

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG
DITINJAU ULANG DENGAN HASIL
PILE DRIVING ANALYZER TEST
(Studi Kasus Gedung RS Anak Negeri Sawangan Depok)**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

**Aufarel Andrana
NIM : 30202100267**

**Muhammad Zaki Anwar
NIM : 30202100276**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG
DITINJAU ULANG DENGAN HASIL
PILE DRIVING ANALYZER TEST
(Studi Kasus Gedung RS Anak Negeri Sawangan Depok)



Aufarel Andrana
NIM : 30202100267



Muhammad Zaki Anwar
NIM : 30202100276

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 31 Juli 2023

Tim Penguji

1. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng**
NIDN: 0631128901
2. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT.**
NIDN: 0608067601
3. **Prof. Ir. H. Pratikso, MST . Ph.D.**
NIDN: 0627115501

Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 15 / A.2 / SA - T / V / 2023

Pada hari ini tanggal 31 Mei 2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Dr. Abdul Rochim, ST., MT.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Aufarel Andrana
NIM : 30202100267

Muhammad Zaki Anwar
NIM : 30202100276

Judul : Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Ditinjau Ulang Dengan Hasil Pile Driving Analyzer Test (Studi Kasus Gedung RS Anak Negeri Sawangan Depok)

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	15/03/2023	
2	Seminar Proposal	05/06/2023	ACC
3	Pengumpulan data	20/03/2023	
4	Analisis data	08/06/2023	
5	Penyusunan laporan	17/07/2023	
6	Selesai laporan	25/07/2023	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama

Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

Dosen Pembimbing Pendamping

Dr. Abdul Rochim, ST., MT.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Aufarel Andrana

NIM : 30202100267

NAMA : Muhammad Zaki Anwar

NIM : 30202100276

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Ditinjau Ulang Dengan Hasil *Pile Driving Analyzer Test* (Studi Kasus Gedung RS Anak Negeri Sawangan Depok)

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

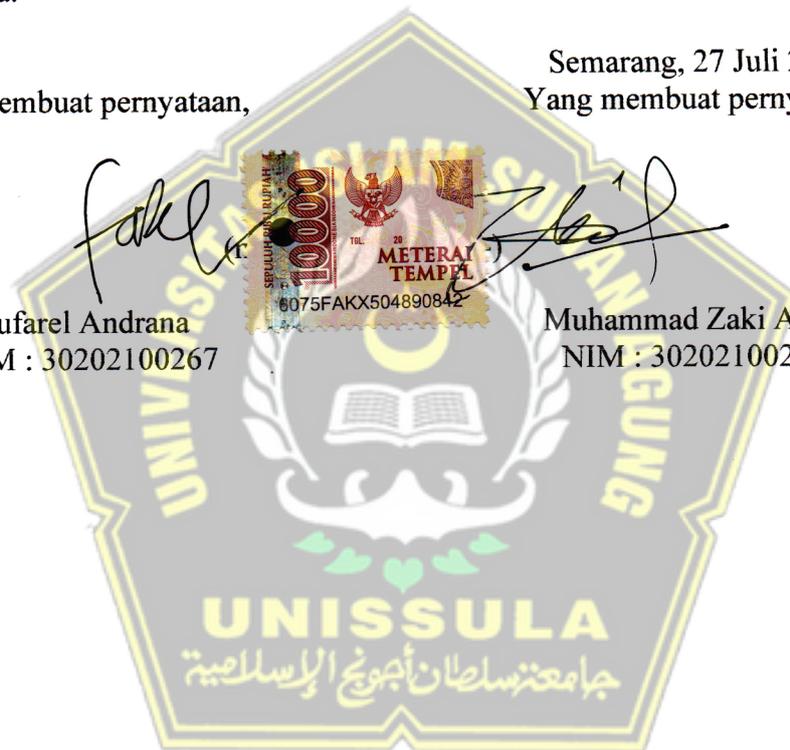
Semarang, 27 Juli 2023

Yang membuat pernyataan,

Yang membuat pernyataan,

Aufarel Andrana
NIM : 30202100267

Muhammad Zaki Anwar
NIM : 30202100276



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Aufarel Andrana

NAMA : Muhammad Zaki Anwar

NIM : 30202100267

NIM : 30202100276

JUDUL TUGAS AKHIR : Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Ditinjau Ulang Dengan Hasil *Pile Driving Analyzer Test* (Studi Kasus Gedung RS Anak Negeri Sawangan Depok).

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Yang membuat pernyataan,

Semarang, 27 Juli 2023

Yang membuat pernyataan,

Aufarel Andrana
NIM : 30202100267

The image shows two handwritten signatures in black ink. Between the signatures is a 2000 Rupiah meter stamp (METERAL TEMPEL) with a serial number 5059AKX504890847. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA' and '2000'. The background of the page has a large, faint watermark of the Universitas Islam Sultan Agung logo, which includes a crescent moon, a star, and an open book.

Muhammad Zaki Anwar
NIM : 30202100276

MOTTO

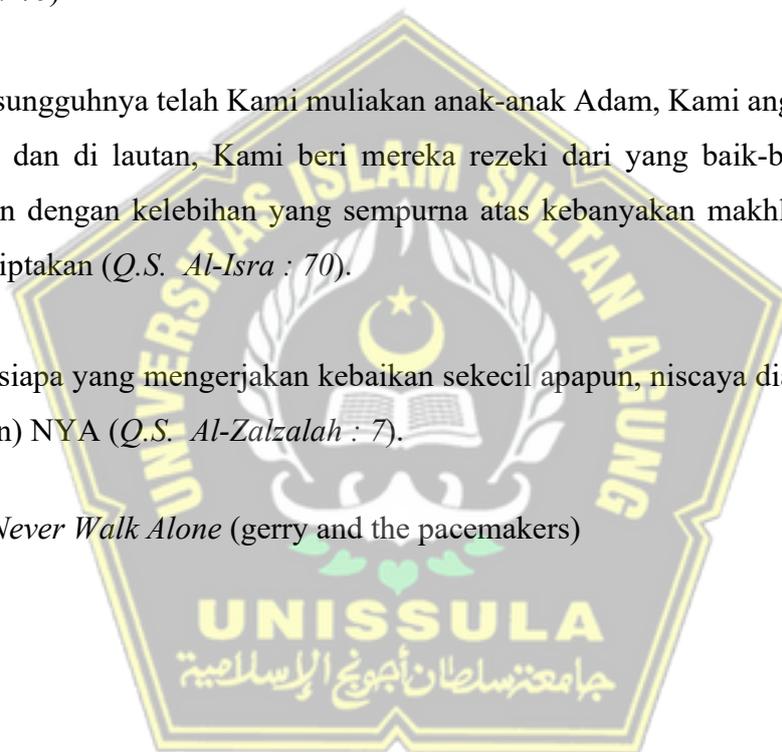
Barang siapa bertakwa kepada Allah maka Dia akan menjadikan jalan keluar baginya, dan memberinya rezeki dari jalan yang tidak ia sangka, dan barang siapa yang bertawakal kepada Allah maka cukuplah Allah baginya, Sesungguhnya Allah melaksanakan kehendak-Nya, Dia telah menjadikan untuk setiap sesuatu kadarnya (*Q.S. Ath-Thalaq : 2-3*).

Dan bersabarlah. Sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar (*Q.S. Al-Anfaal : 46*)

Dan sesungguhnya telah Kami muliakan anak-anak Adam, Kami angkat mereka di daratan dan di lautan, Kami beri mereka rezeki dari yang baik-baik dan Kami lebihkan dengan kelebihan yang sempurna atas kebanyakan makhluk yang telah Kami ciptakan (*Q.S. Al-Isra : 70*).

Barangsiapa yang mengerjakan kebaikan sekecil apapun, niscaya dia akan melihat (balasan) NYA (*Q.S. Al-Zalzalah : 7*).

You'll Never Walk Alone (gerry and the pacemakers)



PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur kehadirat Allah SWT, alhadulillah atas segala rahmat dan karunia-Nya yang diberikan kepada saya hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua saya, yang telah memberikan dukungan secara mental, moril hingga materi serta doa yang senantiasa dipanjatkan.
2. Saudara saya yang telah memberikan semangat, motivasi, dukungan dan do'a agar terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng dan Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT. selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar mengajarkan saya dalam pembuatan laporan ini.
4. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
5. Muhammad Zaki Anwar selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman Teknik UNISSULA, yang membantu dan mendukung dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
7. Semua pihak yang turut dalam membantu penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Aufarel Andrana
NIM : 30202100276

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur kehadiran Allah SWT, alhadulillah atas segala rahmat dan karunia-Nya yang diberikan kepada saya hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua saya, yang telah memberikan dukungan secara mental, moril hingga materi serta doa yang senantiasa dipanjatkan.
2. Saudara saya yang telah memberikan semangat, motivasi, dukungan dan do'a agar terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng dan Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT. selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar mengajarkan saya dalam pembuatan laporan ini.
4. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
5. Aufarel Andrana selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman Teknik UNISSULA, yang membantu dan mendukung dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
7. Semua pihak yang turut dalam membantu penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Muhammad Zaki Anwar
NIM : 30202100276

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG DITINJAU ULANG DENGAN HASIL PILE DRIVING ANALYZER TEST (Studi Kasus Gedung RS Anak Negeri Sawangan Depok)” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudyono, MT.,Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar,ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Muhamad Rusli Ahyar,ST., M.Eng. selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan dorongan dalam penulisan skripsi ini.
4. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

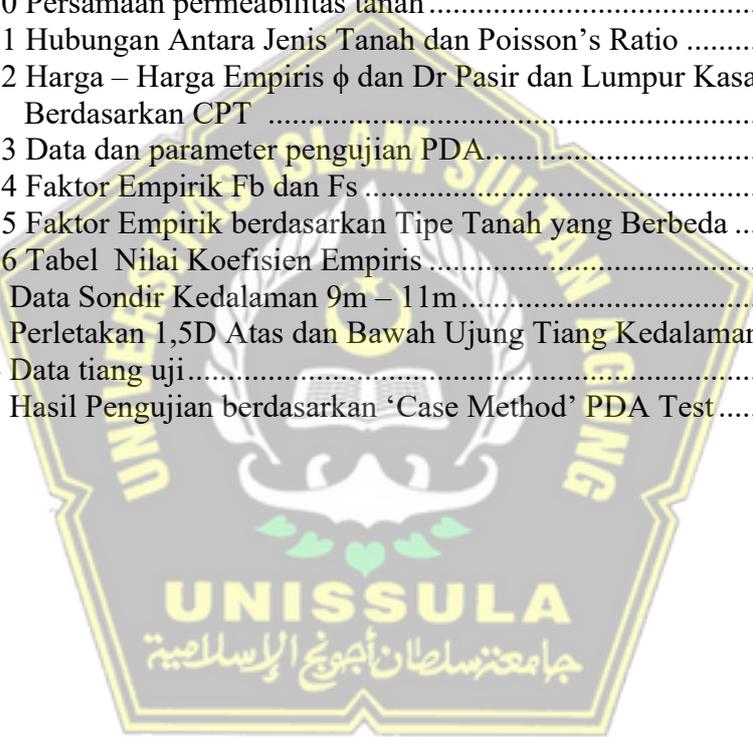
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
ABSTRAK.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Definisi Tanah	4
2.2 Klasifikasi Tanah.....	4
2.2.1 Klasifikasi Tanah Dengan <i>Cone Penetration Test</i> / Sondir (CPT).....	6
2.3 Parameter Tanah	9
2.4 Penyelidikan Tanah	17
2.5 Pondasi.....	22
2.6 PDA <i>Test</i>	25
2.7 Aplikasi Allpile.....	29
2.8 Kapasitas Daya Dukung Pondasi.....	30
2.8.1 Perhitungan Daya Dukung Pondasi Metode Aoki & De Alencar	30
2.8.2 Perhitungan Daya Dukung Pondasi Metode Schmertmann & Nottingham	32
2.8.3 Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang	34
2.9 Daya Dukung Lateral Tiang Pancang Metode Myerhoff.....	36
2.9.1 Daya Dukung Lateral Tiang Pancang Tunggal	36
2.9.2 Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok	37
2.10 Penurunan Pondasi (<i>settlement</i>).....	37
2.10.1 Penurunan Pondasi Tiang Tunggal	37
2.10.2 Penurunan Pondasi Tiang Kelompok.....	39
2.11 Analisa Daya Dukung Tiang Pancang dari hasil tes PDA.....	39
BAB III METODE PENELITIAN	42
3.1 Pendahuluan.....	42
3.2 Pengumpulan Data.....	42
3.3 Data Umum proyek	42

3.4	Lokasi Proyek	43
3.5	Metode Analisa Data	44
3.6	Tahapan Penelitian	45
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		46
4.1	Data Proyek	46
4.2	Perhitungan Daya Dukung Metode Schmertmann – Nottingham	47
4.3	Perhitungan Daya Dukung Metode Aoki & De Alencar	50
4.4	Penyebaran Tiang Pancang Metode Aoki & De Alencar	54
4.5	Daya Dukung Lateral Tiang Pancang.....	54
4.6	Penurunan Pondasi Tiang Pancang.....	56
4.7	Analisa Daya Dukung Tiang Pancang dari hasil tes PDA.....	57
4.8	Analisa Daya Dukung Tiang Pancang menggunakan aplikasi AllPile.....	59
4.9	Pembahasan	66
BAB V KESIMPULAN.....		67
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN		



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Batas Ukuran Tanah Sesuai Kategorinya.....	5
Tabel 2. 2 Klasifikasi Tanah dengan Data Sondir.....	6
Tabel 2. 3 Hubungan antara konsistensi dengan tekanan konus.....	9
Tabel 2. 4 Hubungan antara kepadatan, relative density, nilai N, qc dan \emptyset	9
Tabel 2. 5 Zona tipe tanah qt-Fr.....	11
Tabel 2. 6 Revisi zona pada tipe tanah parameter CPT ternormalisasi dengan overconsolited(*).....	12
Tabel 2. 7 Zona pada tipe tanah qc/Pa-Fr.....	14
Tabel 2. 8 Korelasi hasil CPT-SPT berdasarkan jenis tanah.....	14
Tabel 2. 9 Nilai Perkiraan Permeabilitas.....	16
Tabel 2. 10 Persamaan permeabilitas tanah.....	17
Tabel 2. 11 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson's Ratio.....	17
Tabel 2. 12 Harga – Harga Empiris ϕ dan Dr Pasir dan Lumpur Kasar Berdasarkan CPT.....	22
Tabel 2. 13 Data dan parameter pengujian PDA.....	26
Tabel 2. 14 Faktor Empirik Fb dan Fs.....	31
Tabel 2. 15 Faktor Empirik berdasarkan Tipe Tanah yang Berbeda.....	32
Tabel 2. 16 Tabel Nilai Koefisien Empiris.....	39
Tabel 2. 1 Data Sondir Kedalaman 9m – 11m.....	46
Tabel 4. 3 Perletakan 1,5D Atas dan Bawah Ujung Tiang Kedalaman 11m.....	50
Tabel 4. 4 Data tiang uji.....	58
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian berdasarkan 'Case Method' PDA Test.....	58



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Hubungan (qc) dengan (fs) (Das,1998)	7
Gambar 2. 2 Grafik hubungan antara (FR), (qc) serta jenis tanah (Schmertmann, 1969).....	8
Gambar 2. 3 Zona pada tipe tanah qt-Fr (Robertson et al,1986).....	10
Gambar 2. 4 Zona pada tipe tanah qc/Pa-Fr (Robertson, 1990).....	13
Gambar 2. 5 Grafik berat volume tanah menggunakan data CPT	15
Gambar 2. 6 Bentuk ujung konus sondir mekanis dan sondir elektrik	20
Gambar 2. 7 Cara Pelaporan Hasil Uji CPT (Rahardjo, 2013)	21
Gambar 2. 8 Pondasi Dangkal (Terzaghi,1940).....	23
Gambar 2. 9 Pondasi Tiang (Bowles, 1991)	24
Gambar 2. 10 Pondasi Tiang Pancang (Bowles, 1991).....	25
Gambar 2. 11 Pengujian PDA di lapangan (Nji, 2021).....	27
Gambar 2. 12 Hasil PDA Test	28
Gambar 2. 13 Hasil PDA Test	28
Gambar 2. 14 Perhitungan Daya Dukung Ujung	33
Gambar 2. 15 Grafik Ks dan Kc (Rahardjo, 2013)	34
Gambar 2. 16 Faktor Reduksi (Reese dalam Balamba,2018)	37
Gambar 2. 17 Bentuk Skin Friction Sedalam Tiang Terbenam masuk ke Tanah. 39	
Gambar 3. 1 Lokasi Proyek Pembangunan Gedung RS Anak Negeri.....	43
Gambar 3. 2 Diagram Alur Metodologi.....	44
Gambar 4. 3 Pile Type	59
Gambar 4. 4 Pile Profile.....	60
Gambar 4. 5 Pile Properties	61
Gambar 4. 6 Load and Group.....	62
Gambar 4. 7 Soil Properties	63
Gambar 4. 8 Advanced Page.....	64
Gambar 4. 9 Vertical Analysis	64
Gambar 4. 10 Detailed Report	65
Gambar 4. 11 Hasil daya dukung ultimit tiang 1 dan 2	65

**ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG
DITINJAU ULANG DENGAN HASIL
PILE DRIVING ANALYZER TEST
(Studi Kasus Gedung RS Anak Negeri Sawangan Depok)**

ABSTRAK

Rumah Sakit Anak Negeri Sawangan Depok merupakan rumah sakit Tipe C yang dibangun sebagai sebagai salah satu upaya untuk peningkatan pelayanan kesehatan warga, terutama di daerah Kota Depok. Dalam pembangunan tersebut membutuhkan perencanaan yang baik supaya gedung bisa berdiri kokoh. Tujuan penelitian ini yaitu menganalisis serta membuat perbandingan hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang dari nilai Q_u .

Perhitungan pembebanan struktur atas didapat dari data proyek, kemudian menganalisa serta membandingkan daya dukung pondasi dengan metode Schmertmann – Nottingham, metode Aoki & De Alencar, hasil PDA Test, dan hasil aplikasi Allpile.

Hasil perhitungan struktur atas sebesar 1431,933 kN. Perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang dari data sondir dengan kedalaman 11 m dan sisi tiang 0,3 x 0,3 m menggunakan metode Schmertmann – Nottingham dan metode Aoki & De Alencar diperoleh nilai Q_u 101,06 Ton untuk Schmertmann – Nottingham, sedangkan metode Aoki & De Alencar Q_u 84,357 Ton. Dari hasil PDA Test Q_u sebesar 134 Ton dan dari hasil aplikasi Allpile menghasilkan Q_u sebesar 92,320 Ton. Dilihat dari kedua hasil daya dukung kelompok, $Q_g > P$. Besar penurunan metode Vesic untuk tiang tunggal sebesar 0,00538 m, tiang grup sebesar 0,0155 m dan S_{izin} sebesar 0,03. Jadi penurunan dikatakan Aman karena $S < S_{izin}$.

Kata kunci : Daya Dukung, PDA Test, Allpile, Tiang Pancang

**ANALYSIS OF BEARING CAPACITY OF PILE FOUNDATIONS
REVIEWED WITH RESULTS
PILE DRIVING ANALYZER TEST
(Case Study of the Anak Negeri Sawangan Depok Hospital Building)**

ABSTRACT

The Sawangan Depok State Children's Hospital is a Type C hospital which was built as an effort to improve public health services, especially in the Depok City area. In this development requires good planning so that the building can stand firm. The goal of this research is to evaluate and compare the results of the calculation of the piling foundation's bearing capacity by using the Q_u value.

Calculation of the superstructure loading was obtained from the project data, then analyzed and compared the piling foundation's bearing capacity using the Schmertmann – Nottingham method, the Aoki & De Alencar method, the results of the PDA Test, and the results of the Allpile application.

