

**ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG DENGAN
METODE ANALITIK DAN EMPIRIS PADA PROYEK
PABRIK KERTAS DI TANJUNG MORAWA**

SKRIPSI

OLEH:

**VIKA WILDA LUMBAN SIANTAR
228110023**



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

ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG DENGAN METODE ANALITIK DAN EMPIRIS PADA PROYEK PABRIK KERTAS DI TANJUNG MORAWA

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area



Oleh:

**VIKA WILDA LUMBAN SIANTAR
228110023**

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

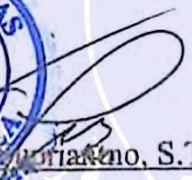
HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Dengan Metode
Analitik Dan Empiris Pada Proyek Pabrik Kertas Di
Tanjung Morawa
Nama : Vika Wilda Lumban Siantar
NPM : 228110023
Fakultas : Teknik

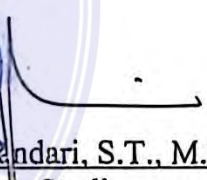
Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing


Ir. Tika Ermita W. Tandari, S.T., M.T
Pembimbing




Ir. Tika Ermita W. Tandari, S.T., M.T
Dekan




Ir. Tika Ermita W. Tandari, S.T., M.T
Koordinator Program Studi

Tanggal Lulus : 10 Maret 2026

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis 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 saksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan saksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



Medan, 10 Maret 2026

Vika Wilda Lumban Siantar
228110023

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Vika Wilda Lumban Siantar
NPM : 228110023
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 Pancang Dengan Metode Analitik Dan Empiris Pada Proyek Pabrik Kertas Di Tanjung Morawa . Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan 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 : 10 Maret 2026
Yang menyatakan



(Vika Wilda Lumban Siantar)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di salah satu desa yang berada di Kabupaten Dairi Yaitu Desa Tanjung Beringin, Pada tanggal 16 Oktober 2003 dari Ayah Arison Lumban Siantar dan Ibu Hotmaria Simanjorang Penulis merupakan putri ke 6 dari 6 bersudara. Tahun 2022 Penulis lulus dari SMA Budi Murni 2 Medan dan pada tahun 2022 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Pembangunan Rumah Sakit Umum Eshmun stabat.



KATA PENGHANTAR

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 Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Dengan Metode Analitik dan Empiris Pada Proyek Pabrik Kertas di Tanjung Morawa. Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Skripsi ini dapat penulis selesaikan berkat bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Ibu Ir. Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area dan selaku Pembimbing Skripsi yang bukan hanya membimbing akademik, tetapi juga menjadi pengarah, penyemangat, dan motivator yang luar biasa. Terima kasih yang sebesar- besarnya atas ketersediaan ibu meluangkan waktu di tengah kesibukan, atas kesabaran, perhatian, arahan, serta nasihat yang disampaikan dengan tutur kata menenangkan dan tidak pernah menyakiti, sehingga seluruh proses bimbingan dapat di jalani dengan rasa aman dan nyaman. Tanpa bimbingan dan dukungan ibu yang tulus, mungkin skripsi ini belum bisa selesai. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, keberkahan, serta balasan terbaik untuk setiap kebaikan yang ibu berikan.
2. Seluruh Dosen dan Staf Fakultas Teknik Universitas Medan Area, khususnya Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan bimbingan, ilmu pengetahuan, serta wawasan yang luas pada penulis selama proses perkuliahan.
3. Teristimewa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar- besarnya kepada orang tua tercinta, Papa Arison Lumban Siantar dan Mama Hotmaria Simanjorang, meskipun kita bukan keluarga yang terbiasa berbicara dari hati ke hati, penulis tahu bahwa dibalik itu tersimpan doa dan harapan yang tak pernah putus untuk penulis. Penulis memahami dan merasakan bahwa cinta dan dukungan yang kalian berikan selama ini hadir dalam bentuk yang berbeda, mungkin tidak dengan ucapan tetapi tindakan dan keberadaan kalian adalah bukti kasih sayang yang tak terhingga. Setiap langkah dan pencapaian yang penulis raih, termasuk selesainya skripsi ini, adalah bagian dari doa dan harapan kalian. Terima kasih atas pengorbanan, dukungan dan kebahagiaan yang telah kalian berikan.
4. Kepada sosok yang tidak kalah penting yaitu Abang dan Istrinya, Jendi Ade Putra Lumban Siantar dan Ronty Nadeak. Dukungan, perhatian, doa, serta semangat yang senantiasa diberikan baik secara moril maupun materil, menjadi penyemangat bagi penulis dalam menempuh proses perkuliahan serta menyelesaikan pendidikan dengan sebaik – baiknya.

5. Teruntuk kakak dan Abangku tersayang sang perisai dalam badai, Vivi Sufiani Lumban Siantar, Via Natalia Lumban Siantar, Fitri Ayuna Lumban Siantar, dan Jona E Lumban Siantar, yang selalu menjadi benteng pertahanan. Tanpa uluran tangan kalian mungkin penulis tidak sampai di titik ini. Terima kasih sudah menjadi anak tangga dalam setiap langkah penulis dan selalu memberikan yang terbaik untuk penulis. Beribu ucapan terima kasih penulis sampaikan atas semua kasih sayang, dukungan serta pengorbanan yang diberikan. Setiap rupiah yang kalian keluarkan untuk penulis semoga nantinya dilipatgandakan.
6. Sahabat-sahabat terbaik di perkuliahan, Hemamalini Rumahorbo, Irama Olifia Pasaribu, dan Astasia Olivia Manik, Pertemuan kita di bangku perkuliahan adalah anugerah yang tak pernah penulis duga. Kehadiran kalian adalah sumber inspirasi yang tak ternilai selama masa perkuliahan ini. Setiap tawa, setiap diskusi dan setiap dukungan tulus yang kalian berikan telah menjadi penyemangat dalam menghadapi setiap tantangan akademis maupun personal penulis. Terima kasih atas momen indah, setiap perjalanan hidup, dan setiap momen berharga lainnya yang telah kita lalui bersama. Semoga Tuhan senantiasa melimpahkan kebahagiaan dan kesuksesan dalam setiap langkah hidup kalian.
7. Kepada pemilik NPM 228110065 Penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya untuk setiap dukungan, waktu, tenaga, serta sudah setia menemani dan kebersamai penulis sedari awal hingga akhir perkuliahan. Terima kasih sudah menjadi pendengar, pemberi masukan, serta partner yang baik selama 3 tahun belakang, semoga kita berdua dapat meraih kesuksesan di kemudian hari.
8. Terakhir, kepada diri saya sendiri *Vika Wilda* . Terima kasih telah bertahan sejauh ini dan terus berjalan melewati segala tantangan yang semesta hadirkan. Apresiasi yang sebesar-besarnya telah berjuang untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Setiap air mata, doa, dan usaha telah menjadi saksi betapa berharganya proses ini. Mari bekerja sama untuk lebih berkembang lagi menjadi pribadi yang lebih baik dari hari ke hari. *God thank you for being me independent woman, I know there are more great ones but I'm proud of this achievement.*

Penulis



(Vika Wilda Lumban Siantar)

ABSTRAK

Pondasi merupakan elemen struktur yang berperan penting dalam menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah keras. Pada proyek pembangunan Pabrik Kertas di Tanjung Morawa, kondisi tanah yang relatif lunak menuntut perencanaan pondasi yang tepat agar mampu menjamin stabilitas dan keamanan struktur. Oleh karena itu, diperlukan analisis daya dukung pondasi tiang pancang yang sesuai dengan karakteristik tanah di lokasi penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal dan), menganalisis daya dukung tiang kelompok berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT), serta melakukan pemodelan daya dukung tiang pancang dengan bantuan *software* PLAXIS. Metode penelitian dilakukan dengan mengolah data SPT. Perhitungan daya dukung tiang pancang dilakukan secara analitis menggunakan metode *Luciano Decourt* dan metode *Los Angeles*, kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil perhitungan daya dukung yang ada di proyek serta hasil pemodelan numerik menggunakan *software* PLAXIS. Tingkat kesesuaian hasil analisis dinilai berdasarkan perbandingan nilai daya dukung yang diperoleh. Hasil analisis daya dukung tiang tunggal menggunakan metode *Luciano Decourt* sebesar 78.00 ton atau 98.11% dibandingkan Nilai hasil daya dukung tiang pancang yang ada di proyek. Sedangkan dengan metode *Los Angeles* untuk kelompok tiang mendapatkan ultimit (Q_u) sebesar 278.4 ton dan hasil dari *Software plaxis* didapat kapasitas daya dukung *ultimate* tiang tunggal sebesar 89,7 ton atau 112,83% di bandingkan dengan Hasil perhitungan daya dukung tiang pancang yang ada di proyek. Maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan Metode Teoritis yaitu *Luciano Decourt* lebih mendekati hasil perhitungan daya dukung tiang pancang yang ada di proyek di bandingkan menggunakan *Software* Plaxis

Kata Kunci: Daya Dukung, SPT, Tiang Pancang, Plaxis

ABSTRACT

Foundation is a structural element that plays an important role in transferring building loads to the hard soil layer. In the construction project of the Paper Factory in Tanjung Morawa, the relatively soft soil conditions require proper foundation design to ensure the stability and safety of the structure. Therefore, an analysis of the bearing capacity of pile foundations is needed in accordance with the soil characteristics at the research location. This study aims to analyze the bearing capacity of a single pile, to evaluate the bearing capacity of pile groups based on Standard Penetration Test (SPT) data, and to perform numerical modeling of pile bearing capacity using PLAXIS software. The research method was carried out by processing SPT data. The bearing capacity of the pile foundation was calculated analytically using the Luciano Decourt method and the Los Angeles method, and the results were compared with the bearing capacity values obtained from the project as well as the numerical modeling results using PLAXIS software. The level of agreement was evaluated based on the comparison of the obtained bearing capacity values. The results show that the bearing capacity of a single pile using the Luciano Decourt method is 78.00 tons, or 98.11% of the bearing capacity value obtained in the project. Meanwhile, the Los Angeles method for pile groups produces an ultimate capacity (Q_u) of 278.4 tons. The PLAXIS software analysis yields an ultimate bearing capacity of a single pile of 89.7 tons, or 112.83% compared to the project results. It can therefore be concluded that the theoretical method, namely Luciano Decourt, provides results that are closer to the project's bearing capacity values compared to the PLAXIS software.

Keywords: *Bearing Capacity, SPT, Pile Foundation, Plaxis*

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGHANTAR	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
NOTASI.....	xv
 BAB I. PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1.3.1 Maksud	3
1.3.2 Tujuan	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	 6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Tanah	10
2.2.1 USCS (<i>Unified soil classification system</i>)	11
2.2.2 AASHTO (<i>American association of state highway and transportation officials classification</i>)	15
2.3 Karakteristik tanah	17
2.4 Penyelidikan Tanah	20
2.4.1 Laboratorium	21
2.4.2 <i>Standard penetration test</i> (SPT)	23
2.5 Pondasi	26
2.5.1 Jenis jenis pondasi	27
2.5.2 Pondasi Tiang	38
2.5.3 Pondasi Tiang Tunggal (<i>Single Pile</i>)	42
2.5.4 Pondasi Kelompok Tiang (<i>Pile Group</i>)	42
2.6 Kapasitas daya dukung Pondasi.....	43
2.6.1 Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang	45
2.6.2 Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang dengan Data SPT (<i>Standard Penetration Test</i>).....	46
2.6.3 Daya Dukung Pondasi Tiang Tunggal Dengan Metode <i>Luciano Decourt</i> (1982).....	46

2.6.4	Daya Dukung Tiang Kelompok dengan Metode <i>Los Angeles</i>	50
2.7	Jarak Antar Tiang (s)	50
2.8	Faktor Keamanan (<i>Safety Factor</i>)	52
2.9	<i>Software Plaxis</i>	54
BAB III.	METODOLOGI PENELITIAN	57
3.1	Lokasi Penelitian	57
3.2	Kondisi Tanah Eksisting	57
3.3	Metode Pengumpulan Data	59
3.3.1	Data Primer	59
3.3.2	Data sekunder	61
3.4	Alur perhitungan	62
BAB IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	63
4.1	Perhitungan Daya dukung Tiang Pancang	63
4.1.1	Hasil Perhitungan daya dukung <i>spun pile</i> tunggal menggunakan metode <i>Luciano Decourt</i> (1982).....	63
4.1.2	Hasil Daya Dukung <i>Spun Pile</i> Dengan Diameter Beragam	65
4.1.3	Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang	66
4.1.4	Pemodelan dengan <i>plaxis</i>	68
4.2	Pembahasan hasil perhitungan	73
4.2.3	Dasar perhitungan metode <i>Luciano Decourt</i> dan <i>Plaxis</i>	74
4.2.2	Hasil Perhitungan analitik Menggunakan Metode <i>Luciano decourt</i> dan <i>Los Angeles</i>	75
4.2.3	Hasil Analisis <i>Software Plaxis</i>	76
BAB V.	PENUTUP	78
5.1	Kesimpulan	78
5.2	Saran	78
	DAFTAR PUSTAKA.....	xv
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Simbol Klasifikasi USCS.....	12
Tabel 2. Tanah Berbutir Kasar (<i>Coarse Grained Soils</i>).....	12
Tabel 3. Tanah Berbutir Halus (<i>Fine Grained Soils</i>).....	13
Tabel 4. Klasifikasi AASHTO.....	17
Tabel 5. Koefisien Tanah.....	48
Tabel 6. Koefisien Dasar Tiang α	49
Tabel 7. Koefisien Selimut Tiang β	49
Tabel 8. Jarak minimum tiang.....	51
Tabel 9. Faktor Aman yang Disarankan oleh Resse dan O'Neill 1989 Untuk Fondasi Tiang.....	54
Tabel 10. Sistem pelapisan tanah berdasarkan deskripsi visual BH-1	58
Tabel 11. Nilai <i>Standard Penetration Test</i> BH-1.....	58
Tabel 12. Nilai rata-rata SPT pada elevasi dasar tiang dan daya dukung ultimate pada ujung tiang.....	64
Tabel 13. Daya dukung ultimit dan daya dukung ijin tiang metode <i>Luciano</i> <i>Decourt</i>	65
Tabel 14. Daya dukung tiang pancang diameter beragam.....	66
Tabel 15. Hasil daya dukung Tiang kelompok Menggunakan Metode <i>Los</i> <i>Angeles</i>	68
Tabel 16. Data Parameter Tanah.....	69
Tabel 17. Persentase hasil analisis daya dukung tiang tunggal terhadap Daya dukung Tiang pada Proyek dengan varian dimensi.....	76

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Alat <i>Standard penetration test</i>	25
Gambar 2. Pondasi Batu Kali/ Menerus.....	30
Gambar 3. Pondasi Tapak.....	31
Gambar 4. Pondasi Raft.....	32
Gambar 5. Pondasi Sumuran.....	33
Gambar 6. Pondasi Tiang.....	35
Gambar 7. Pondasi Tiang Pancang.....	38
Gambar 8. Defenisi Jarak s dalam hitungan.....	51
Gambar 9. Lokasi Proyek.....	57
Gambar 10. Tampilan pemodelan struktur Pabrik Kertas	60
Gambar 11. Hasil joint reaction Software.....	60
Gambar 12. Bagan Alir Penelitian.....	62
Gambar 15. Input Material.....	69
Gambar 14. Pemodelan menggunakan Plaxis 2D.....	70
Gambar 16. <i>Generate Mesh</i>	71
Gambar 17. <i>Initial Phase</i>	72
Gambar 18. Proses <i>Calculate</i>	72
Gambar 19. Hasil Output <i>Plaxis</i>	73
Gambar 20. Grafik Hasil Analisis daya dukung Tiang pancang di proyek, hasil analisis perhitungan analitik dan hasil daya dukung Software Plaxis.....	77

NOTASI

A_p	=	Luas penampang dasar tiang
A_s	=	Luas selimut tiang
Q_p	=	Kapasitas tahanan ujung ultimate tiang
Q_s	=	Kapasitas tahanan gesek
α	=	Koefisien dasar tiang
β	=	Koefisien selimut tiang
N_p	=	Rata –rata nilai N_{SPT} pada ujung tiang
N_s	=	Rata –rata nilai N_{SPT} sepanjang tiang yang tertanam batas
K	=	Koefisien tanah untuk metode Luciano Decourt
m	=	Jumlah tiang pada satu baris.
N	=	Jumlah tiang pada satu kolom.
S	=	jarak dari pusat antar tiang.
D	=	Diameter Pondasi.
Q_g	=	Daya dukung ultimit dari grup tiang
Q_{ult}	=	Daya dukung ultimit dari tiang tunggal
E_g	=	Efisiensi kelompok tiang
E	=	Modulus elastisitas
ν	=	Rasio Poisson
c	=	Kohesi
ϕ	=	Sudut geser dalam
ψ	=	Sudut dilatasi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap konstruksi sipil baik itu jembatan, gedung, bendungan atau konstruksi sipil lainnya tidak akan dapat berfungsi tanpa adanya pondasi. Tanpa pondasi yang kuat struktur seperti jembatan, gedung, dan lainnya akan runtuh. Saat di lapangan, melakukan pemeriksaan daya dukung pondasi yang tepat merupakan hal yang paling di utamakan karena pondasi iyalah bagian yang paling penting dari konstruksi sipil. Untuk mengetahui berapa berat yang dapat ditopang oleh pondasi tiang pancang, ada beberapa metode untuk mengetahui Daya dukung pondasi, namun metode yang akan digunakan didasari oleh karakteristik data tanah yang ada pada lokasi konstruksi (Muthmainnah, 2021)

Pada proyek pembangunan Pabrik Kertas di Tanjung Morawa, tantangan khusus dalam perencanaan pondasi muncul karena lokasi yang memiliki kondisi tanah lunak yang perlu diuji secara teliti. Pondasi tiang pancang dipilih sebagai solusi untuk memperoleh daya dukung yang memadai mengingat karakteristik tanah di lokasi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis daya dukung pondasi tiang pancang serta melakukan pemodelan menggunakan *Software* untuk hasil yang lebih akurat dan efisien.

