menyusut ketika mengalami deformasi geser.

Parameter ini berkaitan erat dengan perilaku tanah berbutir kasar yang padat, seperti pasir, yang cenderung mengalami pengembangan volume saat digeser.

Nilai sudut dilatasi dipengaruhi oleh jenis tanah, kepadatan, dan tingkat tegangan. Pada tanah berbutir halus seperti lempung, sudut dilatasi umumnya dianggap nol, karena perubahan volumenya relatif kecil saat terjadi geser. Dalam praktik, sudut dilatasi sering ditentukan dari hasil pengujian laboratorium atau diasumsikan berdasarkan hubungan analitik dengan sudut geser dalam.

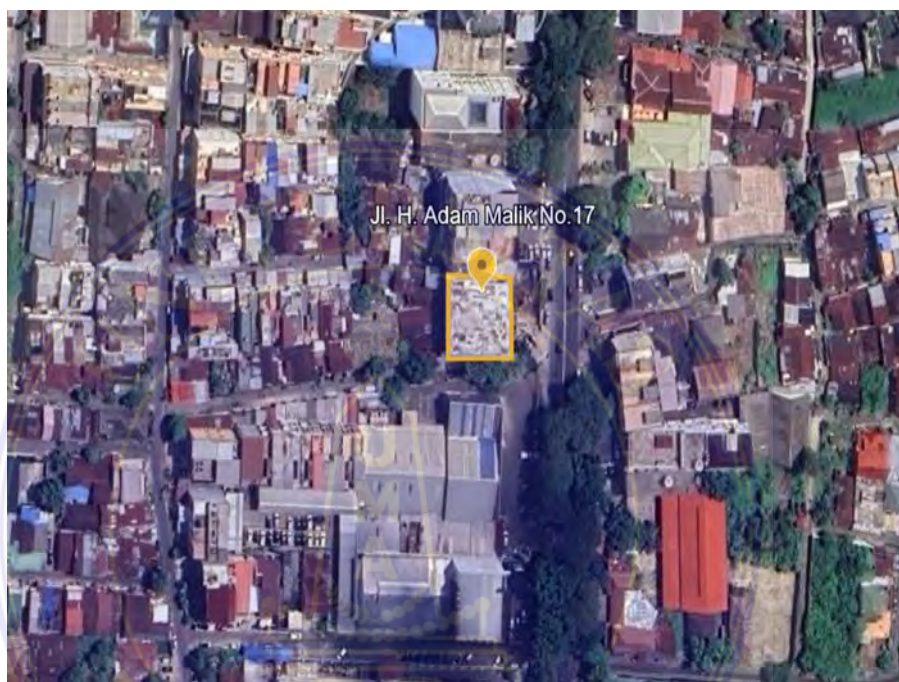
Dalam pemodelan numerik menggunakan Plaxis 2D, sudut dilatasi digunakan untuk merepresentasikan perilaku volumetrik tanah selama proses geser dan berpengaruh terhadap prediksi deformasi dan stabilitas tanah.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di proyek pembangunan *showroom* dan kantor berlokasi di Jl. H. Adam Malik No 17, Sekip, Kec. Medan Petisah, Kota Medan.



Gambar 7. Lokasi Proyek (Google Earth, 2025)

3.2. Kondisi Tanah Eksisting

Kondisi tanah eksisting pada proyek pembangunan *showroom* dan kantor di Jl. H. Adam Malik No 17, Sekip, Kec. Medan Petisah, Kota Medan di dominasi dengan kondisi tanah berjenis pasir, data lebih lengkap dapat terlihat pada tabel berikut ini

Tabel 7. Deskripsi Tanah Lobang Bor Mesin Titik 1 (BH-1) (Data Proyek, 2025)

NO	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (m)	Deskripsi Tanah
1.	0.00 – 1.20	1.20	Pasir sedang , warna abu-abu, kepadatan lepas, kadar air rendah dan non plastis.
2.	1.20 – 7.30	6.10	Lempung sedikit Lanau dan Pasir halus, warna abuabu, kekakuan sedang ke sangat kaku, kadar air sedang ke tinggi dan plastis sedang.
3.	7.30 – 15.40	8.10	Lempung berlanau kepasiran, warna abu-abu, kekakuan sangat lunak ke kaku, kadar air tinggi dan plastis rendah ke plastis sedang.
4.	15.40 – 21.00	5.40	Pasir berlanau , warna abu-abu, kepadatan lepas ke sedang, kadar air tinggi dan plastis sangat rendah.

Tabel 8. Hasil Pengujian Laboratorium (Data Proyek,2025)

No	Parameter	Simbol	Satuan	Kedalaman 3.50 – 4.00 m	Kedalaman 7.50 – 8.00 m
1	Kadar air	W	%	29.97	37.18
2	Berat isi alami	γ	gr/cc	1.596	1.617
3	Berat isi kering	γ_d	gr/cc	1.228	1.179
4	Berat isi jenuh	γ_{sat}	gr/cc	1.756	1.722
5	Berat jenis butiran	Gs	–	2.602	2.578
6	Angka pori	e	–	1.1197	1.1870
7	Porositas	n	–	0.5282	0.5428
8	Derajat kejenuhan	Sr	%	69.64	80.75
9	Liquid limit	LL	%	43.71	41.17
10	Plastic limit	PL	%	24.95	23.73
11	Plasticity index	PI	%	18.76	17.44
12	Klasifikasi AASHTO	–	–	A-7-5	A-7-5
13	Klasifikasi USCS	–	–	CL	CL
14	Lolos saringan No. 4	–	%	100.00	100.00
15	Lolos saringan No. 10	–	%	100.00	99.17

16	Lolos saringan No. 20	—	%	98.85	97.41
17	Lolos saringan No. 40	—	%	98.20	96.32
18	Lolos saringan No. 60	—	%	97.05	93.95
19	Lolos saringan No. 100	—	%	94.07	89.83
20	Lolos saringan No. 200	—	%	88.56	80.84
21	Kuat tekan bebas	Qu	kg/cm ²	0.577	0.437
22	Regangan	ε	%	4.50	4.00
23	Sudut geser dalam	φ	derajat	10°22'14.16"	8°59'48.81"
24	Kohesi	c	kg/cm ²	0.304	0.234
25	Angka pori awal	e _o	—	1.120	1.187
26	Koef. konsolidasi	C _v	cm ² /det	6.58E-03	7.36E-03
27	Indeks pemampatan	C _c	—	0.3489	0.4543
28	Permeabilitas	k	cm/det	2.39E-07	2.92E-07

No	Parameter	Simbol	Satuan	Kedalaman 13.50–14.00 m
1	Kadar air	W	%	42.99
2	Berat isi alami	γ	gr/cc	1.578
3	Berat isi kering	γ _d	gr/cc	1.103
4	Berat isi jenuh	γ _{sat}	gr/cc	1.677
5	Berat jenis butiran	G _s	—	2.589
6	Angka pori	e	—	1.3469
7	Porositas	n	—	0.5739
8	Derajat kejenuhan	S _r	%	82.65
9	Liquid limit	LL	%	45.20
10	Plastic limit	PL	%	22.93
11	Plasticity index	PI	%	22.27
12	Klasifikasi tanah (AASHTO)	—	—	A-7-5
13	Klasifikasi tanah (USCS)	—	—	CL
14	Lolos saringan No. 4	—	%	100.00
15	Lolos saringan No. 10	—	%	100.00
16	Lolos saringan No. 20	—	%	99.69
17	Lolos saringan No. 40	—	%	98.39
18	Lolos saringan No. 60	—	%	95.29
19	Lolos saringan No. 100	—	%	93.03
20	Lolos saringan No. 200	—	%	86.82
21	Kuat tekan bebas	Qu	kg/cm ²	0.269
22	Regangan	ε	%	3.00
23	Sudut geser dalam	φ	derajat	6°34'32.40"
24	Kohesi	c	kg/cm ²	0.148
25	Angka pori awal	e _o	—	1.360
26	Koefisien konsolidasi	C _v	cm ² /det	1.03E-02
27	Indeks pemampatan	C _c	—	0.6320
28	Permeabilitas	k	cm/det	5.57E-07

3.3 Data Teknis *Spun Pile*

Berikut ini merupakan data teknis *spun pile* yang akan di uji dalam perhitungan :

1. Panjang Spun Pile : 20 m
2. Diameter spun pile : Ø 60 cm
3. Titik sondir : S3
4. Mutu beton : 30 Mpa
5. Daya dukung PDA : 3065 Kn (O1 AS 2C)

3.4. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data merupakan prosedur yang digunakan untuk memperoleh informasi yang relevan dengan topik penelitian. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri atas data primer yang diperoleh secara langsung dari sumber utama, serta data sekunder yang didapatkan melalui sumber pendukung atau tidak secara langsung.