The result of the calculation of the upper structure is 1431.933 kN. Calculation of the bearing capacity of the pile foundation from sondir data with a depth of 11 m and a side of 0.3 x 0.3 m using the Schmertmann – Nottingham method and the Aoki & De Alencar method obtained a Q_u value of 101.06 Tons for Schmertmann – Nottingham, while for the Aoki & De Alencar Q_u method 84.357 Tons. From the results of the PDA Test Q_u of 134 Tons and from the results of the Allpile application it produces Q_u of 92,320 Tons. From the two results of group carrying capacity, $Q_g > P$. The magnitude of the settlement of the Vesic method for single piles is 0.00538 m, group piles are 0.0155 m and S_{all} is 0.03. So the decrease is said to be Safe because $S < S_{all}$.

Keywords : Carrying Capacity, PDA Test, Allpile, Spun Pile

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan fasilitas umum sedang meningkat pesat. Pembangunan infrastruktur meningkat dengan cepat di berbagai daerah, tidak terkecuali di Kota Depok. Peningkatan penduduk menyebabkan infrastruktur harus selalu ditingkatkan, terutama pada bidang pelayanan Kesehatan. Pembangunan RS Anak Negeri di Kota Depok menjadi salah satu upaya untuk peningkatan pelayanan kesehatan warga terutama di daerah Kota Depok dan mendorong terwujudnya program unggulan Pemerintah Kota Depok yaitu *Smart Healty City*.

RS Anak Negeri merupakan Rumah Sakit Tipe C yang memiliki berbagai fasilitas memadai seperti tersedianya 120 tempat tidur, dan mengandalkan layanan *Critical Care* dengan memfokuskan ruangan *Neonatal Intensive Care Unit* (Nicu), *Pediatric Intensive Care Unit* (Picu), dan *Intensive Care Unit* (ICU) untuk menjangkau masyarakat. Untuk menunjang hal tersebut, proses pembangunan harus dilakukan sebaik mungkin.

Pembangunan Gedung RS Anak Negeri berlokasi di Jl. Keadilan No. 16, RT/RW 004/012, Kelurahan. Rangkapan Jaya Baru, Kecamatan. Pancoran Mas, Depok diatas lahan seluas 2.500 meter persegi dan terdiri dari lima lantai. Pembangunan Gedung RS Anak Negeri tersebut menggunakan pondasi tiang pancang. Pondasi tersebut berperan penting dalam menunjang berdirinya gedung tersebut. Pondasi dirancang untuk menyalurkan beban kedalam tanah.

Setelah tiang pancang dipasang, dilakukan pengujian *pile driving analyzer test* (PDA test). Pengujian PDA test bertujuan agar mendapatkan pandangan tentang daya dukung aksial tiang pancang, integritas dan keutuhan tiang dan pandangan kapasitas energi yang dilirkan ke tiang pancang.

Pada penelitian yang kami lakukan, akan menganalisis mengenai pondasi tiang pancang untuk mengetahui daya dukung tiang secara manual kemudian hasil tersebut akan ditinjau ulang menggunakan hasil pengujian PDA test untuk mencari tahu validasi dari analisa daya dukung pondasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, didapatkan rumusan masalah untuk penelitian ini sebagai berikut:

1. Berapa nilai daya dukung tanah pada lokasi pembangunan Pembangunan Rumah Sakit Anak Negeri Depok menggunakan data sondir (CPT)?
2. Berapa nilai daya dukung tanah yang berada di lokasi pembangunan Pembangunan Rumah Sakit Anak Negeri Depok dari hasil pengujian PDA test ?
3. Berapa perbandingan dari daya dukung pondasi tiang pancang yang diambil dari data sondir (CPT) dengan hasil pengujian dari PDA test ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan oleh perumusan masalah sebelumnya yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai daya dukung tanah pada lokasi Pembangunan Rumah Sakit Anak Negeri Depok menggunakan data sondir (CPT).
2. Mengetahui nilai daya dukung tanah pada lokasi Pembangunan Rumah Sakit Anak Negeri Depok dari hasil pengujian PDA test.
3. Mengetahui perbandingan dari daya dukung pondasi tiang pancang yang diambil dari data sondir (CPT) dengan hasil pengujian dari PDA test.

1.4 Batasan Masalah

Supaya penelitian yang dilakukan sejalan dengan tujuan, maka penelitian ini dibatasi dengan hal – hal sebagai berikut:

1. Data yang dipakai dalam penelitian ini berasal dari proyek Pembangunan Rumah Sakit Anak Negeri Depok.
2. Data yang dipakai berupa data sondir (CPT) serta dari hasil pengujian PDA test.
3. Untuk perbandingan daya dukung tiang pancang menggunakan metode Schmertmann dengan Aoki & De Alencar dan akan ditinjau ulang dari hasil pengujian PDA test.

1.5 Sistematika Penulisan

Pada proses menyusun laporan penelitian Tugas Akhir ini, terbagi dalam 5 bab yang mencakup :

BAB I : PENDAHULUAN

Memuat tentang pendahuluan penulisan yang mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, Batasan masalah, dan sistematika penulisan Tugas akhir.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Memuat perihal teori & uraian secara umum mengenai pembahasan Tugas Akhir yang didapat dari buku literatur, buku ilmiah, laporan penelitian sebelumnya dari web

BAB III : METODOLOGI

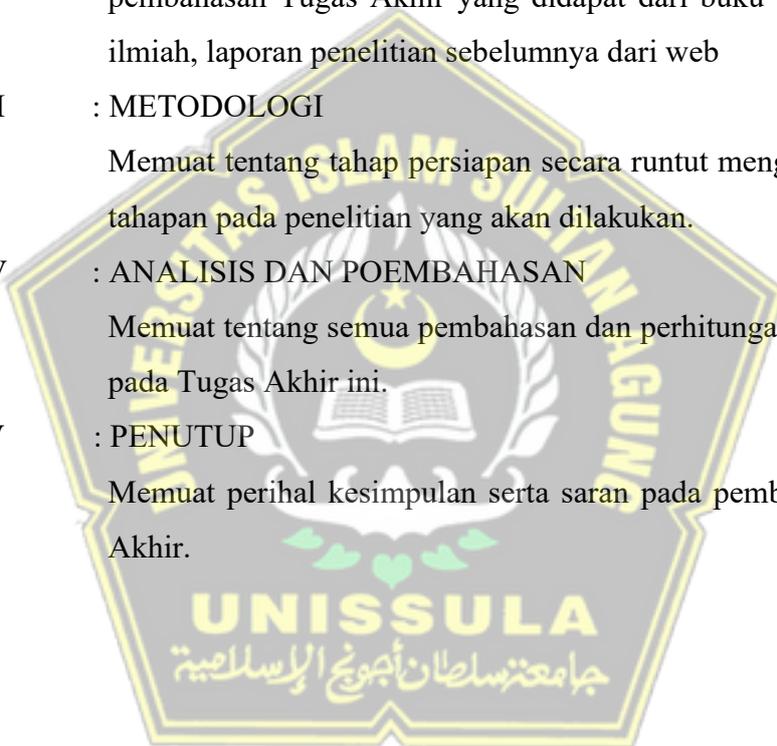
Memuat tentang tahap persiapan secara runtut mengenai tahapan-tahapan pada penelitian yang akan dilakukan.

BAB IV : ANALISIS DAN POEMBAHASAN

Memuat tentang semua pembahasan dan perhitungan perencanaan pada Tugas Akhir ini.

BAB V : PENUTUP

Memuat perihal kesimpulan serta saran pada pembahasan Tugas Akhir.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Tanah

Tanah merupakan lapisan permukaan bumi yang berbentuk kumpulan mineral, material organik dan endapan-endapan yang tersedimentasi (terikat dengan proses kimiawi) antara lain disertai gas dan zat cair yang mengisi celah-celah kosong antara partikel padat tersebut.

Tanah merupakan kumpulan partikel mineral yang ikatan molekulnya lemah, kemudian terbentuk karena daya tahan batuan. Hubungan yang lemah antara partikel tanah adalah karena adanya bahan alami atau karena adanya karbonat dan oksida yang meningkat di antara partikel.

Proses pembentukan fisik tanah yang dimulai dari batuan menjadi partikel-partikel kecil dipengaruhi oleh manusia, air, es, cuaca atau suhu. Pembentukan tanah melalui proses kimiawi terjadi karena pengaruh O₂, CO₂, H₂O (yang mengandung asam atau basa).

Menurut Hardiyatmo (1996), tanah dapat diartikan sebagai mineral, bahan organik, dan endapan yang relatif kendur di atas batuan dasar.

Menurut Das (1991), material yang dikenal sebagai tanah terdiri dari butiran (agregat) dan berbagai mineral padat yang mengalami proses yang dikenal sebagai sedimentasi (terikat secara kimia), dan dari bahan organik yang membusuk (yang memiliki partikel padat), bersamaan dengan cairan dan gas yang masuk ke ruang yang dibiarkan terbuka di antara partikel padat..

2.2 Klasifikasi Tanah

Tanah yang telah diklasifikasikan dapat dipergunakan untuk observasi di lapangan dan pengujian lapangan sederhana. Untuk memperoleh hasil klasifikasi yang tidak subjektif, berfungsi untuk mendapatkan gambaran sekilas mengenai survey, perencanaan, dan pelaksanaan berbagai jenis pekerjaan yang berhubungan dengan kondisi tanah. Pada dasarnya tanah terdiri dari dua golongan utama, berupa

gradasi butirannya yaitu tanah berbutir halus dan berbutir kasar. Berdasarkan keragaman gradasinya, dapat dikategorikan menjadi tiga yaitu, gradasi senjang (gap graded/ poor graded) dimana ukuran butiran tidak merata, gradasi seragam (uniform graded) ukuran butiran relatif sama, dan gradasi baik/rapat (well graded/ dense graded) ukuran butiran yang saling melengkapi. Tanah dikategorikan baik jika memiliki gradasi yang baik, dimana partikel tanah dapat mengisi & menutup rongga sehingga menimbulkan ikatan yang banyak dan kuat antar partikel.

Tanah berbutir halus berupa tanah lempung (clay disimbolkan dengan C) dengan ukuran butiran $<0,002$ mm dan lanau (silt disimbolkan M) berdiameter sekitar 0,06-0,002 mm, sedangkan untuk tanah berbutir kasar perbedaan yang lebih detail dikategorikan menurut ukuran partikel. Pasir (sand disimbolkan S) apabila diameter butiran berkisar 2 - 0,6 mm adalah pasir kasar, diameter antara 0,6 - 0,2 mm adalah pasir sedang, dan pasir halus jika diameter berkisar 0,2-0,06 mm. Kerikil (gravel disimbolkan G) yang berdiameter >2 mm (Das 1995). Berikut tampilan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Batas Ukuran Tanah Sesuai Kategorinya

Nama Golongan	Kerikil	Ukuran Butiran (mm)		
		Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	> 2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	$< 0,002$
U.S. Department of Agriculture (USDA)	> 2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	$< 0,002$
American Association of and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 – 2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	$< 0,002$
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corp of Engineers and U.S. Bureau of Reclamation)	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	Halus (Yaitu lanau dan lempung $< 0,0075$)	

Sumber : (Das, 1995)

Klasifikasi tanah berdasarkan kerekatannya dapat digolongkan menjadi dua bagian, yaitu tanah kohesif (tanah lempung) dan tanah non-kohesif. Tanah kohesif merupakan tanah memiliki sifat kerekatan antar butiran seperti tanah lempung. Tanah lempung (*clays*) mengandung partikel mikroskopis dan submikroskopis

(tidak bisa diamati secara tepat dengan mikroskop biasa) berupa lempengan-lempengan datar dan partikel dari mika, mineral lempung (*clay* minerals), dan mineral halus lainnya (Pratikso, 2017). Tanah non-kohefif adalah tanah yang pada dasarnya memiliki sedikit lempung, seperti pasir, atau memiliki sedikit atau tidak ada daya rekat antar butir.

2.2.1 Klasifikasi Tanah Dengan *Cone Penetration Test* / Sondir (CPT)

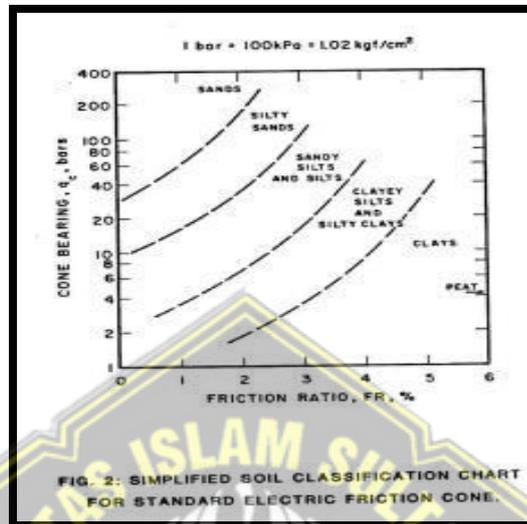
Temuan pengujian lapangan, meliputi manometer pada interval 20 cm hingga kedalaman ujung kerucut (q_c), serta pembacaan awal tahanan geser ($q_c + f_s$) untuk diaplikasikan dalam mengidentifikasi kualifikasi tanah yang ditunjukkan seperti Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Tanah dengan Data Sondir

Hasil Sondir		Klasifikasi
q_c (kg/cm^2)	F_s (kg/cm^2)	
6,0	0,15-0,40	Humus, lempung sangati lunak
6,0-10,0	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,20-0,60	Lempung lembek, lempungi Kelanauan lembek
10,0-30,0	0,10	Kerikil lepas
	0,10-0,40	Pasir lepas
	0,80-2,00	Lempung agaki kenyal
30-60	1,50	Pasir kelanauan, pasiri agak padat
	1,0-3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
60-150	1,0	Kerikil kepasiran lepas
	1,0-3,0	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung Padat dan lempung kelanauan
	3,0	Lempung kekerikilan kenyal
150-300	1,0-2,0	Pasir padat, pasir kekerikilan, dan pasir kasar

Sumber : (Das, 1998)

Ikatan antara tekanan konus (q_c) & tahanan geser (f_s) digambarkan secara grafis pada gambar di bawah dan dapat dijadikan acuan untuk mengidentifikasi kategori tanah.



Gambar 2. 1 Grafik Hubungan (q_c) dengan (f_s) (Das,1998)

Duch Cone Penetrometer Test (CPT), sering dikenal sebagai instrumen sondir, adalah alat analisis tanah yang tidak kompleks, terjangkau, praktis, dan sering dipergunakan di Indonesia. Tekanan berbentuk kerucut dengan atau tanpa hambatan gesek disediakan oleh instrumen sondir, yang dapat dikaitkan dengan sifat-sifat tanah seperti kekuatan geser tak terdrainase dan kompresibilitas tanah serta untuk menentukan jenis lapisan tanah.

Tujuan pengujian sondir :

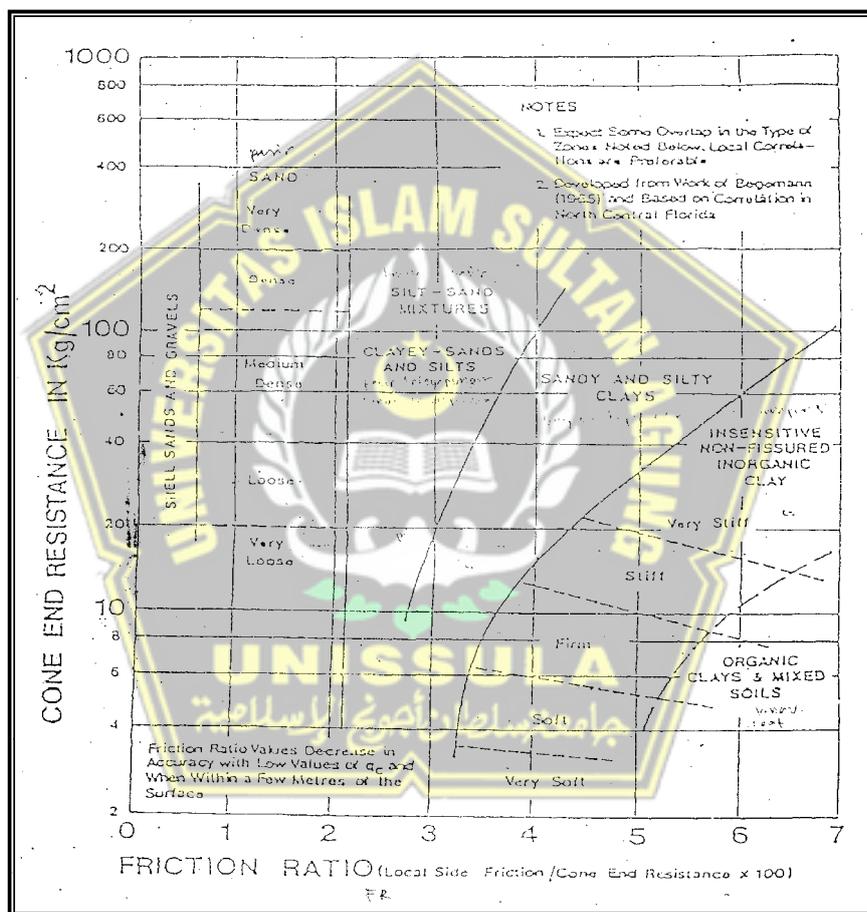
- Mengidentifikasi, mengklasifikasikan lapisan tanah, dan mengetahui kekuatan lapisan tanah.
- Mengontrol pemadatan pada tanah timbunan.
- Merencanakan pondasi beserta penurunannya.
- Merencanakan stabilisasi lereng baik timbunan/galian.

Hasil dari pengujian sondir (q_c , f_c , JHP, FR) dapat dikorelasikan :

- Konsistensi.
- Kuat geser tanah (C_u)
- Parameter konsolidasi (C_c dan M_v)

- *Relative Density* (D_r)
- Elastisitas tanah
- Daya dukung pada pondasi
- *Settlement*

Jenis tanah dapat dihubungkan dari nilai q_c dan FR. Grafik menunjukkan hubungan antara Conus Pressure (q_c), Friction Ratio (FR), dan jenis tanah (Schmertmann, 1969), dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Grafik hubungan antara (FR), (q_c) serta jenis tanah (Schmertmann, 1969)

Konsistensi lempung dalam suatu lapisan tanah dapat ditentukan dari nilai q_c .