Penelitian ini sangat penting karena banyaknya masalah yang terjadi pada pondasi tiang pancang yang disebabkan oleh analisis daya dukung yang tidak tepat dan yang sesuai dengan karakteristik tanah dan metode yang digunakan. Dengan memanfaatkan metode-metode analisis daya dukung pondasi dan pemodelan *software* akan meminimalkan risiko kegagalan pondasi dan menambah keamanan

bagi pembangunan gedung-gedung vital seperti Gedung Pabrik kertas ini (Andayana, 2016). Lebih jauh lagi, penelitian ini juga bertujuan untuk menyempurnakan metode analisis yang ada agar dapat diaplikasikan di berbagai proyek serupa di masa depan.

Berdasarkan keadaan ini, untuk memastikan hasil yang diharapkan dalam proyek, perencanaan pondasi Gedung Pabrik Kertas di Tanjung Morawa perlu dilakukan analisis terhadap daya dukung pondasi Tiang pancang dengan cara yang tepat dan efisien. Karena itu, penulis merasa tertarik untuk memberikan judul "Analisis Daya Dukung tiang pancang dan pemodelan *Software* Pada Proyek Pembangunan Pabrik kertas di Tanjung Morawa".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang akan di kaji dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapakah daya dukung Tiang pancang tunggal dengan menggunakan metode *Luciano Decourt* dan Daya dukung Tiang kelompok Menggunakan Metode *Los Angeles* berdasarkan data SPT (*standard penetration test*)?
2. Berapakah besarnya daya dukung tiang pancang dengan menggunakan *software* PLAXIS?
3. Bagaimana Hasil Perbandingan Daya dukung di proyek dengan hasil analisis yang di dapat?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah untuk memahami permasalahan yang dikaji secara lebih mendalam melalui proses analisis berdasarkan data dan metode yang digunakan. Selain itu, penelitian ini juga

bertujuan untuk menghasilkan kajian yang sistematis sehingga dapat memberikan gambaran yang jelas serta menjadi bahan pertimbangan dan referensi bagi perencanaan maupun penelitian selanjutnya.

1.3.1 Maksud penelitian

Adapun Maksud dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis daya dukung Tiang pancang tunggal dengan menggunakan metode *Luciano Decourt* dan Daya dukung Tiang kelompok Menggunakan Metode *Los Angeles* berdasarkan data SPT (*standard penetration test*).
2. Memperoleh besarnya daya dukung tiang pancang dengan menggunakan *software* PLAXIS.
3. Membandingkan Hasil Daya dukung Lapangan dengan hasil analisis yang di dapat.

1.3.2 Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui Berapa kapasitas daya dukung Tiang pancang tunggal dengan menggunakan metode *Luciano Decourt* dan Daya dukung Tiang kelompok Menggunakan Metode *Los Angeles* berdasarkan data SPT (*standard penetration test*).
2. Untuk mengetahui Berapa besarnya daya dukung tiang pancang dengan menggunakan *software* PLAXIS.
3. Untuk mengetahui Bagaimana Hasil Perbandingan Daya dukung Lapangan dengan hasil analisis yang di dapat.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah untuk memberikan informasi,

pemahaman, serta kontribusi ilmiah terkait permasalahan yang diteliti sehingga dapat menjadi bahan referensi dan pertimbangan dalam pengembangan penelitian maupun perencanaan di bidang yang sama.:

1. Untuk peneliti

Penelitian ini menjadi sarana pengembangan pengetahuan dan keterampilan penulis dalam bidang geoteknik terutama pada Analisis Daya dukung Tiang pancang ini juga menjadi kontribusi akademik penulis dalam menyelesaikan skripsi untuk memperoleh gelar sarjana teknik sipil di Universitas Medan Area.

2. Untuk Akademis

Dapat menjadi bahan rujukan atau referensi dalam pembahasan yang sama tentang Daya dukung Tiang pancang khususnya bagi mahasiswa/i fakultas teknik maupun pihak-pihak lain yang membutuhkan.

3. Untuk instansi

Dapat menjadi rujukan atau referensi bagi instansi atau perusahaan terkait yang membutuhkan informasi mengenai Analisis Daya Dukung Tiang pancang di Kota Medan.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, diperlukan adanya batasan masalah agar pembahasan dalam penelitian ini tetap terfokus, terarah, dan tidak mengalami perluasan yang berlebihan di luar ruang lingkup kajian. Penetapan batasan masalah ini bertujuan untuk memperjelas ruang lingkup penelitian serta memudahkan dalam proses analisis dan pembahasan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini pembahasan dibatasi pada:

1. Titik *boring* yang akan diteliti hanya titik *Bore hole* 1.
2. Penelitian ini tidak menganalisis penurunan tanah (*settlement*)
3. Penelitian menggunakan Hitungan berdasarkan data SPT
4. Validasi hasil perhitungan menggunakan hitungan daya dukung tiang pancang proyek
5. Metode perhitungan analisis daya dukung Tiang pancang menggunakan metode *Luciano Decourt* (1982) dan daya dukung tiang kelompok menggunakan metode *Los Angeles*



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan salah satu langkah penting yang dilakukan penulis untuk memperoleh gambaran umum, perbandingan hasil, serta kajian teoritis yang relevan dengan topik penelitian yang akan dilaksanakan. Melalui studi terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, penulis diharapkan dapat memperluas wawasan, menambah referensi ilmiah, serta memperoleh inspirasi dalam menentukan metode, pendekatan analisis, dan parameter yang tepat (Riswanto, dkk, 2023). Selain itu, kajian pustaka ini juga berfungsi sebagai dasar dalam merumuskan kerangka pemikiran dan memperkuat landasan teori yang digunakan dalam penelitian.

Dalam penelitian ini, penulis mengkaji beberapa sumber yang berasal dari jurnal ilmiah, tugas akhir, serta referensi teknis lainnya yang berkaitan dengan analisis daya dukung tiang pancang dan pemodelan menggunakan perangkat lunak (*software*) geoteknik yang telah diterapkan pada berbagai proyek di Indonesia. Adapun beberapa penelitian terdahulu yang relevan dan menjadi acuan dalam analisis daya dukung tiang pancang pada penelitian ini, antara lain sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan oleh Mahfud dan Masrul Huda (2015) mengevaluasi dan membandingkan daya dukung tiang tunggal dan menentukan daya dukung sekelompok tiang yang paling efisien dengan menggunakan data sondir dan Standar Uji Penetrasi (SPT). Teknik pengumpulan data meliputi hal-hal seperti observasi, mengumpulkan informasi untuk proyek, dan membaca literatur akademik. Daya dukung tiang tunggal ditentukan dengan menggunakan data sondir yang diambil

dengan menggunakan metode Aoki De Alancer dan data SPT yang dikumpulkan dengan menggunakan metode Mayerhoff. Menggunakan data sondir dengan metodologi Aoki de Alancer dan data SPT dengan metode Mayerhoff, daya dukung maksimum tiang tunggal ditentukan. Hasilnya masing-masing mencapai 19.965 ton, 131.644 ton, dan 20.215 ton, 12.302 ton.

2. Penelitian oleh yang dilakukan Tabita (2023) yang berjudul “Studi Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang dengan Metode Analitis dan Metode Numeris”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya daya dukung aksial pondasi tiang pancang secara analitis menggunakan metode Aoki De Alencar berdasarkan data sondir dan SPT, serta secara numerik menggunakan metode elemen hingga dengan software Plaxis. Penelitian mengkaji tiang pancang dengan diameter 60 cm dan beban rencana sebesar 110 ton. Hasil perhitungan numerik menggunakan Plaxis menghasilkan nilai daya dukung sebesar sekitar 43,25 ton, sedangkan metode Aoki De Alencar memberikan kapasitas daya dukung yang bervariasi antara 22,835 ton hingga 55,876 ton, tergantung kedalaman dan parameter tanah. Penelitian ini juga membandingkan hasil perhitungan dengan beberapa metode lain serta melakukan validasi dengan data uji PDA. Kesimpulannya, kombinasi metode Aoki De Alencar dan pemodelan numerik di Plaxis memberikan hasil yang cukup akurat dan dapat digunakan sebagai dasar perencanaan pondasi tiang pancang secara komprehensif dan realistis.
3. Penelitian yang dilakukan oleh Sutarso A & Jalil A, 2023 “Analisis Daya Dukung Pondasi Terhadap Penambahan Lantai Dengan Struktur Atap Plat

Beton Gedung Rumah Sakit Unimus”, ditemukan bahwa daya dukung pondasi tunggal dan kelompok dengan perhitungan mayerhoff dengan daya dukung pondasi sebesar 906,189 ton mampu menampung beban maksimum bangunan atas sebesar 647,637 ton setelah didapatkan penambahan satu lantai dan perubahan struktur atap baja menjadi atap pelat beton dengan memanfaatkan atap sebagai area terbuka dan peghubung antar bangunan.

4. Penelitian yang di lakukan oleh Andi Yusti dan Ferra fahriani (2014) “Mengkaji dan membandingkan daya dukung pondasi”, melakukan uji dinamika uji dengan menggunakan teknik Mayerhof (1956) dan Tomlison (1997). Dengan demikian, pengujian PDA telah mengungkapkan bahwa teknik Mayerhof (1956) memiliki kerentanan paling sedikit jika dibandingkan dengan pendekatan lainnya. Hasil analisis manual dan program menunjukkan bahwa metode Mayerhof (1956) memiliki rentang nilai terpendek dan didukung oleh pengujian PDA. Nilai Q_u adalah 128.298 ton dibandingkan dengan 118 dan 102 ton pada titik BH1. Berbeda dengan 165 ton dan 163 ton, titik BH1, Q_u memiliki 118.679 ton.
5. Penelitian yang di lakukan Merytsa et al., (2022). Dengan judul “Studi Komparasi Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Secara Analitis Terhadap Hasil Uji Kalendering Dan *Pile Driving Analyzer*”, penelitian ini menganalisis daya dukung tiang pancang yang akan difungsikan sebagai pondasi dari jalan tol di semarang. Penelitian ini menggunakan data SPT untuk metode mayerhof, luciano decourt, dan schmertman sedangkan Kalendering menggunakan metode Hilley dalam perhitungan daya dukung tiang pancang. Data PDA yang dicantumkan digunakan sebagai

pembandingan dengan perhitungan SPT dan Kalendering. Dari analisis yang telah dilaksanakan, diperoleh daya dukung ultimate tiang pancang dengan kedalaman 44 m dengan metode Mayerhof yaitu 149,72 ton, Metode Luciano Decourt 210,0451 Ton, dan metode Schmertman 185,888 ton, sedangkan dengan data kalendering menggunakan metode Hilley yaitu 145,0251 ton. Untuk daya dukung dari data PDA yang diperoleh pada proyek ini yaitu 148,73 Ton, sehingga disimpulkan bahwa metode Mayerhof merupakan persentase yang paling mendekati dengan daya dukung PDA dan Kalendering .

6. penelitian yang dilakukan Arliyanto et al, (2024) Dengan judul “Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode Luciano De Court dan Plaxis Dengan *Pile Driving Analyzer* (PDA) Test Pada Pembangunan Gedung *Research Center* UPN Veteran Jawa Timur”, Penelitian ini menganalisis daya dukung serta penurunan tiang pancang pada Pembangunan Gedung *Research Center* di Surabaya. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan dua metode dalam perhitungan daya dukung tiang pancang yaitu Luciano Decourt dan *software* plaxis dengan menggunakan data PDA hanya sebagai perbandingan dari analisis yang dilakukan. Dari hasil perhitungan daya dukung menggunakan metode *Luciano De Court-Quaresma* (1982) didapat daya dukung tiang pancang sebesar 281,7 ton dengan penurunan sebesar 23 mm dan menggunakan *software* plaxis sebesar 300 Ton dengan penurunan sebesar 20,17 mm, untuk perhitungan daya dukung menggunakan Plaxis didapat daya dukung tiang pancang sebesar 300 ton dan penurunan 20 mm.

2.2 Tanah

Tanah didefinisikan sebagai suatu material yang tersusun atas agregat butiran padat, baik berukuran kasar maupun halus, yang tidak saling terikat secara kimiawi. Material tersebut berasal dari proses pelapukan bahan-bahan organik dan anorganik, serta mengandung zat cair dan gas yang mengisi rongga-rongga di antara partikel-partikel padat penyusunnya. Dengan demikian, tanah merupakan sistem tiga fase yang terdiri dari fase padat, cair, dan gas, yang secara bersama-sama memengaruhi sifat mekanik dan perilaku teknis tanah (Anwar, dkk, 2016). tanah merupakan campuran partikel-partikel yang terdiri dari satu atau beberapa jenis material, yang dapat diklasifikasikan berdasarkan ukuran butirnya sebagai berikut:

1. Kerikil (*gravel*), yaitu partikel batuan dengan ukuran berkisar antara 5 mm hingga 150 mm. Partikel ini umumnya bersifat kasar dan memiliki permeabilitas yang tinggi, sehingga sering dijumpai pada lapisan tanah dengan daya dukung relatif besar.
2. Berangkal (*boulders*), yaitu fragmen batuan berukuran sangat besar, dengan diameter umumnya lebih dari 250 mm hingga mencapai sekitar 300 mm. Sementara itu, partikel dengan ukuran antara 150 mm hingga 250 mm diklasifikasikan sebagai kerakal (*cobbles*). Material ini biasanya ditemukan pada endapan aluvial kasar atau daerah pegunungan.
3. Pasir (*sand*), merupakan partikel batuan dengan ukuran berkisar antara 0,075 mm hingga 5 mm. Berdasarkan ukurannya, pasir dapat dibedakan menjadi pasir kasar dengan ukuran sekitar 3 mm hingga 5 mm, serta pasir halus dengan ukuran kurang dari 1 mm. Tanah berpasir memiliki karakteristik drainase yang baik dan kuat geser yang relatif tinggi.

4. Lanau (*silt*), yaitu partikel batuan berukuran antara 0,002 mm hingga 0,075 mm. Tanah lanau umumnya terbentuk dari proses sedimentasi dan sering dijumpai pada endapan di danau, daerah pantai, serta muara sungai. Sifat mekanik lanau berada di antara pasir dan lempung.
5. Lempung (*clay*), merupakan partikel mineral berukuran sangat halus, yaitu kurang dari 0,002 mm. Partikel ini merupakan sumber utama sifat kohesif pada tanah, sehingga sangat berpengaruh terhadap perilaku plastisitas, kembang-susut, dan daya dukung tanah.
6. Koloid (*colloids*), yaitu partikel yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm, yang memiliki luas permukaan spesifik sangat besar serta aktivitas kimia yang tinggi, sehingga sangat memengaruhi sifat fisik dan mekanik tanah.

Selain klasifikasi tanah, terdapat beberapa sistem klasifikasi lain yang umum digunakan dalam bidang geoteknik untuk mengelompokkan jenis-jenis tanah berdasarkan karakteristik fisik dan mekaniknya, antara lain sebagai berikut:

2.2.1 USCS (*Unified Soil Classification System*)

Sistem klasifikasi tanah ini merupakan metode yang diperkenalkan oleh A. Casagrande pada tahun 1942, kemudian dikembangkan lebih lanjut serta disempurnakan melalui revisi oleh *The Corps of Engineers* dan *The U.S. Bureau of Reclamation* pada tahun 1952. Sistem ini dirancang untuk memberikan pengelompokan tanah yang sistematis dan komprehensif berdasarkan karakteristik fisik serta sifat mekanik tanah, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam analisis dan perencanaan geoteknik (Sarungu, 2021).

Dalam sistem klasifikasi ini, tanah dibagi ke dalam dua kelompok utama, yaitu tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) dan tanah berbutir halus (*fine-*

grained soils). Tanah berbutir kasar meliputi material kerikil (*gravel*) dan pasir (*sand*), yang pengelompokannya didasarkan pada ukuran butir dominan, distribusi gradasi, serta proporsi fraksi halus yang terkandung di dalamnya. Sementara itu, tanah berbutir halus terdiri dari lanau (*silt*) dan lempung (*clay*), yang diklasifikasikan berdasarkan sifat plastisitas dan batas-batas *Atterberg*. Pada Tabel 1, inisial huruf menunjukkan jenis tanahnya.

Tabel 1. Simbol Klasifikasi USCS (Bowles, 1991)

Huruf Pertama (Jenis)		Huruf Kedua (Sifat)	
Huruf	Arti	Huruf	Arti
G	Kerikil	W	Gradasi Baik
S	Pasir	P	Gradasi Jelek
M	Lanau	M	Mengandung Lanau
C	Lempung	C	Mengandung Lempung
O	Tanah Organik	L	Plastisitas Rendah
Pt	Gambut	H	Plastisitas Tinggi

Sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) merupakan metode klasifikasi tanah yang paling luas digunakan dalam bidang rekayasa geoteknik. Hal ini disebabkan karena sistem ini mengelompokkan tanah berdasarkan karakteristik pembentukan, distribusi ukuran butir, serta sifat plastisitasnya, sehingga mampu merepresentasikan perilaku mekanik tanah secara lebih akurat dalam berbagai kondisi pembebanan. Meskipun demikian, secara umum pembagian utama klasifikasi ini mencakup tiga kategori besar tanah, yaitu tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus, dan tanah organik. yaitu pada Tabel 2.