3.4.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari kondisi lapangan dan berkaitan erat dengan fokus penelitian yang dilakukan. Data ini mencakup hasil pengujian sondir serta data site plan yang digunakan sebagai dasar analisis.

Pengujian sondir merupakan salah satu metode investigasi tanah yang bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung tanah pada tiap lapisan secara vertikal. Pengujian ini dikenal juga sebagai *Cone Penetration Test* (CPT), yaitu metode pengujian tanah *in-situ* yang dilakukan dengan cara menekan konus ke

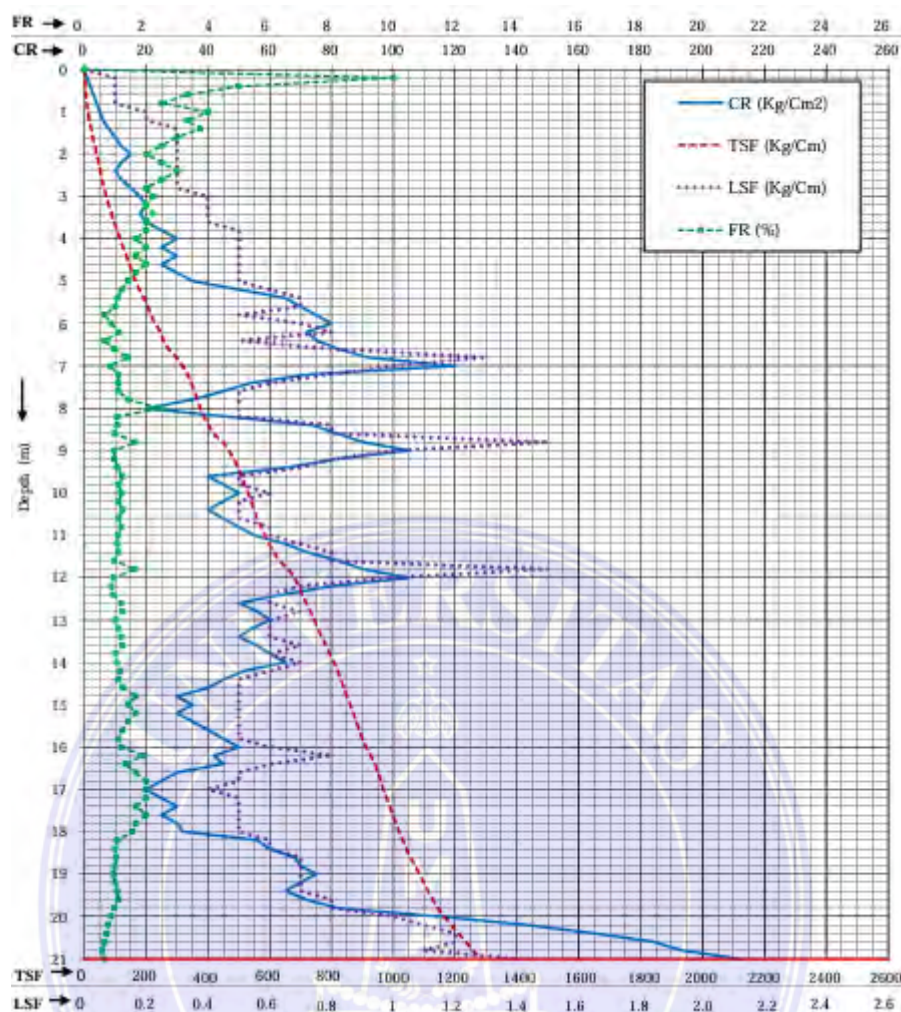
dalam tanah untuk memperoleh nilai tahanan ujung konus dan hambatan geser, sehingga karakteristik tanah dapat diidentifikasi secara lebih akurat.

Sementara itu, *site plan* merupakan gambar atau peta dua dimensi yang menampilkan tampak atas dari area proyek yang direncanakan. Dokumen ini memiliki peranan penting dalam suatu proyek konstruksi karena memuat informasi detail mengenai tata letak dan rencana bangunan yang akan dilaksanakan. Dalam penelitian ini, *site plan* digunakan untuk menunjukkan posisi titik-titik pengujian sondir di lokasi penelitian, yang masing-masing telah diberi kode sesuai dengan titik pengujian yang dilakukan. Data hasil pengujian sondir pada titik ke-3 selanjutnya disajikan pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Data sondir titik ke 3 (S3) (Data Proyek, 2025)

Kedalaman (m)	CR (kg/cm ²)	TR (kg/cm ²)	SF (kg/cm ²)	TSF (kg/cm)	LSF (kg/cm)	FR (%)
0.00	0	0	0	0	0.00	0.00
0.20	1	2	1	2	0.10	10.00
0.40	2	3	1	4	0.10	5.00
0.60	3	4	1	6	0.10	3.33
0.80	4	5	1	8	0.10	2.50
1.00	5	7	2	12	0.20	4.00
1.20	6	8	2	16	0.20	3.33
1.40	8	11	3	22	0.30	3.75
1.60	10	13	3	28	0.30	3.00
1.80	12	15	3	34	0.30	2.50
2.00	15	18	3	40	0.30	2.00
2.20	12	15	3	46	0.30	2.50
2.40	10	13	3	52	0.30	3.00
2.60	12	15	3	58	0.30	2.50
2.80	15	18	3	64	0.30	2.00
3.00	18	22	4	72	0.40	2.22
3.20	20	24	4	80	0.40	2.00
3.40	18	22	4	88	0.40	2.22
3.60	20	24	4	96	0.40	2.00
3.80	25	30	5	106	0.50	2.00
4.00	30	35	5	116	0.50	1.67
4.20	25	30	5	126	0.50	2.00
4.40	30	35	5	136	0.50	1.67
4.60	25	30	5	146	0.50	2.00
4.80	30	35	5	156	0.50	1.67
5.00	35	40	5	166	0.50	1.43
5.20	50	56	6	178	0.60	1.20

5.40	65	72	7	192	0.70	1.08
5.60	70	77	7	206	0.70	1.00
5.80	75	80	5	216	0.50	0.67
6.00	80	87	7	230	0.70	0.88
6.20	72	80	8	246	0.80	1.11
6.40	75	80	5	256	0.50	0.67
6.60	82	90	8	272	0.80	0.98
13.60	56	63	7	782	0.70	1.25
13.80	60	66	6	794	0.60	1.00
14.00	65	72	7	808	0.70	1.08
14.20	52	58	6	820	0.60	1.15
14.40	45	50	5	830	0.50	1.11
14.60	40	45	5	840	0.50	1.25
14.80	30	35	5	850	0.50	1.67
15.00	35	40	5	860	0.50	1.43
15.20	30	35	5	870	0.50	1.67
15.40	35	40	5	880	0.50	1.43
15.60	40	45	5	890	0.50	1.25
15.80	45	50	5	900	0.50	1.11
16.00	50	56	6	912	0.60	1.20
16.20	42	50	8	928	0.80	1.90
16.40	45	51	6	940	0.60	1.33
16.60	30	35	5	950	0.50	1.67
16.80	25	30	5	960	0.50	2.00
17.00	20	24	4	968	0.40	2.00
17.20	25	30	5	978	0.50	2.00
17.40	30	35	5	988	0.50	1.67
17.60	25	30	5	998	0.50	2.00
17.80	30	35	5	1008	0.50	1.67
18.00	32	37	5	1018	0.50	1.56
18.20	56	62	6	1030	0.60	1.07
18.40	60	66	6	1042	0.60	1.00
18.60	68	75	7	1056	0.70	1.03
18.80	70	77	7	1070	0.70	1.00
19.00	75	82	7	1084	0.70	0.93
19.20	70	77	7	1098	0.70	1.00
19.40	65	72	7	1112	0.70	1.08
19.60	72	80	8	1128	0.80	1.11
19.80	82	90	8	1144	0.80	0.98
20.00	115	125	10	1164	1.00	0.87
20.20	143	154	11	1186	1.10	0.77
20.40	165	177	12	1210	1.20	0.73
20.60	184	196	12	1234	1.20	0.65
20.80	193	204	11	1256	1.10	0.57
21.00	212	226	14	1284	1.40	0.66