Tabel 2. 3 Hubungan antara konsistensi dengan tekanan konus (Begemann, 1965)

Konsistensi	Tekanan konus Qc (kg/cm²)	Undrained Cohesion (T/m²)
<i>Very soft</i>	< 2.5	< 1.25
<i>Soft</i>	2.5 - 5.0	1.25 – 2.50
<i>Medium Stiff</i>	5.0 – 10.0	2.50 – 5.00
<i>Stiff</i>	10.0 – 20.0	5.00 – 10.00
<i>Very stiff</i>	20.0 – 40.0	10.00 – 20.00
<i>Hard</i>	> 40.0	> 20.00

Sumber : (Begemann, 1965)

Tabel 2. 4 Hubungan antara kepadatan, relative density, nilai N, qc dan Ø (Begemann, 1965)

Kepadatan	Relative Density (Dr)	Nilai N	Tekanan konus qc (kg/cm²)	Sudut geser dalam (Ø°)
<i>Very loose</i>	< 0.2	< 4	< 20	< 30
<i>Loose</i>	0.2 – 0.4	4 – 10	20 – 40	30 – 35
<i>Medium dense</i>	0.4 – 0.6	10 – 30	40 – 120	35 – 40
<i>Dense</i>	0.6 – 0.8	30 – 50	120 – 200	40 – 45
<i>Very dense</i>	0.8 – 1.0	> 50	> 200	> 45

Sumber : (Begemann, 1965)

2.3 Parameter Tanah

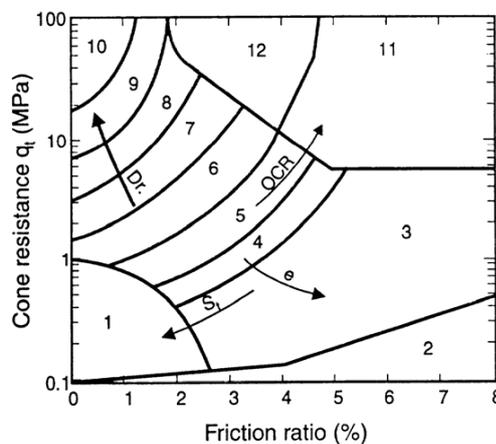
Sifat fisik dan mekanik tanah merupakan salah satu kriteria pembeda yang diperlukan untuk mengetahui kemampuan tanah dalam mendukung struktur atas suatu bangunan. Pasir secara alami memiliki ketahanan kerucut yang lebih tinggi daripada tanah liat, dan sebaliknya untuk rasio gesekan (f_r), yang lebih rendah di pasir dan lebih tinggi di tanah liat. Data sondir dapat digunakan untuk menentukan sifat mekanik suatu tanah atau jenis tanah (*Soil Behavior Type, SBT*), seperti kekuatan, kekakuan, dan kompresibilitas. Berikut adalah beberapa ilustrasi teknik

interpretasi data CPT untuk parameter tanah yang diusulkan dan dimodifikasi oleh (Robertson, 1990) pada tahun 2010 :

- a. Klasifikasi Tanah
- b. Dilihat dari grafik berdasarkan hasil tahanan kerucut dan gesekan selongsong, dapat dilakukan identifikasi lapisan dan jenis tanah dengan menggunakan uji CPT di lapangan. Schmertmann (1978) dan Douglas bersama Olsen (1981) menerbitkan grafik pertama untuk mengetahui klasifikasi tanah dengan menggunakan nilai dari tahanan kerucut (q_c) serta rasio gesekan ($Fr = (f_s/q_c) \times 100\%$), tetapi (Robertson et al, 1986) Robertson et Al. Grafik (1986) lebih sering digunakan daripada grafik lainnya (Long, 2008 dalam Robertson, 2010).

Dua belas jenis tanah terdaftar pada grafik Robertson pada tahun 1986 (lihat Gambar 2.3), namun dengan menggunakan karakteristik yang dinormalisasi, hanya sembilan jenis tanah yang dimasukkan pada tahun 1990. Mengingat hal ini, dimungkinkan untuk menerapkan grafik ini di lapangan dengan memanfaatkan grafik zona jenis tanah q_t - Fr (Robertson et al, 1986) (lihat Tabel 2.5).

Deskripsi tanah lebih akurat bila menggunakan grafik Robertson dengan parameter yang dinormalisasi karena lebih mirip dengan keadaan sebenarnya. Jenis tanah yang akan ditentukan oleh karakteristik yang tidak dinormalisasi, bagaimanapun, biasanya memiliki variasi yang dapat diabaikan dari yang dinormalisasi ketika tegangan efektif vertikal di sebuah area mempunyai parameter nilai dari 50 kPa hingga 150 kPa.



Gambar 2.3 Zona pada tipe tanah q_t - Fr (Robertson et al, 1986)

Grafik untuk *Soil Behaviour Type* awal (Jenis Perilaku Tanah) didasarkan pada resistensi kerucut, q_t (atau q_c) pada skala log terhadap rasio gesekan (F_r) pada skala normal (Robertson et al, 1986). Gambar 2 memperbaharui grafik dengan resistansi kerucut tak berdimensi (q_c/p_a), p_a adalah tekanan atmosfer (1 bar = 100 kPa = 0,1 MPa) dan F_r adalah fraksi, dari kedua grafik menggunakan skala log untuk memperbesar bagian pada F_r 1%. Pada awalnya grafik terdiri dari 12 zona tipe tanah (Robertson et al, 1986). Untuk menyelaraskan dengan grafik terbaru jumlah kategori tanah telah diubah atau dikurangi menjadi 9 (Robertson, 1990)

Tabel 2. 5 Zona tipe tanah q_t - F_r

Zone	Soil Behaviour
1	<i>Sensitive Fine Grained</i>
2	<i>Organic Material</i>
3	<i>Clay</i>
4	<i>Silty Clay to Clay</i>
5	<i>Clayey Silt to Silty Clay</i>
6	<i>Sandy Silt to Clayey Silt</i>
7	<i>Silty Sand to Sandy Silt</i>
8	<i>Sand to Silty Sand</i>
9	<i>Sand</i>
10	<i>Gravelly Sand</i>
11	<i>Very Stiff Fine Grained</i>
12	<i>Sand to Clayey Sand</i>

Sumber : (Robertson et al, 1986)

Tabel 2. 6 Revisi zona pada tipe tanah parameter CPT ternormalisasi dengan overconsolidated(*)

Zone	Soil Behaviour
1	<i>Sensitive Fine Grained</i>
2	<i>Organic Material</i>
3	<i>Clay</i>
4	<i>Silty Clay to Clay</i>
5	<i>Clayey Silt to Silty Clay</i>
6	<i>Sandy Silt to Clayey Silt</i>
7	<i>Silty Sand to Sandy Silt</i>
8	<i>Sand to Silty Sand</i>
9	<i>Sand</i>
10	<i>Gravelly Sand</i>
11	<i>Very Stiff Fine Grained*</i>
12	<i>Sand to Clayey Sand*</i>

Sumber : (Robertson et al, 1986)

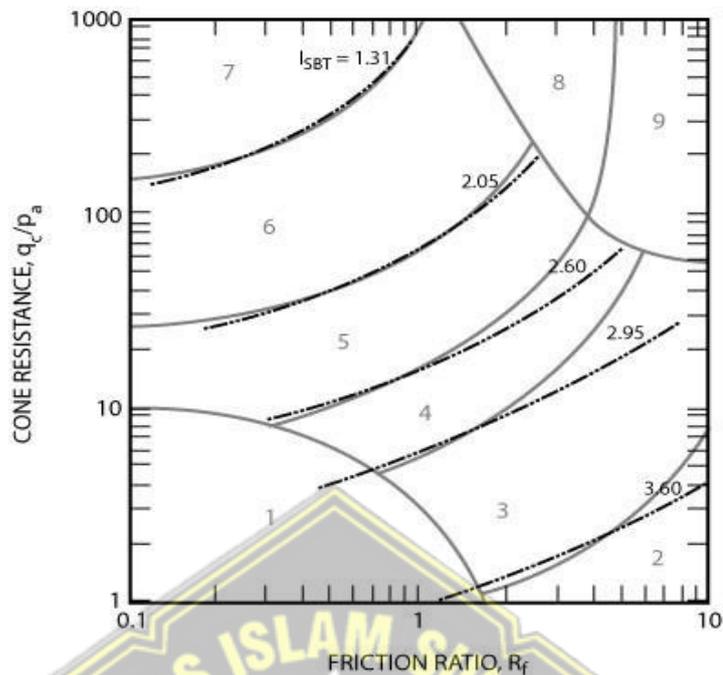
Menurut (Jefferies dan Davies 1993), indeks jenis tanah, I_c , yang merupakan jari-jari lingkaran konsentris yang menggambarkan limit jenis tanah pada grafik, dapat merepresentasikan zona tanah pada grafik yang dinormalisasi. Konsep I_c diubah oleh Robertson dan Wride, (1998) agar sesuai dengan grafik (Robertson, 1990).

Q_t - F_r . Batas tanah muncul sebagai cincin konsentris dalam grafik SBT yang tidak dinormalisasi ketika ditampilkan pada skala \log - \log (Gambar 2). Dimungkinkan untuk menentukan indeks jenis tanah yang tidak dinormalisasi (ISBT) sebagai berikut:

$$ISBT = [(3.47 - \log(q_c/p_a))^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^{0.5} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- q_c = CPT cone resistance (or corrected coneresistance, qt)
- F_r = friction ratio = $(f_s/q_c) \times 100\%$
- f_s = CPT sleeve friction



Gambar 2. 4 Zona pada tipe tanah q_c/P_a - R_f (Robertson, 1990)

Sebagian besar perkiraan dalam referensi dilandaskan atas korelasi antara q_c dan N-SPT (penjumlahan tumbukan dalam uji penetrasi). Nilai q_c dianggap lebih andal dibandingkan f_s . Pada studi terupdate, enam belas titik lokasi pengujian ditempat berbeda dinilai untuk menentukan nilai q_c yang akan diperoleh dibandingkan dengan tren N (Jarushi, Fauzi, S. AlKaabim, 2015) Enam belas lokasi menghasilkan lima jenis tanah yang lazim berikut ini:

1. Pasir lembut (SP)
2. Pasir lembut lanauan (SM)
3. Pasir lembut lempungan (SC)
4. Pasir lembut lempung lanauan SM / SC, dan
5. Pasir lembut dan lanau (SP-SM).

Bentuk tanah lainnya, termasuk lempung (CH dan CL) tidak umum dan andai kata ada, hanya ada sebagai lapisan tipis. Data ini dengan demikian akan memberikan korelasi yang lemah. Semua kedalaman pemeraman CPT dan keseluruhan kedalaman galian SPT berkorelasi (Tabel 2.7).

Tabel 2. 7 Zona pada tipe tanah qc/Pa-Fr

Zone	Soil Behaviour
1	<i>Sensitive Fine Grained</i>
2	<i>Clay - Organic Soil</i>
3	<i>Clays : clay to silty clay</i>
4	<i>Silty Mixtures : clayey silt & silty clay</i>
5	<i>Silty Mixtures :silty sand to sandy silt</i>
6	<i>Sands : clean sands to silty sands</i>
7	<i>Dense Sand to Gravelly Sand</i>
8	<i>Stiff Sand to Clayey Sand*</i>
9	<i>Stiff Sand-Grained*</i>

Sumber : (Robertson, 1990)

Tabel 2. 8 Korelasi hasil CPT-SPT berdasarkan jenis tanah

Soil Description (USCS)	Correlation Equation		Correlation Coefficient R ²	
	Linear	Power	Linear	Power
Silty Fine Sand (SM)	$q_c = 0.12N + 5.0$	$q_c = 4.4N^{0.16}$	0.35	0.12
Fine Sand (SP)	$q_c = 0.291N + 2.43$	$q_c = 2.6N^{0.42}$	0.60	0.28
Fine Sand with Silt (SP-SM)	$q_c = 0.15N + 7.2$	$q_c = 5.6N^{0.14}$	0.11	0.02
Clayey Fine Sand (SC)	$q_c = 0.06N + 5.7$	$q_c = 4.1N^{0.17}$	0.09	0.12
Silty Clayey Fine Sand (SM/SC)	$q_c = 0.22N + 2.6$	$q_c = 0.95N^{0.64}$	0.37	0.50

Sumber : (Robertson,1990)

c. Berat Volume Tanah

Partikel, air, dan udara membentuk dua atau tiga konstituen yang membentuk bahan tanah. Butiran dan air adalah dua komponen yang ada di tanah jenuh, sedangkan butiran dan udara adalah dua komponen yang ada di tanah kering. Partikel, air, dan udara adalah tiga komponen tanah tak jenuh. Tiga komponen tanah yaitu butiran, air, dan udara, masing-masing mempunyai berat dan volume. Rasio berat partikel tanah (termasuk air dan

udara) terhadap volume total tanah dikenal sebagai berat satuan tanah. Persamaan berikut digunakan dalam analisis CPT untuk menghitung nilai berat satuan tanah:

$$\gamma/\gamma_w = 0,27 \log R_f + 0,36 \log \left(\frac{q_t}{p_a} \right) + 1,236 \dots\dots\dots (2.2)$$

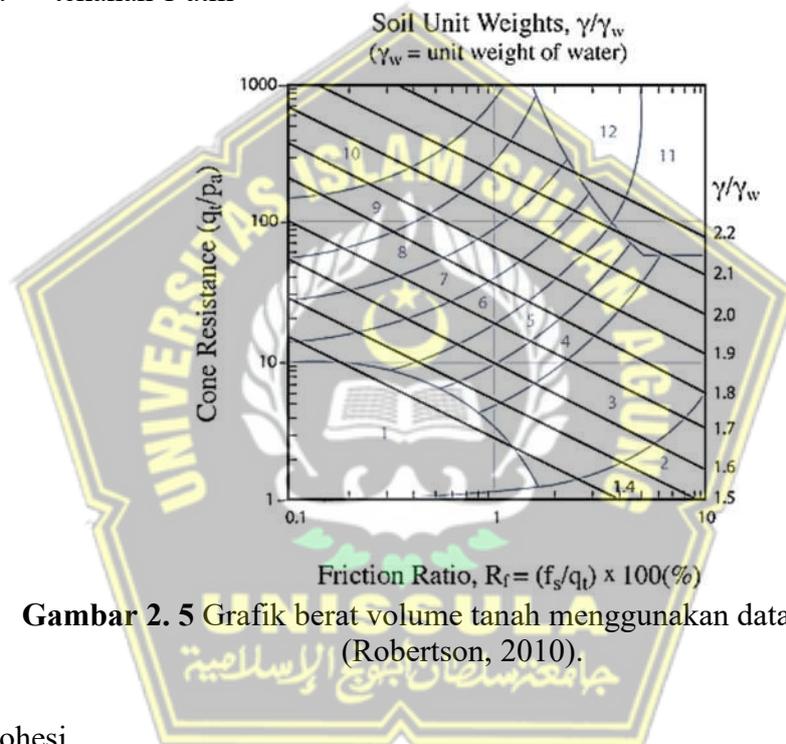
dimana :

R_f = rasio untuk gesekan = (f_s/q_t) 100%

γ_w = berat volume air

q_t = nilai konus terkoreksi

p_a = tekanan 1 atm



Gambar 2.5 Grafik berat volume tanah menggunakan data CPT (Robertson, 2010).

d. Kohesi

Kohesi merupakan keahlian butiran tanah untuk menarik satu sama lain. berdasarkan anggapan bahwa tanah lempung tidak terdrainase.

$$s_u = c_u \dots\dots\dots (2.3)$$

Persamaan berikut mengilustrasikan hubungan antara resistansi s_u dan konus:

$$c_u = \frac{q_c}{N_c} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

$N_c = 14$

q_c = nilai konus

e. Sudut Geser

Hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal pada bahan tanah menghasilkan suatu sudut yang dikenal dengan sudut geser. Bahan lebih tahan terhadap gaya eksternal yang diterapkan padanya semakin besar sudut geser pada material. Korelasi berikut diusulkan oleh Robertson dan Campanella (1983) untuk menghitung sudut geser puncak:

$$\tan\phi' = \frac{1}{2,68} \left[\log \left(\frac{q_c}{\sigma'_{vo}} \right) + 0,29 \right] \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

q_c = nilai konus

σ'_{vo} = tegangan vertikal efektif

f. Permeabilitas

Hasil penilaian grafik CPT dapat digunakan untuk menentukan nilai parameter permeabilitas metode.

Tabel 2. 9 Nilai Perkiraan Permeabilitas

SBT Zone	SBT	Range of k (m/s)	SBT I_c
1	Sensitive fine-grained	3×10^{-10} to 3×10^{-8}	NA
2	Organic soils - clay	1×10^{-10} to 1×10^{-8}	$I_c > 3.60$
3	Clay	1×10^{-10} to 1×10^{-9}	$2.95 < I_c < 3.60$
4	Silt mixture	3×10^{-9} to 1×10^{-7}	$2.60 < I_c < 2.95$
5	Sand mixture	1×10^{-7} to 1×10^{-5}	$2.05 < I_c < 2.60$
6	Sand	1×10^{-5} to 1×10^{-3}	$1.31 < I_c < 2.05$
7	Dense sand to gravelly sand	1×10^{-3} to 1	$I_c < 1.31$
8	*Very dense/ stiff soil	1×10^{-8} to 1×10^{-3}	NA
9	*Very stiff fine-grained soil	1×10^{-9} to 1×10^{-1}	NA

**Overconsolidated and/or cemented*

Sumber : (Robertson, 2010)

Persamaan berikut merangkum hubungan antara permeabilitas tanah (k) dan SBT I_c pada Tabel 2.10:

Tabel 2. 10 Persamaan permeabilitas tanah

Permeabilitas tanah, (<i>m/detik</i>)	Keterangan
$k = 10^{(0,952 - 3,04Ic)}$	$1 < Ic < 3,27$
$k = 10^{(-4,52 - 1,37Ic)}$	$3,27 < Ic < 4,00$

g. Poisson's Ratio

Poisson's ratio adalah komparasi dari laju perubahan regangan pada arah aksial dengan laju pertambahan regangan pada arah lateral.

Tabel 2. 11 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson's Ratio

Jenis Tanah	<i>Poisson's Ratio</i> (μ)
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir	0,1 – 1,0
Batuan	0,1 – 0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3 – 0,4

Sumber: (Das, 1988)

2.4 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan langkah permulaan pada proses konstruksi, seperti dalam halnya perencanaan desain konstruksi, pondasi, maupun perencanaan struktur. Secara umum, tujuan penyelidikan tanah adalah untuk mengumpulkan informasi teknis tentang tanah, juga dikenal sebagai parameter tanah, yang menjelaskan kondisi tanah khusus untuk lokasi bangunan dan akan dipakai untuk kriteria perencanaan.

Investigasi tanah atau *soil investigation* merupakan kegiatan pengambilan contoh tanah yang dimanfaatkan untuk meneliti keadaan sifat tanah. Untuk merencanakan pondasi, sangat wajib untuk teknisi memahami karakteristik setiap

Pengambilan sampel tanah untuk tujuan pemeriksaan sifat-sifat tanah disebut penyelidikan tanah. Fitur dari setiap lapisan tanah, seperti berat satuan tanah, daya dukung, atau kapasitas penyerapan, serta ketinggian air tanah, sangat penting untuk dipahami oleh spesialis saat merancang pondasi. Oleh karena itu, sebelum menentukan apakah nantinya memakai pondasi dangkal atau pondasi dalam, harus dilakukan analisis tanah (Bowles, 1991)

Aspek-aspek yang diharapkan setelah investigasi tanah :

- a. Tipe serta profil pada batuan atau lapisan tanah dapat divisualisasi serta detail.
- b. Dalamnya tanah keras (*dense soil/hard*) serta kapasitas dukung tanah.
- c. Level muka air tanah (*ground water level*).
- d. Data Indeks Properti dan *Engineering Properties*.
- e. Analisis teknik yang dapat membuat rekomendasi rancangan untuk kategori pemakaian pondasi, meliputi daya dukung pondasi dalam, daya dukung pondasi dangkal dan *settlement*.
- f. Menghitung tekanan tanah yang bekerja pada dinding penahan tanah atau pangkal jembatan (*abutment*).
- g. Analisis teknis yang menghasilkan saran rancangan penimbunan/pemadatan.
- h. Ketika struktur menjadi subjek penelitian yang dilakukan sebelumnya, perhatikan faktor keamanannya.
- i. Analisis tanah membantu menentukan lokasi saluran, gorong-gorong, penentuan lokasi, dan jenis bahan timbunan dalam pembangunan jalan raya dan irigasi.