Tabel 2. Tanah Berbutir Kasar (*Coarse Grained Soils*) (Bowles, 1991)

	Simbol	Deskripsi
GRAVELS (Kerikil)		<i>Clean Gravels (Less than 5% fines)</i>
	GW	<i>Well graded gravels, gravel-sand, mixtures, little or no fines</i>
	GP	<i>Poorly graded gravels, gravel-sand mixture, little or no fines</i>
Lebih dari 50% gradasi kasar lebih besar dari ukuran saringan No.4		<i>Gravels with fines (More than 12% fines)</i>
	GM	<i>Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures</i>
	GC	<i>Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures</i>

SANDS (Pasir)	Clean Sands (Less than 5% fines)	
	SW	Well graded snads, gravelly sands, little or no fines
Lebih dari 50% gradasi kasar lebih kecil dari ukuran saringan No.4	SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little of no fines
	Sands with fines (More than 12% fines)	
	SM	Silty sands, sandy-silt mixtures
	SC	Clayey sands, sand-clay mixtures

Pada Tabel 2 dijelaskan bahwa parameter utama dalam mengidentifikasi jenis tanah kerikil (*gravel*) dan pasir (*sand*) adalah hasil pengujian menggunakan saringan No. 4. Saringan No. 4 merupakan salah satu saringan standar yang digunakan dalam pengujian analisis saringan (*sieve analysis*) untuk menentukan distribusi ukuran butir tanah, dengan ukuran bukaan saringan sebesar 4,75 mm. Melalui pengujian ini, fraksi tanah yang tertahan pada saringan No. 4 diklasifikasikan sebagai kerikil, sedangkan fraksi yang lolos saringan tersebut dikategorikan sebagai pasir.

Selanjutnya, pada Tabel 3 digunakan saringan No. 200 sebagai parameter penentu dalam mengklasifikasikan jenis tanah lanau (*silt*) dan lempung (*clay*). Saringan No. 200 memiliki ukuran bukaan sebesar 0,075 mm, sehingga partikel tanah yang lolos saringan ini tergolong sebagai tanah berbutir sangat halus.

Tabel 3. Tanah Berbutir Halus (*Fine Grained Soils*) (Bowles, 1991)

	Simbol	Deskripsi
		50% or more of materials is smaller than No. 200 sieve size
SILTS & CLAYS (Lanau & Lempung) Batas cair kurang dari 5%	ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, clayey finesands or clayey silts with a visible plasticity
	CL	Low to medium plasticity inorganic clays, gravelly clays,
	OL	sandy clays, silty clays, lean clays Low plasticity organic silts and organic silty clays
SILTS & CLAYS (Lanau & Lempung) Batas cair yaitu 50% atau lebih	MH	Silts that are inorganic, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, and elastic silts
	CH	High plasticity inorganic clays, fat clays
	OH	Organic clays with medium to high plasticity, as well as organic silts

Untuk jenis tanah terakhir, yaitu *highly organic soils*, klasifikasi tidak dibagi ke dalam subkelompok, melainkan dikelompokkan dalam satu kategori tersendiri. Tanah organik umumnya memiliki karakteristik mudah tertekan (*highly compressible*), bertekstur berlumpur, serta memiliki kondisi lembap. Secara umum, komponen penyusun *highly organic soils* terdiri atas sisa-sisa bahan organik seperti daun-daun yang telah membusuk, ranting, serta material organik lainnya yang mengalami proses dekomposisi.

Berdasarkan klasifikasi jenis tanah tersebut, jenis tanah yang memiliki potensi tinggi terhadap terjadinya likuefaksi adalah tanah dengan ukuran butiran sekitar 0,075 mm, yaitu tanah lanau (*silt*) yang bersifat kohesif atau lengket, serta tanah pasir (*sand*) yang bersifat non-kohesif atau tidak lengket. Meskipun kedua jenis tanah ini memiliki karakteristik yang berbeda, keduanya memiliki kesamaan, yaitu tergolong sebagai tanah tidak padat (*loose soil*), sehingga rentan mengalami kehilangan kekuatan geser akibat peningkatan tekanan air pori.

Secara umum, tanah tersusun atas tiga komponen utama, yaitu bahan padat, air, dan udara. Keberadaan air sangat memengaruhi sifat mekanik tanah, karena apabila rongga-rongga di dalam tanah terisi penuh oleh air, maka tanah tersebut berada dalam kondisi jenuh. Kondisi jenuh ini sangat berbahaya bagi kestabilan bangunan yang berdiri di atasnya, karena merupakan salah satu faktor utama yang memicu terjadinya fenomena likuefaksi, terutama saat terjadi pembebanan dinamis atau gempa bumi (Darwis, 2018).

Salah satu penyebab utama tanah menjadi jenuh adalah tingginya intensitas curah hujan serta adanya getaran yang terjadi secara terus-menerus dan cepat. Air akan meresap ke dalam pori-pori tanah yang memiliki tingkat kepadatan rendah,

sehingga menyebabkan tanah mengalami pengembangan dan peningkatan tekanan air pori. Selain itu, proses pemadatan tanah yang tidak dilakukan secara optimal pada tahap pelaksanaan konstruksi juga dapat meningkatkan kerentanan tanah terhadap infiltrasi air. Oleh karena itu, pada tahap perencanaan, identifikasi jenis dan karakteristik tanah harus dilakukan secara cermat, sehingga dapat ditentukan kebutuhan timbunan serta metode perbaikan tanah yang tepat guna meminimalkan risiko.

2.2.2 AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*)

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) pertama kali diperkenalkan oleh Hoentogler dan Terzaghi, kemudian diadopsi dan digunakan oleh *Bureau of Public Roads*. Sistem ini mengklasifikasikan tanah berdasarkan dua kriteria utama, yaitu ukuran butir dan sifat plastisitasnya. Oleh karena itu, dalam penerapan sistem ini diperlukan pengujian laboratorium berupa analisis ukuran butiran (*sieve analysis*) serta pengujian batas cair dan batas plastis (*Atterberg limits*) untuk memperoleh data yang dibutuhkan.

Klasifikasi AASHTO bermanfaat terutama untuk menentukan kualitas tanah dalam pekerjaan jalan, khususnya pada lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*) (Mahesa, 2019). Karena sistem ini dirancang untuk pekerjaan jalan, penerapannya dalam praktek harus mempertimbangkan konteks penggunaannya. Sistem ini membagi tanah ke dalam tujuh kelompok utama, yaitu A-1 sampai A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir, di mana 35% atau kurang dari jumlah butirannya lolos saringan No. 200.

Sementara itu, tanah yang lebih dari 35% butirannya lolos saringan No. 200 dikategorikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7, yang sebagian besar terdiri dari tanah halus berupa lanau (*silt*) dan lempung (*clay*). Kriteria klasifikasi sistem AASHTO secara rinci adalah sebagai berikut:

1. Ukuran butir

Kerikil partikel tanah yang lolos saringan berdiameter 75 mm (3 inchi) dan tertahan pada saringan No. 10 (2 mm). Pasir partikel tanah yang lolos saringan No. 10 (2 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm). Lanau dan lempung: partikel tanah yang lolos saringan No. 200.

2. Plastisitas Nama *lanau* digunakan apabila fraksi halus tanah memiliki indeks plastis ≤ 10 . Nama *lempung* digunakan apabila fraksi halus tanah memiliki indeks plastis ≥ 11 .

3. Batuan besar dalam contoh tanah

Apabila terdapat partikel batuan berukuran lebih besar dari 75 mm dalam contoh tanah yang dianalisis, partikel tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Namun, persentase batuan yang dikeluarkan tetap harus dicatat sebagai bagian dari dokumentasi laboratorium.

Dalam penerapan sistem AASHTO, data hasil pengujian laboratorium, seperti analisis saringan dan batas *Atterberg*, dicocokkan secara sistematis dengan kriteria numerik yang terdapat dalam tabel klasifikasi AASHTO. Proses pencocokan dilakukan secara berurutan, mulai dari kolom paling kiri hingga kolom paling kanan, sehingga kelompok tanah yang paling sesuai dengan karakteristik fisik dan mekanik tanah dapat ditentukan. Hasil klasifikasi tersebut kemudian disajikan dalam Tabel 4, yang merepresentasikan kondisi tanah pada lokasi.

Tabel 4. Klasifikasi AASHTO (Hardiyatmo, 2002)

Tabel 1. Klasifikasi Material (Hardy, 1962)											
Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau - lempung (lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
Klasifikasi Kelompok	A-1 A-1a	A-1b	A-3	A-2 A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6**
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	Maks 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	Maks 30	Maks 50	Min 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40											
Batas Cair (LL)	---	---	---	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indek Plastisitas (PI)	Maks 6	---	NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							Biasa sampai jelek			

Keterangan : * Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$ ** Untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

2.3 Karakteristik tanah

Karakteristik tanah memiliki peran penting dalam menentukan tata air dalam tanah, yang meliputi kecepatan infiltrasi, penetrasi air, serta kemampuan tanah dalam menahan dan mengikat air. Tekstur tanah merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi kemampuan tanah dalam meresapkan air dan menahan kelembapan (Ade, 2024). Selain tekstur, tanah juga memiliki sejumlah parameter fisik dan mekanik yang berfungsi sebagai indikator atau acuan untuk memantau perubahan sifat tanah akibat karakteristik fisik dan jenis tanah. Parameter-parameter tersebut

digunakan untuk menilai perilaku tanah di lapangan maupun dalam kondisi laboratorium, serta menjadi dasar dalam perencanaan dan desain teknik sipil maupun pertanian. Adapun beberapa parameter tanah yang umum digunakan antara lain:

1. Modulus Elastisitas Tanah

Modulus elastisitas tanah merupakan salah satu properti mekanik penting tanah yang digunakan untuk mengestimasi besarnya penurunan tanah akibat beban yang bekerja. Nilai modulus elastisitas tanah secara umum jauh lebih rendah dibandingkan dengan bahan struktur seperti baja; secara tipikal, nilai modulus elastisitas tanah berada dalam kisaran 1/10 hingga 1/100 dari modulus elastisitas baja, tergantung pada jenis tanah, kepadatan, dan kadar airnya. Besaran ini sangat berpengaruh pada perhitungan deformasi pondasi, perencanaan tiang pancang, serta analisis stabilitas struktur di atas tanah.

2. Poisson's Ratio

Poisson's ratio (ν) merupakan perbandingan antara regangan lateral dengan regangan aksial yang terjadi ketika tanah atau material lain diberi beban. Secara teknis, rasio ini mengukur sejauh mana material mengalami penyempitan atau pelebaran di arah lateral akibat adanya deformasi pada arah aksial. Poisson's ratio (ν) merupakan perbandingan antara regangan lateral dengan regangan aksial yang terjadi ketika tanah atau material lain diberi beban. Secara teknis, rasio ini mengukur sejauh mana material mengalami penyempitan atau pelebaran di arah lateral akibat adanya deformasi pada arah aksial.

3. Modulus Geser (G')

Modulus geser (G) merupakan parameter mekanik tanah yang menggambarkan hubungan antara tegangan geser (τ) dengan perubahan sudut geser (θ) pada elemen tanah. Modulus ini dapat dianggap sebagai ukuran kekakuan tanah terhadap deformasi geser, sehingga sangat penting dalam perhitungan stabilitas lereng, analisis penurunan pondasi, dan pemodelan numerik tanah.

4. Sudut Geser Dalam (ϕ)

Sudut geser dalam (ϕ) merupakan sudut yang terbentuk antara sumbu horizontal (arah tegangan normal) dengan garis tepi keruntuhan (*failure envelope*) pada tanah. Sudut ini mencerminkan kemampuan tanah dalam menahan tegangan geser sebelum mengalami kegagalan, sehingga menjadi parameter utama dalam analisis stabilitas lereng, perencanaan pondasi, dan desain struktur geoteknik. Sudut geser dalam dipengaruhi oleh sifat fisik dan mekanik tanah, seperti kohesi, kepadatan, dan kadar air. Semakin besar sudut geser dalam, semakin tinggi kemampuan tanah untuk menahan tegangan geser, yang berarti tanah tersebut lebih stabil terhadap beban lateral maupun vertikal.

5. Kohesi

Kohesi (cohesi) diartikan sebagai gaya tarik menarik antar partikel pada tanah yang dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi dapat digunakan untuk menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang ada pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Besar nilai kohesi dipengaruhi oleh densitas dan jarak antar molekul pada benda. Kohesi memiliki perbandingan yang lurus dengan densitas suatu benda, maka kohesi

dengan densitas tinggi juga memperoleh nilai kohesi yang tinggi. Nilai kohesi (c) didapatkan dari data sondir.

2.4 Penyelidikan tanah

Penyelidikan tanah merupakan kegiatan yang wajib dilakukan sebelum pelaksanaan pekerjaan konstruksi berskala besar, seperti pembangunan gedung bertingkat, jalan beton, jembatan, maupun struktur teknik sipil lainnya. Penyelidikan ini bertujuan untuk memperoleh informasi mendetail mengenai karakteristik fisik, mekanik, dan geologi tanah, sehingga perilaku tanah terhadap beban struktur dapat diprediksi secara akurat.

Secara spesifik, kegiatan penyelidikan tanah mencakup identifikasi susunan lapisan tanah, sifat-sifat tanah (seperti tekstur, kadar air, kohesi, dan sudut geser dalam), serta kekuatan tanah yang menentukan daya dukung pondasi. Informasi ini sangat penting dalam perencanaan pondasi, karena kepadatan dan daya dukung tanah harus memadai untuk mendukung struktur yang akan dibangun. Selain itu, penyelidikan tanah juga mengevaluasi sifat-sifat korosivitas dan kimia tanah, yang dapat memengaruhi ketahanan material pondasi, terutama untuk pondasi beton dan baja. Dengan demikian, penyelidikan tanah menjadi dasar utama bagi perancang struktur untuk menentukan jenis, kedalaman, dan metode pelaksanaan pondasi, sehingga keamanan, stabilitas, dan umur layanan konstruksi dapat terjamin (Kurnia, dkk, 2025)

Dengan melakukan pengujian tanah, perancang dapat menentukan jenis pondasi yang paling sesuai untuk mendukung konstruksi bangunan. Dari hasil penyelidikan ini, dapat ditentukan alternatif pondasi, tipe pondasi, kedalaman penempatan, serta dimensi pondasi yang paling efisien, sekaligus tetap aman

digunakan sesuai kapasitas daya dukung tanah. Oleh karena itu, sebelum memulai proyek konstruksi berskala besar, pekerjaan penyelidikan tanah menjadi hal yang mutlak dilakukan. Kondisi tanah yang tepat akan menjamin bahwa struktur bangunan dapat berdiri kokoh, memiliki stabilitas yang baik, serta mampu menahan beban dinamis, termasuk gempa. Dengan demikian, pemilihan pondasi yang sesuai berdasarkan hasil pengujian tanah tidak hanya meningkatkan efisiensi konstruksi, tetapi juga memberikan rasa aman dan kenyamanan bagi pengguna bangunan.

2.4.1 Laboratorium

Penyelidikan tanah di laboratorium merupakan salah satu tahapan penting dalam studi geoteknik yang bertujuan untuk menentukan sifat-sifat fisik dan mekanik tanah secara lebih akurat. Pengujian ini dilakukan terhadap sampel tanah yang diambil dari lapangan, baik dalam bentuk sampel terganggu maupun tidak terganggu (Radhiah, 2025). Melalui pengujian laboratorium, data tanah yang lebih terkontrol dan representatif dapat diperoleh, sehingga hasil analisis teknis seperti daya dukung tanah, penurunan (*settlement*), stabilitas lereng, serta kemungkinan terjadinya likuefaksi dapat dihitung secara lebih andal. Beberapa jenis pengujian yang umum dilakukan di laboratorium antara lain:

1. Uji Kadar Air (*Water Content Test*)

Uji kadar air dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan air yang terdapat dalam sampel tanah. Kandungan air sangat mempengaruhi sifat-sifat fisik dan mekanik tanah, seperti konsistensi, kepadatan, dan kekuatan geser. Data ini sangat penting dalam analisis stabilitas tanah dan desain fondasi, terutama pada tanah lempung.

2. Uji Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity Test*)

Uji berat jenis tanah bertujuan untuk menentukan perbandingan antara berat partikel tanah dengan berat air dalam volume yang sama. Parameter ini, yang biasa disebut sebagai berat jenis partikel (*specific gravity, G_s*), merupakan salah satu sifat fisik dasar tanah yang sangat penting dalam bidang geoteknik.

3. Analisis Gradasi (Saringan dan Hidrometer)

Analisis gradasi merupakan pengujian yang digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butir tanah. Pengujian dilakukan dengan metode saringan untuk tanah berbutir kasar dan metode hidrometer untuk tanah halus. Informasi gradasi digunakan dalam klasifikasi tanah serta evaluasi terhadap sifat drainase dan stabilitas material timbunan.

4. Batas Atterberg (*Atterberg Limits Test*)

Batas *Atterberg* adalah parameter yang digunakan untuk menilai konsistensi tanah halus, khususnya lempung, dalam berbagai kondisi kadar air. Tiga batas yang diuji meliputi batas cair (LL), batas plastis (PL), dan batas susut (SL). Hasil uji ini penting untuk mengklasifikasikan tanah dan memperkirakan perilakunya terhadap perubahan kadar air.

5. Uji Pemadatan (*Proctor Test*)

Uji pemadatan tanah dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kadar air dengan kepadatan maksimum yang dapat dicapai oleh tanah. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air optimum dan kepadatan maksimum tanah, yang merupakan kondisi di mana tanah memiliki kekuatan geser dan stabilitas yang paling tinggi.

6. Uji Permeabilitas (*Permeability Test*)

Uji permeabilitas digunakan untuk mengetahui kemampuan tanah dalam menghantarkan air. Permeabilitas merupakan parameter penting dalam analisis drainase, kestabilan lereng, dan desain sistem pondasi, terutama pada tanah yang terpengaruh oleh air tanah.

7. Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Uji geser langsung (*direct shear test*) dilakukan untuk menentukan parameter kuat geser tanah, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Metode pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan gaya horizontal pada dua bagian tanah yang dipisahkan oleh bidang geser, sehingga tanah mengalami deformasi geser sepanjang bidang tersebut.

8. Uji Konsolidasi (*Consolidation Test*)

Uji konsolidasi bertujuan untuk menilai seberapa besar dan seberapa cepat tanah jenuh mengalami penurunan ketika dikenai beban statis. Pengujian ini sangat penting untuk jenis tanah lempung, karena proses konsolidasi dapat berlangsung dalam waktu yang lama dan berpengaruh terhadap kestabilan struktur bangunan di atasnya.

9. Uji *Triaxial* (*Triaxial Compression Test*)

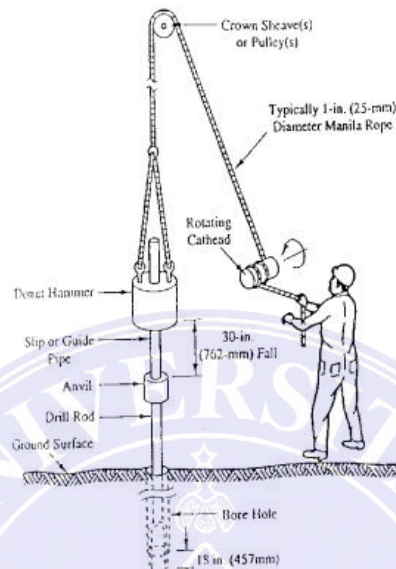
Uji *triaxial* merupakan metode pengujian kekuatan geser tanah yang paling komprehensif, karena memungkinkan pengaturan kondisi drainase selama pengujian. Tanah diuji dengan pembebanan dari berbagai arah sehingga diperoleh parameter kekuatan tanah (kohesi dan sudut geser dalam) secara lebih akurat dalam kondisi alamiah seperti jenuh atau tak jenuh.

2.4.2 *Standard Penetration Test (SPT)*

Uji Standard Penetration Test (SPT) merupakan salah satu pengujian tanah lapangan yang bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai parameter fisik dan kekuatan tanah. Pengujian ini dilakukan dengan menancapkan tabung belah standar (*split spoon sampler*) ke dalam tanah menggunakan palu jatuh dengan energi tertentu, sehingga dapat diambil sampel tanah per lapisan. Hasil utama dari uji SPT adalah nilai N , yang didefinisikan sebagai jumlah pukulan yang diperlukan untuk menancapkan tabung belah standar sedalam 30,48 cm (12 inci) setelah penetrasi awal 15,24 cm pertama. Nilai N ini digunakan sebagai indikator kepadatan relatif tanah berbutir kasar dan kekuatan tanah kohesif, serta menjadi dasar dalam perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang, estimasi *settlement*, dan parameter untuk pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak geoteknik. Dengan demikian, uji SPT tidak hanya memberikan sampel tanah untuk pengujian laboratorium, tetapi juga menyediakan data kuantitatif langsung dari lapangan yang sangat penting untuk desain dan analisis pondasi (Marpaung, 2024). *Standard Penetration Test* (SPT) telah dikenal luas sejak tahun 1927 dan diakui sebagai salah satu metode pengujian tanah lapangan yang paling umum digunakan. SPT memiliki keunggulan karena pelaksanaannya relatif mudah, tidak memerlukan keterampilan khusus, dan biaya operasionalnya ekonomis, sehingga menjadi metode pilihan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi tanah di bawah permukaan. Diperkirakan sekitar 80% desain pondasi bangunan bertingkat menggunakan data yang diperoleh dari pengujian SPT. Dengan banyaknya data SPT yang tersedia, korelasi empiris antara nilai SPT dan parameter tanah lainnya telah mengalami perkembangan signifikan. Peralatan uji SPT terdiri dari beberapa

komponen yang sederhana, mudah dibawa, mudah dipasang, dan mudah dalam pemeliharaan. Para ahli sepakat bahwa metode ini akan tetap digunakan sebagai metode standar dalam penyelidikan tanah rutin karena sifatnya yang ekonomis, praktis, dan dapat diandalkan. Pengujian SPT termasuk dalam tes dinamis, yang dilakukan dengan menancapkan alat bernama *split spoon sampler* ke dalam tanah melalui pukulan palu jatuh dari ketinggian tertentu. Selama pengujian, jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus kedalaman tertentu diukur untuk menentukan nilai N , yang menjadi indikator kepadatan relatif tanah dan kekuatannya. Hasil ini digunakan sebagai dasar dalam perencanaan pondasi, analisis *settlement* dan pemodelan geoteknik (Gunawan, 2014). Melalui pengujian Standard Penetration Test (SPT) dapat diperoleh informasi mengenai kepadatan relatif tanah serta perkiraan sudut geser dalam yang ditentukan dari jumlah pukulan (N -value) selama pengujian. Data tersebut sangat penting dalam perencanaan kapasitas dukung pondasi, khususnya pada pondasi bored pile di tanah berbutir seperti pasir dan lanau. Estimasi daya dukung tiang umumnya dihitung menggunakan rumus empiris Meyerhof yang mengaitkan nilai N -SPT dengan kapasitas dukung tanah. Hasil pengujian ini menjadi dasar bagi perencanaan dalam menentukan jenis pondasi, kedalaman penanaman tiang, serta dimensi pondasi, sehingga keamanan dan stabilitas struktur dapat terjamin. Dengan demikian, pengujian SPT menjadi salah satu acuan utama yang sangat penting dalam proses analisis dan perencanaan pondasi tiang pada proyek konstruksi. Data yang diperoleh dari pengujian ini mampu memberikan gambaran mengenai karakteristik dan kondisi tanah di lapangan, seperti kepadatan relatif serta kekuatan tanah. Informasi tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam

menentukan kapasitas daya dukung pondasi, sehingga perencanaan yang dilakukan menjadi lebih akurat, aman, dan efisien. (Mokodompit, 2016).



Gambar 1. Alat *Standard Penetration Test* (Enden & Rama, 2023)

2.5 Pondasi

Pondasi adalah elemen paling bawah dari suatu bangunan yang mentransfer beban bangunan kepada tanah atau lapisan batuan di bawahnya (Gary, 2025). Pondasi, yang juga dikenal sebagai pondamen (*Fundament*), adalah struktur bangunan yang berada di bawah permukaan (*Sub Structure*). Setiap konstruksi yang dirancang untuk berpijak pada tanah memerlukan dukungan pondasi. Pondasi berfungsi sebagai bagian dari sistem rekayasa yang memindahkan beban yang ditanggung olehnya serta beratnya sendiri ke dalam tanah atau batuan yang terletak di bawahnya (Aqsha, 2024).

Perencanaan suatu pondasi dipengaruhi oleh beberapa faktor penting, antara lain:

1. Beban bangunan yang akan ditopang oleh pondasi.
2. Jenis tanah dan daya dukung tanah di lokasi konstruksi.

3. Bahan penyusun pondasi, baik beton, baja, maupun kombinasi keduanya.
4. Peralatan dan tenaga kerja yang tersedia untuk pelaksanaan pondasi.
5. Lokasi dan kondisi situasi di mana pondasi akan dibangun.

Perencanaan pondasi sebaiknya didasarkan pada hasil penyelidikan tanah (*soil investigations*), yaitu kegiatan untuk mengetahui karakteristik tanah pada setiap lapisan, termasuk jenis dan kekuatannya. Dari hasil penyelidikan tanah, dapat diperoleh beberapa parameter penting, antara lain:

1. Jenis tanah, kekuatannya, dan kedalaman lapisan tanah.
2. Kedalaman muka tanah dan level tanah keras.
3. Perkiraan penurunan (*settlement*) yang mungkin terjadi di kemudian hari.
4. Perkiraan beban maksimum yang dapat diterima tanah tanpa menimbulkan kegagalan.

Dalam menentukan jenis pondasi yang akan digunakan, perancang mempertimbangkan beberapa aspek, baik aspek teknis seperti beban kerja dan kondisi lapisan tanah, maupun aspek non-teknis seperti biaya konstruksi dan waktu pelaksanaan.

Secara umum, pondasi bangunan dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu:

1. Pondasi dangkal (*shallow foundation*), yang memiliki kedalaman kurang dari atau sama dengan lebar pondasi ($D \leq B$). Pondasi ini dapat digunakan jika lapisan tanah keras berada dekat dengan permukaan tanah.
2. Pondasi dalam (*deep foundation*), digunakan apabila lapisan tanah keras berada jauh di bawah permukaan tanah, sehingga pondasi perlu menyalurkan beban ke lapisan yang lebih dalam untuk menjamin kestabilan struktur.

Dengan demikian, pemilihan jenis pondasi sangat bergantung pada kondisi tanah, beban struktur, dan parameter hasil penyelidikan tanah, sehingga keamanan, stabilitas, dan efisiensi konstruksi dapat tercapai.

2.5.1 Jenis-Jenis Pondasi

Pondasi adalah bagian terbawah dari suatu bangunan yang memikul beban bangunan bagian atas ke lapisan tanah. Jenis-jenis pondasi dibedakan berdasarkan bentuk dan kedalaman yaitu:

1. Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal biasanya dibangun dekat dengan permukaan tanah, dengan kedalaman umumnya antara $\frac{1}{3}$ dari lebar pondasi hingga kurang dari 3 meter. Pondasi ini digunakan apabila lapisan tanah permukaan cukup kuat dan kaku untuk menahan beban struktur, serta untuk bangunan dengan bobot dan tinggi yang relatif ringan. Pondasi dangkal kurang sesuai untuk tanah gambut, lapisan tanah muda, atau tanah deposito alluvial, karena daya dukungnya rendah dan rentan mengalami penurunan. Secara fisik, pondasi dangkal umumnya berupa pondasi tapak dengan bentuk persegi panjang, bujur sangkar, atau lingkaran, baik secara setempat maupun menerus. Untuk bangunan rumah tinggal dan gedung bertingkat rendah (*ordinary low-rise buildings*), pondasi dangkal sering digunakan sebagai pondasi langsung (*spread footing*), di mana tekanan yang ditimbulkan pada tanah berada di bawah daya dukung tanah yang diizinkan. Keunggulan pondasi langsung antara lain biaya pelaksanaan lebih murah dan proses

konstruksi relatif lebih mudah.

Persyaratan utama pondasi dangkal meliputi:

- a. Kedalaman dan lebar pondasi harus proporsional, umumnya kedalaman $\leq$ lebar pondasi ($D \leq B$).
- b. Luas daerah penyebaran beban pondasi pada lapisan penyangga (*bearing stratum*) harus lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi.

Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam menentukan kedalaman pondasi dangkal, antara lain:

- 1) Dasar pondasi harus berada di bawah lapisan tanah teratas yang mengandung humus, bahan organik, atau sisa tumbuh-tumbuhan.
- 2) Kedalaman tanah urug (*sanitary landfill*) atau tanah lunak seperti gambut (*peat muck*).
- 3) Kedalaman muka air tanah.
- 4) Letak dan kedalaman pondasi bangunan lama yang berdekatan.

Dengan memperhatikan faktor-faktor tersebut, kedalaman pondasi dangkal di Indonesia biasanya diletakkan antara 0,6 m hingga 3,0m di bawah permukaan tanah.

- 1) Dasar pondasi harus terletak dibawah lapisan tanah teratas (*top soils*) yang mengandung humus /bahan organik/ sisa tumbuh-tumbuhan.
- 2) Kedalaman tanah urug (*sanitary land fill*) atau tanah

lunak(*peat muck*)

- 3) Kedalaman muka air tanah.
- 4) Letak dan kedalaman pondasi bangunan yang lama berdekatan.

Dengan memperhatikan faktor-faktor tersebut, kedalaman dasar pondasi langsung di Indonesia umumnya diletakkan pada kisaran 0,6 m hingga 3,0 m di bawah muka tanah. Pondasi dangkal atau pondasi langsung menurut bentuk konstruksinya biasa menjadi beberapa macam yaitu:

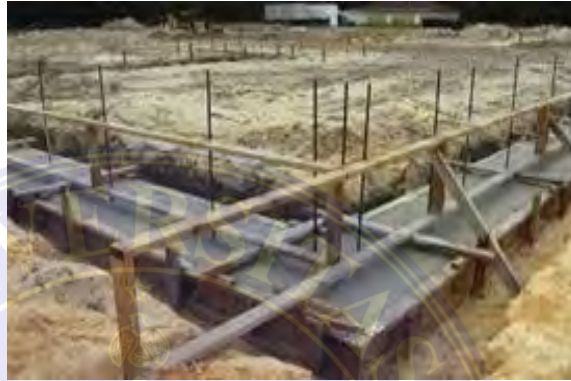
- 1) Pondasi Batu Kali/ Menerus (*Strip Foundation*)

Pondasi batu kali merupakan salah satu jenis pondasi dangkal yang menggunakan batu kali sebagai bahan utama untuk menahan dan mendistribusikan beban bangunan ke tanah di bawahnya. Batu kali dipilih karena memiliki kekuatan yang baik, daya tahan tinggi, serta ketersediaannya melimpah di banyak daerah, sehingga menjadi bahan pondasi yang ekonomis dan praktis.

Pondasi batu kali umumnya digunakan pada bangunan sederhana, seperti rumah tinggal atau bangunan kecil lainnya, terutama untuk mendukung dinding bangunan. Dalam konstruksinya, batu kali disusun sedemikian rupa sehingga mampu menyalurkan beban secara merata ke lapisan tanah keras di bawahnya, sekaligus meminimalkan risiko penurunan yang berlebihan.

Keunggulan pondasi batu kali selain kekuatannya adalah

kemudahan pelaksanaan, namun pondasi ini kurang cocok untuk bangunan bertingkat tinggi atau tanah yang sangat lunak, karena kapasitas dukungnya terbatas dibandingkan pondasi beton bertulang atau pondasi tiang. Berikut gambar fondasi batu kali pada gambar 2.



Gambar 2. Pondasi Batu Kali/ Menerus (Rahmatika, 2022)

2) Pondasi Telapak (*Individual footing*)

Biasa digunakan sebagai fondasi kolom struktur. Beberapa bentuk fondasi tapak, seperti tapak persegi (*square footing*), tapak bujur sangkar (*rectangular footing*), tapak lingkaran (*circular footing*), serta tapak cincin (*ring footing*). Fondasi tapak menyebarkan beban kolom ke tanah sekitarnya.

Berikut terlihat fondasi tapak pada gambar 3.



Gambar 3. Pondasi Tapak (Chairunnisa, 2019)

3) Pondasi Rakit (*Raft Foundation*)

Digunakan jika daya dukung tanah kurang, atau letak kolom-kolom struktur cukup berdekatan (tapak dari masing-masing fondasi begitu berdekatan), sehingga lebih praktis jika dibuat satu tapak fondasi yang menyerupai rakit untuk keseluruhan kolom-kolom. Hal tersebut sangat berguna untuk mengurangi efek penurunan tanah tak seragam. Berikut fondasi *raft* pada gambar 4



Gambar 4. Pondasi Raft (Rahmatika, 2022)

2. Pondasi dalam

Pondasi dalam adalah jenis pondasi yang dibangun pada permukaan tanah dengan kedalaman tertentu, di mana daya dukung dasar pondasi dipengaruhi oleh beban struktur serta kondisi permukaan dan lapisan tanah di sekitarnya. Pondasi dalam umumnya dipasang pada kedalaman lebih dari 3 meter di bawah permukaan tanah, terutama ketika lapisan atas tanah tidak cukup kuat untuk menahan beban bangunan. Penggunaan pondasi dalam memungkinkan transfer beban struktur ke

lapisan tanah yang lebih dalam dan kuat, sehingga lapisan tanah yang tidak cocok di dekat permukaan dapat dihindari (Makaudis, 2015). lapisan atas terdiri dari tanah lunak dan terdapat lapisan tanah keras yang dalam, pondasi tiang pancang akan ditanam hingga mencapai lapisan tanah keras tersebut. Kedalaman tiang pancang ini biasanya signifikan, dengan rasio kedalaman terhadap lebar pondasi (D_f/B) dapat lebih dari 10 m. Tiang-tiang pancang tersebut kemudian disatukan melalui pile cap, sehingga membentuk sistem pondasi yang kokoh dan mampu mendukung beban bangunan secara efektif. Dengan demikian, pondasi dalam menjadi pilihan utama pada struktur bangunan bertingkat tinggi, bangunan industri, atau konstruksi di atas tanah lunak, karena mampu memastikan stabilitas, keamanan, dan distribusi beban yang optimal. Jenis pondasi dalam yaitu:

a Pondasi sumuran (*pier foundation*)

Pondasi sumuran (*caisson*) adalah jenis pondasi dalam yang berupa struktur berbentuk tabung atau wadah besar yang diturunkan ke dalam tanah. Caisson biasanya digunakan pada proyek besar seperti jembatan, pelabuhan, atau bangunan di dekat perairan. Fondasi ini dibuat di lokasi, dengan menggali tanah di dalam *caisson* dan mengisinya dengan beton setelah berada di kedalaman yang diinginkan. Kelebihannya sangat stabil dan cocok untuk kondisi tanah berair. Kekurangannya proses pemasangan memerlukan alat berat, biaya tinggi, dan waktu pemasangan yang lebih lama. Berikut gambar fondasi sumuran pada gambar 5.