Gambar 8. Grafik Sondir S3 (Data Proyek, 2025)

3.4.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung, yang bersumber dari berbagai referensi seperti jurnal penelitian terdahulu, artikel review, hasil studi kepustakaan, serta buku-buku yang relevan dengan topik penelitian ini.

3.5 Metode Analisis

Setelah proses pengumpulan data selesai, tahap berikutnya adalah melakukan analisis perhitungan daya dukung berdasarkan hasil pengujian sondir yang tersedia. Perhitungan dilakukan dengan memanfaatkan seluruh data sondir yang diperoleh di lokasi penelitian. Dalam analisis daya dukung tanah ini, penulis

menghitung beberapa parameter utama, meliputi kapasitas daya dukung ultimit, daya dukung ujung satuan, daya dukung ujung tiang, daya dukung selimut tiang, serta kapasitas daya dukung izin. Selanjutnya, hasil perhitungan tersebut dibandingkan antara metode analitik Aoki dan De Alencar, hasil pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS, dan data pengujian PDA (*Pile Driving Analyzer*).

3.6 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan rangkaian proses awal yang disusun secara sistematis untuk memperoleh data yang dibutuhkan sehingga memudahkan pelaksanaan dan penyusunan penelitian. Adapun tahapan pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan penulis adalah sebagai berikut:

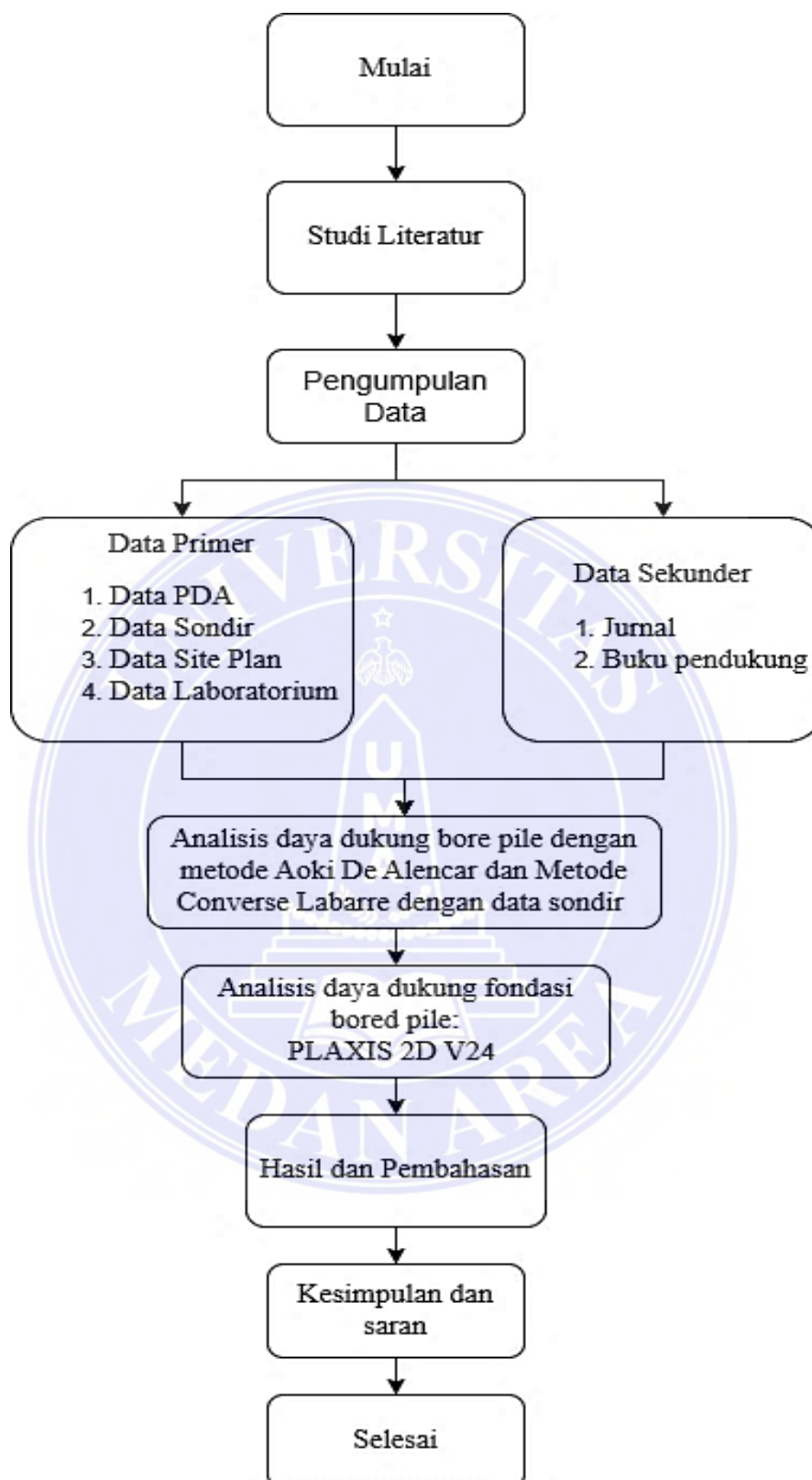
1. Melakukan studi literatur dan kajian pustaka dengan menelusuri jurnal-jurnal penelitian terdahulu, buku teks, serta referensi lain yang relevan dengan analisis daya dukung tanah menggunakan data sondir.
2. Melaksanakan peninjauan langsung ke lokasi proyek guna mengamati kondisi lapangan serta memperoleh data awal yang berkaitan dengan objek penelitian.
3. Mengumpulkan data teknis yang bersumber dari pihak proyek, khususnya data hasil pengujian sondir yang digunakan sebagai dasar analisis.
4. Melakukan analisis dan perhitungan daya dukung tanah berdasarkan data yang diperoleh dengan menggunakan metode perhitungan yang telah ditetapkan.
5. Menyusun dan menjalankan pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D untuk mendukung hasil analisis perhitungan.

6. Menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis perhitungan dan pemodelan yang telah dilakukan secara menyeluruh.

3.7 Kerangka Berpikir

Untuk memastikan penelitian ini tersusun secara sistematis dan terarah, peneliti menyusun suatu kerangka berpikir yang berfungsi sebagai pedoman dalam pelaksanaan skripsi, mulai dari tahap identifikasi permasalahan hingga penyelesaian akhir penelitian. Adapun diagram kerangka berpikir penelitian ini disajikan pada Gambar 9 berikut.