Pengujian Penetrasi Standar (SPT), Tes Penetrometer Kerucut (CPT), log bor, dan pengujian laboratorium adalah beberapa contoh dari jenis penyelidikan lapangan. Sebagai konsekuensi dari penyelidikan tanah ini, diambil dua jenis contoh tanah, yaitu:

- a. Contoh tanah yang tidak terganggu (*Undisturbed Soil*)

Jika sampel tanah menampilkan karakteristik asli tanah, maka dianggap tidak terganggu. Tanahnya masih asli karena struktur, kandungan air, dan susunan kimiawinya tidak berubah. Sampel tanah seperti itu tidak mungkin didapat, tetapi kerusakan pada sampel tanah dapat diminimalkan dengan menggunakan pendekatan implementasi yang tepat. Untuk percobaan kualitas rekayasa tanah,

digunakan tanah yang tidak tersentuh. Dalam Bowles (1991),

b. Contoh tanah terganggu (*Disturbed Soil*)

Sampel tanah yang terganggu merupakan sampel yang diperoleh tidak dengan tindakan pencegahan khusus untuk melestarikan struktur alami tanah. Kualitas indeks tanah diuji menggunakan *disturbed soil* (Bowles 1991)

Cone Penetration Test (Sondir Test)

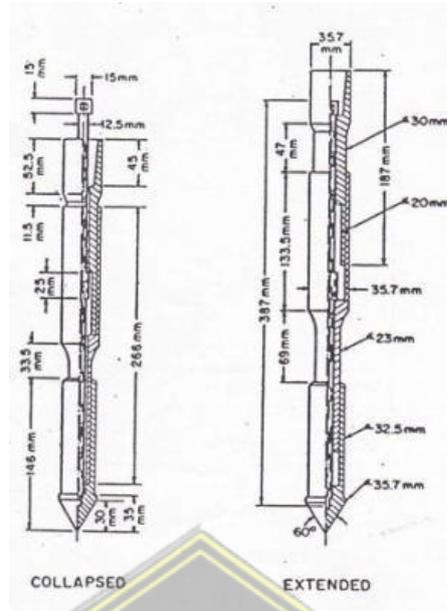
Pengujian Sondir, juga dikenal sebagai CPT, melibatkan batang tusuk ke tanah menggunakan kecepatan konstan sebesar 2 cm/detik dengan ujung berbentuk kerucut dengan luas ujung 10 cm² dan sudut 60°. Pembacaan manometer alat CPT memungkinkan pengukuran kekuatan tanah pada kedalaman tertentu. Dalam ASTM D 3441-75T, standar pahat yang dapat diterima ditentukan (Rahardjo, 2013)

Dari daya kemampuannya, alat CPT terbagi menjadi :

- a. CPT ringan, kapasitas sebesar 0-250 kg/cm² pada kedalaman 30 m
- b. CPT berat, kapasitas sebesar 0-600 kg/cm² pada kedalaman 50 m

CPT diklasifikasikan menjadi dua kategori menurut jenis alatnya, yaitu :

1. CPT mekanis,
menghasilkan angka untuk gesekan selimut (fs) dan tahanan ujung (qc) sesuai dengan ASTM D3441.
2. CPT elektrik,
Menghasilkan gesekan selimut (fs), nilai tahanan ujung (qc), dan tekanan air pori (u) sesuai ASTM D5778.



Gambar 2. 6 Bentuk ujung konus sondir mekanis dan sondir elektrik (Rahardjo, 2013)

Secara manual dan bertahap, pembacaan alat sondir meliputi pembacaan hasil pengukuran kedua (pembacaan manometer), kemudian dikurangi hasil nilai pengukuran pertama (pembacaan manometer). Bila pengukuran manometer melebihi $> 250 \text{ kg/cm}^2$ (untuk peralatan ringan) tiga kali berturut-turut, pembacaan alat sondir akan terhenti.

Nilai tahanan total (JP) dan nilai tahanan kerucut (PK) ditentukan dari hasil uji CPT ini, sehingga tahanan ikatan (HL) dapat dihitung dengan rumus berikut.

1. Hambatan Lekat (HL)

$$HL = (JP - PK) \times \frac{A}{B} \dots\dots\dots (2.6)$$

2. Jumlah Hambatan Lekat (JHL)

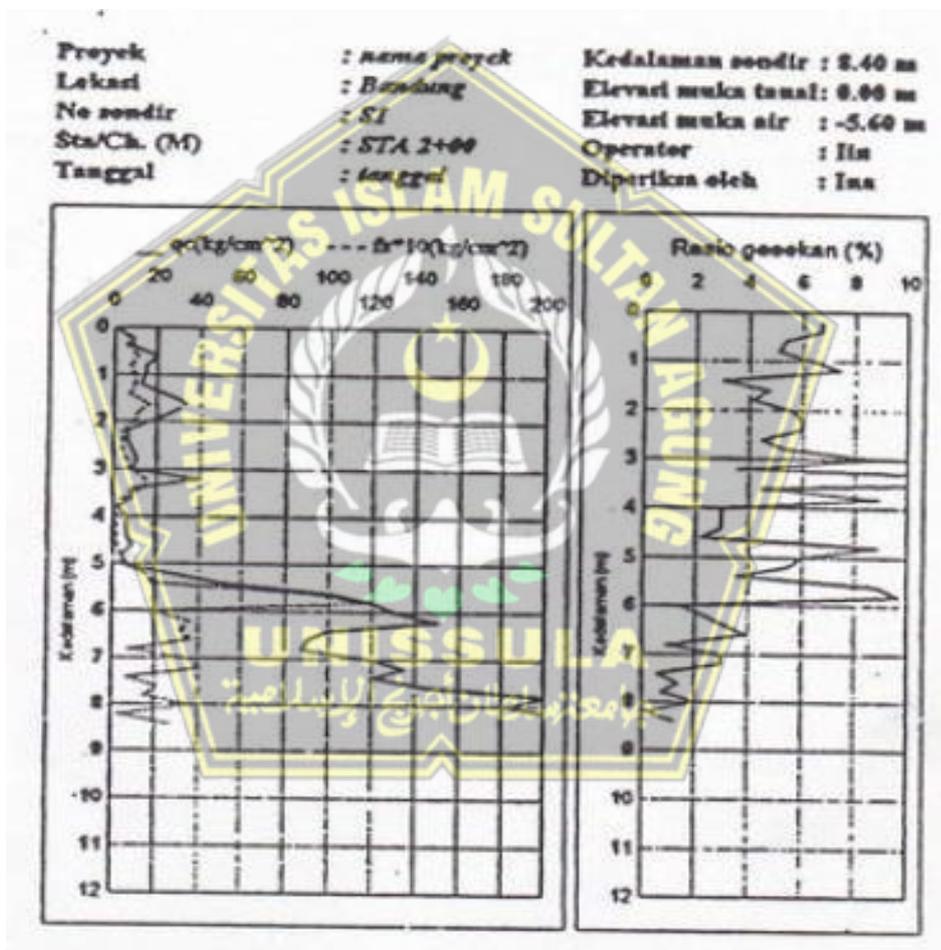
$$JHL_i = \sum_0^i HL \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

- PK = Perlawanan penetrasi konus (qc) (kg/cm²)
- JP = Jumlah perlawanan (perlawanan ujung konus + selimut)
- A = Interval pembacaan (setiap pembacaan 20 cm)

- B = Faktor alat = luas konus = 100 mm
- i = Dalamnya tanah yang diteliti (m)
- JHL = Jumlah Hambatan Lekat (kg/cm)

Dari penelitian menggunakan uji sondir direpresentasikan secara grafis yang menunjukkan hubungan antara ketebalan setiap lapisan tanah dan ketahanan tanah terhadap ujung kerucut yang diperjelas pada gaya per satuan luas. Dalam hal gaya per satuan panjang, ketahanan rekat adalah ketahanan geser tanah terhadap selubung biconus.



Gambar 2. 7 Cara Pelaporan Hasil Uji CPT (Rahardjo, 2013)

Tabel 2. 12 Harga – Harga Empiris ϕ dan Dr Pasir dan Lumpur Kasar Berdasarkan CPT

Penetrasi Konus PK = q_c (kg/cm ²)	Densitas Relatif Dr (%)	Sudut Geser Dalam(°)
20	-	25 – 30
20 – 40	20 – 40	30 – 35
40 – 120	40 – 60	35 – 40
120 – 200	60 – 80	40 – 45
>200	>80	>45

Sumber : (Hardiyatmo, 1996)

2.5 Pondasi

Konstruksi bangunan paling bawah, yaitu pondasi, berperan penting untuk mendistribusikan berat bangunan atas ke tanah atau batuan di bawahnya (Setyanto, 1999). Tujuan pondasi adalah untuk mendirikan struktur dan memindahkan beban bangunan atas ke dasar tanah dengan daya dukung yang sudah diperhitungkan kekuatannya. (Gunawan, 1990).

Kesimpulan: Pondasi merupakan bagian dari struktur bawah dari sebuah konstruksi yang memiliki fungsi untuk menyalurkan beban atau berat bangunan dari struktur paling atas hingga lapisan tanah di bawah pondasi tanpa membuat kondisi pondasi melemah.

Pondasi memiliki beberapa tipe sesuai dengan fungsinya dilapangan yaitu pondasi dangkal, pondasi sedang, dan pondasi dalam.

a. Pondasi Dangkal

Karena pondasi yang diperoleh cukup stabil, pondasi dangkal merupakan pondasi yang tidak digali terlalu dalam. Karena tujuan utamanya untuk menyalurkan beban ke dalam lapisan bumi, maka pondasinya adalah tempat yang paling kuat. Kedalaman pondasi dangkal yaitu kurang dari atau sama dengan lebar pondasi (D B) Pada tahun 1940, Terzaghi Ada lima kategori untuk pondasi dangkal:

- Pondasi setempat (single footing)

Dalam konstruksi bangunan kayu yang terletak di lokasi berawa, pondasi ini digunakan pada dasar struktur kolom.

- Pondasi menerus (*Continous fouting*)

Karena penggunaannya dalam konstruksi satu lantai, batu kali (juga dikenal

sebagai batu split) sering disebut sebagai fondasi. Struktur pada pondasi ini berfungsi sebagai sarana untuk meratakan berat bangunan dinding ke tanah.

- **Pondasi Telapak**

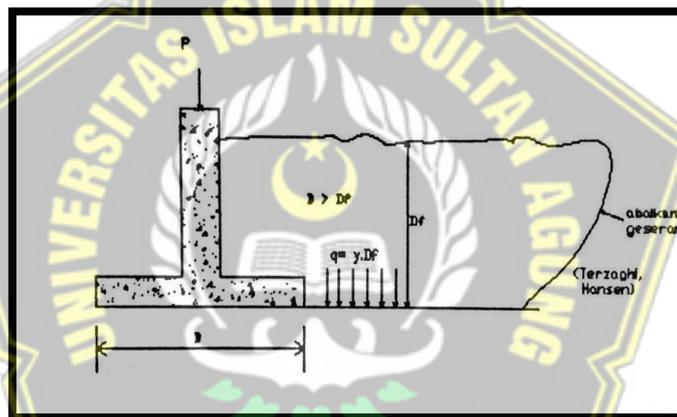
Pondasi ini diterapkan dalam berbagai daya dukung, termasuk yang berasal dari beban titik tunggal yang terlihat pada kolom struktural.

- **Pondasi Rakit**

Tanah lunak diakomodasi oleh susunan kolom-kolom pondasi rakit ini yang berjarak merata ke segala arah.

- **Pondasi Sarang Laba-Laba**

Pondasi dibentuk dengan menyatukan beberapa pondasi beton datar yang semakin ditingkatkan dengan kondisi tanah yang buruk untuk membuat komposit beton bertulang. Gambar 2.8 menggambarkan pondasi dangkal.



Gambar 2. 8 Pondasi Dangkal (Terzaghi,1940)

b. Pondasi Sedang

Tujuan pondasi sedang yaitu untuk mendistribusikan beban konstruksi ke lapisan tanah yang tebal atau keras antara kedalaman tanah yang dangkal dan dalam, digunakan pondasi sedang. Jika pondasi tiang pancang tidak dapat digunakan, maka pondasi tersebut digunakan, karena tidak menimbulkan getaran yang dapat mempengaruhi stabilitas bangunan di sekitarnya.

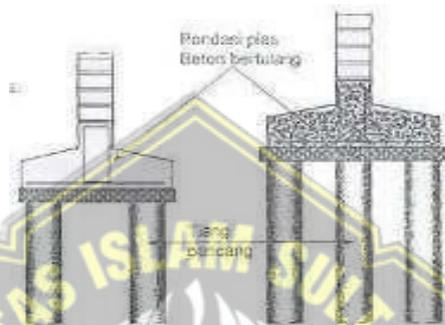
c. Pondasi Dalam

Pada saat kondisi tanah keras berada di bawah tanah yang relatif dalam, sebuah pondasi yang disebut sebagai "pondasi dalam" ditentukan, dimulai dari atas

permukaan bumi (Hariyatmo, 2002). Sampai kondisi tanah yang sesuai dapat dicapai untuk dapat menopang berat pondasi, pondasi ini berguna untuk mendistribusikan berat ke lapisan dasar tanah yang sudah diperhitungkan. Jenis pondasi dalam dapat dilihat sebagai berikut :

- **Pondasi Tiang (*Pile Foundation*)**

Beban vertikal dan horizontal didistribusikan ke lapisan dalam melalui pondasi ini. Dibandingkan dengan pondasi pit, pondasi ini seringkali lebih pendek dan lebih kecil (Bowles, 1991). Gambar 2.9 menggambarkan Pondasi Tiang



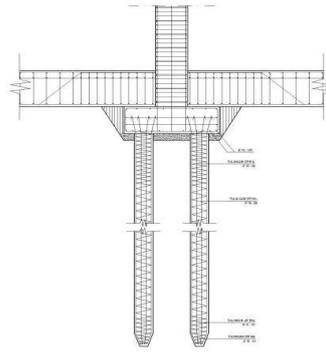
Gambar 2. 9 Pondasi Tiang (Bowles, 1991)

Menurut metode pelaksanaannya, tiang pancang dikategorikan sebagai berikut:

- a) **Pile (*Driven Pile*)**: Dalam pemasangan tiang ini, material berbentuk lingkaran atau persegi panjang dibuat, dicetak, dan kemudian dimasukkan ke tempatnya oleh tanah.
- b) **Boring pile** adalah pondasi tiang yang prosesnya dicetak lebih awal, lalu kemudian dipenetrasikan ke dalam lapisan tanah sampai pada kedalaman yang perhitungkan, lalu dicor dengan beton.

- **Pondasi Tiang Pancang (*Driven Pile*)**

Pondasi tiang bulat dan persegi berfungsi untuk menopang berat bangunan dan mentransfer berat tersebut ke tanah dasar. Untuk menopang bangunan dengan aman, kapasitas pondasi tiang pancang harus lebih tinggi dari beban. Pada Gambar 2.10 di bawah ini, dapat dilihat pondasi tiang pancang.



Gambar 2. 10 Pondasi Tiang Pancang (Bowles, 1991)

- **Kelebihan Pondasi Tiang Pancang**

1. Memiliki tegangan yang kuat dikarenakan beton terbaik yang digunakan untuk pondasi tiang pancang.
2. Karena air tanah berdampak kecil pada penerapan tiang pancang beton bertulang, penggalian tanah akan membutuhkan lebih sedikit usaha.
3. Sangat kuat dan tahan lama, bahkan selama beberapa puluh tahun.
4. Beton dengan dek tebal harus berkualitas tinggi untuk melindungi bagian dalam tulangan beton dari kelembaban atau zat korosif.

- **Kelemahan Pondasi Tiang Pancang**

1. Pembuatan tiang pancang membutuhkan waktu lebih lama karena beton harus kaliber tertinggi dan sekeras mungkin.
2. Harga pondasi tiang pancang lebih mahal.
3. Besar dan sangat berat. Mengingat proses transit yang rumit dan mahal, sangat tidak mungkin RTP ini diproduksi di pabrik.

2.6 PDA Test

Melakukan Uji PDA dan analisis CAPWAP adalah salah satu prosedur pengujian aplikasi pondasi tiang pancang (pancang atau dibor). Tes PDA adalah semacam pengujian dinamis yang menggunakan pendekatan analisis gelombang. Karena sifat pengujiannya, yang melibatkan berulang kali memukul pondasi tiang pancang yang sedang dievaluasi, ini juga dikenal sebagai pengujian pemogokan ulang. Metode Uji (ASTM D-4945 *Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of*

Deep Foundations) digunakan dalam Uji PDA. Untuk mendapatkan gambaran umum tentang daya dukung pondasi tiang tunggal, analisis data PDA dilakukan dengan menggunakan pendekatan Metode Kasus, mencakup proses ukur hasil kecepatan dan gaya selama re-bound dan perhitungan variabel dinamis secara waktu kenyataanya . (Nji, 2021)

Berdasarkan *Case Method* dari PDA *test* dapat diketahui :

- Efisiensi dari transfer energi pukulan hammer test
- Daya dukung pada pondasi tiang tunggal
- Integritas atau keutuhan tiang dan sambungan

Tes PDA diikuti dengan analisis lanjutan yang disebut CAPWAP, yang menggunakan teknik *signal matching analysis* (SMA). Studi ini memberikan hasil analisis yang lebih mendalam dengan memanfaatkan data dari pengujian PDA.

(Nji, 2021)

Dari data hasil PDA *Test* akan diketahui lebih detail dari analisis CAPWAP, berikut informasinya :

- Q_p pondasi tiang tunggal
- Q_s pondasi tiang tunggal
- Rekayasa statis loading test

Tabel 2. 13 Data dan parameter pengujian PDA

KODE	KETERANGAN
BN	Pukulan
RMX	Daya dukung tiang [ton]
FMX	Gaya tekan maksimum [ton]
CTN	Gaya tarik maksimum [ton]
EMX	Energi maksimum yang ditransfer [tonm]
DMX	Penurunan maksimum [mm]
DFN	Penurunan permanen [mm]
STK	Tinggi jatuh palu [m]
BPM	Pukulan per menit
BTA	Nilai keutuhan tiang [%]
LE	Panjang tiang dibawah instrumen [m]
LP	Panjang tiang tertanam [m]
AR	Luas penampang tiang [cm ²]

Sumber : (Nji, 2021)

Hasil pengujian daya dukung menggunakan Tes PDA akan dihasilkan menjadi salah satu dari dua hasil yang dijelaskan di bawah ini.:

- *Refusal*
- *Ultimate*

Daya dukung yang diukur dan dipelajari adalah daya dukung yang diturunkan dari keadaan pondasi tiang pancang yang belum termobilisasi secara sempurna. Pondasi tiang pancang belum mencapai potensi maksimal atau akhirnya ketika berada dalam keadaan belum termobilisasi penuh. Keadaan ini dapat terjadi karena tidak cukup energi yang diarahkan selama pengujian atau pemogokan ulang untuk memobilisasi semua kemampuan resistensi atau daya dukung pondasi tiang pancang yang diuji. (Nji, 2021)

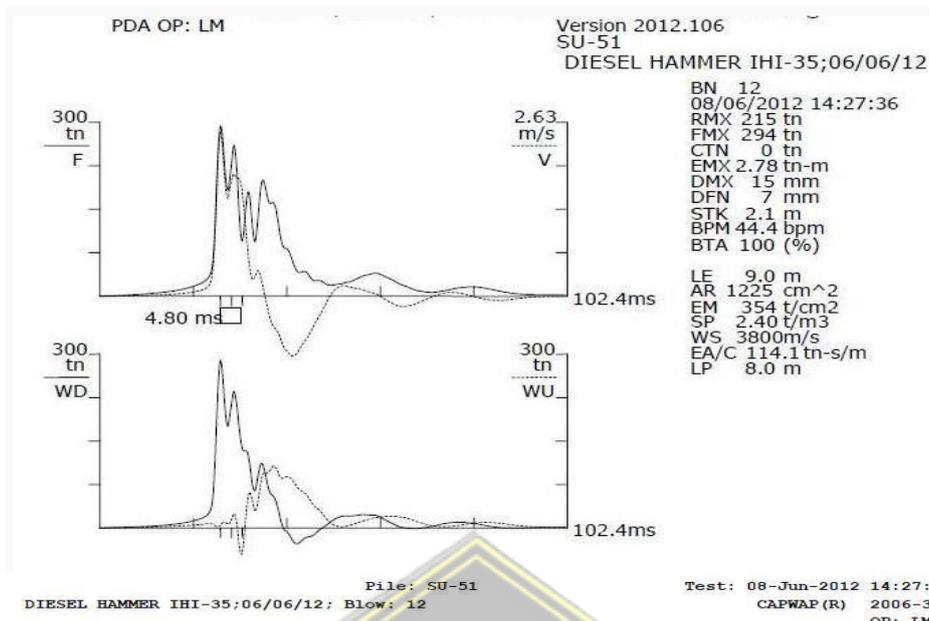
Daya dukung yang ditentukan oleh keadaan pondasi tiang pancang yang telah benar-benar menyentuh kemampuan mobilisasi merupakan pengertian daya dukung ultimit. Oleh karena itu, perkiraan daya dukung yang diperoleh dari analisis PDA dan CAPWAP dalam keadaan ini mewakili daya dukung yang sebenarnya atau keterbatasan pondasi tiang pancang. Tercapainya keadaan ultimate diperoleh dari :

- Ditandai dengan akibat beban tertentu (beban ultimate) menjadikan Bergeraknya tiang, jika diartikan yaitu terlampauinya Q_s dari ujung dari pondasi tiang.
- Kapasitas bahan tiang pancang sendiri sudah terlampaui, dan jika kecenderungan ini diikuti dengan bobot yang lebih besar, maka material tiang pancang akan gagal.