Gambar 5. Pondasi Sumuran (Rahmatika, 2022)

b Fondasi Tiang (*Pile Foundation*)

Fondasi tiang didefinisikan sebagai elemen struktural yang ditanam ke dalam tanah untuk mendukung beban dari struktur di atasnya (Rusdi, 2022). Beberapa fungsi fondasi tiang dalam penggunaannya yakni:

1) Untuk menyalurkan beban

Fungsi utama dari fondasi tiang adalah untuk menyalurkan beban dari struktur bangunan ke lapisan tanah yang lebih dalam dan lebih kuat. Dengan cara ini, fondasi tiang dapat mengurangi risiko penurunan yang tidak merata dan memastikan stabilitas bangunan.

2) Mengatasi tanah lemah

Fondasi tiang sangat efektif digunakan di lokasi dengan kondisi tanah yang lemah atau tidak stabil, seperti tanah lunak atau berair. Tiang yang ditanam ke dalam tanah yang lebih dalam dapat mencapai lapisan tanah yang memiliki daya dukung yang lebih tinggi, sehingga dapat mendukung beban bangunan dengan lebih baik.

3) Mengurangi penurunan

Fondasi tiang dirancang untuk mengurangi penurunan yang mungkin terjadi pada bangunan. Dengan menyalurkan beban ke lapisan tanah yang lebih dalam, fondasi tiang dapat meminimalkan risiko penurunan yang tidak merata, yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur.

4) Stabilitas bangunan

Fondasi tiang memberikan stabilitas tambahan pada bangunan, terutama untuk struktur yang tinggi atau berat. Dengan menggunakan fondasi tiang, bangunan dapat lebih tahan terhadap gaya lateral, seperti angin atau gempa bumi.

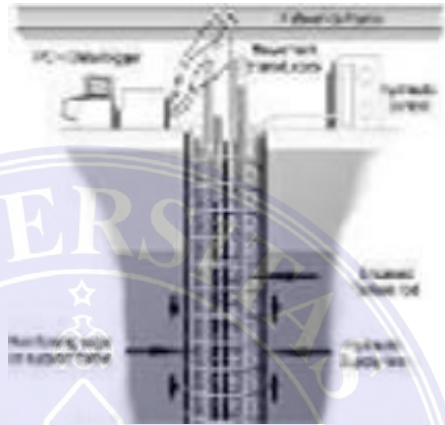
5) Fleksibilitas desain

Fondasi tiang memberikan fleksibilitas dalam desain bangunan, terutama pada proyek-proyek yang memiliki batasan ruang atau kondisi tanah yang sulit. Desain fondasi tiang dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik proyek, termasuk kedalaman dan jenis tiang yang digunakan.

6) Memungkinkan konstruksi di area terbatas

Fondasi tiang memungkinkan pelaksanaan konstruksi pada area yang terbatas atau padat, di mana penggunaan fondasi dangkal sering kali tidak memungkinkan. Sistem ini menjadi solusi yang efektif, khususnya di kawasan perkotaan dengan ketersediaan lahan yang terbatas, karena mampu menyalurkan beban struktur ke lapisan tanah yang lebih dalam dan lebih

stabil tanpa memerlukan area kerja yang luas. Dengan demikian, fondasi tiang tidak hanya meningkatkan keamanan struktur, tetapi juga mendukung efisiensi pemanfaatan ruang pada lingkungan dengan tingkat kepadatan tinggi, dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pondasi Tiang (Rahmatika, 2022)

Pondasi tiang dapat dibagi menjadi tiga kategori utama berdasarkan perpindahan tanah yang terjadi saat pemasangan, yaitu:

- a) Tiang perpindahan besar (*large displacement pile*), yaitu tiang pejal atau berlubang dengan ujung tertutup yang dipancang ke dalam tanah sehingga terjadi perpindahan volume tanah yang relatif besar di sekitarnya. Jenis tiang yang termasuk dalam kategori ini antara lain: tiang kayu, tiang beton pejal, tiang beton prategang, tiang baja bulat. Tiang perpindahan besar umumnya digunakan pada tanah yang relatif padat, di mana gesekan samping dan tekanan ujung tiang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kapasitas dukung tiang. Namun,

penggunaan tiang ini perlu memperhatikan efek getaran dan pergeseran tanah di sekitar pondasi, terutama pada lokasi yang sensitif.

- b) Tiang perpindahan kecil (*small displacement pile*), iang dalam kategori ini prinsipnya mirip dengan tiang perpindahan besar, namun volume tanah yang terdorong atau dipindahkan selama pemasangan relatif kecil.

Karena perpindahan tanah yang minimal, tiang jenis ini lebih cocok digunakan pada lokasi yang sensitif terhadap getaran atau pergeseran tanah.. Misalnya tiang beton berlubang dengan ujung terbuka, tiang beton prategang berlubang dengan ujung terbuka, tiang baja *H*, tiang baja bulat ujung terbuka, tiang ulir. Penggunaan tiang perpindahan kecil memungkinkan penanaman tiang di dekat struktur sensitif tanpa menimbulkan tekanan berlebih pada tanah sekitarnya, serta tetap mampu menyalurkan beban ke lapisan tanah yang lebih dalam.

- c) Tiang tanpa perpindahan (*non displacement pile*), Kategori ini mencakup tiang yang dipasang di dalam tanah tanpa menggeser atau mendesak volume tanah di sekitarnya, sehingga cocok digunakan pada lokasi yang sensitif terhadap getaran atau pergerakan tanah. Tiang jenis ini umumnya dipasang dengan metode penggalian

atau pengeboran, kemudian diisi dengan beton atau material pondasi lainnya. Contoh utama dari tiang non-displacement adalah tiang bor (*bored pile*), di mana beton dicor langsung di dalam lubang hasil pengeboran tanah. Dalam beberapa metode, pipa baja digunakan sebagai pelindung lubang selama pengecoran beton untuk mencegah runtuhnya dinding lubang. Tiang bor ini sangat efektif untuk menyalurkan beban ke lapisan tanah keras atau padat yang berada di kedalaman tertentu, terutama ketika lapisan atas tanah lunak tidak mampu menahan beban struktur. Penggunaan tiang non-displacement memiliki keunggulan berupa, Minimalnya gangguan terhadap tanah di sekitarnya, Cocok untuk bangunan di dekat struktur eksisting dan Dapat diterapkan pada tanah lunak, berlapis, atau lokasi dengan muka air tanah tinggi.

Dengan demikian, pemilihan jenis tiang pancang—baik perpindahan besar, perpindahan kecil, maupun tanpa perpindahan—harus mempertimbangkan kondisi tanah, kedalaman lapisan keras, sensitivitas lokasi, serta beban yang akan ditopang agar pondasi dapat berfungsi secara optimal.

2.5.2 Pondasi Tiang

Pondasi tiang pancang menggunakan tiang yang dipancangkan atau

ditekan ke dalam tanah untuk mencapai lapisan tanah yang lebih keras. Berdasarkan jenis material tiang pancang yang digunakan di lapangan dikategorikan antara lain sebagai berikut: tiang pancang kayu, tiang pancang beton (*precast concrete reinforced pile*, *precast prestressed concrete pile*, dan *cast in place*), tiang pancang baja, dan tiang pancang komposit (Widojoko, 2015). Kelebihannya cepat dipasang, cocok untuk tanah keras atau semi keras. Kekurangannya dapat menimbulkan getaran dan kebisingan yang mengganggu lingkungan. Fondasi *mini pile* termasuk dalam tiang pancang beton, dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Pondasi Tiang Pancang (Yani, 2022)

Pondasi tiang pancang dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria, seperti jenis material, metode pemasangan, dan fungsi. Berikut adalah klasifikasi fondasi tiang pancang yang umum digunakan:

1. Berdasarkan Jenis Material
 - a. Tiang Pancang Beton Pracetak (*Precast Concrete Piles*):
Tiang pancang yang dibuat dari beton bertulang dan diproduksi di pabrik sebelum dipasang di lokasi konstruksi. Tiang ini memiliki kekuatan yang tinggi dan dapat diproduksi dalam berbagai ukuran.
 - b. Tiang Pancang Beton Versi Cor di Tempat (*Cast-in-Situ*)

Piles): Tiang pancang yang dicor langsung di lokasi konstruksi. Metode ini sering digunakan untuk tiang pancang yang lebih besar dan dapat disesuaikan dengan kondisi tanah setempat.

c. Tiang Pancang Baja (*Steel Piles*): Tiang pancang yang terbuat dari baja, biasanya berbentuk pipa atau profil I. Tiang ini memiliki kekuatan tinggi dan dapat digunakan dalam kondisi tanah yang sulit.

d. Tiang Pancang Komposit: Tiang pancang yang terbuat dari kombinasi material, seperti beton dan baja, untuk memanfaatkan keunggulan masing-masing material.

2. Berdasarkan Metode Pemasangan

a. Tiang Pancang (*Driven Piles*): Tiang pancang yang dipasang dengan cara didorong ke dalam tanah menggunakan alat berat, seperti hammer. Metode ini sering digunakan untuk tiang pancang beton pracetak dan baja.

b. Tiang Bor (*Drilled shaft*): merupakan salah satu jenis tiang non-displacement, yang dibuat dengan cara mengebor lubang ke dalam tanah hingga kedalaman tertentu, kemudian tulang baja dimasukkan ke dalam lubang dan diisi dengan beton.

c. Kaison (*caisson*): Tiang pancang berbentuk kotak atau silinder yang dicetak terlebih dahulu merupakan salah satu jenis tiang bored pile berdiameter/lebar besar. Pada metode ini, tiang dicetak secara prefabrikasi, kemudian dimasukkan ke dalam

tanah pada kedalaman tertentu, dan diisi dengan beton untuk membentuk pondasi yang kokoh.

3. Berdasarkan Fungsi

- a. Tiang Pancang Pendukung (*Bearing Piles*): Tiang pancang yang dirancang untuk menyalurkan beban dari struktur ke tanah yang lebih dalam dan stabil.
- b. Tiang Pancang Penahan (*Friction Piles*): Tiang pancang yang mengandalkan gaya gesekan antara permukaan tiang dan tanah untuk menahan beban. Tiang ini biasanya digunakan di tanah yang tidak memiliki lapisan keras di bawahnya.
- c. Tiang Pancang Kombinasi: Tiang pancang yang berfungsi sebagai pendukung dan penahan, mengandalkan baik daya dukung dari lapisan tanah yang lebih dalam maupun gaya gesekan.

4. Berdasarkan Bentuk dan Ukuran

- a. Tiang Pancang Silinder: Tiang pancang berbentuk silinder, biasanya terbuat dari beton atau baja.
- b. Tiang Pancang Persegi: Tiang pancang berbentuk persegi, sering digunakan untuk tiang pancang beton pracetak.
- c. Tiang Pancang Profil Khusus: Tiang pancang yang memiliki bentuk atau profil khusus untuk memenuhi kebutuhan desain tertentu.

Untuk merencanakan fondasi maka perlu memperhitungkan besarnya beban yang bekerja dan daya dukung tanah setempat. Apabila suatu bangunan

didirikan di atas tanah, beban bangunan akan disalurkan ke dalam tanah melalui pola penyebaran tertentu, yang umumnya mencakup area sekitar dua kali lebar fondasi. Tanah yang menerima beban tersebut akan mengalami pemampatan atau pengurangan volume, karena udara dan air di dalam ruang pori terdorong keluar. Proses ini dikenal sebagai konsolidasi (*consolidation*), dan akibatnya bangunan akan mengalami penurunan (*settlement*). Penurunan ini terjadi selama tekanan fondasi masih berada di bawah daya dukung *ultimate* tanah, sehingga tanah masih mampu menahan tekanan tanpa menimbulkan kerusakan signifikan pada struktur (Aridini, 2017). Namun, jika tekanan fondasi melebihi daya dukung *ultimate*, tanah tidak lagi mampu menahan geseran, sehingga dapat terjadi penurunan mendadak yang disertai kerusakan tanah dan berpotensi merusak bangunan.

Oleh karena itu, perencanaan fondasi bangunan harus memperhitungkan seluruh beban yang bekerja, termasuk berat struktur bangunan itu sendiri, beban tambahan, serta gaya eksternal seperti gempa dan tekanan angin. Perhitungan yang tepat akan memastikan kestabilan bangunan dan mencegah terjadinya penurunan fondasi, baik penurunan setempat maupun penurunan merata, yang melebihi batas toleransi yang diperbolehkan. Dengan demikian, fondasi yang direncanakan secara tepat akan mendukung bangunan agar tetap aman, stabil, dan tahan lama (Syafei, 2016). Penurunan (*settlement*) yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan terjadi apabila kekuatan tanah dilampaui. Tahapan desain fondasi dalam pada umumnya adalah sebagai berikut:

- 1) Penyelidikan Tanah
- 2) Penyusunan Profil Tanah dan Parameter Desain

- 3) Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Fondasi
- 4) Pengujian Beban Lapangan
- 5) Analisis Fondasi Group
- 6) Analisis Penurunan Fondasi Group
- 7) Analisis Stabilitas Lereng

2.5.3 Pondasi Tiang Tunggal (*Single Pile*)

Pondasi tiang tunggal adalah jenis pondasi yang menggunakan satu buah tiang sebagai penopang beban bangunan atau struktur di atasnya. Tiang ini biasanya terbuat dari beton, baja, atau bahan lain yang kuat dan stabil. Fondasi tiang tunggal umumnya digunakan pada kondisi tanah yang kurang stabil atau ketika beban yang harus ditanggung cukup besar, sehingga diperlukan kedalaman tertentu untuk mencapai lapisan tanah yang lebih kuat.

2.5.4 Pondasi Kelompok Tiang (*Pile Group*)

Pondasi kelompok tiang adalah jenis fondasi dalam yang menggunakan beberapa tiang yang disusun secara bersamaan untuk menahan beban bangunan atau struktur di atasnya. Fondasi ini digunakan ketika beban yang harus ditanggung sangat besar atau ketika tanah di permukaan tidak mampu menahan beban tersebut secara efektif (Haq, 2018).

2.6 Kapasitas daya dukung Pondasi

Kapasitas dukung tiang merupakan kemampuan suatu tiang pancang atau pondasi dalam menahan dan mendukung beban yang diterimanya dari struktur di atasnya. Kapasitas ini mencakup seluruh beban yang bekerja, baik berupa beban mati, beban hidup, maupun gaya eksternal seperti angin dan gempa. Besarnya kapasitas dukung tiang bergantung pada karakteristik tanah di sekitar tiang, material

tiang, diameter dan panjang tiang, serta metode pemasangan yang digunakan.

Kapasitas dukung tiang harus diperhitungkan dengan cermat agar tanah di sekitarnya tidak mengalami penurunan berlebihan maupun kegagalan geser, sehingga pondasi dapat menyalurkan beban ke tanah dengan aman dan struktur bangunan tetap stabil. Evaluasi kapasitas dukung tiang biasanya dilakukan melalui pengujian lapangan, seperti *Standard Penetration Test* (SPT), atau menggunakan analisis perhitungan empiris dan teoritis, yang mempertimbangkan interaksi antara tiang dan tanah di sekitarnya (Prastika, 2025). Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 3 (tiga) jenis yaitu :

1. Tiang tahanan ujung (*end-bearing pile*) adalah tiang di mana kapasitas dukungnya terutama ditentukan oleh tahanan pada ujung tiang. Tiang jenis ini biasanya digunakan ketika lapisan atas tanah relatif lunak, sedangkan lapisan keras atau batuan berada pada kedalaman tertentu di bawahnya. Tiang dipancang atau dipasang hingga mencapai lapisan tanah keras yang mampu menahan beban struktur, sehingga penurunan yang terjadi dapat tetap dalam batas aman dan tidak menimbulkan kerusakan pada bangunan. Pada tiang tahanan ujung, seluruh kapasitas dukung tiang sepenuhnya bergantung pada daya dukung lapisan keras di bawah ujung tiang, sedangkan gesekan samping dengan tanah di sekitarnya hanya berperan minimal. Oleh karena itu, perencanaan tiang end-bearing harus memperhatikan kedalaman lapisan keras, kualitas tanah di sekitarnya, dan perkiraan beban yang akan diterima tiang, agar pondasi dapat berfungsi secara optimal dan aman.

2. Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang di mana kapasitas dukungnya lebih banyak ditentukan oleh interaksi gesek antara permukaan tiang dengan tanah di sekitarnya. Kapasitas dukung total tiang diperoleh dari kombinasi dua komponen, yaitu daya dukung ujung (*end bearing capacity*), yang berasal dari tekanan pada ujung tiang, serta daya dukung geser atau selimut (*friction bearing capacity*), yang diperoleh dari gaya gesek atau adhesi antara permukaan tiang dan tanah di sekitarnya.
3. Tiang lekatan (*adhesive pile*) merupakan jenis tiang di mana penyaluran beban dilakukan terutama melalui adhesi atau lekatan antara permukaan tiang dan tanah di sekitarnya. Tiang ini umumnya digunakan pada tanah kohesif, seperti tanah lempung dengan nilai kohesi (c) tinggi, di mana kekuatan lekatan tanah terhadap tiang cukup besar untuk menahan beban struktur. Mekanisme dukungan pada tiang lekatan berbeda dengan tiang *end-bearing*, karena daya dukung tiang lebih bergantung pada gesekan dan kohesi tanah di sepanjang sisi tiang daripada pada lapisan keras di ujung tiang.

Tiang berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk merencanakan fondasi yang akan digunakan perlu dihitung daya dukung fondasi tersebut serta penurunan yang diijinkan, untuk menanggulangi kegagalan pembangunan struktur bawah yang berfungsi menyalurkan beban struktur atas menuju tanah keras.

2.6.1 Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang

Kapasitas dukung tiang (*pile capacity* atau *pile bearing capacity*) adalah

kemampuan suatu tiang dalam menahan dan mendukung beban yang bekerja pada struktur di atasnya. Perhitungan kapasitas dukung tiang dapat dilakukan melalui berbagai metode pendekatan, yang didasarkan pada karakteristik kuat geser tanah yang diperoleh dari pengujian laboratorium maupun pengujian lapangan melalui penyelidikan tanah (*soil investigation*).