Gambar 9. Kerangka Berpikir

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis daya dukung pondasi spun pile pada proyek pembangunan showroom dan kantor di Jl. H. Adam Malik No. 17 Medan, serta pembahasan yang telah dilakukan dengan menggunakan metode analitik, simulasi numerik, dan pengujian lapangan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai daya dukung tiang tunggal pondasi spun pile, yang dihitung menggunakan metode Aoki-De Alencar, sebesar 381,34 ton, sedangkan daya dukung kelompok berdasarkan metode Converse-Labarre mencapai 1.299,6 ton, menunjukkan bahwa pondasi secara kelompok masih aman menahan beban yang diterapkan pada grid pondasi. Pemodelan menggunakan Plaxis 2D menunjukkan gaya aksial maksimum 288,4 ton, yang cenderung lebih konservatif dibanding metode analitik, namun tetap sesuai dengan kondisi aman struktur.
2. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai daya dukung tiang tunggal pondasi *spun pile* dengan metode Aoki-De Alencar sebesar 381,34 ton, sekitar 32% lebih tinggi dibanding pemodelan Plaxis 2D yang menghasilkan 288,4 ton. Daya dukung kelompok berdasarkan metode Converse-Labarre mencapai 1.299,6 ton, atau $\pm 2,4$ kali lebih besar dibanding satu tiang tunggal, sehingga pondasi kelompok masih aman menahan beban pada grid pondasi. Sementara itu, PDA Test menghasilkan kapasitas $\pm 6,3\%$ lebih tinggi dibanding Plaxis, mencerminkan respons tiang secara nyata di lapangan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah diperoleh, maka beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Dalam perencanaan pondasi *spun pile*, sebaiknya tidak hanya mengandalkan satu metode, melainkan mengombinasikan metode analitik, simulasi numerik, dan pengujian lapangan agar perencanaan lebih akurat dan aman. Pemodelan dengan Plaxis 2D perlu didukung oleh parameter tanah yang representatif dari hasil CPT atau boring log, sehingga simulasi mendekati kondisi nyata. PDA Test tetap dianjurkan sebagai alat verifikasi, terutama pada proyek dengan beban besar dan kondisi tanah kompleks, untuk memastikan keamanan dan kinerja pondasi. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan perbandingan dengan metode lain, seperti Meyerhof atau Decourt.
2. Disarankan agar pengujian laboratorium tanah dilakukan pada setiap variasi kedalaman lapisan tanah. Hal ini bertujuan untuk memperoleh parameter tanah yang lebih representatif dan akurat dalam proses analisis. Dengan tersedianya data hasil pengujian laboratorium yang lengkap, penggunaan tabel korelasi dari penelitian sebelumnya untuk penentuan parameter tanah pada pemodelan Plaxis dapat diminimalkan, sehingga hasil analisis yang diperoleh diharapkan lebih mendekati hasil pengujian PDA test di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- BAENE, S. G. (2023). *Analisis Perbandingan Pondasi Bore Pile dan Pondasi Tapak Terhadap Daya Dukung Tanah Pada Pembangunan Gereja Inkulturatif GBKP Bukit*.
- Cahyana, D., & Mulyanto, B. (2024). A simple definition of soil. *Soil Security*, 16, 100146. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100146>
- Disposal, S., Sengguruh, W., Cathleya, E., Puspareyna, A., Asmaranto, R., Chandrasasi, D., Pengairan, D. T., Teknik, F., Brawijaya, U., Mt, J., & No, H. (2025). *Analisis Karakteristik Fisik dan Klasifikasi Material Tanah Analysis of Physical Characteristics and Soil Classification of Stabilized Disposal Sediment Materials from Sengguruh Reservoir*. 05(02), 1211–1220.
- Doohan, R., Warsito, W., & Rokhmawati, A. (2025). ANALISIS KAPASITAS DAYA DUKUNG PONDASI BORE PILE DENGAN MENGGUNAKAN METODE ANALITIS SPT DAN BANTUAN PROGRAM SOFTWARE PLAXIS. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-Journal)*, 15(1), 487–495.
- Khatab, U., Asnur, H., Yunita, R., Studi, P., & Sipil, T. (2022). *KLASIFIKASI TANAH DI LIMA KECAMATAN KOTA*. 12(02), 164–174.
- Liu, G., & Liu, C. (2024). Derivation of the Ultimate Bearing Capacity Formula for Layered Foundations Based on Meyerhof's Theory. In *Applied Sciences* (Vol. 14, Issue 12, p. 5121). <https://doi.org/10.3390/app14125121>
- Maizir, H., Jingga, H., Teknik, J., Sekolah, S., Teknologi, T., Sipil, J. T., Teknik, F., Riau, U., & Dinamik, P. (2015). *METODE DINAMIK*. 1970, 978–979.
- Menggunakan, B., Meyerhof, M., & Program, D. D. A. N. (2024). *ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG*.
- Meyerhof, G. G. (1956). Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 82(1), 861–866.
- Mildawati, R., & Dewi, S. H. (2025). *ROKAN TIMUR ROKAN IV KOTO ROKAN HULU*. 8.
- Napitupulu, K., & Sari, K. I. (2023). *ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI BORED PILE BERDASARKAN DATA PENGUJIAN CPTDENGAN SOFTWARE KABUPATEN MANDAILING NATAL*. 2(2).
- Prasad, J., Satyavathi, P. L. A., Srivastava, R., & Nair, K. M. (1995). Characterisation and classification of soils of Nasik district, Maharashtra. *Agropedology*, 5(1), 16–25.
- Setiawan, A. (2025). *Analisis Kapasitas Dukung Tanah dengan Data Sondir untuk Perencanaan Pondasi Gedung Arsip Kejaksaan Negeri Lamongan*. 02(01), 7–16.
- Siagian, B. M., & Nugroho, I. T. (2023). *ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI*

SPUN PILE BERDASARKAN HASIL SPT DAN HASIL KALENDERING PADA PEMBANGUNAN JALAN TOL KATARAJA ZONE 1. 9(02), 36–49.

- Simanjuntak, R., & Harahapan, S. E. (2024). *Analisis Daya Dukung Lateral Bored Pile Ø 80 Cm dengan Menggunakan Uji Beban Lateral dan Menggunakan Metode Elemen Hingga pada Proyek Menara BRI - Medan. 5(8), 3130–3137.*
- Tampubolon, G., Roesyanto, R., & Hasibuan, G. C. R. (2024). Analisis Daya Dukung & Penurunan Bored Pile 80cm di Proyek Kompleks Kantor-Apartemen dengan Metode Analitis & Elemen Hingga. *Jurnal Syntax Admiration, 5(4), 1249–1266.*