Refusal atau *ultimate*, keduanya merupakan keadaan yang diperoleh selama daya dukung yang dicapai tetap sesuai spesifikasi faktor keamanan yang dituntut oleh desain yang dinyatakan (Nji, 2021).



Gambar 2. 11 Pengujian PDA di lapangan (Nji, 2021)



CAPWAP SUMMARY RESULTS

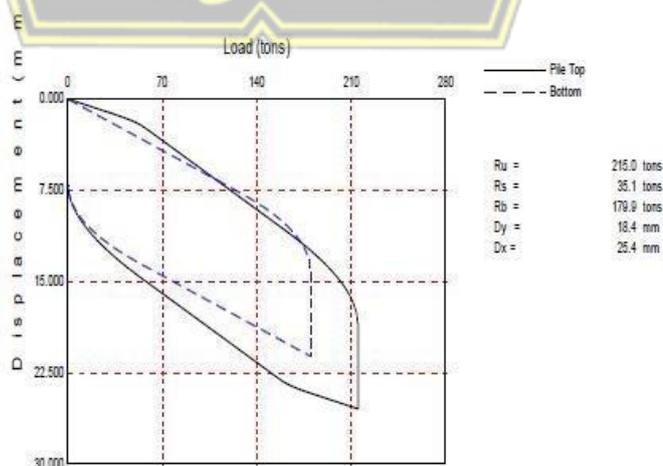
Total CAPWAP Capacity: 215.0; along Shaft 35.1; at Toe 179.9 tons

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru tons	Force in Pile tons	Sum of Ru tons	Unit Resist. (Depth) tons/m	Unit Resist. (Area) tons/m ²	Smith Damping Factor s/m	Quake mm
1	2.0	1.0	0.0	215.0	0.0	0.00	0.00	0.000	1.126
2	3.0	2.0	1.3	213.8	1.3	1.25	0.89	0.847	1.125
3	4.0	3.0	2.5	211.2	3.8	2.51	1.79	0.847	1.125
4	5.0	4.0	3.8	207.5	7.5	3.77	2.69	0.847	1.125
5	6.0	5.0	5.0	202.5	12.5	5.01	3.58	0.847	1.125
6	7.0	6.0	6.3	196.2	18.8	6.27	4.48	0.847	1.125
7	8.0	7.0	7.5	188.7	26.3	7.52	5.37	0.847	1.125
8	9.0	8.0	8.8	179.9	35.1	8.77	6.26	0.847	1.125
Avg. Shaft			4.4			4.39	3.13	0.847	1.125
Toe			179.9				1468.58	0.200	10.821

Soil Model Parameters/Extensions

Case	Shaft	Toe
Case Damping Factor	0.261	0.315
Unloading Quake (% of loading quake)	60	50
Reloading Level (% of Ru)	100	100
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)		0.658

Gambar 2. 12 Hasil PDA Test
(Nji, 2021)



Gambar 2. 13 Hasil PDA Test
(Nji, 2021)

2.7 Aplikasi Allpile

Allpile merupakan *software* yang digunakan untuk desain pondasi, yaitu lebih lengkapnya untuk perhitungan daya dukung pondasi dan desain pondasi yang digunakan. Program Civiltech Co. adalah perusahaan yang membuat program ini. Program ini relatif mudah dan ramah pengguna. Meskipun pondasi dangkal juga dapat dirancang menggunakan program ini, sebagian besar digunakan untuk membangun pondasi tiang pancang, termasuk tiang bor.

Tampilan menu pada *software* Allpile terlihat seperti berikut :

a. *Pile Type*

Pada menu ini, aplikasi ALLPILE menyajikan berbagai macam model dari pondasi. Hal ini dapat memudahkan dalam perhitungan pondasi, karena kita dapat menyesuaikan jenis pondasi yang dibutuhkan.

Tipe pondasi yang ada dimenu ALLPILE antara lain:

1. Drilled pile ($d \leq 24\text{in}$ or 61 cm)

Merupakan pondasi bor tertentu dengan diameter dibawah 61 cm.

2. Drilled pile ($d \geq 24\text{in}$ or 61 cm)

Termasuk dalam kategori pondasi bor dan memiliki diameter diatas 61 cm.

3. Driving steel pile (open ended)

Struktur ini merupakan pondasi tiang pancang baja gaya ujung pondasi terbuka

4. Driving steel pile (open ended)

Struktur ini adalah contoh tiang pancang baja dengan gaya ujung pondasi tertutup

5. Driving concrete pile

Merupakan pondasi tiang pancang dengan bahan beton.

b. *Pile profile*

Pile profil berisikan pilihan yang dapat disesuaikan dengan yang digunakan, seperti data panjang, lebar, jarak ataupun kemiringan pile (jika posisi pondasi saat dipancang miring), dan juga kemiringan tanah.

c. *Pile properties*

Menu ini memuat informasi tentang spesifikasi pondasi, seperti lebar, kedalaman, dan bahan pembuatannya.

d. Load and group

Berisi menu yang dapat digunakan untuk perhitungan, baik dari pile tunggal, pile kelompok, ataupun *tower foundation* yang simpel.

e. Soil properties

Menu dengan informasi tanah untuk lokasi di mana pondasi akan digunakan. Hanya statistik N-SPT dan CPT yang tersedia. karenanya, kita harus melengkapi berdasarkan informasi yang kita ketahui.

f. Advanced page

Data *zero skin friction* atau data q_a (*end resistance*) disediakan di bagian ini untuk kedalaman pondasi tertentu. Terdapat menu pilihan pada menu ini dimana Anda dapat memilih *safety factor* yang diinginkan..

2.8 Kapasitas Daya Dukung Pondasi

Pondasi sebagai struktur bawah konstruksi yang berfungsi sebagai menahan beban dari atas harus direncanakan sesuai kebutuhan agar area pondasi dan bangunan pada tanah tidak mengalami keruntuhan dan penurunan yang berdampak. Kriteria yang dibutuhkan dalam perencanaan desain pondasi yaitu, pondasi dapat menahan beban sesuai dengan standar *safety factor*. Dan pondasi berada pada tempatnya dengan aman jika telah mencapai batas toleransi tertentu (Hakam, 2008).

2.8.1 Perhitungan Daya Dukung Pondasi Metode Aoki & De Alencar

Dalam perencanaan pondasi tiang pancang, dibutuhkan data tanah geser sebelum proses konstruksi bangunan dilaksanakan hal tersebut dilakukan untuk menemukan daya dukung ultimit pada tiang pancang. Rumus daya dukung ultimit seperti Persamaan 2.8 berikut (Aoki dan De Alencar, 1975 dalam Sugesti, Titin.,2017).

$$Q_u = Q_p + Q_s = q_b \cdot A_p + f \cdot A_s \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- Qu : Daya dukung ultimit (kN)
- Qp : Daya dukung pada ujung tiang (kN)
- Qs : Daya dukung tahanan kulit (kN)
- qb : Kapasitas dukung ujung tiang persatuan luas (kg/cm²)

- Ap : Luas ujung permukaan (m²)
- f : Satuan tahanan kulit persatuan luas (kN/m²)
- As : Luas sisi luar tiang (m²)

Metode Aoki dan De Alencar untuk mencari daya dukung aksial ultimit dari data CPT yang harus menentukan daya dukung ujung tiang persatuan luas (qb) dan tahanan kulit persatuan luas pada persamaan 2.9 dan 2.10 berikut.

Kapasitas dukung ujung persatuan luas (qb) :

$$q_b = \frac{q_{ca(base)}}{F_b} \dots\dots\dots (2.9)$$

Tahanan kulit persatuan luas (f) :

$$f = \frac{q_{c(side)} \sigma_s}{F_s} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

- qb : Kapasitas dukung ujung tiang persatuan luas (kg/cm²)
- qca(base) : Perlawanan konus rata-rata 1,5D dibawah ujung tiang dan 1,5D diatas ujung tiang dan 1,5D (kg/cm²)
- Fb : Faktor empirik tahanan ujung tiang tergantung pada jenis tanah
- f : Satuan tahanan kulit persatuan luas (kg/cm²)
- qc(side) : Perlawanan konus pada masing lapisan sepanjang tiang (kg/cm²)
- σs : Nilai faktor empirik tipe tanah
- Fs : Faktor empirik tahanan kulit tergantung pada jenis tanah

Berikut Tabel faktor Fb dan Fs ;

Tabel 2. 14 Faktor Empirik Fb dan Fs

Tipe Tiang Pancang	F_b	F_s
Tiang Bor	3,5	7,0
Baja	1,75	3,5
Beton Pratekan	1,75	3,5

Sumber : (Titi & Farsakh, 1999)

Tabel 2. 15 Faktor Empirik berdasarkan Tipe Tanah yang Berbeda

Tipe Tanah	as (%)	Tipe Tanah	as (%)	Tipe Tanah	as (%)
Pasir	1,4	Pasir berlanau	2,2	Lempung berpasir	2,4
Pasir kelanauan	2,0	Pasir berlanau dengan lempung	2,8	Lempung berpasir dengan lanau	2,8
Pasir kelanauan dengan lempung	2,4	Lanau	3,0	Lempung berlanau dengan pasir	3,0
Pasir berlempung dengan lanau	2,8	Lanau berlempung dengan pasir	3,0	Lempung berlanau	4,0
Pasir berlempung	3,0	Lanau berlempung	3,4	Lempung	6,0

Sumber : (Titi & Farsakh, 1999)

2.8.2 Perhitungan Daya Dukung Pondasi Metode Schmertmann & Nottingham

Dengan metode Schmertmann & Nottingham kapasitas daya dukung ultimit dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana :

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang. (ton)

Q_p = Kapasitas tahanan di ujung tiang . (ton)

Q_s = Kapasitas tahanan kulit. (ton)

Daya dukung ijin tiang bor (Q_{all}) :

$$Q_{all} = Q_u/SF \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana :

SF = angka keamanan (2,5 – 4)

Tahanan ujung satuan (Q_p) :

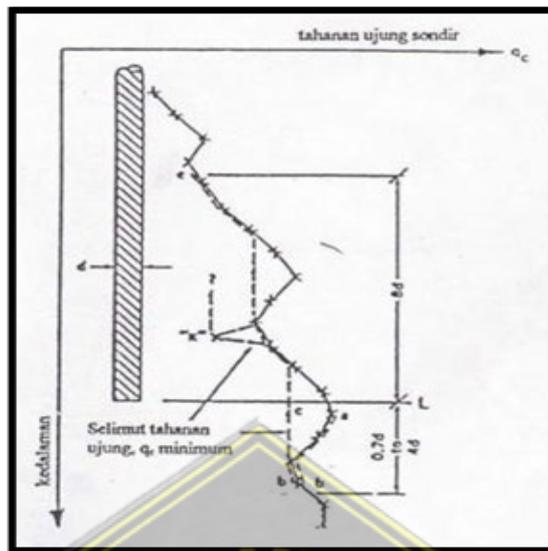
$$Q_p = \frac{qc_1 + qc_2}{4} \times A_p \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

Q_p = Kapasitas tahanan di ujung tiang (ton)

qc_1 = qc rata- rata pada zona 0,7 – 4D di bawah dasar tiang (kg/cm²)

- q_{c2} = q_c rata – rata pada zona $8D$ di atas dasar tiang (kg/cm^2)
- A_p = Luas proyeksi penampang tiang



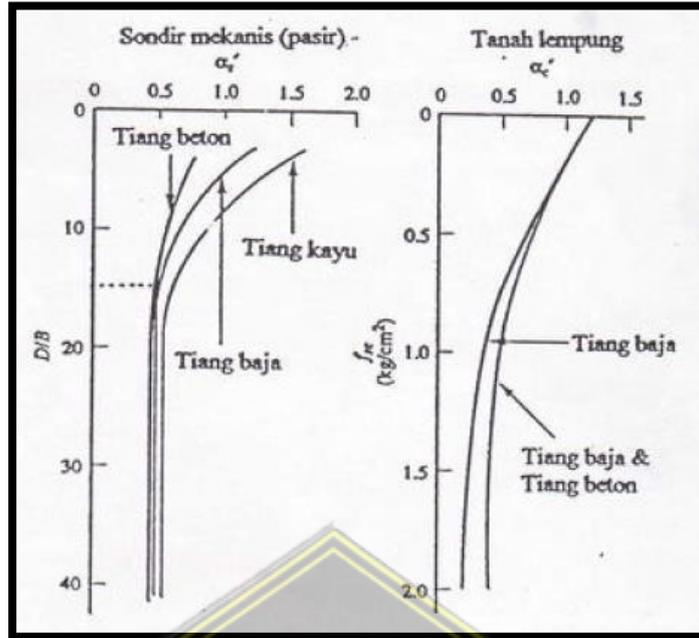
Gambar 2. 14 Perhitungan Daya Dukung Ujung (Schmertmann, 1978)

Untuk nilai rata-rata ini, diperlukan langkah pengurangan jika zona tanah lunak di bawah tiang pancang masih terdapat pada kedalaman antara $4D - 10D$. Untuk tanah berpasir, nilai resistansi ultimit sering dianggap tidak lebih dari $100 kg/cm^2$, dan untuk tanah berpasir berlumpur, tidak lebih dari $75 kg/cm^2$. (Rahardjo, 2013) Perhitungan berikut digunakan untuk menentukan daya dukung selimut tiang.:

$$Q_s = K_c, K_s \left[\sum_{z=0}^{8d} \frac{z}{8d} f_s \times A_s + \sum_{z=8d}^L f_s \times A_s \right] \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

- K_s, K_c = Factor koreksi gesekan di selimut untuk lempung dan pasir
- = Nilai K_s dipakai apabila nilai friction > 2
- = Nilai K_c dipakai apabila nilai friction < 2
- A_s = Luas bidang kontak tiap interfal kedalaman F_s
- F_s = Nilai friksi
- Z = Kedalaman dimana f_s diambil
- D = Diameter tiang
- L = Panjang tiang tertanam



Gambar 2.15 Grafik Ks dan Kc (Rahardjo, 2013)

Tanah yang terdiri dari macam-macam lapisan pasir dan lempung. Schmertmann menganjurkan untuk daya dukung dihitung dahulu pada setiap lapisan secara terpisah. Nilai f_s memiliki batas 1,2 kg/cm² untuk tanah pasir dan 1,0 kg/cm² untuk pasir kelanaun.

2.8.3 Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang

Pondasi tiang pancang umumnya terikat satu kelompok bersama pile cap.

Perhitungan kapasitas kelompok tiang dibutuhkan mengenai :

1. Jumlah tiang

$$n = \frac{P}{Q_{ijin}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

P : Beban yang bekerja, beban didapat dari data proyek yang sudah dihitung menggunakan SAP 2000 (kN)

Q_{ijin} : Daya dukung izin pondasi (kN)

2. Jarak tiang

Persyaratan jarak tiang pada pile cap antara 2,5D – 3D, seperti pada Persamaan

berikut (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1970).

$$s \geq 2,5D \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

$$s \leq 3D \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan :

s : Jarak pusat ke pusat tiang (m)

D : Diameter tiang (m)

Syarat S per-tiang dalam kelompok yang digunakan yaitu min 0,60 m dan maks 2,00 m. Berdasarkan ketentuan dibawah ini.

- a. Jika $S < 2,5D$, maka mungkin tanah sekitar tiang kelompok akan terjadi kenaikan berlebihan dikarenakan tiang-tiang yang saling berdekatan.
- b. Jika $S > 3D$, maka hal tersebut tidak ekonomis dikarenakan akan mengganti dimensi pile cap yang lebih besar.

3. Daya dukung grup tiang untuk tanah pasir

Rumus kapasitas ultimit grup tiang didapatkan dari mengalikan beberapa variabel dengan efisiensi tiang seperti berikut.

$$Q_g = n \times Q_{izin} \times E_g \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan :

Q_g : Daya dukung kelompok tiang (kN)

n : Jumlah tiang dalam kelompok

Q_{izin} : Kapasitas dukung izin (kN)

E_g : Efisiensi kelompok tiang

4. Efisiensi kelompok tiang

Rumus efisiensi kelompok tiang menurut Converse-Labarre Formula seperti pada persamaan 2.19 berikut.

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n'}{90mn'} \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan :

E_g : Efisiensi kelompok tiang

m : Jumlah baris tiang

n' : Jumlah tiang dalam satu baris

θ : arc tg d/s, dalam derajat

- s : Jarak antar tiang (m)
- D : Diameter tiang (m)

Jika hasil yang diperoleh yaitu efisiensi kelompok tiang 1,0 atau di atasnya maka gunakan jarak antar tiang 3D-4D (Paulus,2016).

2.9 Daya Dukung Lateral Tiang Pancang Metode Myerhoff

2.9.1 Daya Dukung Lateral Tiang Pancang Tunggal

Perhitungan daya dukung lateral tiang memerlukan nilai kekakuan relative (Kr), untuk tanah pasir menggunakan tiang pendek/kaku dan tiang panjang/fleksibel (Mayerhoff, 1995 dalam Kawengian, S.,2018).

Jika, $Kr = \frac{Ep \cdot Ip}{Es \cdot l^4} \geq 0,1$ merupakan tiang pendek (rigid). Sehingga :

$$H_{u(g)} = 0,125\gamma DL^2 K_b \dots\dots\dots (2.19)$$

Jika, $Kr = \frac{Ep \cdot Ip}{Es \cdot l^4} \leq 0,01$ merupakan tiang pendek (rigid). Sehingga :

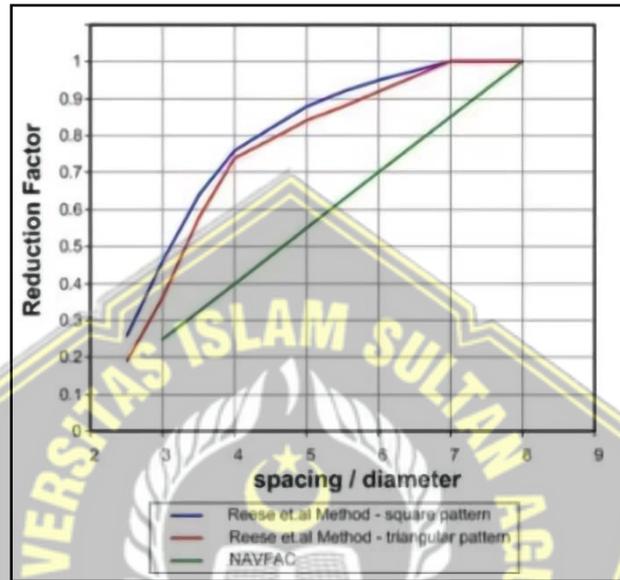
$$H_{u(g)} = 0,125\gamma DLe^2 K_b \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan :

- γ : Berat volume tanah (kN/m³)
- D : Diameter tiang (m)
- L : Panjang tiang tertanam (m)
- Le : Panjang efektif (m) $\rightarrow 1,65 K\tau^{0,12} L$
- Kb : Koefisien tekanan tanah
- kp : Koefisien tekanan tanah pasif $\rightarrow \tan^2 (45 + \phi/2)$
- ka : Koefisien tekanan tanah aktif $\rightarrow \tan^2 (45 - \phi/2)$
- Sbu : Faktor bentuk tiang pancang

2.9.2 Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok

Dalam mencari hitungan daya dukung lateral tiang grup membutuhkan data jarak, jumlah, susunan tiang dan faktor reduksi. Jarak tiang atau panjang sisi tiang yang mempengaruhi faktor reduksi disebut ratio s/d. Berikut merupakan faktor reduksi menurut (Resse dkk, 2018), untuk pemosisian tiang dibedakan antara pola persegi atau pola segitiga.