Kapasitas dukung tiang pancang pada suatu lokasi bergantung pada dua komponen utama, yaitu daya dukung ujung tiang (*end-bearing capacity*) dan kapasitas geser antara permukaan tiang dengan tanah di sekitarnya (*friction capacity*). Kemampuan geser tanah di sepanjang tiang dipengaruhi oleh panjang tiang, sehingga semakin dalam tiang ditanam ke dalam tanah, semakin besar kontribusi gesekannya terhadap kapasitas dukung total tiang. Dengan demikian, desain tiang pancang harus mempertimbangkan interaksi antara tiang dan tanah, baik dari segi daya dukung ujung maupun gesekan samping, agar pondasi dapat menahan beban secara aman dan efisien (Mutiarasella, 2022).

2.6.2 Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang dengan Data SPT (*Standard Penetration Test*)

Metode uji penetrasi standar (*Standard Penetration Test* atau SPT) merupakan salah satu teknik pengujian tanah yang relatif ekonomis untuk memperoleh informasi mengenai kondisi tanah di bawah permukaan. Metode ini banyak digunakan, dan diperkirakan sekitar 85% desain pondasi bangunan bertingkat memanfaatkan data hasil uji SPT. Dalam perhitungan daya dukung ultimate tiang, nilai kapasitas dukung total diperoleh dari penjumlahan antara tahanan ujung tiang ultimate (*ultimate end-bearing resistance*) dan tahanan gesek ultimate (*ultimate side friction*) sepanjang permukaan tiang dengan tanah sekitarnya. Besaran tahanan ini dihitung dengan menggunakan data SPT, sehingga

parameter lapangan seperti nilai N menjadi dasar estimasi daya dukung tiang untuk perencanaan pondasi yang aman dan efisien.

2.6.3 Daya Dukung Pondasi Tiang Tunggal Dengan Metode *Luciano Decourt* (1982)

Analisis perhitungan daya dukung ultimate tiang menurut Luciano Decourt (1982) dilakukan dengan mempertimbangkan kontribusi tahanan ujung tiang dan tahanan gesek sepanjang sisi tiang. Konsep ini menyatakan bahwa kapasitas dukung total tiang adalah penjumlahan dari tahanan ultimate di ujung tiang (*ultimate end-bearing resistance*) dan tahanan gesek ultimate (*ultimate side friction*) yang bekerja antara permukaan tiang dan tanah di sekitarnya. Persamaan matematis yang digunakan dalam metode Luciano Decourt (1982) dinyatakan sebagai berikut:.

$$Q_{ult} = \alpha \left((N_p \times K) \times A_p \right) + \beta \left(\left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s \right) \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

- A_p = Luas penampang dasar tiang
- A_s = Luas selimut tiang
- Q_p = Kapasitas tahanan ujung *ultimate* tiang
- Q_s = Kapasitas tahanan gesek
- α = Koefisien dasar tiang
- β = Koefisien selimut tiang

Untuk menghitung daya dukung selimut tiang (*friction pile*), perlu diperhatikan rata-rata nilai N sepanjang bagian tiang yang tertanam di dalam tanah. Penting dicatat bahwa nilai N yang digunakan untuk memperkirakan daya dukung ujung tiang (*end-bearing capacity*) tidak dapat digunakan secara langsung untuk menghitung daya dukung gesek (*skin friction*) sepanjang permukaan tiang, karena mekanisme penyaluran beban yang berbeda. Dengan demikian, daya dukung total

tiang terdiri dari dua komponen, yaitu tahanan ujung tiang dan tahanan gesek sepanjang permukaan tiang, yang secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$Q_p = \left[\alpha (N_p \times K) A_p \right] \dots \dots \dots (2.2)$$

$$Q_s = \left[\beta \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) A_s \right] \dots \dots \dots (2.3)$$

$$Q_{All} = \frac{Q_u}{SF} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

- A_p = Luas penampang dasar tiang
 A_s = Luas selimut tiang
 Q_p = Kapasitas tahanan ujung ultimate tiang
 Q_s = Kapasitas tahanan gesek
 α = Koefisien dasar tiang
 β = Koefisien selimut tiang
 N_p = Rata-rata nilai N_{SPT} pada ujung tiang
 N_s = Rata-rata nilai N_{SPT} sepanjang tiang yang tertanam batas
 K = Koefisien tanah untuk metode Luciano Decourt

Berdasarkan persamaan yang digunakan dalam metode Luciano Decourt (1982), nilai koefisien tanah (α atau faktor perhitungan) yang digunakan dalam menentukan daya dukung tiang disesuaikan dengan jenis tanah di lokasi perencanaan. Nilai-nilai koefisien ini mencerminkan karakteristik gesek dan kekuatan tanah yang berbeda-beda untuk setiap lapisan tanah, sehingga memberikan estimasi daya dukung yang lebih akurat. Tabel 5 menyajikan koefisien tanah untuk masing-masing jenis tanah yang dijadikan acuan dalam perhitungan

kapasitas dukung ultimate tiang menggunakan metode Luciano Decourt, sehingga memungkinkan penentuan daya dukung tiang yang sesuai dengan kondisi lapangan.

Tabel 5 Koefisien Tanah K (Mulyono, 2022)

Jenis Tanah	Nilai K (Ton/m ²)
Lempung	12
Lanau Berlempung	20
Lanau Berpasir	25
Pasir dan Kerikil	40

Dalam perhitungan daya dukung ultimate tiang menggunakan metode Luciano Decourt (1982), analisis dilakukan secara terpisah antara daya dukung ujung tiang (*end-bearing capacity*) dan daya dukung selimut tiang (*skin friction capacity*). Untuk masing-masing komponen tersebut, digunakan nilai koefisien khusus yang telah ditetapkan berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Decourt & Quaresma (1978). Nilai koefisien ini memperhitungkan jenis tanah dan karakteristik mekanik lapisan tanah di lokasi perencanaan, sehingga estimasi daya dukung tiang menjadi lebih akurat. Koefisien untuk daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang dapat dilihat secara rinci pada Tabel 6 dan Tabel 7, yang menjadi acuan dalam menghitung masing-masing kontribusi terhadap kapasitas dukung total tiang. Dengan demikian, penggunaan koefisien ini memungkinkan perhitungan daya dukung tiang yang sesuai kondisi lapangan dan karakteristik tanah setempat, serta menjadi dasar untuk desain pondasi yang aman dan efisien.

Tabel 6. Koefisien Dasar Tiang α (Mulyono, 2022)

Soil/Pile	Driven pile	Bored pile	Bored pile (Bentonite)	Continuous Hollow Auger	Root pile's	Injected pile
Clay Intermediate	1	0,85	0,85	0,3	0,85	1
Soils	1	0,6	0,6	0,3	0,6	1
Sand	1	0,5	0,5	0,3	0,5	1

Tabel 7. Koefisien Selimut Tiang β (Mulyono, 2022)

<i>Soil/Pile</i>	<i>Driven pile</i>	<i>Bored pile</i>	<i>Bored pile (Bentonite)</i>	<i>Continuous Hollow Auger</i>	<i>Root pile's</i>	<i>Injected pile</i>
<i>Clay Intermediate</i>	1	0,8	0,9	1	1,5	3
<i>Soils</i>	1	0,65	0,75	1	1,5	3
<i>Sand</i>	1	0,5	0,65	1	1,5	3

Nilai koefisien untuk daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang ditentukan berdasarkan jenis pengelompokan tanah di lokasi proyek pondasi tiang pancang. Koefisien ini merepresentasikan karakteristik mekanik tanah, seperti kohesi, sudut geser dalam, dan kemampuan tanah dalam menahan geseran sepanjang sisi tiang maupun pada ujung tiang. Dengan mempertimbangkan klasifikasi tanah di lapangan, nilai koefisien ini digunakan sebagai parameter penting dalam perhitungan kapasitas dukung ultimate tiang, sehingga estimasi daya dukung tiang dapat disesuaikan dengan kondisi nyata di lokasi proyek. Penggunaan koefisien yang tepat sangat krusial, karena daya dukung total tiang bergantung pada kontribusi kedua komponen utama, yaitu tahanan ujung tiang dan tahanan gesek sepanjang permukaan tiang, yang keduanya dipengaruhi langsung oleh sifat fisik dan jenis tanah tempat tiang ditanam.

2.6.4 Daya Dukung Tiang Kelompok dengan Metode *Los Angeles*

Pondasi tiang grup atau pondasi kelompok digunakan ketika pondasi tiang tunggal tidak mampu menahan beban secara keseluruhan dari struktur di atasnya. Masing-masing tiang dalam satu grup diikat bagian atasnya menggunakan kepala tiang (*pile cap/poor*). Analisis Daya dukung Pondasi kelompok menurut *Los Angeles* dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$Eg = 1 - \frac{D}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n} [m(n-1) + n(m-1(n-1\sqrt{2})] \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

m = Jumlah tiang pada satu baris.

N = Jumlah tiang pada satu kolom.

S = jarak dari antar pusat tiang.

D = Diameter Pondasi.

2.7 Jarak Antar Tiang (s)

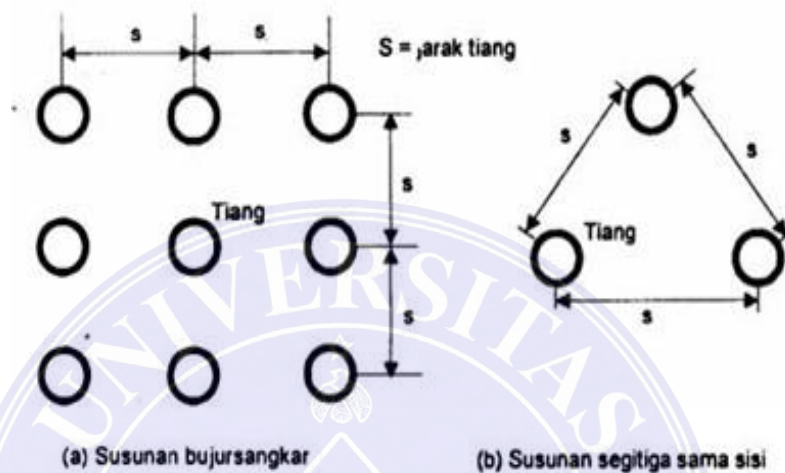
Jarak antar tiang dalam suatu kelompok tiang (*group pile*) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kapasitas dukung keseluruhan kelompok tiang. Pada praktiknya, tiang-tiang jarang dapat dipasang secara benar-benar lurus dan tepat sesuai lokasi yang telah direncanakan. Meskipun demikian, dalam perencanaan fondasi, perlu diperhitungkan momen lentur yang mungkin terjadi pada kolom, sehingga disarankan penggunaan minimal tiga tiang untuk fondasi kolom utama dan dua tiang untuk fondasi dinding memanjang. Ketika ujung tiang menerima beban Q , tanah di bawah dasar tiang akan mengalami tekanan. Jika beberapa tiang dalam satu kelompok dipasang berdekatan, interaksi antara tiang dan tanah dapat mempengaruhi kapasitas dukung tiang lainnya (Nur, 2024). Hal ini terjadi karena tekanan tanah yang timbul akibat gesekan antar tiang dan tanah di sekitarnya dapat menimbulkan perpindahan lateral tanah maupun kenaikan tanah lokal. Oleh karena itu, penentuan jarak antar tiang harus mempertimbangkan sifat tanah, tipe pondasi, dan beban yang diterima, agar kapasitas dukung kelompok tiang tetap optimal dan distribusi beban ke tanah merata. Untuk jarak minimum yang disarankan seperti pada tabel berikut.

Tabel 8. Jarak minimum tiang (d = diameter tiang) (Hardiyatmo, 2023)

Fungsi Tiang	Jarak as-as Minimum (m)
Tiang dukung ujung dalam lapisan keras	2-2,5d atau 75 cm
Tiang dukung ujung pada batuan keras	2d atau 60 cm
Tang gesek	3-5d atau 105 cm

Dalam perencanaan kelompok tiang, jarak antar tiang menjadi faktor

penting untuk memastikan kapasitas dukung kelompok tiang (*group pile*) bekerja secara optimal. Umumnya, jarak antar tiang berkisar antara 2 hingga 3 kali diameter tiang ($2-3d$). Untuk tiang dukung ujung yang pendek, jarak sekitar $2,5d$ dianggap cukup untuk menghindari interaksi negatif antar tiang.



Gambar 8. Defenisi Jarak s dalam hitungan efesiensi tiang (Hardiyatmo, 2023)

2.8 Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Untuk menentukan kapasitas ijin tiang (*allowable pile capacity*), kapasitas dukung ultimate tiang perlu dibagi dengan faktor keamanan tertentu (*factor of safety, FS*) (Sjahrain, 2024). Fungsi dari faktor keamanan ini adalah untuk menjamin keselamatan struktur dengan memperhitungkan ketidakpastian dalam karakteristik tanah, variasi beban, kesalahan konstruksi, dan kondisi lingkungan yang mungkin terjadi selama umur layanan pondasi adalah:

- 1) Fungsi faktor aman adalah untuk memberikan perlindungan terhadap ketidakpastian dalam nilai kuat geser dan kompresibilitas tanah, yang mencerminkan kondisi sebenarnya dari lapisan tanah di lokasi proyek..
- 2) Fungsi faktor aman juga bertujuan untuk memastikan bahwa perbedaan penurunan di antara tiang-tiang dalam suatu kelompok tetap berada

dalam batas toleransi yang dapat diterima, sehingga distribusi beban ke tanah tetap stabil dan aman. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.

- 3) Fungsi faktor aman juga digunakan untuk menjamin bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal maupun kelompok tiang tetap berada dalam batas toleransi yang diperbolehkan, sehingga kinerja pondasi tetap aman dan stabil.
- 4) Faktor aman juga berfungsi untuk mengantisipasi ketidakpastian yang mungkin timbul akibat metode perhitungan yang digunakan, sehingga desain pondasi tetap konservatif dan aman.

Reese dan O'Neill memberikan rekomendasi terkait pemilihan faktor aman dalam perancangan pondasi tiang, yang sebaiknya disesuaikan dengan kondisi proyek dan karakteristik lapangan. pemilihan faktor aman dipengaruhi oleh beberapa aspek, antara lain: tipe dan kepentingan struktur, variabilitas tanah yang menunjukkan tidak seragaman sifat mekanik tanah, serta tingkat ketelitian penyelidikan tanah yang dilakukan. Selain itu, faktor aman juga harus mempertimbangkan tipe dan jumlah uji tanah yang dilakukan, ketersediaan data uji pembebanan di dekat lokasi proyek, dan tingkat pengawasan serta pengendalian mutu pekerjaan pondasi. Aspek terakhir yang perlu diperhatikan adalah probabilitas beban desain aktual yang terjadi selama umur layanan struktur, agar pondasi mampu menahan beban secara aman sepanjang masa layan bangunan.

Faktor aman (F) untuk tiang sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain informasi yang diperoleh dari uji beban statis, keseragaman kondisi tanah, serta ketelitian program penyelidikan tanah yang dilakukan. Nilai-nilai tipikal

faktor aman untuk tiang bor yang direkomendasikan dapat dilihat pada Tabel 9, yang berlaku untuk bangunan-bangunan pada umumnya. Apabila proyek melibatkan bangunan dengan karakteristik khusus atau beban yang berbeda dari standar, nilai faktor aman ini dapat disesuaikan dengan menambah atau mengurangi nilai sesuai kondisi lapangan dan kebutuhan desain, sehingga keamanan dan kinerja pondasi tetap terjamin. Untuk memenuhi persyaratan keselamatan disarankan *safety factor* terhadap keruntuhan akibat beban maksimum dan ketidakpastian kondisi adalah 3. Dalam praktik perencanaan pondasi di Indonesia, nilai faktor keamanan (SF) yang lazim digunakan adalah sebesar 2,5 terhadap daya dukung ultimit tiang, yang mencakup kontribusi tahanan ujung dan gesekan selimut. Penerapan nilai tersebut dimaksudkan untuk mengakomodasi ketidakpastian sifat fisik dan mekanik tanah, variabilitas hasil pengujian lapangan, serta faktor konstruksi, sehingga kapasitas izin (*allowable capacity*) yang diperoleh tetap berada dalam kondisi aman.

Tabel 9. Faktor Aman yang Disarankan oleh Resse dan O'Neill 1989 Untuk Fondasi Tiang (Hardiyatmo, 2023)

Klasifikasi Struktur	Faktor Aman (F)			
	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,3	2,8

2.9 Software Plaxis

Plaxis merupakan salah satu program elemen hingga yang dirancang untuk menganalisis perilaku deformasi, kestabilan, serta aliran air tanah dalam konteks rekayasa geoteknik (Alisha, 2025). Tujuan pengembangan PLAXIS, yaitu untuk memudahkan analisis stabilitas tanggul yang dibangun di atas tanah lunak pada

dataran rendah Belanda. Plaxis dikembangkan oleh *software development Bentley System Incorporated*. Bentley System menspesifikasikan pengembangan pada perangkat lunak untuk perencanaan, desain, dan pemeliharaan proyek infrastruktur.