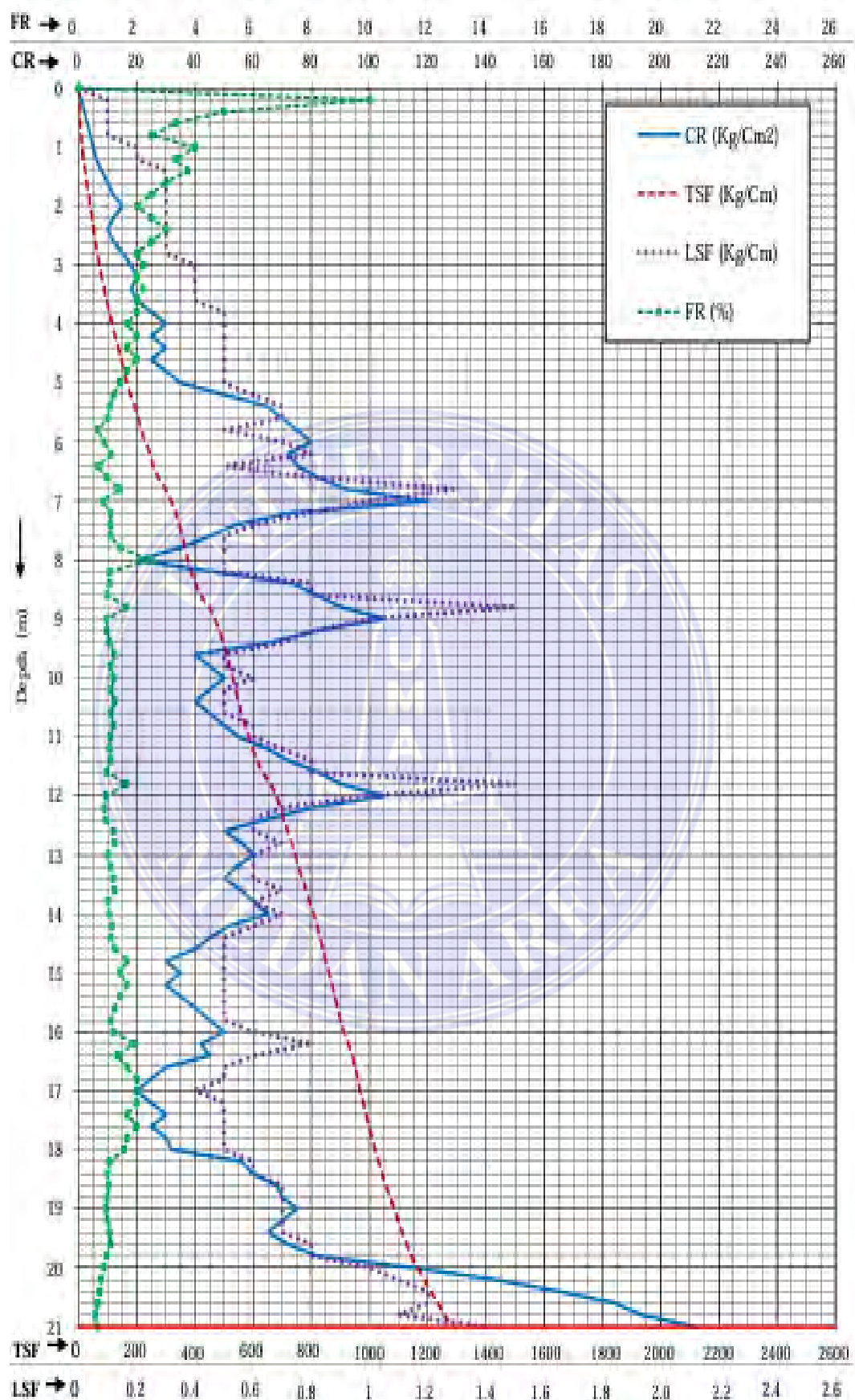


CV. SATRIA PERSADA				SONDERING TEST (DUTCH CONE PENETRATION TEST)			
Test No : S-3				Capacity : 2.50 ton			
Date : 30 April 2022				Sondering Master : Andika			
GWL : -5.80 m				Checked By : Ir. Janner Napitupulu			
Coordinate UTM (m) : X = - ; Y = - ; Z = - m							
Depth (m)	Cone Resistant (CR) Kg/Cm ²	Total Resistant (TR) Kg/Cm ²	Skin Friction (SF) Kg/Cm ²	Skin Friction x 20/10 Kg/Cm	Total Skin Friction (TSF) Kg/Cm	Local Skin Friction (LSF) Kg/Cm	Friction Ratio (FR) %
0.00	0	0	0	0	0	0.00	0.00
0.20	1	2	1	2	2	0.10	10.00
0.40	2	3	1	2	4	0.10	5.00
0.60	3	4	1	2	6	0.10	3.33
0.80	4	5	1	2	8	0.10	2.50
1.00	5	7	2	4	12	0.20	4.00
1.20	6	8	2	4	16	0.20	3.33
1.40	8	11	3	6	22	0.30	3.75
1.60	10	13	3	6	28	0.30	3.00
1.80	12	15	3	6	34	0.30	2.50
2.00	15	18	3	6	40	0.30	2.00
2.20	12	15	3	6	46	0.30	2.50
2.40	10	13	3	6	52	0.30	3.00
2.60	12	15	3	6	58	0.30	2.50
2.80	15	18	3	6	64	0.30	2.00
3.00	18	22	4	8	72	0.40	2.22
3.20	20	24	4	8	80	0.40	2.00
3.40	18	22	4	8	88	0.40	2.22
3.60	20	24	4	8	96	0.40	2.00
3.80	25	30	5	10	106	0.50	2.00
4.00	30	35	5	10	116	0.50	1.67
4.20	25	30	5	10	126	0.50	2.00
4.40	30	35	5	10	136	0.50	1.67
4.60	25	30	5	10	146	0.50	2.00
4.80	30	35	5	10	156	0.50	1.67
5.00	35	40	5	10	166	0.50	1.43
5.20	50	56	6	12	178	0.60	1.20
5.40	65	72	7	14	192	0.70	1.08
5.60	70	77	7	14	206	0.70	1.00
5.80	75	80	5	10	216	0.50	0.67
6.00	80	87	7	14	230	0.70	0.88
6.20	72	80	8	16	246	0.80	1.11
6.40	75	80	5	10	256	0.50	0.67
6.60	82	90	8	16	272	0.80	0.98
Project :				Location :			Page :
Perencanaan Pembangunan Gedung Showroom				JL. H. Adam Malik Medan - Sumatera Utara			12

CV. SATRIA PERSADA				SONDERING TEST (DUTCH CONE PENETRATION TEST)			
Test No : S-3				Capacity : 2.50 ton			
Date : 30 April 2022				Sondering Master : Andika			
GWL : -5.80 m				Checked By : Ir. Janner Napitupulu			
Coordinate UTM (m) : X = - ; Y = - ; Z = - m							
Depth (m)	Cone Resistant (CR) Kg/Cm ²	Total Resistant (TR) Kg/Cm ²	Skin Friction (SF) Kg/Cm ²	Skin Friction x 20/10 Kg/Cm	Total Skin Friction (TSF) Kg/Cm	Local Skin Friction (LSF) Kg/Cm	Friction Ratio (FR) %
6.80	92	105	13	26	298	1.30	1.41
7.00	120	130	10	20	318	1.00	0.83
7.20	73	81	8	16	334	0.80	1.10
7.40	54	60	6	12	346	0.60	1.11
7.60	45	50	5	10	356	0.50	1.11
7.80	35	40	5	10	366	0.50	1.43
8.00	20	25	5	10	376	0.50	2.50
8.20	47	52	5	10	386	0.50	1.06
8.40	74	82	8	16	402	0.80	1.08
8.60	82	90	8	16	418	0.80	0.98
8.80	90	105	15	30	448	1.50	1.67
9.00	105	115	10	20	468	1.00	0.95
9.20	82	90	8	16	484	0.80	0.98
9.40	65	72	7	14	498	0.70	1.08
9.60	40	45	5	10	508	0.50	1.25
9.80	45	50	5	10	518	0.50	1.11
10.00	50	56	6	12	530	0.60	1.20
10.20	45	50	5	10	540	0.50	1.11
10.40	40	45	5	10	550	0.50	1.25
10.60	45	50	5	10	560	0.50	1.11
10.80	50	56	6	12	572	0.60	1.20
11.00	55	61	6	12	584	0.60	1.09
11.20	65	72	7	14	598	0.70	1.08
11.40	72	80	8	16	614	0.80	1.11
11.60	82	90	8	16	630	0.80	0.98
11.80	90	105	15	30	660	1.50	1.67
12.00	105	115	10	20	680	1.00	0.95
12.20	80	87	7	14	694	0.70	0.88
12.40	64	70	6	12	706	0.60	0.94
12.60	50	56	6	12	718	0.60	1.20
12.80	56	63	7	14	732	0.70	1.25
13.00	60	66	6	12	744	0.60	1.00
13.20	54	60	6	12	756	0.60	1.11
13.40	50	56	6	12	768	0.60	1.20
Project :				Location :			Page :
Perencanaan Pembangunan Gedung Showroom				JL. H. Adam Malik Medan - Sumatera Utara			13