Gambar 2. 16 Faktor Reduksi (Reese dalam Balamba, 2018)

$$H_g = \text{Faktor reduksi} \times n \times H_u \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan :

- H_g : Daya dukung lateral tiang kelompok (kN)
- H_u : Daya dukung lateral tiang tunggal (kN)
- n : Jumlah tiang dalam kelompok

2.10 Penurunan Pondasi (*settlement*)

Penurunan atau biasa disebut *settlement* mengacu pada pergerakan titik pada bangunan ke titik referensi tetap (Hardiyatmo, 2002). Berikut perkiraan perhitungan penurunan pondasi tiang tunggal dan kelompok.

2.10.1 Penurunan Pondasi Tiang Tunggal

Beban sangat berpengaruh terhadap penurunan pondasi, perhitungan pondasi tiang tunggal dapat diperkirakan dengan rumus Persamaan berikut.

$$S = S1 + S2 + S3 \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan :

S : Penurunan total (m)

S1 : akibat batang (m)

S2 : akibat beban di ujung (m)

S3 : akibat beban sepanjang selimut (m) Untuk mendapatkan nilai S1

Untuk mendapatkan nilai S1

$$S1 = \frac{(Qp + \epsilon \cdot Qs)L}{Ap \cdot Ep} \dots\dots\dots (2.23)$$

Untuk mendapatkan nilai S2

$$S2 = \frac{Qp \cdot Cp}{D \cdot qp} \dots\dots\dots (2.24)$$

Untuk mendapatkan nilai S3

$$S3 = \frac{Qs}{As} \times \frac{D}{Es} \times (1 - \mu s^2) I_{ws} \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan :

Qp : Daya dukung ujung tiang (kN)

Qs : Daya dukung selimut tiang (kN)

ϵ_s : Koefisien dari skin friction (gambar 2.5)

L : Panjang tiang pancang (m)

Ap : Luas penampang tiang (m²)

Ep : Modulus Elastisitas Tiang (MPa)

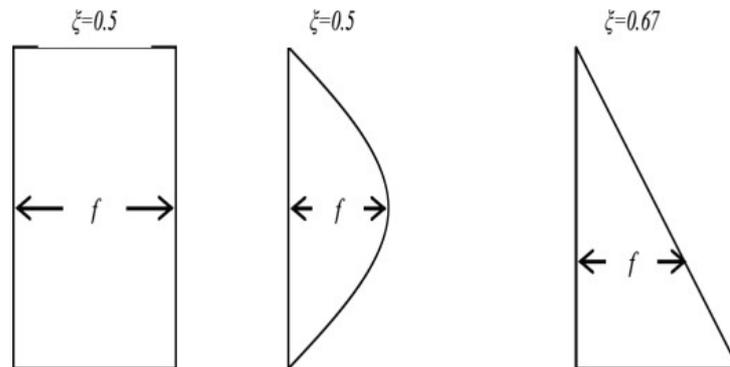
qp : Tahanan ujung batas tiang (kg/cm²)

Cp : Koefisien Empiris (Tabel 2.7)

D : Diameter tiang (m)

Es : Modulus Young (kN/m²) μs : Poisson Ratio

Untuk nilai koefisien dari skin friction tergantung pada jenis tanahnya. Umumnya untuk tanah lempung atau lanau, jenis skin friction berbentuk seragam atau simetric seperti persegi panjang dengan nilai $\epsilon_s = 0,5$ sedangkan untuk tanah pasir, jenis skin friction berbentuk segitiga dengan nilai $\epsilon_s = 0,67$. Seperti pada gambar berikut:



Gambar 2. 17 Bentuk Skin Friction Sedalam Tiang Terbenam masuk ke Tanah
(Bowles, 1993)

Tabel 2. 16 Tabel Nilai Koefisien Empiris

Tipe Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir (Padat – Lepas)	0,02-0,04	0,09-0,18
Lempung (Kaku – Lunak)	0,02-0,03	0,03-0,06
Lanau (Padat – Lepas)	0,03-0,05	0,09-0,12

Sumber : (Das,1995)

2.10.2 Penurunan Pondasi Tiang Kelompok

Penurunan pondasi tiang kelompok dirumuskan sebagai berikut :

$$S_g = S \sqrt{\frac{b'}{D}} \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan :

- S_g : Penurunan Kelompok (m)
- S : Penurunan Tiang Tunggal (m)
- b' : Lebar Kelompok Tiang (m)
- D : Diameter tiang (m)

2.11 Analisa Daya Dukung Tiang Pancang dari hasil tes PDA

Walaupun secara teoritis perhitungan daya dukung tiang pancang memakai data investigasi tanah (hasil uji lapangan dan atau dengan hasil uji lab), namun proses uji beban harus dilakukan untuk memverifikasi daya dukung tersebut. kapasitas

tumpukan. Sekarang dapat dilakukan uji beban dinamis untuk menentukan daya dukung tiang pancang yang lebih kecil dan lebih cepat. Prinsip mendasar dari pendekatan dinamis adalah bahwa tumbukan palu disediakan di bagian atas tumpukan. Hasil perambatan gelombang dari perambatan gelombang pantul dapat diukur dan dipakai guna menentukan daya dukung aksial pondasi. Tabrakan ini menghasilkan gelombang rambat yang mengalir dari ujung atas ke ujung bawah pondasi tiang, lalu dipantulkan kembali ke ujung atas akibat refleksi reaksi tanah. Kekuatan gelombang perlawanan yang timbul meningkat seiring dengan kekuatan tanah. (Suhadi, 2020)

Gelombang aksi atau respons yang berhubungan dengan tahanan tanah akan direkam. Sifat-sifat gelombang ini diperiksa dengan menggunakan hasil pengujian yang direkam untuk memastikan kemampuan dukung statis tiang yang diuji. Untuk menentukan daya dukung aksial pondasi tiang, digunakan alat yang disebut *Pile Driving Analyzer* (PDA). Komponen alat test meliputi :

- a. Dua buah strain transducer
 - b. Dua buah accelerometer
 - c. Penganalisis gelombang tumbukan yang terkomputerisasi
 - d. Peralatan lain yang dipakai termasuk drop hammer (untuk tiang bor) atau palu pancang/*hammer* (untuk tiang pancang), yang bertindak sebagai pemukul.
- Pendekatan ini didasarkan pada ASTM D4945-89.

Palu digunakan sebagai instrumen tumbukan untuk mengukur efek tekanan dinamis pada tiang. Daya dukung tiang pancang yang diproyeksikan diasumsikan sebesar 1% (satu persen) dari berat minimum palu yang harus digunakan. Ketinggian jatuh palu diatur antara 1 dan 2 meter, dengan ketinggian terendah adalah yang telah menciptakan daya dukung output maksimum tiang pancang. Daya dukung tiang dinilai dari recorder hanya 1 gelombang tumbukan selama pengujian, yang melibatkan dua sampai lima tumbukan. Sebagai pengujian berikut dengan PDA, hasil record gelombang pengaruh benturan palu dapat dianalisis lebih detail dengan mengaplikasikan *software Case Pile Wave Equation Analysis* kepanjangan dari CAPWAP, termasuk satu komponen bagian PDA. (Suhadi, 2020)

Untuk mencapai ikatan yang baik antara grafik gelombang iterasi dan grafik

gelombang yang dihasilkan oleh PDA, aplikasi CAPWAP menggabungkan perambatan gelombang pada tiang yang direkam oleh PDA serta perubahan tanah dan patokannya (*Dumping factor, Quake*, material tiang). *Signal matching* adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan prosedur berulang ini. (Suhadi, 2020)

Kurva penurunan tiang (S) vs beban, distribusi gaya gesek, dan tahanan ujung tiang merupakan hasil studi dengan menggunakan CAPWAP. Dapat disimpulkan bahwa kurva penurunan tiang vs beban yang dihasilkan oleh uji beban statis juga dapat digunakan untuk membandingkan kualitas pengujian dengan PDA terhadap daya dukung batas. Subbab Hasil dan Pembahasan berisi temuan rekaman perambatan gelombang yang dibuat menggunakan alat PDA dan pencocokan sinyal perambatan gelombang PDA dengan analisis CAPWAP tiang uji yang digunakan sebagai data dalam penelitian ini (titik 1).

Menurut penelitian (Abdullah, 2022), meskipun pendekatan dinamis sangat hemat biaya dan efektif, pendekatan ini memiliki beberapa kelemahan dibandingkan dengan metode uji beban skala penuh karena alasan tertentu :

- a. Gelombang tumbukan menghasilkan gelombang tarik, yang dapat menjadikan tiang itu pecah
- b. Tidak rataanya bentuk kepala tiang menyebabkan *drop hammer* hanya mengenai bagian tepi tiang yang menghasilkan beban eksentrik hingga menimbulkan momen lentur pada kepala tiang
- c. Dibutuhkan seorang ahli *engineering*, untuk memanfaatkan *signal machine* pada evaluasi data lapangan.

Temuan penelitian menunjukkan bahwa menggunakan PDA yang simpel dan terjangkau disimpulkan tidak cukup untuk menghasilkan data yang baik karena kapasitas palu yang terbatas saat memberi dampak pada tumpukan yang dibor. Menghemat uang dan waktu untuk pengujian disarankan.

Pengujian PDA dapat diperluas dari segi kuantitas. Jika kondisi tanah biasa atau ada kesulitan di lapangan, pendekatan pengujian berikut dapat digunakan: Pada tiang yang sama, pertama-tama lakukan uji beban statis dan PDA. Pengujian tiang bor dengan PDA tidak perlu dilakukan lagi jika hasil kedua pengujian ini digunakan sebagai standar..

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisa mengenai daya dukung pondasi tiang pancang yang diperhitungkan secara manual, kemudian akan dibandingkan dengan hasil pengujian *pile driving analyzer test* (PDA) dengan studi kasus pada proyek Pembangunan Gedung RS Anak Negeri Sawangan yang berlokasi di Depok, Jawa Barat. *Output* yang dihasilkan dari penelitian ini untuk mengetahui nilai Q_p , Q_s , Q_u dan Q_{all} dari hasil perhitungan menggunakan data sondir (CPT) dan nilai Q_p , Q_s , Q_u dari hasil pengujian *pile driving analyzer test* (PDA).

3.2 Pengumpulan Data

Dalam penyusunan penelitian ini menggunakan data tanah, meliputi Sondir (CPT), data lab tanah (korelasi) dan hasil dari *Pile Driving Analyze Test* (PDA) yang nantinya dipergunakan dalam perhitungan analisa daya dukung pondasi tiang pancang. Data tanah yang digunakan untuk penyusunan laporan ini diperoleh dari PT WIYASA CAKARA SEMESTA. Maksud pengolektifan data untuk menciptakan hasil yang tepat & relevan untuk menunjang pengerjaan penelitian ini.

3.3 Data Umum proyek

Data umum pada proyek Pembangunan Gedung RS Anak Negeri Sawangan yaitu sebagai berikut.

Nama Proyek : Proyek Pembangunan Gedung RS Anak Negeri Sawangan - Depok

Alamat Proyek : Jl. Keadilan No. 16, RT/RW 004/012, Kel. Rangkapan Jaya Baru, Kec. Pancoran Mas, Depok

Main-Contractor : PT WIYASA CAKARA SEMESTA

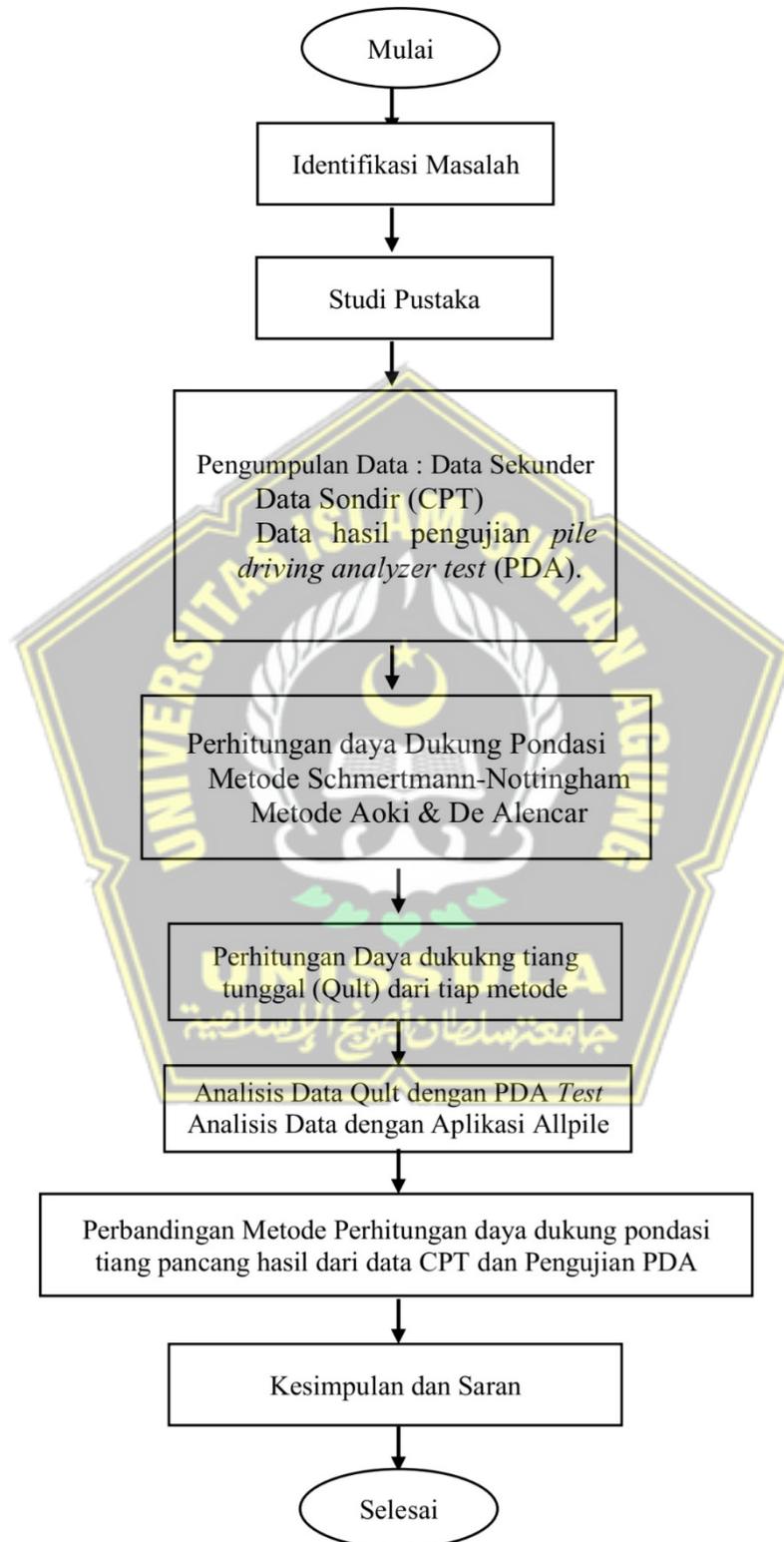
3.4 Lokasi Proyek

Proyek Pembangunan Gedung RS Anak Negeri Sawangan berlokasi di Jl. Keadilan No. 16, RT/RW 004/012, Kel. Rangkapan Jaya Baru, Kec. Pancoran Mas, Depok, Jawa Barat.



Gambar 3. 1 Lokasi Proyek Pembangunan Gedung RS Anak Negeri Sawangan-Depok (Google Earth)

3.5 Metode Analisa Data

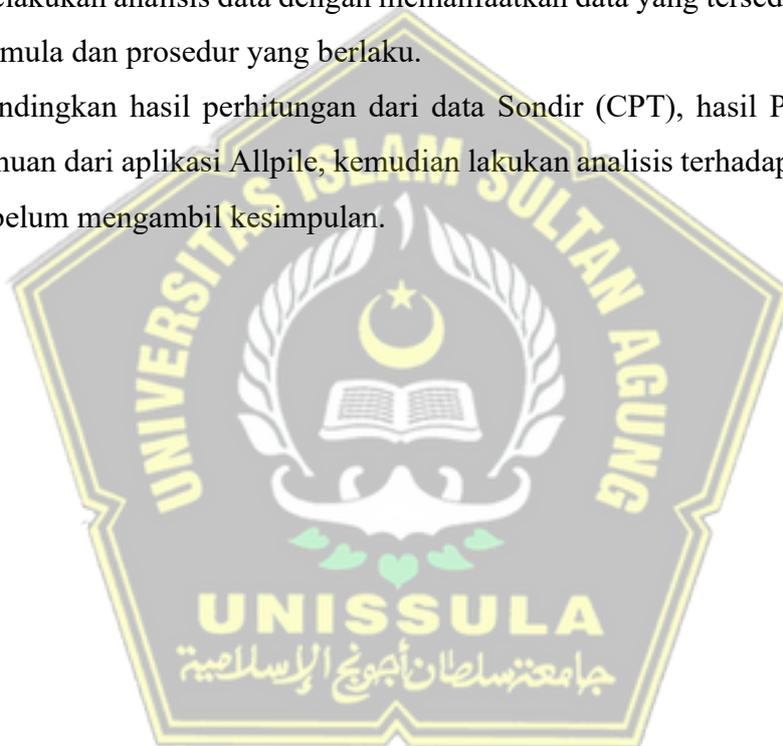


Gambar 3. 2 Diagram Alur Metodologi

3.6 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini, diperlukan beberapa tahapan untuk mencapai hasil studi yang diinginkan :

1. Melakukan kajian pustaka dan kajian terhadap buku dan jurnal yang relevan dengan topik pembahasan Tugas Akhir yang akan digunakan.
2. Menelaah serta memutuskan lokasi sampling data yang berkaitan dan relevan dengan topik Tugas Akhir.
3. Pengumpulan data yang nantinya digunakan dalam perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang.
4. Melakukan analisis data dengan memanfaatkan data yang tersedia berdasarkan formula dan prosedur yang berlaku.
5. Bandingkan hasil perhitungan dari data Sondir (CPT), hasil PDA Test, dan temuan dari aplikasi Allpile, kemudian lakukan analisis terhadap hasil tersebut sebelum mengambil kesimpulan.



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Proyek

- **Data Tanah**

Data tanah yang kami gunakan dalam perhitungan data, didapat dari hasil korelasi data Sondir (CPT) yaitu nilai q_c (*cone resistance*) dan nilai f_r (*friction ratio*) menggunakan Gambar 2.3 Grafik zona tipe tanah menurut (Robertson et al, 1986). Setelah itu didapat jenis tanah zona 8 yaitu tanah *Sand to Silty Sand*, dapat dilihat pada Tabel 2.5.