Plaxis sendiri terdiri dari 4 jenis yaitu :

1. *Plaxis Input*

Program PLAXIS merupakan perangkat lunak yang berbasis metode elemen hingga (*finite element method*), yang digunakan untuk mensimulasikan perilaku tanah dengan tujuan memperoleh nilai deformasi dan menilai kestabilan struktur geoteknik yang dibangun di atasnya.. Plaxis input terdiri dari:

- a. Mendefinisikan masalah
- b. Penggambaran dimensi dan propertis material
- c. Mendefinisikan kondisi awal

2. *Plaxis Calculation*

Plaxis Calculation terdiri dari 2 tahapan, yaitu:

- a. Mendefinisikan tahap-tahap konstruksi bangunan
- b. Proses perhitungan dan hasil

Analisis dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu metode perhitungan jangka pendek dan metode perhitungan jangka panjang. Kedua pendekatan ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan dinding dalam menahan tekanan lateral tanah serta tekanan air di belakangnya. Besarnya tekanan tanah lateral dihitung menggunakan teori Rankine, sedangkan analisis dengan perangkat lunak PLAXIS 2D dilakukan dengan menjadikan parameter tanah sebagai nilai input,

sementara parameter material dinding penahan tanah dihitung secara manual. Dengan kombinasi metode perhitungan manual dan simulasi numerik ini, diperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai kinerja dinding penahan terhadap tekanan tanah dan air pada kondisi aktual.

3. *Plaxis Output*

Output dari program Plaxis mencakup nilai faktor keamanan (SF) minimum dan perpindahan (displacement) tanah. Hasil ini membantu dalam menganalisis stabilitas struktur dan deformasi tanah dalam berbagai kondisi geoteknik.

4. *Plaxis Curve*

Analisis kurva Plaxis sering digunakan untuk memahami respons mekanis struktur geoteknik, seperti p-y curves untuk tiang dan perilaku fondasi dangkal. Berbagai studi menunjukkan penerapan plaxis dalam model numerik untuk menilai stabilitas, deformasi, dan kapasitas dukung tanah. Kurva yang dihasilkan dari analisis plaxis memberikan informasi penting mengenai hubungan antara beban dan deformasi. Beberapa contoh penerapan analisis geoteknik menggunakan PLAXIS antara lain:

- a. Penurunan tanah akibat beban, untuk mengevaluasi deformasi dan *settlement* pondasi atau timbunan.
- b. Konstruksi galian di atas muka air, untuk menilai stabilitas lereng dan pengaruh tekanan air tanah terhadap struktur.
- c. Konstruksi tanggul sungai, guna menganalisis stabilitas tanggul dan potensi deformasi akibat tekanan lateral tanah dan air.

- d. Galian kering dengan sistem angkur, untuk memastikan kestabilan dinding galian terhadap tekanan tanah lateral.
- e. Konstruksi timbunan untuk jalan, untuk memprediksi penurunan dan distribusi tegangan pada tanah dasar.
- f. Konstruksi terowongan, untuk mengevaluasi deformasi tanah di sekitar terowongan serta interaksi tanah-struktur.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi yang dipilih untuk Penelitian ini yaitu pada Proyek pembangunan Pabrik Kertas di Tanjung Morawa, Kota Medan, Provinsi Sumatera utara.



Gambar 9. Lokasi Proyek (Google Earth, 2025)

3.2 Kondisi Tanah Eksisting

Berdasarkan data hasil penyelidikan tanah pada titik *Bored Hole* 1 diketahui bahwa lapisan tanah keras baru ditemukan pada kedalaman sekitar 24 meter dari permukaan tanah. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan tanah bagian atas hingga kedalaman tersebut masih didominasi oleh tanah dengan tingkat kepadatan sedang hingga padat.

Secara umum, kondisi tanah pada lokasi penelitian didominasi oleh jenis tanah pasir, yang tersusun dalam beberapa lapisan dengan karakteristik yang bervariasi terhadap kedalaman. Dominasi tanah pasir ini mengindikasikan bahwa sifat mekanik tanah sangat dipengaruhi oleh kepadatan dan nilai tahanan penetrasi tanah. Adapun kondisi stratigrafi tanah pada titik BH-1 diperoleh dari hasil

pengeboran tanah dan pengujian lapangan, yang kemudian dirangkum dan disajikan secara sistematis pada Tabel 10, sebagai dasar dalam analisis lebih lanjut terhadap perencanaan dan evaluasi daya dukung pondasi.

Tabel 10. Sistem pelapisan tanah berdasarkan deskripsi visual BH-1 (Data Proyek, 2025)

Kedalam (m)	Deskripsi	
	Jenis Tanah	<i>Relative Density(consistency)</i>
0,00-2,00	Timbunan Pasir berlempung berbatu	<i>Loose</i>
2,00-5,00	Pasir berlempung	<i>Medium dense</i>
5,00-11,00	Lempung berpasir	<i>Soft-very Stiff</i>
11,00-24,00	pasir	<i>Dense-Very Dense</i>

Berdasarkan tingkat kepadatan relatif dari lapisan pasir, dapat diketahui karakteristik kondisi tanah pada lokasi penelitian. Tingkat kepadatan relatif tersebut diperoleh dari hasil pengujian tanah lapangan dan digunakan untuk menggambarkan kondisi tanah eksisting pada setiap kedalaman. Data mengenai kondisi tanah eksisting tersebut selanjutnya disajikan secara rinci pada Tabel 11.

Tabel 11. Nilai *Standard Penetration Test* BH-1 (Data Proyek, 2025)

Kedalaman (m)	N-SPT (pukulan/30cm)	Jenis Tanah
0-2,00	7	Timbunan pasir
2,00-4,00	15	Pasir berlempung
4,00-6,00	3	Pasir berlempung
6,00-8,00	4	lempung berpasir
8,00-10,00	13	lempung berpasir
10,00-12,00	50	Pasir
12,00-14,00	31	Pasir
14,00-16,00	60	Pasir
16,00-18,00	60	Pasir
18,00-20,00	60	Pasir
20,00-22,00	54	Pasir
22,00-24,00	60	Pasir

Batas analisis daya dukung tiang pancang sampai kedalaman 16 meter karena pada kedalaman tersebut telah mencapai lapisan pasir sangat padat yaitu nilai N-SPT lebih besar dari 50 maka sudah memenuhi kriteria sebagai lapisan tanah pendukung,

sehingga secara teknis dan ekonomis sudah optimal.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Dalam penyusunan penelitian ini, metode pengumpulan data dibedakan menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder, yang masing-masing memiliki peran penting dalam mendukung analisis dan pembahasan penelitian.

3.3.1 Data Primer

Data primer merupakan jenis data yang dikumpulkan secara langsung di lapangan, berupa informasi yang berkaitan langsung dengan proyek yang menjadi objek penelitian. Data primer ini mencakup berbagai informasi yang mendukung analisis dan perhitungan dalam penelitian, antara lain:

1. Data SPT (*Standard Penetration Test*)

Data SPT diperoleh dari hasil pengeboran tanah di beberapa titik bor di lokasi penelitian. Uji SPT dilakukan untuk mengetahui nilai *N-SPT* yang merepresentasikan kekerasan dan kerapatan tanah. Nilai *N-SPT* ini sangat penting sebagai parameter dalam analisis Analisis daya dukung tiang pancang dan pemodelan *software*.

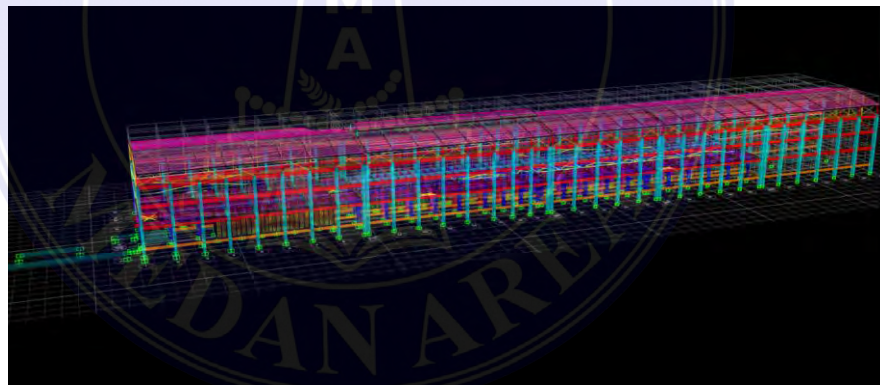
2. Data Spesifikasi Tiang

Berikut merupakan spesifikasi teknis pondasi spun pile yang diterapkan pada proyek ini. Data ini mencakup detail seperti dimensi tiang, mutu beton, kedalaman tanam, serta parameter teknis lainnya yang menjadi acuan dalam analisis perhitungan daya dukung pondasi. Spesifikasi ini diperoleh berdasarkan desain proyek dan hasil investigasi lapangan, sehingga mendukung validasi serta kesesuaian antara desain dan kondisi eksisting di lapangan.

- a. Dimensi Tiang = 30 cm
- b. Jarak antar tiang = 120 cm
- c. Jumlah Tiang dalam kelompok C9 = 4 tiang
- d. Kedalaman pondasi = 16 m
- e. Mutu Tiang Pancang = K600
- f. Luas bangunan = $34.5 \times 190.5 \text{ m}^2$

3. Data Hasil *Reaction* Pemodelan Software Etabs v18

Hasil *joint reaction* yang di dapat menggunakan kan Software Etabs v18 menunjukkan gaya reaksi (seperti gaya aksial, geser, dan momen) pada setiap sambungan dalam model. Terlihat pada label 210 memiliki gaya dalam arah Vertikal (p), gaya geser (*shear*) maksimum pada (F2) pada arah y dan momen (M3). Terlihat seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 10. Tampilan pemodelan struktur Pabrik Kertas (Etabs, 2026)

TABLE: Element Forces - Columns												
Frame	Joint	Output Case	Case Type	Step Number	Station	P	V2	V3	T	M2	M3	Ele
					m	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m	
4986 C19	5	EX	LinStatic	2	5	82.0704	-4.6123	-18.6635	-443.5	11576.43	8112.79	210
4987 C19	210	EX	LinStatic	3	0	82.0704	-4.6123	-18.6635	-443.5	-81741.29	-14948.74	210
4988 C19	5	EX	LinStatic	3	2.5	82.0704	-4.6123	-18.6635	-443.5	-35082.43	-3417.98	210
4989 C19	210	EX	LinStatic	3	5	82.0704	-4.6123	-18.6635	-443.5	11576.43	8112.79	210
4990 C19	5	ENV	Combination	0	0	-210.4236	18.8553	50.2367	4499.13	140266.29	213433.56	210
4991 C19	210	ENV	Combination	2.5	0	-187.9274	18.8553	50.2367	4499.13	38965.78	200440.62	210
4992 C19	5	ENV	Combination	5	0	-165.4312	18.8553	50.2367	4499.13	-8376.69	235309.91	210
4993 C19	210	ENV	Combination	0	0	-771.711	-69.0649	-17.5487	-2672.69	-96120.41	-301819.65	210
4994 C19	5	ENV	Combination	2.5	0	-734.8282	-69.0649	-17.5487	-2672.69	-78443.16	-163302.85	210
4995 C19	210	ENV	Combination	5	0	-697.9453	-69.0649	-17.5487	-2672.69	-129209.5	-72648.28	210
4996 C20	5	EY	LinStatic	1	0	61.5024	16.8775	-1.4648	2055.99	-3272.75	163844.19	211
4997 C20	211	EY	LinStatic	1	2.5	61.5024	16.8775	-1.4648	2055.99	389.2	121650.46	211
4998 C20	7	EY	LinStatic	1	5	61.5024	16.8775	-1.4648	2055.99	4051.15	79456.73	211
4999 C20	211	EY	LinStatic	2	0	61.5024	16.8775	-1.4648	2055.99	-3272.75	163844.19	211
5000 C20	7	EY	LinStatic	2	2.5	61.5024	16.8775	-1.4648	2055.99	389.2	121650.46	211
5001 C20	211	EY	LinStatic	2	5	61.5024	16.8775	-1.4648	2055.99	4051.15	79456.73	211
5002 C20	7	EY	LinStatic	3	0	61.5024	16.8775	-1.4648	2055.99	-3272.75	163844.19	211
5003 C20	211	EY	LinStatic	3	2.5	61.5024	16.8775	-1.4648	2055.99	389.2	121650.46	211
5004 C20	7	EY	LinStatic	3	5	61.5024	16.8775	-1.4648	2055.99	4051.15	79456.73	211
5005 C20	211	EY	LinStatic	0	0	61.5024	16.8775	-1.4648	2055.99	-3272.75	163844.19	211

Gambar 11. Hasil *joint reaction* Software (Etabs, 2026)

Gaya aksial (p) yang diperoleh Software Etabs pada joint 210 sebesar 187.9274 ton
Lalu pada gaya geser (V2) diperoleh sebesar 18.8553ton yang dapat dihitung
Dan yang terakhir adalah gaya momen (M3) di peroleh sebesar 200440.62 ton yang

3.3.2 Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari dokumen atau sumber yang telah ada sebelumnya, dan bukan dikumpulkan langsung dari lapangan. Dengan kata lain, dalam penelitian ini, data sekunder diperoleh dari arsip, laporan, atau dokumen proyek yang relevan dengan proyek Pembangunan Pabrik Kertas. Berdasarkan sumber-sumber tersebut, peneliti mengumpulkan informasi yang mendukung analisis dan pembahasan penelitian, antara lain:

1. Jurnal Ilmiah Dan Artikel Penelitian

Diperoleh dari data akademik seperti *Google Scholar*, *Scribd*, *Science Direct*, atau repositori jurnal universitas. Digunakan untuk memperoleh pemahaman tentang teori-teori terkini, metodologi analisis, hasil penelitian terdahulu yang relevan den bgan kapasitas daya dukung *spun pile* berdasarkan SPT.

2. Buku Teks Geoteknik dan Pondasi

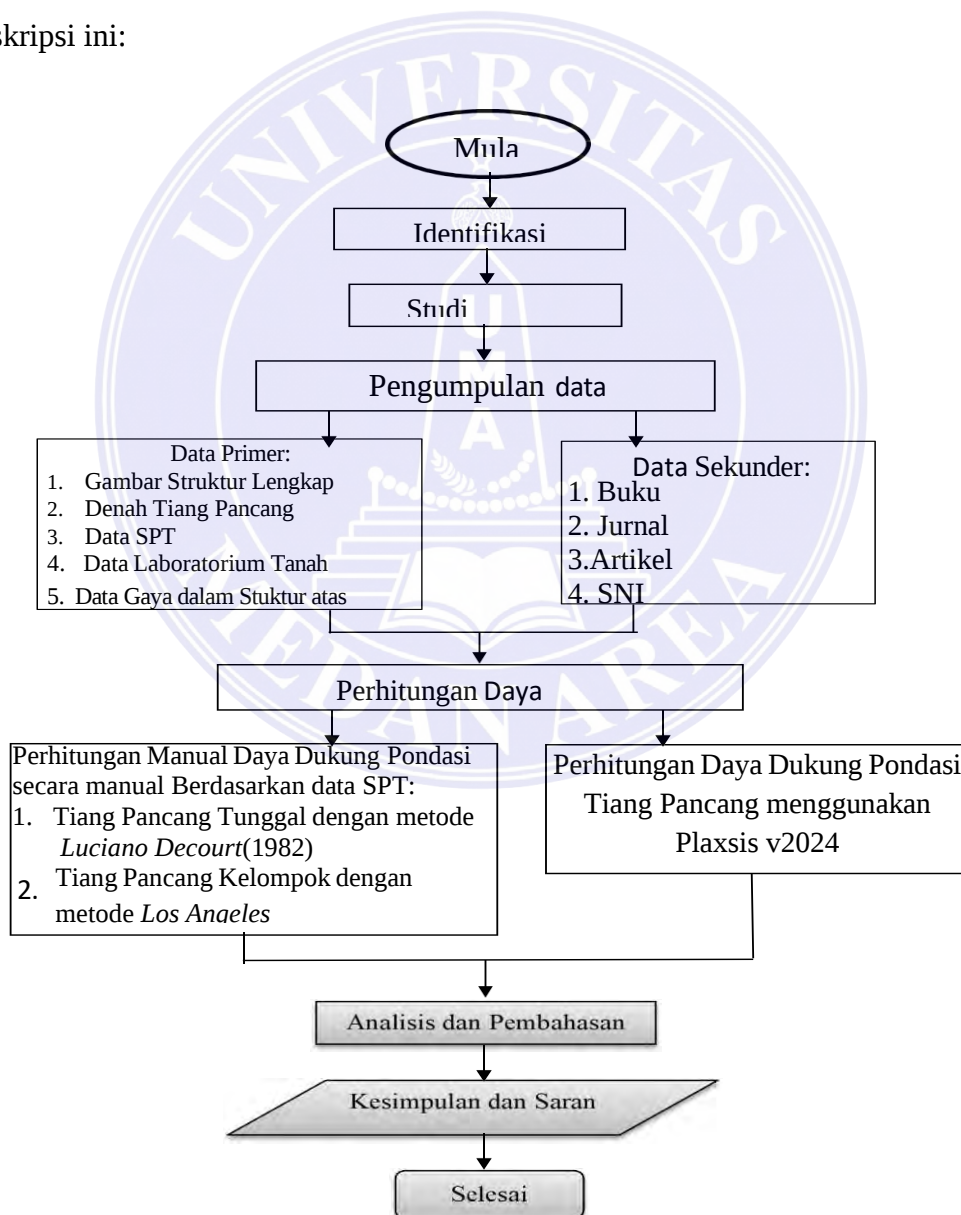
Diperoleh dari perpustakaan universitas atau platform buku elektronik. Digunakan sebagai sumber utama landasan teori pondasi dalam, prinsip prinsip mekanika tanah, metode perhitungan kapasitas daya dukung tiang pancang (terutama metode Meyerhof, Luciano Decourr, Vesic, dan lainnya), koreksi N-SPT, serta referensi standar desain (misalnya ASTM, SNI).b. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan mengumpulkan data dalam penelitian ini, yang diperlukan untuk melengkapi data yang akan dianalisis.