CV. SATRIA PERSADA				SONDERING TEST (DUTCH CONE PENETRATION TEST)			
Test No : S-3				Capacity : 2.50 ton			
Date : 30 April 2022				Sondering Master : Andika			
GWL : -5.80 m				Checked By : Ir. Janner Napitupulu			
Coordinate UTM (m) : X = - ; Y = - ; Z = - m							
Depth (m)	Cone Resistant (CR) Kg/Cm ²	Total Resistant (TR) Kg/Cm ²	Skin Friction (SF) Kg/Cm ²	Skin Friction x 20/10 Kg/Cm	Total Skin Friction (TSF) Kg/Cm	Local Skin Friction (LSF) Kg/Cm	Friction Ratio (FR) %
13.60	56	63	7	14	782	0.70	1.25
13.80	60	66	6	12	794	0.60	1.00
14.00	65	72	7	14	808	0.70	1.08
14.20	52	58	6	12	820	0.60	1.15
14.40	45	50	5	10	830	0.50	1.11
14.60	40	45	5	10	840	0.50	1.25
14.80	30	35	5	10	850	0.50	1.67
15.00	35	40	5	10	860	0.50	1.43
15.20	30	35	5	10	870	0.50	1.67
15.40	35	40	5	10	880	0.50	1.43
15.60	40	45	5	10	890	0.50	1.25
15.80	45	50	5	10	900	0.50	1.11
16.00	50	56	6	12	912	0.60	1.20
16.20	42	50	8	16	928	0.80	1.90
16.40	45	51	6	12	940	0.60	1.33
16.60	30	35	5	10	950	0.50	1.67
16.80	25	30	5	10	960	0.50	2.00
17.00	20	24	4	8	968	0.40	2.00
17.20	25	30	5	10	978	0.50	2.00
17.40	30	35	5	10	988	0.50	1.67
17.60	25	30	5	10	998	0.50	2.00
17.80	30	35	5	10	1,008	0.50	1.67
18.00	32	37	5	10	1,018	0.50	1.56
18.20	56	62	6	12	1,030	0.60	1.07
18.40	60	66	6	12	1,042	0.60	1.00
18.60	68	75	7	14	1,056	0.70	1.03
18.80	70	77	7	14	1,070	0.70	1.00
19.00	75	82	7	14	1,084	0.70	0.93
19.20	70	77	7	14	1,098	0.70	1.00
19.40	65	72	7	14	1,112	0.70	1.08
19.60	72	80	8	16	1,128	0.80	1.11
19.80	82	90	8	16	1,144	0.80	0.98
20.00	115	125	10	20	1,164	1.00	0.87
20.20	143	154	11	22	1,186	1.10	0.77
Project :				Location :			Page :
Perencanaan Pembangunan Gedung Showroom				JL. H. Adam Malik Medan - Sumatera Utara			14

CV. SATRIA PERSADA				SONDERING TEST (DUTCH CONE PENETRATION TEST)			
Test No : S-3				Capacity : 2.50 ton			
Date : 30 April 2022				Sondering Master : Andika			
GWL : -5.80 m				Checked By : Ir. Janner Napitupulu			
Coordinate UTM (m) : X = - ; Y = - ; Z = - m							
Depth (m)	Cone Resistant (CR) Kg/Cm ²	Total Resistant (TR) Kg/Cm ²	Skin Friction (SF) Kg/Cm ²	Skin Friction x 20/10 Kg/Cm	Total Skin Friction (TSF) Kg/Cm	Local Skin Friction (LSF) Kg/Cm	Friction Ratio (FR) %
20.40	165	177	12	24	1,210	1.20	0.73
20.60	184	196	12	24	1,234	1.20	0.65
20.80	193	204	11	22	1,256	1.10	0.57
21.00	212	226	14	28	1,284	1.40	0.66
21.20							
21.40							
21.60							
21.80							
22.00							
22.20							
22.40							
22.60							
22.80							
23.00							
23.20							
23.40							
23.60							
23.80							
24.00							
24.20							
24.40							
24.60							
24.80							
25.00							
25.20							
25.40							
25.60							
25.80							
26.00							
26.20							
26.40							
26.60							
26.80							
27.00							
Project :				Location :		Page :	
Perencanaan Pembangunan Gedung Showroom				Jl. H. Adam Malik Medan - Sumatera Utara		15	



Tabel 3.5. Hasil Pengujian Laboratorium

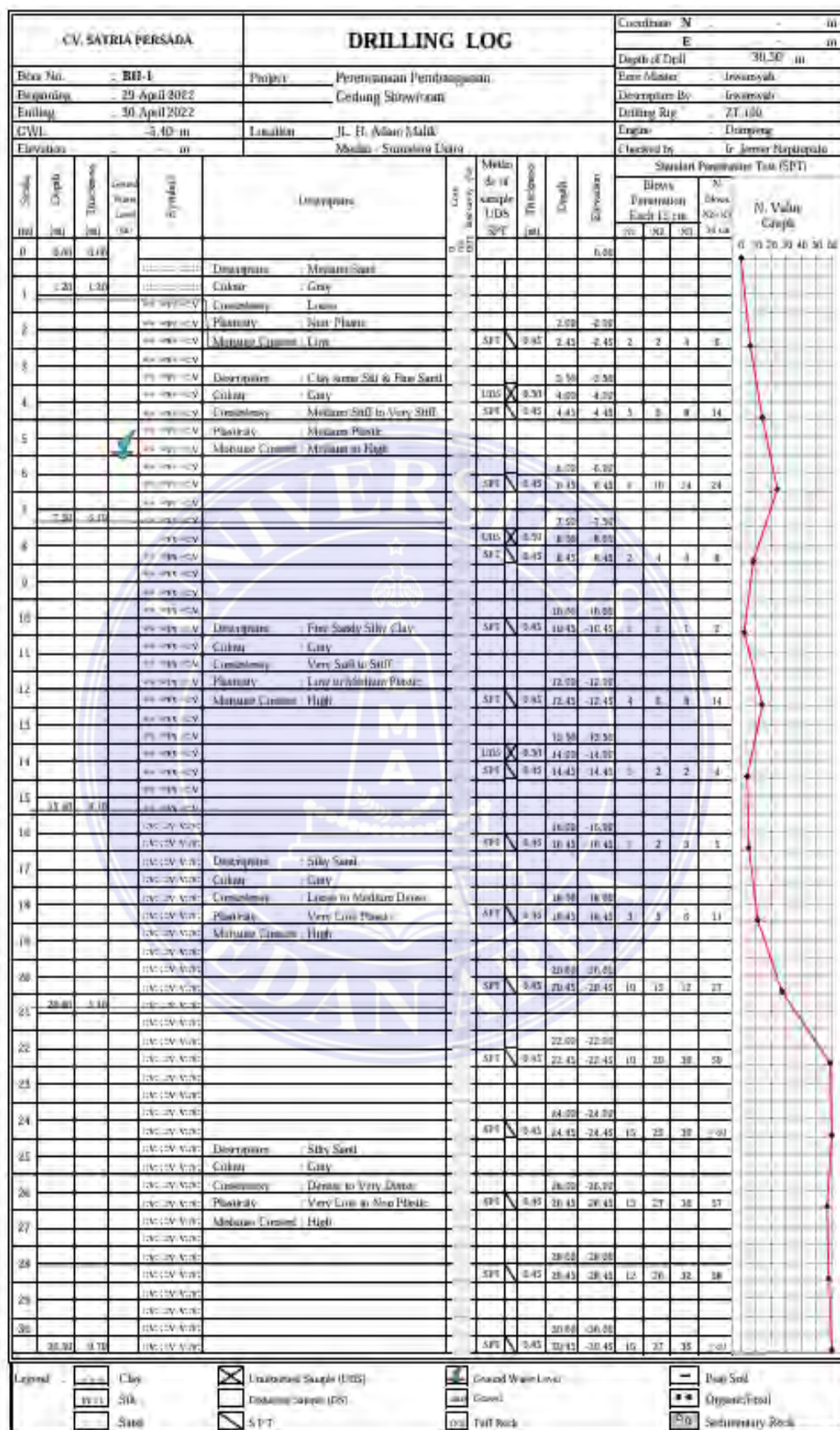
Bore No.		BH-1	
Depth		3.50 - 4.00 m	7.50 - 8.00 m
Moisture Content	W (%)	29.97	37.18
Natural Density	ρ_b (gr/cc)	1.596	1.617
Dry Density	ρ_d (gr/cc)	1.228	1.179
Unit Weight of Saturated	ρ_{sat} (gr/cc)	1.756	1.722
Specific Gravity	G _s	2.602	2.578
Void Ratio	e	1.1197	1.1870
Porosity	n	0.5282	0.5428
Degree of Saturation	S _r (%)	69.64	80.75
Atterberg Limit Test			
Liquid Limit	LL (%)	43.71	41.17
Plastic Limit	PL (%)	24.95	23.73
Plastic Index	PI (%)	18.76	17.44
Soil Classification			
AASHTO		A - 7 - 5	A - 7 - 5
USCS		CL	CL
Sieve Analysis Test			
No. 4	Passing Percent	100.00	100.00
No. 10	Passing Percent	100.00	99.17
No. 20	Passing Percent	98.85	97.41
No. 40	Passing Percent	98.20	96.32
No. 60	Passing Percent	97.05	93.95
No. 100	Passing Percent	94.07	89.83
No. 200	Passing Percent	88.56	80.84
Unconfined Compression Test			
Qu	(Kg/cm ²)	0.577	0.437
Strain	(%)	4.50	4.00
Direct Shear Test			
Internal Friction	Φ (Degree)	10 ° 22 " 14.16 "	8 ° 59 " 48.81 "
Cohesion	c (Kg/cm ²)	0.304	0.234
Consolidation Test			
Insitu Void Ratio	e ₀	1.120	1.187
Coefisien of Consolidation	C _v (Cm ² /sec)	6.58E-03	7.36E-03
Compression Index	C _c	0.3489	0.4543
Permeability	K (Cm/sec)	2.39E-07	2.92E-07