- **Data Sondir**

Data Sondir dengan kedalaman 11 m dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 17 Data Sondir Kedalaman 9m – 11m

Kedalaman	Pembacaan Manometer		Lokal Friction (kg/cm ²)	Total Friction (kg/cm ²)	Friction Ratio (%)
	q_c (kg/cm ²)	q_t (kg/cm ²)			
8.00	54	56	0.13	2.60	0.24
8.20	56	57	0.07	4.00	0.13
8.40	56	50	0.33	10.60	0.59
8.60	56	53	0.33	17.20	0.59
8.80	56	57	0.33	23.80	0.59
9.00	54	56	0.13	209.00	0.24
9.20	54	56	0.13	211.60	0.24
9.40	54	53	0.13	214.20	0.24
9.60	54	57	0.13	216.80	0.24
9.80	56	56	0.33	223.40	0.59
10.00	56	56	0.33	230.00	0.59
10.20	56	53	0.33	236.60	0.59
10.40	58	53	0.33	243.20	0.57
10.60	56	57	0.33	249.80	0.59
10.80	56	56	0.33	256.40	0.59
11.00	56	57	0.33	263.00	0.59

Sumber : (Data Proyek)

- **Data Tiang Pondasi**

Data tiang pondasi yang didapat sebagai berikut :

- Tipe Tiang : Tiang pancang
- Bentuk Tiang : Segi empat
- Sisi Tiang : 300 mm x 300 mm
- Panjang Tiang Tertanam : 11 m
- Nilai q_c ujung tiang : 62 kg/cm²
- Nilai f_r ujung tiang : < 1
- P (beban aksial) : 1431,933 kN

4.2 Perhitungan Daya Dukung Metode Schmertmann – Nottingham

Pada metode Schmertmann – Nottingham, perhitungan daya dukung ujung pondasi tiang diambil dari rata-rata nilai q_{c1} dan q_{c2} . Nilai q_{c1} diambil dari nilai q_c rata-rata pada 0.7D-4D dibawah ujung tiang dan nilai q_{c2} dari q_c rata-rata 8D diatas ujung tiang. Daya dukung ultimate diperoleh dari penjumlahan antara Q_p dan Q_s .

- **Daya Dukung Ujung**

Karena elevasi ujung tiang sama dengan elevasi pada data CPT maka diambil :

$$q_{c1} = 62 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{c2} = 57 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_p = 30 \times 30 = 900 \text{ cm}^2$$

$$Q_p = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} \times A_p$$

$$Q_p = 59.5 \times 900 = 53550 \text{ Kg}$$

$$Q_p = 53.550 \text{ Ton}$$

$$Q_p = 524.79 \text{ kN}$$

- **Daya Dukung Selimut**

$$Q_s = K_c, K_s \left[\sum_{z=0}^{8d} \frac{z}{8d} f_s \times A_s + \sum_{z=8d}^1 f_s \times A_s \right]$$

$$Q_s = 47.51 \text{ ton (dari perhitungan tabel dibawah)}$$

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

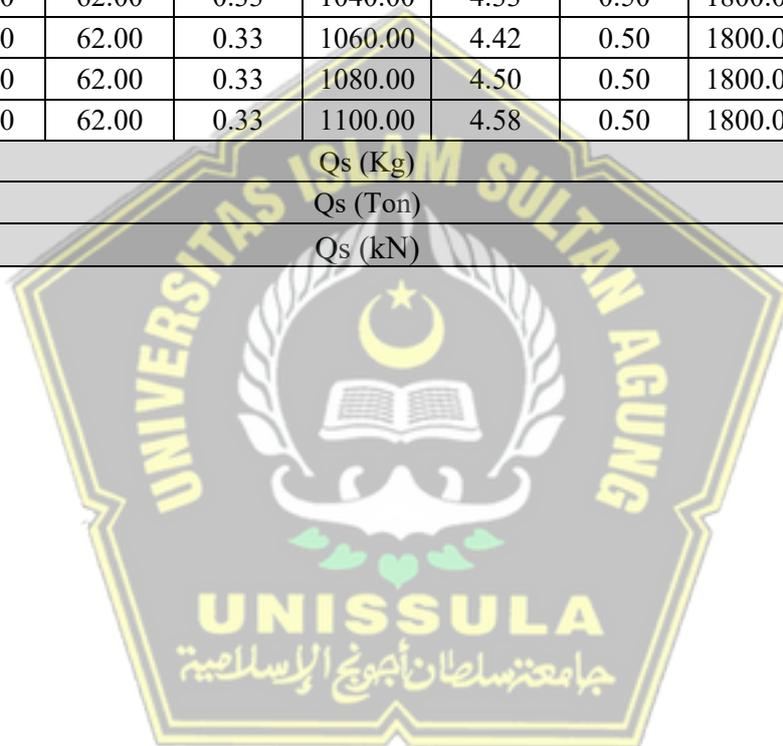
$$= 53.550 + 47.51$$

$$= 101.06 \text{ Ton}$$

Tabel 4. 2 Perhitungan Qs

Elevasi	qc	Fs	z	z/8D	Kc	As	Qsi
M	kg/cm2	kg/cm2	cm			m2	(kg)
0.20	22.00	0.13	20.00	0.08	0.50	1800.00	126.75
0.40	24.00	0.27	40.00	0.17	0.50	1800.00	283.50
0.60	26.00	0.27	60.00	0.25	0.50	1800.00	303.75
0.80	28.00	0.40	80.00	0.33	0.50	1800.00	480.00
1.00	24.00	0.40	100.00	0.42	0.50	1800.00	510.00
1.20	26.00	0.47	120.00	0.50	0.50	1800.00	634.50
1.40	30.00	0.33	140.00	0.58	0.50	1800.00	470.25
1.60	34.00	0.27	160.00	0.67	0.50	1800.00	405.00
1.80	34.00	0.27	180.00	0.75	0.50	1800.00	425.25
2.00	36.00	0.27	200.00	0.83	0.50	1800.00	445.50
2.20	28.00	0.27	220.00	0.92	0.50	1800.00	465.75
2.40	30.00	0.33	240.00	1.00	0.50	1800.00	594.00
2.60	32.00	0.27	260.00	1.08	0.50	1800.00	506.25
2.80	32.00	0.27	280.00	1.17	0.50	1800.00	526.50
3.00	28.00	0.27	300.00	1.25	0.50	1800.00	546.75
3.20	35.00	0.33	320.00	1.33	0.50	1800.00	693.00
3.40	32.00	0.33	340.00	1.42	0.50	1800.00	717.75
3.60	30.00	0.27	360.00	1.50	0.50	1800.00	607.50
3.80	41.00	0.33	380.00	1.58	0.50	1800.00	767.25
4.00	20.00	0.27	400.00	1.67	0.50	1800.00	648.00
4.20	29.00	0.33	420.00	1.75	0.50	1800.00	816.75
4.40	28.00	0.27	440.00	1.83	0.50	1800.00	688.50
4.60	23.00	0.33	460.00	1.92	0.50	1800.00	866.25
4.80	35.00	0.33	480.00	2.00	0.50	1800.00	891.00
5.00	31.00	0.33	500.00	2.08	0.50	1800.00	915.75
5.20	35.00	0.33	520.00	2.17	0.50	1800.00	940.50
5.40	34.00	0.27	540.00	2.25	0.50	1800.00	789.75
5.60	29.00	0.33	560.00	2.33	0.50	1800.00	990.00
5.80	27.00	0.33	580.00	2.42	0.50	1800.00	1014.75
6.00	18.00	0.27	600.00	2.50	0.50	1800.00	850.50
6.20	29.00	0.13	620.00	2.58	0.50	1800.00	419.25
6.40	28.00	0.27	640.00	2.67	0.50	1800.00	891.00
6.60	24.00	0.27	660.00	2.75	0.50	1800.00	911.25
6.80	23.00	0.27	680.00	2.83	0.50	1800.00	931.50
7.00	35.00	0.33	700.00	2.92	0.50	1800.00	1163.25
7.20	38.00	0.27	720.00	3.00	0.50	1800.00	972.00
7.40	54.00	0.27	740.00	3.08	0.50	1800.00	992.25
7.60	42.00	0.27	760.00	3.17	0.50	1800.00	1012.50
7.80	51.00	0.33	780.00	3.25	0.50	1800.00	1262.25

8.00	54.00	0.13	800.00	3.33	0.50	1800.00	507.00
8.20	56.00	0.13	820.00	3.42	0.50	1800.00	516.75
8.40	45.00	0.33	840.00	3.50	0.50	1800.00	1336.50
8.60	48.00	0.33	860.00	3.58	0.50	1800.00	1361.25
8.80	43.00	0.33	880.00	3.67	0.50	1800.00	1386.00
9.00	40.00	0.27	900.00	3.75	0.50	1800.00	1154.25
9.20	58.00	0.27	920.00	3.83	0.50	1800.00	1174.50
9.40	57.00	0.20	940.00	3.92	0.50	1800.00	885.00
9.60	52.00	0.27	960.00	4.00	0.50	1800.00	1215.00
9.80	62.00	0.20	980.00	4.08	0.50	1800.00	915.00
10.00	62.00	0.33	1000.00	4.17	0.50	1800.00	1534.50
10.20	62.00	0.33	1020.00	4.25	0.50	1800.00	1559.25
10.40	62.00	0.33	1040.00	4.33	0.50	1800.00	1584.00
10.60	62.00	0.33	1060.00	4.42	0.50	1800.00	1608.75
10.80	62.00	0.33	1080.00	4.50	0.50	1800.00	1633.50
11.00	62.00	0.33	1100.00	4.58	0.50	1800.00	1658.25
Qs (Kg)							47505.75
Qs (Ton)							47.51
Qs (kN)							465.56



4.3 Perhitungan Daya Dukung Metode Aoki & De Alencar

Perhitungan pada metode Aoki & De Alencar menggunakan tiang pancang diameter 30 cm dan $l = 11$ m dengan data sondir 1. Perhitungan daya dukung metode Aoki & De Alencar memperkirakan kapasitas daya dukung ultimit dari data sondir. Untuk nilai faktor empirik tipe tanah (σ_s) dapat diketahui melalui grafik SBT (*Soil Behaviour Type*) dari (Robertson, 1986) dengan melihat nilai q_c dan f_r (*friction ratio*) maka diketahui tipe tanah dan nilai σ_s .

Tabel 4. 1 Perletakan 1,5D Atas dan Bawah Ujung Tiang Kedalaman 11m

Kedalaman (m)	q_c (kg/cm ²)
8,00	54,00
8,20	56,00
8,40	45,00
8,60	48,00
8,80	43,00
9,00	40,00
9,20	58,00
9,40	57,00
9,60	52,00
9,80	62,00
10,00	62,00
10,20	62,00
10,40	62,00
10,60	62,00
10,80	62,00
11,00	62,00

- **Daya Dukung Ujung Pondasi (Q_p)**

1. Faktor Empirik Tahanan Ujung Tiang

$F_b = 1,75 \rightarrow$ nilai F_b beton pratekan didapat dari Tabel 2.14

2. Perlawanan Korus Rata-Rata

$$q_{ca(base)} = \frac{(0,05 \times 62) + (0,2 \times 62) + (0,2 \times 62)}{0,45} = 62 \text{ kg/cm}^2$$

$q_{ca(base)}$ = Perlawanan korus rata-rata 1,5D diatas ujung tiang dan 1,5D dibawah ujung tiang

3. Kapasitas Dukung Ujung Tiang Persatuan Luas

Berdasarkan rumus daya dukung ujung persatuan luas menggunakan persamaan 2.9

$$\begin{aligned} q_b &= \frac{q_{ca}(\text{base})}{F_b} \\ &= \frac{62}{1.75} \\ &= 35.429 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Luas Penampang Tiang

$$\begin{aligned} A_p &= s \times s \\ &= 30 \times 30 \\ &= 900 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

4. Daya Dukung pada Ujung Pondasi

Berdasarkan rumus daya dukung ujung menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} Q_p &= q_b \times A_p \\ &= 35.429 \text{ kg/cm}^2 \times 900 \text{ cm}^2 \\ &= 31886.1 \text{ kg} \\ &= 31.886 \text{ Ton} \\ &= 312.484 \text{ kN} \end{aligned}$$

• Daya Dukung Selimut Pondasi (Qs)

1. Faktor Empirik Tahanan Kulit Tiang

$F_s = 3,5$ → nilai F_s beton pratekan didapat dari Tabel 2.14

2. Nilai Faktor Empirik Tipe Tanah

$\sigma_s = 2.2 \%$ → Pada kedalaman tersebut merupakan Silty Sand, Pasir Berlanau) didapat dari Tabel 2.15

3. Perlawanan Konus Tiang Pondasi

$$q_c(\text{side}) = 62 \text{ kg/cm}^2$$

4. Luas Kulit Tiang Pancang

$$\begin{aligned} A_s &= 4 \times s \times t \\ &= 4 \times 0,3 \text{ m} \times 11 \text{ m} \\ &= 13.2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

5. Satuan Tahanan Kulit Persatuan Luas

Berdasarkan rumus satuan tahanan kulit persatuan luas menggunakan persamaan 2.10

$$\begin{aligned} F &= qc(side) \times \frac{\sigma_s}{F_s} \\ &= 62 \text{ kg/cm}^2 \times \frac{2.2\%}{3.5} \\ &= 0.38971 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow 38.971 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

6. Daya Dukung Selimut Pondasi

Berdasarkan rumus daya dukung selimut menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} Q_s &= F \times A_s \\ &= 38.971 \text{ kN/m}^2 \times 13.2 \text{ m}^2 \\ &= 514.417 \text{ kN} \\ &= 52.471 \text{ Ton} \end{aligned}$$

• **Daya Dukung Ultimit Tiang (Qu)**

Berdasarkan rumus daya dukung ultimit tiang menggunakan persamaan 2.15

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 31.886 + 52.471 \\ &= 84.357 \text{ Ton} \\ &= 826.901 \text{ kN} \end{aligned}$$

• **Daya Dukung Izin Pondasi**

1. Berat Tiang Pondasi

$$\begin{aligned} W_p &= S^2 \times B_j \times l \\ &= 0,3^2 \text{ m} \times 24 \text{ Kn/m}^3 \times 11 \text{ m} \\ &= 23.76 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Kapasitas Daya Dukung Izin Tiang

$$\begin{aligned} Q_{izin} &= \left(\frac{Q_u}{SF} - W_p \right) \\ &= \left(\frac{826,901}{2,5} - 23,76 \text{ kN} \right) \\ &= 307.004 \text{ kN} \end{aligned}$$

• **Daya Dukung Kelompok Tiang**

1. Jumlah Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} n &= \frac{P}{Q_{ijin}} \\ &= \frac{1431,93 \text{ kN}}{307.004 \text{ kN}} = 4.6 \approx 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

2. Arc tg d/s

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1} \left(\frac{D}{s} \right) \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{0.3 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} \right) \\ &= 11,039^\circ \end{aligned}$$

3. Efisiensi Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n'}{90mn'} \\ &= 1 - 11,039 \left[\left(\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90(2)(2)} \right) \right] \\ &= 0,8773 \approx 87,73 \% \end{aligned}$$

4. Daya Dukung Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} Q_g &= n \times Q_{izin} \times E_g \\ &= 6 \times 307,004 \times 0,8773 \\ &= 1616,008 \text{ kN} \\ &= 164.79 \text{ Ton} \end{aligned}$$

4.4 Penyebaran Tiang Pancang Metode Aoki & De Alencar

Kelompok tiang pancang menerima beban maksimal tiap tiang (P_{max}) dengan menggunakan tiang pancang dengan panjang sisi persegi 0,3 m dan berjumlah 4 tiang pada tiap kelompok. Berikut perumusan grup tiang yang mendapat beban normal sentris dan momen dua arah.

1. Beban aksial (P) = 1431,933 kN
2. Berat Tiang = $Wp \cdot n$
= $23,76 \cdot 6 = 142,56$ kN
3. Berat Pile Cap = $BJ \times P \times L \times T$
= $24 \times 2,5 \times 2,5 \times 1 = 150$ kN
4. Berat Total ($\sum P$) = 1724,493 kN
5. Absis Maks (X_{max}) = 1,0 m
6. Ordinat Maks (Y_{max}) = 0,5 m
7. Jumlah Tiang Arah X = 3 buah
8. Jumlah Tiang Arah Y = 2 buah
9. $\sum X^2$ = $(1,0^2) + (1,0^2) = 1$
10. $\sum Y^2$ = $(0,5^2) + (0,5^2) = 0,5$
11. P_{max} = $\frac{\sum Pv}{n} + \frac{My \cdot X_{max}}{ny \cdot \sum x^2} + \frac{Mx \cdot Y_{max}}{nx \cdot \sum y^2}$
= $\frac{1724,493}{6} + \frac{128,85 \cdot 1}{2 \cdot 1^2} + \frac{272,13 \cdot 0,5}{3 \cdot 0,5^2}$
= 533,260 kN

Syarat $P_{max} \leq Q_g = 533,260 \text{ kN} \leq 1616,008 \text{ kN}$ (AMAN)

4.5 Daya Dukung Lateral Tiang Pancang

Perhitungan daya dukung lateral menggunakan metode Mayerhoff

- **Daya Dukung Lateral Tiang Pancang Tunggal**

1. Modulus Elastisitas Tiang

$$\begin{aligned} E_p &= 4700 \sqrt{f'c} \\ &= 4700 \sqrt{37,35} \\ &= 28723,884 \text{ Mpa} \\ &= 28723884 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2. Modulus Young

$$E_s = 300 \text{ kg/cm}^2 \approx 30000 \text{ kN/m}^2$$

3. Momen Inersia

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot D^4 \\ &= \frac{1}{64} \cdot 3,14 \cdot 0,3^4 \\ &= 0,000397 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

4. Kekakuan Relatif

$$\begin{aligned} K_r &= \frac{E_p I_p}{E_s L^4} = \frac{33234019 \cdot 0,000397}{3000 \cdot 11^4} \\ &= 0,0003 \leq 0,01 \text{ (termasuk tiang panjang dan fleksibel)} \end{aligned}$$

5. Koefisien Tekanan Tanah Lateral

$$\begin{aligned} K_b &= (K_p - K_a) S_{bu} \\ &= [(\text{Tan}^2(45 + \phi/2)) - (\text{Tan}^2(45 - \phi/2))] \times 4,5 \\ &= 3,5775 \end{aligned}$$

6. Daya Dukung Lateral Tunggal

$$\begin{aligned} H_u &= 0,125 \gamma D L^2 K_b \\ &= 0,125 \times 19,1 \times 0,3 \times (11)^2 \times k_b \\ &= 310,0485 \text{ kN} \end{aligned}$$

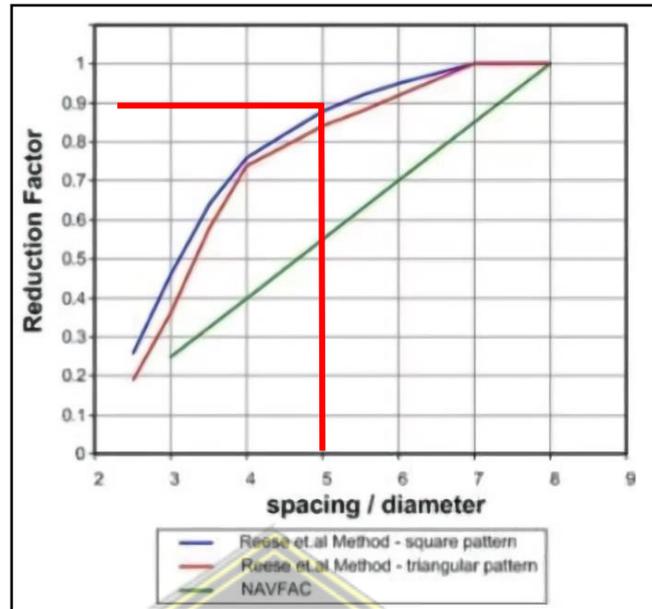
• **Daya Dukung Lateral Tiang Pancang Kelompok**

1. Faktor Reduksi

$$s/d = \frac{1,5 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} = 5 \text{ m}$$