3. Standar Nasional Indonesia (SNI)

Diperoleh dari badan standarisasi atau repositori yang sah, digunakan sebagai panduan teknis dan acuan dalam prosedur pengujian SPT, interpretasi data, serta kriteria desain pondasi yang berlaku.

3.4 Alur Penelitian

Tahapan alur penelitian ini bertujuan untuk mempermudah dalam proses penelitian. Bagan alir kajian berikut menguraikan tahapan-tahapan penelitian skripsi ini:



Gambar 12. Alur Penelitian.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis daya dukung tiang pancang pada proyek pembangunan Pabrik Kertas di Tanjung Morawa menggunakan metode analitik dan pemodelan numerik, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

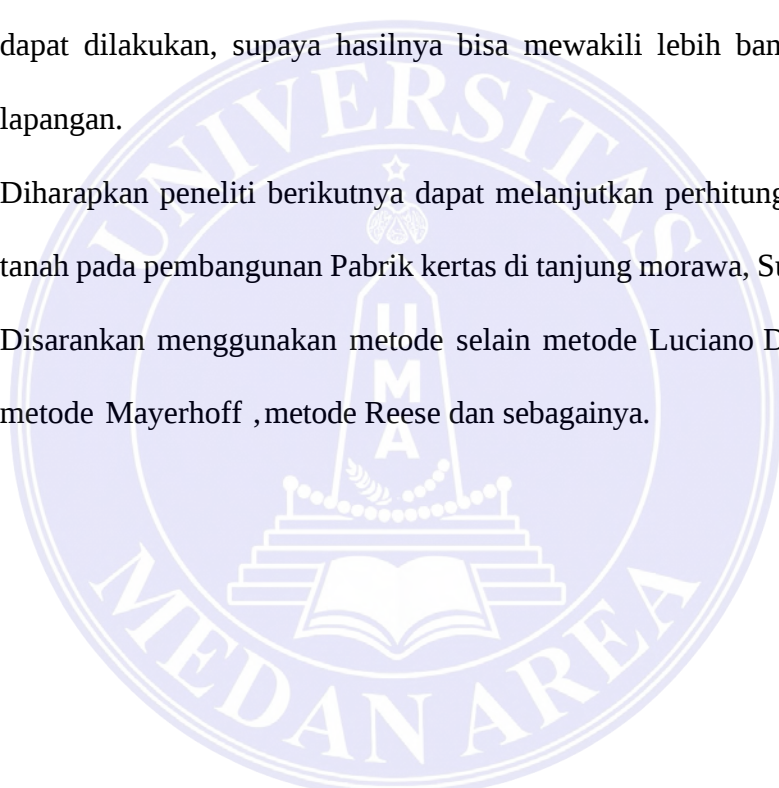
1. Perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan metode Luciano Decourt berdasarkan data SPT menghasilkan kapasitas daya dukung ultimit sebesar 78,00 ton, sedangkan daya dukung kelompok tiang dengan metode Los Angeles sebesar 278,4 ton.
2. Hasil analisis menggunakan pemodelan numerik dengan PLAXIS menunjukkan kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal sebesar 89,7 ton, dengan mempertimbangkan parameter tanah seperti modulus elastisitas, kohesi, sudut geser dalam, dan rasio Poisson.
3. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa metode Luciano Decourt menghasilkan nilai 78,00 ton (98,11%) terhadap daya dukung proyek, sedangkan PLAXIS sebesar 89,7 ton (112,83%). Dengan demikian, metode Luciano Decourt memberikan hasil yang lebih mendekati nilai yang digunakan pada proyek dan dapat mewakili estimasi daya dukung tiang pancang berdasarkan data SPT pada lokasi penelitian.

5.2 Saran

Mengenai saran yang di berikan dari peneliti sebagai berikut:

1. Dibutuhkan data teknis lapangan yang lengkap untuk melakukan perhitungan menunjang rencana analisis perhitungan, sesuai *standart* dan syarat-syarat yang dibutuhkan.

2. Perlunya melakukan PDA test agar dapat mengetahui daya dukung tiang secara dinamis untuk dapat membantu dan memvalidasi keakuratan hasil satu dengan yang lainnya.
3. Untuk penelitian berikutnya, kiranya dapat menggunakan lebih banyak lagi metode, baik perhitungan manual maupun pemodelan dengan software. Perbandingan hasil dari berbagai metode dapat meningkatkan keakuratan analisis. Untuk analisis di lokasi dengan kondisi tanah yang berbeda juga dapat dilakukan, supaya hasilnya bisa mewakili lebih banyak situasi di lapangan.
4. Diharapkan peneliti berikutnya dapat melanjutkan perhitungan penurunan tanah pada pembangunan Pabrik kertas di tanjung morawa, Sumatera Utara.
5. Disarankan menggunakan metode selain metode Luciano Decourt seperti metode Mayerhoff ,metode Reese dan sebagainya.

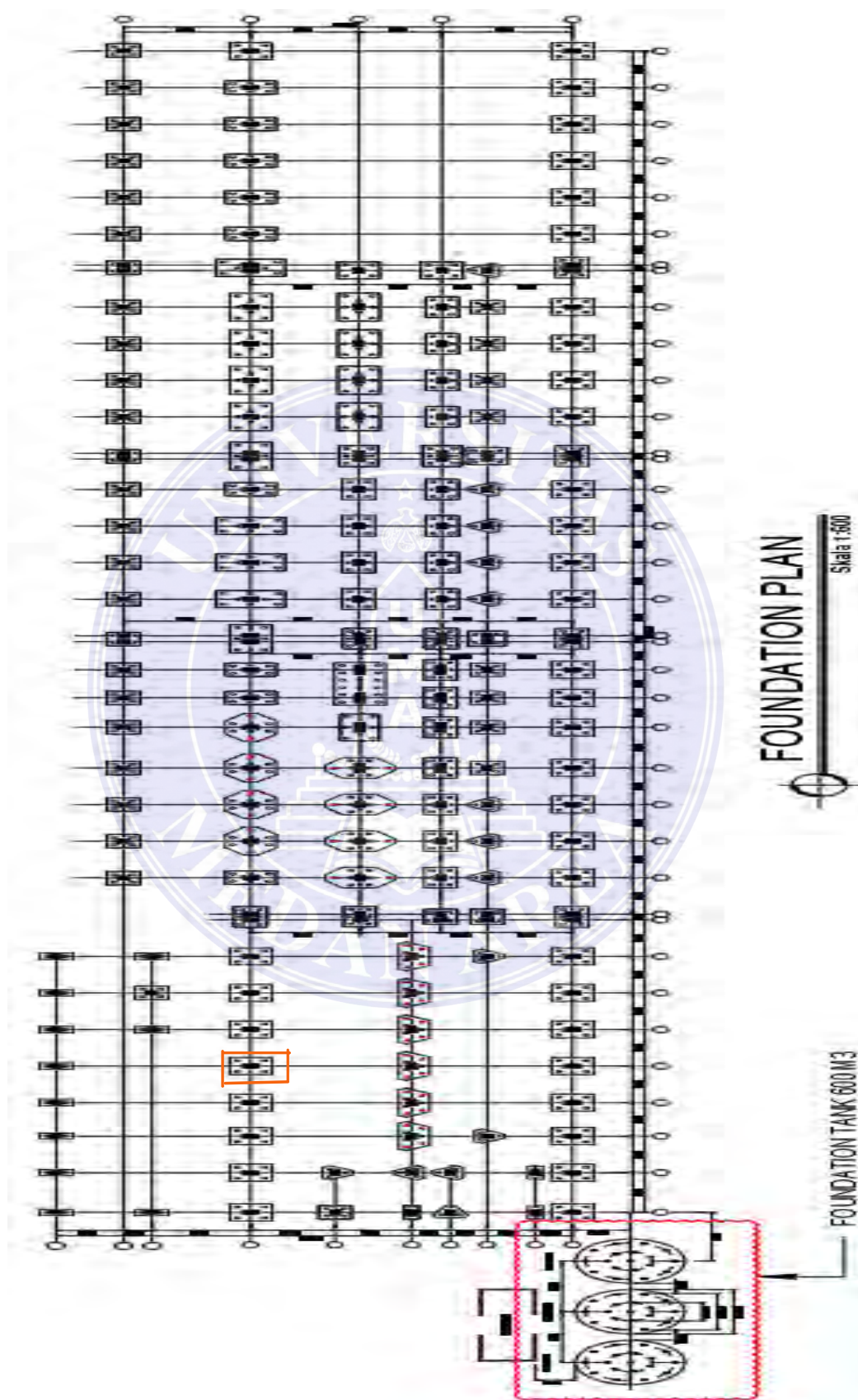


DAFTAR PUSTAKA

- Ade, P. A. (2024). Aplikasi Pembenah Tanah Gelterhadap Kemampuan Menahan Air (Water Holding Capacity) Pada Tanah Berpasir.
- Alisha, D. N. (2025). Analisis Stabilitas Tanah Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis V20 (Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang–Demak Sta 11+ 310) (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Andayana, A. (2016). Analisis Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Uji Spt Dan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Alat Hspd 120t.
- Anwar, S., Tjahyandari, D., & Idris, K. (2016). Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Tangerang Selatan: Universitas Terbuka.
- Aqsha, G. P. (2024). Analisis Perencanaan Kapasitas Daya Dukung Pondasi Pada Dinding Penahan Tanah Upt Pengelolaan Irigasi Wampu Besitang Kabupaten Langkat (Studi Kasus) (Doctoral Dissertation, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara).
- Aridini, L. K. (2017). Pengaruh Beban Tanah Timbunan Terhadap Daya Dukung Pondasi Rakit Menggunakan Program Plaxis.
- Darwis, H., & Sc, M. (2018). Dasar-Dasar Mekanika Tanah. Yogyakarta: Pena Indis.
- Gary, M. (2025). Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Pada Gedung Kampus 7 Lantai Dikota Padang (Doctoral Dissertation, Universitas Dharma Andalas).
- Gunawan, S. (2014). Korelasi Nilai Cpt Dan Spt Pada Lokasi Ring Road Utara Yogyakarta.
- Haq, D. U. (2018). Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga (The Effect Of Dimensional Variation On The Bearing Capacity Pile Group By Using Finite Element Method).
- Kurnia, L. H., Ulfa, A. H. R., & Indrawati, I. (2025). Geoteknik Tanah Laterit. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
- Mahesa, A. I. (2019). Aplikasi Alat Uji Tekan Modifikasi Metoda Tekanan (Pressure Method) Terhadap Daya Dukung Tanah Dasar (Subgrade) Berdasarkan Modified Proctor Method.
- Makaudis, F. N. (2015). Tinjauan Perencanaan Pondasi Sumuran Dan Metode Pelaksanaannya Pada Proyek Gedung Rsj Prof. VI Ratumbusang (Doctoral Dissertation, Politeknik Negeri Manado).
- Marpaung, T. R. (2024). Analisis Daya Dukung Pondasi Spun Pile Berdasarkan Data N-Spt Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Indrapura-Kisaran (Studi Kasus) (Doctoral Dissertation, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara).
- Mokodompit, W. P. (2016). Tinjauan Perencanaan Dan Metode Pelaksanaan Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Hotel Ibis Manado (Doctoral Dissertation, Politeknik Negeri Manado).
- Muthmainnah, M. (2021). Analisis Kapasitas Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Dengan Variasi Dimensi.

- Mutiarasella, N. (2022). Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Bor Pada Gedung Masjid Hajjah Yuliana Bearing Capacity And Settlement Analysis Of Borepile Foundation On The Hajjah Yuliana Mosque.
- Nur, H. S. (2024). Rekayasa Perbaikan Tanah. Penerbit Nem.
- Prastika, N. N. S. (2025). Analisis Kapasitas Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi Tiang Bor Terhadap Variasi Dimensi (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Pascasarjana Universitas Sanata Dharma) (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Radhiah, M. (2025). Analisis Faktor Keamanan Lereng Pada Area Tambang Tanah Liat Pt Semen Tonasa Indonesia Berdasarkan Sifat Mekanik Tanah= Analysis Of Safety Factor Of Clay Mine Slope Pt Semen Tonasa Indonesia Based On Physical And Mechanical Properties Of Soil (Doctoral Dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Riswanto, A., Joko, J., Boari, Y., Taufik, M. Z., Irianto, I., Farid, A., ... & Ifadah, E. (2023). Metodologi Penelitian Ilmiah: Panduan Praktis Untuk Penelitian Berkualitas. Pt. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Rusdi, M. A. (2022). Studi Analisis Daya Dukung Tiang Beton Dengan Menggunakan Data Getaran.
- Sarungu, G. M. (2021). Studi Komparasi Siklus Basah Kering Terhadap Nilai Kuat Tekan Tanah Dengan Berbagai Jenis Aditif= Comparison Study Of Wet-Dry Cycle Towards Soil Strength Value With Various Types Of Additive (Doctoral Dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Sjahrain, D. M. (2024). Evaluasi Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor Terhadap Beban Aksial Dengan Mempertimbangkan Pengaruh Potensi Likuefaksi Tanah (Studi Kasus Pada Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Seksi 1 Elevated 4 (Sta. 67+ 500 Sd Sta. 76+ 300)) (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Syafei, M. I. G. (2016). Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Dengan Memperhitungkan Pengaruh Likuifaksi Pada Proyek Pembangunan Hotel Di Lombok. Jurnal Teknik Its, 5(2).
- Widojoko, L. (2015). Analisa Dan Desain Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Bentuk Tiang. Jurnal Teknik Sipil Bandar Lampung, 6(2), 211649.

Lampiran



FOUNDATION TYPE	TOTAL FOUNDATION	TYPE OF PILE	SIZE	DEPTH
CT-1	38	Spun Pile	Ø 300 mm	16 m (Daya dukung izin minimum = 50 Ton)
CT-2	4	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-3	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-4	3	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-5	14	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-6	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-7	13	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-8	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-9	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-10	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-11	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-12	16	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-13	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-14	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-15	7	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-16	2	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-17	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-18	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-19	1	Spun Pile	Ø 300 mm	

FOUNDATION TYPE	TOTAL FOUNDATION	TYPE OF PILE	SIZE	DEPTH
CT-20	2	Spun Pile	Ø 300 mm	16 m (Daya dukung izin minimum = 50 Ton)
CT-21	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-22	11	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-23	2	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-24	-	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-25	9	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-26	2	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-27	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-28	19	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-29	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-30	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-31	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-32	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-33	1	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-34	8	Spun Pile	Ø 300 mm	
CT-35	6	Spun Pile	Ø 300 mm	
TOTAL	174			

R.3	PILE TANK 600 M3 (3 UNIT)	Spun Pile Ø 300 mm, Depth = 16 m	18 Nos (1 Tank) x 3 Unit = 54 NOS
-----	----------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------

PT. MEDIAN GEOTEKNIK DAN STRUKTUR KONSULTAN				DRILLING LOG				Location			
Project				PENBANGUNAN PE. ADS (AGRO BELI SEROWU)				TAMBUK HORANA DELISEROWU			
Description				Consistency				Core Recovery (%)			
Description				Consistency				Core Recovery (%)			
Description				Consistency				Core Recovery (%)			
Fill clayey sand and silt, grey, non plasticity, low moisture content, 0.00 - 2.00 m depth				Loose				2 2 4 3			
Clayey sand, brown, non plasticity, low moisture content, 2.00 - 5.00 m depth				Medium dense				4 7 8 10			
Sandy clay, grey, low plasticity, high moisture content, 5.00 - 11.00 m depth				Medium dense				1 2 2 4			
Sand, grey, non plasticity, low moisture content, 11.00 - 24.00 m depth				Medium dense				2 4 8 12			
				Medium dense				12 30 30 50			
				Medium dense				14 34 37 51			
				Medium dense				17 26 31 40			
				Medium dense				20 30 35 40			
				Medium dense				16 21 26 30			
				Medium dense				16 26 34 54			
				Medium dense				20 29 35 40			

Location : TANJUNG MORAWA - DELI SERDANG			
Bored Hole no.	BH - 01		
Sample depth (m)	3.00 - 3.50	4.50 - 7.00	10.00 - 10.50
Condition of sample	UDS	UDS	UDS
Natural water content W (%)	30,01	65,74	50,94
Wet density ρ_{wet} (gr/cc)	-	1,50	1,64
Dry density ρ_d (gr/cc)	-	0,90	1,09
Specific gravity G_s	2,65	2,61	2,62
Natural void ratio e	-	1,89	1,40
Degree of saturation S_r (%)	-	90,70	94,80
Porositas (%)	-	65,95	58,39
ATTERBERG LIMIT TEST			
Liquid Limit LL (%)	NP	36,76	36,73
Plastic Limit PL (%)	NP	26,56	26,71
Plastic Index PI (%)	NP	10,20	10,02
SIEVE ANALYSIS TEST			
No. 4 Passing percent (%)	100,00	100,00	10,00
No. 10 Passing percent (%)	96,36	99,44	99,08
No. 40 Passing percent (%)	74,50	85,00	84,94
No. 200 Passing percent (%)	5,58	44,64	42,50
Gravel (%)	0,00	0,00	0,00
Sand (%)	94,42	55,36	57,50
Silty & Clay (%)	5,58	44,64	42,50
CONSOLIDATION TEST			
Coeffisien indeks C_c	-	0,478	0,248
Coeffisien of consolidation C_v	-	0,0555	0,0473
k Consolidation (cm/det)	-	0,005995	0,002983
Pemampatan kembali C_r	-	0,051	0,044
Pre Consolidate P_c (kg/cm ²)	-	1,700	1,900
Tagangan awal P_0 (kg/cm ²)	-	1,060	1,737
Over Consolidation Ratio OCR	-	1,603	1,094
DIRECT SHEAR TEST			
Internal Skin Friction (f)	-	15,28	21,07
Cohesivness (c) (kg/cm ²)	-	0,0924	0,0892
Water Table			