Tabel 3.6. Hasil Pengujian Laboratorium

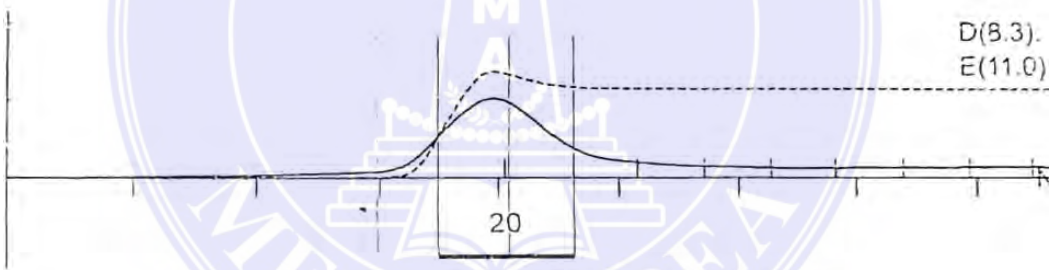
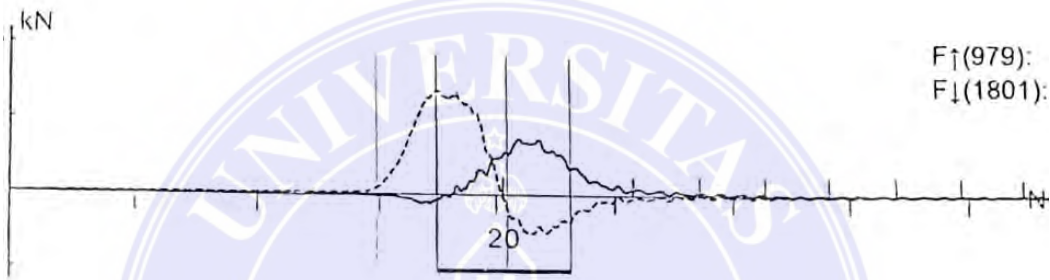
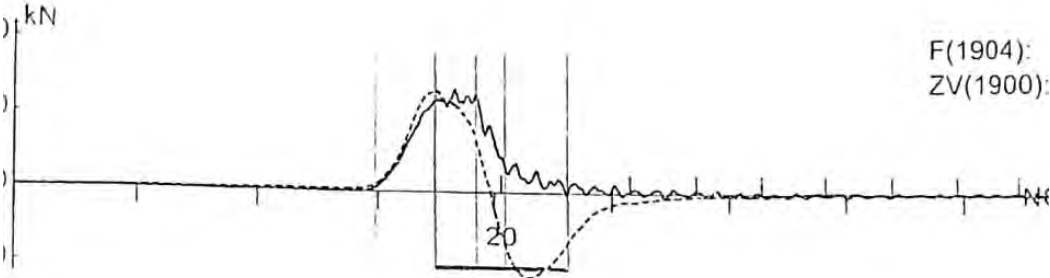
Bore No.		BH-1
Depth		13.50 - 14.00 m
Moisture Content	W (%)	42.99
Natural Density	ρ_b (gr/cc)	1.578
Dry Density	ρ_d (gr/cc)	1.103
Unit Weight of Saturated	ρ_{sat} (gr/cc)	1.677
Specific Gravity	G _s	2.589
Void Ratio	e	1.3469
Porosity	n	0.5739
Degree of Saturation	S _r (%)	82.65
Atterberg Limit Test		
Liquid Limit	LL (%)	45.20
Plastic Limit	PL (%)	22.93
Plastic Index	PI (%)	22.27
Soil Classification		
AASTHO	A - 7 - 5	
USCS	CL	
Sieve Analysis Test		
No. 4	Passing Percent	100.00
No. 10	Passing Percent	100.00
No. 20	Passing Percent	99.69
No. 40	Passing Percent	98.39
No. 60	Passing Percent	95.29
No. 100	Passing Percent	93.03
No. 200	Passing Percent	86.82
Unconfined Compression Test		
Qu	(Kg/cm ²)	0.269
Strain	(%)	3.00
Direct Shear Test		
Internal Friction	Φ (Degree)	6 ° 34 ' 32.40 "
Cohesion	c (Kg/cm ²)	0.148
Consolidation Test		
Insitu Void Ratio	e ₀	1.360
Coefisien of Consolidation	C _v (Cm ² /sec)	1.03E-02
Compression Index	C _c	0.6320
Permeability	K (Cm/sec)	5.57E-07

Tabel 3.6. Hasil Pengujian Laboratorium

Bore No.		BH-1
Depth		13.50 - 14.00 m
Moisture Content	W (%)	42.99
Natural Density	ρ_b (gr/cc)	1.578
Dry Density	ρ_d (gr/cc)	1.103
Unit Weight of Saturated	ρ_{sat} (gr/cc)	1.677
Specific Gravity	G _s	2.589
Void Ratio	e	1.3469
Porosity	n	0.5739
Degree of Saturation	S _r (%)	82.65
Atterberg Limit Test		
Liquid Limit	LL (%)	45.20
Plastic Limit	PL (%)	22.93
Plastic Index	PI (%)	22.27
Soil Classification		
AASTHO		A - 7 - 5
USCS		CL
Sieve Analysis Test		
No. 4	Passing Percent	100.00
No. 10	Passing Percent	100.00
No. 20	Passing Percent	99.69
No. 40	Passing Percent	98.39
No. 60	Passing Percent	95.29
No. 100	Passing Percent	93.03
No. 200	Passing Percent	86.82
Unconfined Compression Test		
Qu	(Kg/cm ²)	0.269
Strain	(%)	3.00
Direct Shear Test		
Internal Friction	Φ (Degree)	6 ° 34 ' 32.40 "
Cohesion	c (Kg/cm ²)	0.148
Consolidation Test		
Insitu Void Ratio	e _o	1.360
Coefisien of Consolidation	C _v (Cm ² /sec)	1.03E-02
Compression Index	C _c	0.6320
Permeability	K (Cm/sec)	5.57E-07



Name: PEMBANGUNAN SHOWROOM DAN KANTOR File Number: TITIK 01 AS
Date: 2024-12-30



Basic Pile Parameter

0.8 cm ²	PL:20 m (11.1ms)	γ:25.50 kN/
1/s	WC:3600 m/s	JC:0.5
4 MPa	Sampling Points:1 K	Sampling Fr

Output

mm	DEF:1.1 mm	EM:11.03
MPa	BTA:86 %	RMX:1616
kN	TSX:1.6 MPa	

Project Name: PEMBANGUNAN SHOWROOM DAN KANTOR

File Name: TITIK 01.k3

Testing Date:2024-12-10

CASE RESULTS

Jc	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
RSP	2257	2127	1989	1853	1719	1584	1450	1315	1181	1046	912
RSU	3179	3136	3094	3052	3010	2967	2925	2883	2840	2798	2756
RMX	2264	2134	2005	1875	1745	1616	1486	1357	1227	1098	968
RCAPWAP = 3065.00 kN Jc(RSP) = 0.00 Jc(RSU) = 0.27 Jc(RMX) = 0.00											
VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DEN	SET	EMX			
(m/s)	(ms)	(kN)	(kN)	(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(KJ)			
11.27	35.0	1900	1702	1904	8.3	1.1	1.12	11			

PILE MODEL

Segment (m)	Length (m)	Area (cm²)	Modulus (kPa)	Spec.Weight (kN/m³)	Perimeter (m)	Impedance (kN.s/m)	Z-Chan (°)
1	0	1571	33722	25.50	1.8850	1472	100
2a	20.00	1571	33722	25.50	1.8850	1472	100
Tot	20.00	2827.00					
Wave Speed : 3600m/s Overall : 3600m/s File Damping : 2.00% Time Increment : 0.278ms							

Project Name: PEMBANGUNAN SHOWROOM DAN KANTOR

Pile Name: TITIK 01 AS

Testing Date: 2024-12-30

EXTREMA TABLE

Pile Segm n: No.	Depth Below Gages (m)	max. Force (kN)	min. Force (kN)	max. Comp. Stress (MPa)	max. Tension Stress (MPa)	max. Tinsfd. Energy (KJ)	max. Velocity (ms)	max. Displ. (mm)
1	1.7	1983	-67	12.6	-0.4	11	1.18	6.905
2	2.4	2043	-68	13.0	-0.4	11	1.16	6.706
3	3.2	2115	-106	13.5	-0.7	10	1.14	6.491
4	4.0	2196	-159	14.0	-1.0	10	1.12	6.259
5	4.8	2279	-213	14.5	-1.4	10	1.09	6.012
6	5.5	2343	-270	14.9	-1.7	10	1.05	5.753
7	6.3	2415	-325	15.4	-2.1	9	1.00	5.481
8	7.1	2494	-360	15.9	-2.3	9	0.95	5.202
9	7.8	2548	-383	16.2	-2.4	9	0.90	4.917
10	8.6	2593	-402	16.5	-2.6	8	0.85	4.628
11	9.4	2633	-452	16.8	-2.9	8	0.80	4.336
12	10.1	2531	-425	16.1	-2.7	7	0.74	4.050
13	10.9	2387	-379	15.2	-2.4	6	0.69	3.783
14	11.7	2269	-341	14.4	-2.2	6	0.64	3.533
15	12.4	2108	-290	13.4	-1.8	5	0.59	3.303
16	13.2	1872	-206	11.9	-1.3	4	0.55	3.101
17	14.0	1600	-130	10.2	-0.8	3	0.51	2.934
18	14.8	1463	-102	9.3	-0.6	3	0.48	2.788
19	15.5	1358	-90	8.6	-0.6	3	0.46	2.653
20	16.3	1208	-42	7.7	-0.3	2	0.44	2.530
21	17.0	1051	-34	6.7	-0.2	2	0.42	2.418
22	17.8	952	-35	6.1	-0.2	2	0.41	2.311
23	18.6	889	-36	5.7	-0.2	2	0.40	2.208
24	19.4	732	-27	4.7	-0.2	1	0.40	2.117
25	20.1	625	-16	4.0	-0.1	1	0.40	2.035
26	20.9	600	-17	3.8	-0.1	1	0.40	1.958

Project Name: PEMBANGUNAN SHOWROOM DAN KANTOR

Pile Name: TITIK 01 A

Testing Date: 2024-12-10

RCAPWAP RESULTS

Soil Segment No.	Depth Below Gages (m)	Depth Below Grade (m)	Activated Resistance R (kN)	Sum Down of R (kN)	Sum UP of R (kN)	Unit Resistance (Depth) (kN/m)	Unit Resistance (Area) (kPa)
1	0.77	0.77	0	0	3065	0	0
2	1.54	1.54	0	0	3065	0	0
3	2.31	2.31	0	0	3065	0	0
4	3.08	3.08	0	0	3065	0	0
5	3.85	3.85	0	0	3065	0	0
6	4.62	4.62	15	15	3065	19	10
7	5.38	5.38	0	15	3050	0	0
8	6.15	6.15	0	15	3050	0	0
9	6.92	6.92	15	30	3050	19	10
10	7.69	7.69	0	30	3035	0	0
11	8.46	8.46	19	49	3035	25	13
12	9.23	9.23	148	197	3016	192	12
13	10.00	10.00	58	255	2868	75	10
14	10.77	10.77	127	382	2810	165	87
15	11.54	11.54	122	504	2683	158	84
16	12.31	12.31	249	753	2561	323	172
17	13.08	13.08	174	927	2312	226	120
18	13.85	13.85	48	975	2138	62	33
19	14.62	14.62	140	1115	2090	182	96
20	15.38	15.38	132	1247	1950	174	92
21	16.15	16.15	187	1434	1818	243	129
22	16.92	16.92	15	1449	1631	19	10
23	17.69	17.69	126	1575	1616	164	87
24	18.46	18.46	259	1834	1490	336	178
25	19.23	19.23	70	1904	1231	91	48
26	20.00	20.00	59	1963	1161	77	41
Toe	20.00	20.00	1102	3065	1102	-	3898
Total PCAPWAP Capacity : 3065kN Skin Friction : 1963kN Pile Base : 1102kN							
Pile Displacement Measurement : 1.12mm Blow Count = 893b/m							
Pile Displacement Match : 0.01mm Blow Count = 100000b/m							
Match Quality : 2.08%							

Soil Model Parameters (basic parameters)	Symbol	Shaft	Toe
Case Damping Factor	JS/JT	2.12	0.15

CV. SATRIA PERSADA

PHOTO DOKUMENTASI

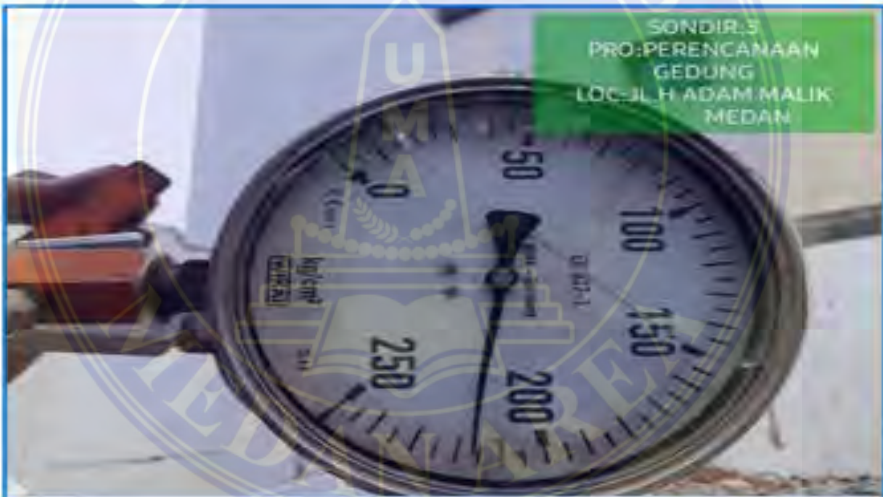


Pengujian Sondir Titik - 3 (S-3)



Pengujian Sondir Titik - 3 (S-3)

Project :	Location :	Page :
Perencanaan Pembangunan Gedung Showroom.	JL. H. Adam Malik Medan - Sumatera Utara	5

CV. SATRIA PERSADA	PHOTO DOKUMENTASI	
 <u>Pengujian Sondir Titik - 3 (S-3)</u>		
 <u>Pengujian Sondir Titik - 3 (S-3)</u>		
Project :	Location :	Page :
Perencanaan Pembangunan Gedung Showroom	JL. H. Adam Malik Medan - Sumatera Utara	6