Dari korelasi nilai factor reduksi Gambar 4.1 Didapatkan hasil factor reduksi sebesar 0,89

0,89



Gambar 4.1 Hasil Faktor Reduksi

2. Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok

$$\begin{aligned} H_g &= \text{Faktor reduksi} \times n \times H_u \\ &= 0,89 \times 6 \times 310,049 \\ &= 1655,662 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.6 Penurunan Pondasi Tiang Pancang

• Penurunan Pondasi Tiang Tunggal dengan Manual

Perhitungan penurunan tiang tunggal dengan metode Vesic

$$Q_p = 312.484 \text{ kN} \quad \epsilon_s = 0,5 \text{ (faktor empirik tanah pasir)}$$

$$Q_s = 514.417 \text{ kN} \quad E_s = 30000 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p = 240 \text{ kg/cm}^2 \quad A_p = 0,09 \text{ m}^2$$

$$C_p = 0,02 \quad A_s = 20,41 \text{ m}^2$$

$$\mu_s = 0,35 \text{ (tanah pasir)} \quad I_{ws} = 6,05$$

Perhitungan menggunakan hasil dari metode Aoki & De Alencar

1. Modulus Elastisitas Tiang

$$\begin{aligned} E_p &= 4700 \sqrt{f'c} \\ &= 4700 \sqrt{37,35} \\ &= 28723,884 \text{ Mpa} \\ &= 28723884 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2. Penurunan Tiang Tunggal

Berdasarkan rumus penurunan tiang tunggal (S_1)

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{(Qp + \varepsilon \cdot Qs)L}{A_p \cdot E_p} \\ &= \frac{(312,484 + 0,5 \cdot 514,417)11}{0,09 \cdot 28723884} \\ &= 0,00242 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan rumus penurunan tiang tunggal (S_2)

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{Qp \cdot Cp}{D \cdot qp} \\ &= \frac{312,484 \cdot 0,02}{0,3 \cdot 24000} \\ &= 0,00086 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan rumus penurunan tiang tunggal (S_3)

$$\begin{aligned} S_3 &= \frac{Qs}{As} \times \frac{D}{Es} \times (1 - \mu_s^2) I_{ws} \\ &= \frac{514,417}{13,2} \times \frac{0,3}{30000} \times (1 - 0,35^2) \sqrt{\frac{11}{0,3}} \\ &= 0,0021 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 0,00242 + 0,00086 + 0,00210 \\ &= 0,00538 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{izin} &= 0,1 \times D \\ &= 0,1 \times 0,3 \\ &= 0,03 \text{ m} \end{aligned}$$

$S < S_{izin} = 0,00538 < 0,03$, maka penurunan tiang tunggal AMAN

- **Penurunan Pondasi Tiang Kelompok dengan Manual**

$$\begin{aligned} 1. \quad S_g &= S \sqrt{\frac{b'}{D}} = 0,00538 \sqrt{\frac{2,5}{0,3}} \\ &= 0,0155 \end{aligned}$$

4.7 Analisa Daya Dukung Tiang Pancang dari hasil tes PDA

Analisis daya dukung tiang pancang menggunakan data pengujian langsung dilapangan, data yang didapat merupakan data PDA test.

Tabel 4. 2 Data tiang uji

Nomor Tiang	01
Tanggal Uji	27/01/22
Jenis Tiang	Segiempat
Lebar sisi Tiang (mm)	300
Panjang Tiang dibawah Sensor (m)	11,2
Panjang Tiang Tertanam (m)	11,0
Jenis Hammer	Drop Hammer
Berat Drop Hammer (ton)	1,5
Daya Dukung Ultimate (ton)	120,0
Penurunan Tiang yang Diijinkan (mm)	2,54

Sumber : (Data Proyek)

Daya dukung aksial pada pondasi tiang diestimasi dengan menganalisis record hasil uji terbaik. Estimasi daya dukung aksial pondasi tiang ini dilakukan dengan *Case Method* berdasarkan kurva V dan kurva F yang diperoleh berdasarkan perkiraan daya dukung aksial pondasi tiang yang diuji diantaranya terdiri dari lengketan dan Tahanan Ujung.

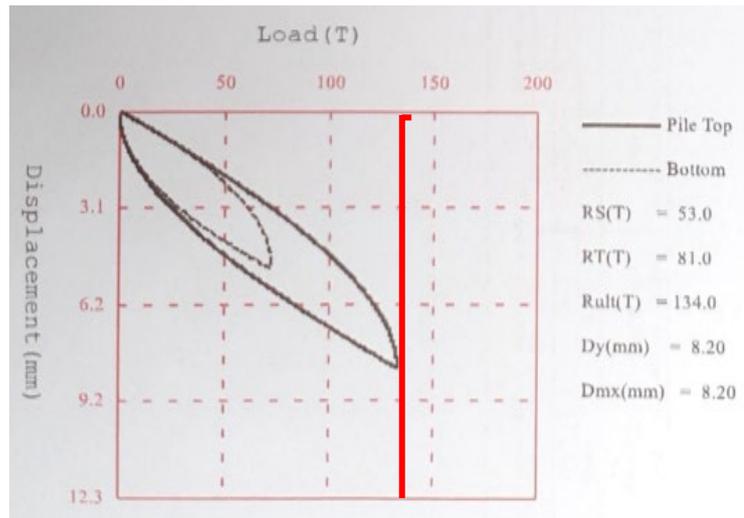
Hasil pengujian PDA yang dianalisis dengan CAPWAP memberikan hasil distribusi daya dukung tanah sepanjang tiang. Ringkasan daya dukung tiang diuji berdasarkan PDA test dan CAPWAP dapat dilihat Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 berikut :

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian berdasarkan 'Case Method' PDA Test

Nomor Tiang	01
Daya Dukung Ultimate (ton)	134

Sumber : (Data Proyek)

Data tabel hasil pengujian PDA tes diatas diperoleh dari grafik hasil pengujian PDA tes berikut.



Gambar 4. 2 Grafik hasil PDA Test

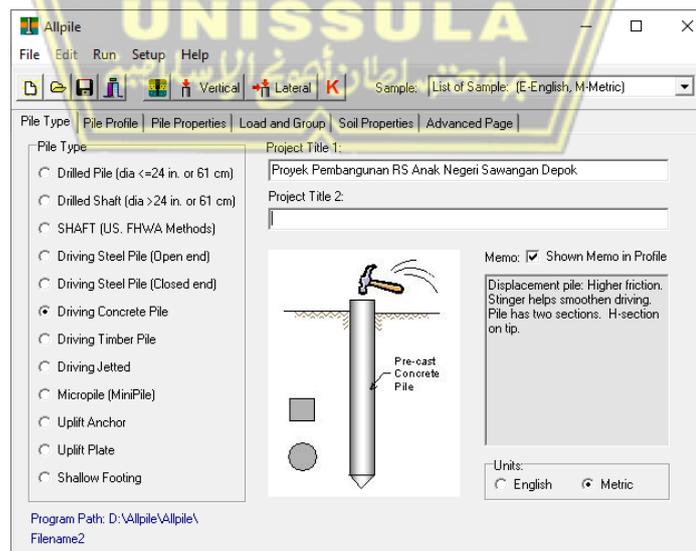
Hasil uji dinamik menggunakan PDA test yang dilaksanakan langsung di lokasi proyek, dihasilkan data daya dukung tiang seperti pada gambar dan tabel diatas.

4.8 Analisa Daya Dukung Tiang Pancang menggunakan aplikasi AllPile

Analisis kapasitas daya dukung tiang pancang dengan menggunakan aplikasi AllPile dengan Langkah – Langkah sebagai berikut :

1. Pile Type

Pilihan menu pertama berisikan tipe pondasi yang akan kita gunakan dan title proyek dapat dinamakan sesuai yang diinginkan atau informasi lain. Tiang pancang yang sesuai dengan data proyek adalah *Driving Concrete Pile*.



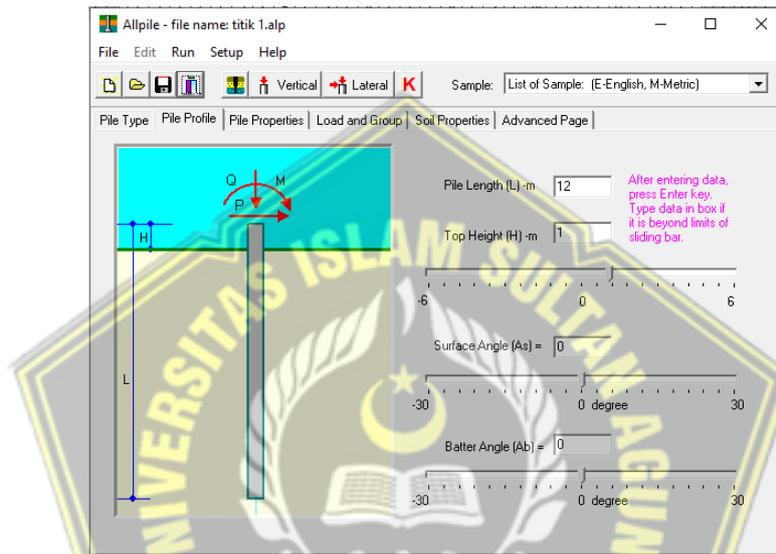
Gambar 4. 1 Pile Type

2. *Pile Profile*

Langkah kedua adalah membuka menu *Pile Profile* yang memberikan rincian tentang tiang pancang yang digunakan, termasuk panjangnya, pemisahan dari tanah, kemiringan (jika miring), dan kemiringan tanah, jika informasi tersedia.

Dari data proyek yang ada diketahui :

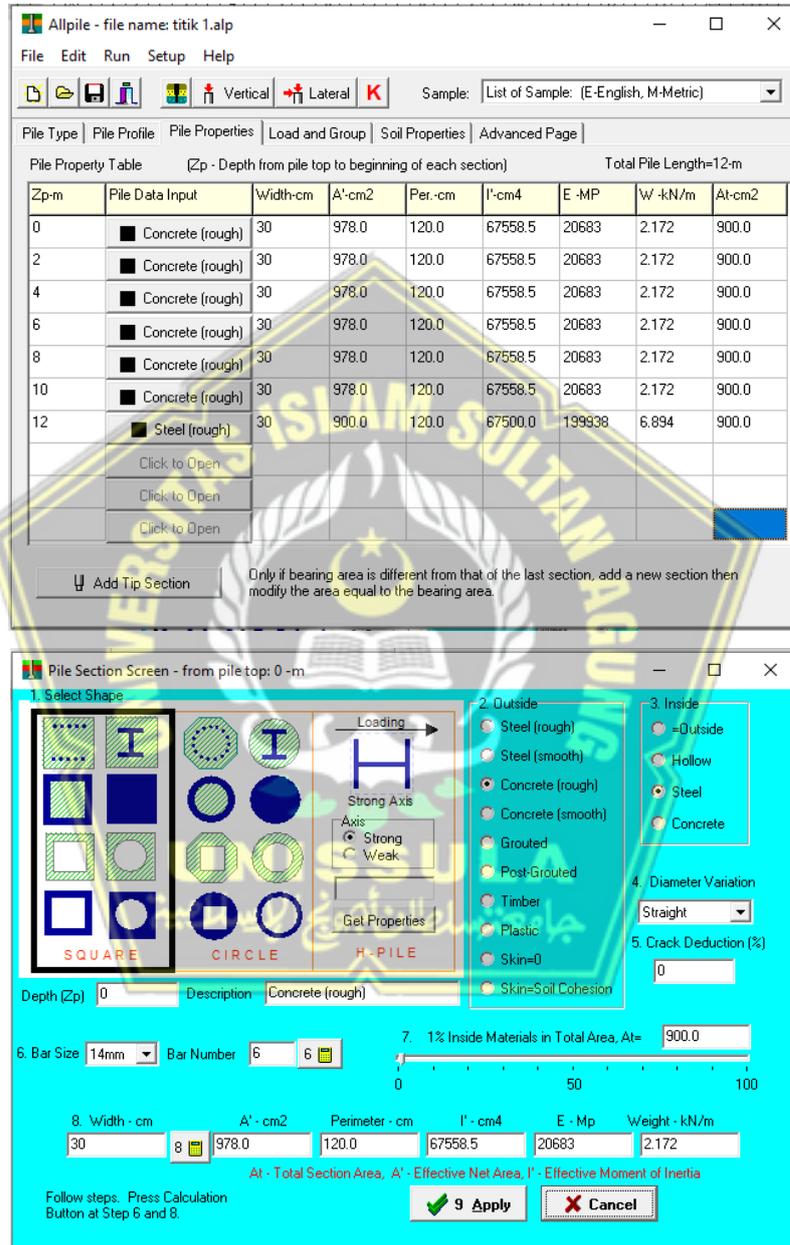
- Panjang tiang tertanam kedalam tanah : 11 m
- Tinggi kepala tiang diatas permukaan tanah : 1 m
- Untuk kemiringan tiang pancang ataupun tanah tidak diketahui dianggap 0



Gambar 4.2 *Pile Profile*

3. Pile Properties

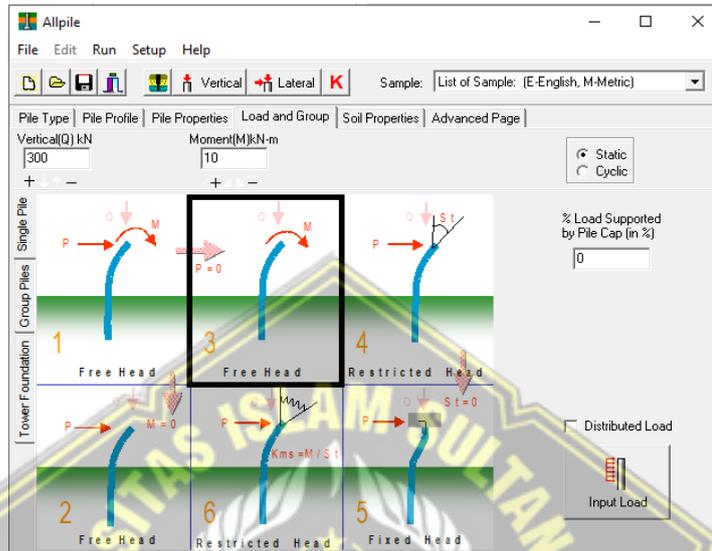
Langkah ketiga adalah ke bagian *Pile Properties* yang terdapat data – data properti dari pile yang dipakai mencakup lebar tiang, material, Inersia, dapat di masukan data properti sesuai data pile yang kita gunakan. Data properti sesuai dengan kondisi tiang pancang seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 3 Pile Properties

4. Load and Group

Berikutnya menu keemoat adalah *Load and Group*. Menu ini berisikan bearnya pembebanan atau beban yang diterima pile. Dalam *software* AllPile terdapat opsi tiang tunggal maupun kelompok. Beban yang dimasukan merupakan beban vertical dan momen dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.4 *Load and Group*

5. Soil Properties

Bagian langkah kelima merupakan bagian *Soil Properties* dengan isi data tanah dimana pondasi tersebut akan dipancang. Data tanah yang dimiliki dapat dimasukan. Data yang dimasukan berupa data CPT dan jenis tanah per lapisan yang diketahui dari grafik hubungan nilai q_c dan friction ratio dalam Gambar 2.3. data yang dimasukan dapat dilihat pada Gambar 4.7.

The image shows two screenshots from the Allpile software. The top screenshot displays a table of soil properties for various depths. The bottom screenshot shows a detailed parameter screen for a soil layer at a depth of 11 meters.

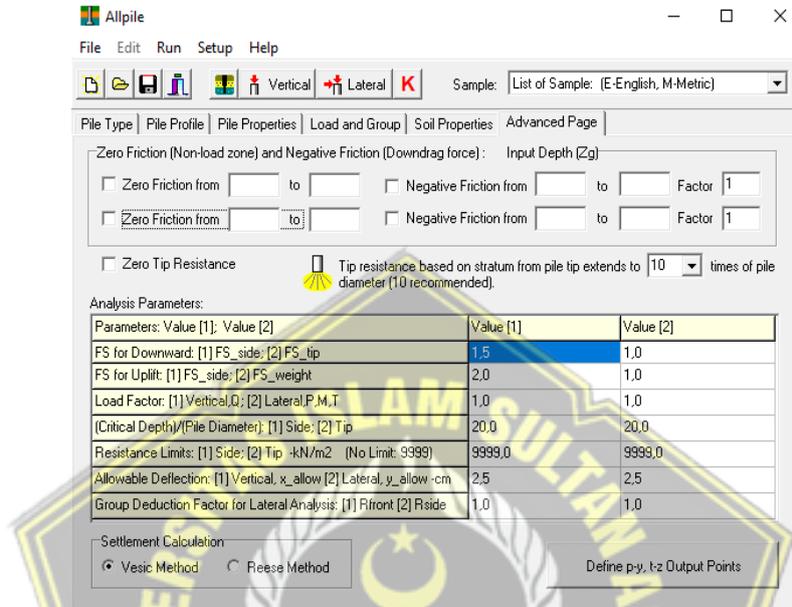
Zg-m	Soil Data Input	G-kN/m ³	Phi	C-kN/m ²	k-MN/m ³	e50 or Dr	Nspt	Type
0	Silt (Phi + C)	16.5	26.1	6.0	7.5	2.32	2	3
2	Silt (Phi + C)	18.6	27.5	14.1	22.6	1.38	5	3
4	Silt (Phi + C)	16.5	26.1	6.0	7.5	2.32	2	3
6	Silt (Phi + C)	16.5	26.1	6.0	7.5	2.32	2	3
8	Silt (Phi + C)	19.9	29.1	24.5	62.9	0.98	8	3
10	Silt (Phi + C)	20.3	29.8	29.9	85.0	0.87	10	3
11	Silt (Phi + C)	20.3	29.8	29.9	85.0	0.87	10	3

The bottom screenshot shows the 'Soil Parameter Screen' for a layer at 11m depth. The soil type is 'Silt (Phi + C)'. The input N1 is 10 (spt), which is corrected to 129.2 lb/ft³ (20.3 kN/m³). The friction is 29.8 kN/m² (0.63 kip/ft²). The cohesion C is 29.93 kN/m² (0.63 kip/ft²). The stiffness k is 85.0 MN/m³ (313.1 lb/in³). The e50 is 0.87%.

Gambar 4. 5 Soil Properties

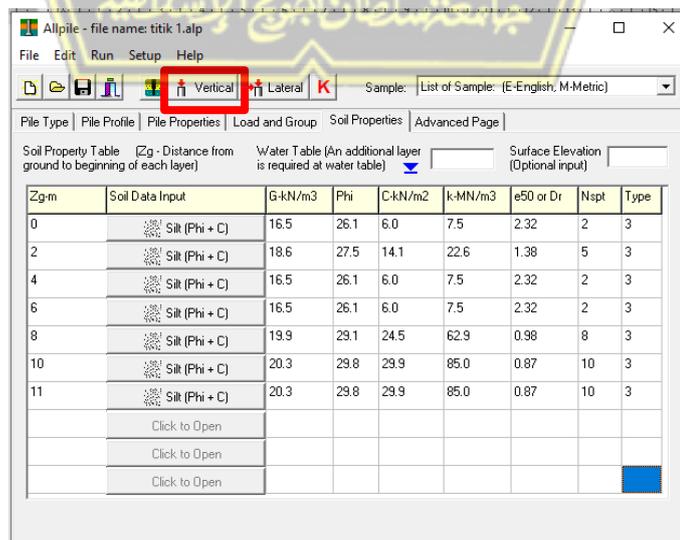
6. Advanced Page

Bagian berikutnya adalah *Advanced Page*, bagian ini dapat diterapkan untuk mengubah jumlah resistansi ujung atau bila tidak ada gesekan kulit pada kedalaman tertentu.. Dan terdapat angka keamanan atau *safety factor* sesuai yang diinginkan.



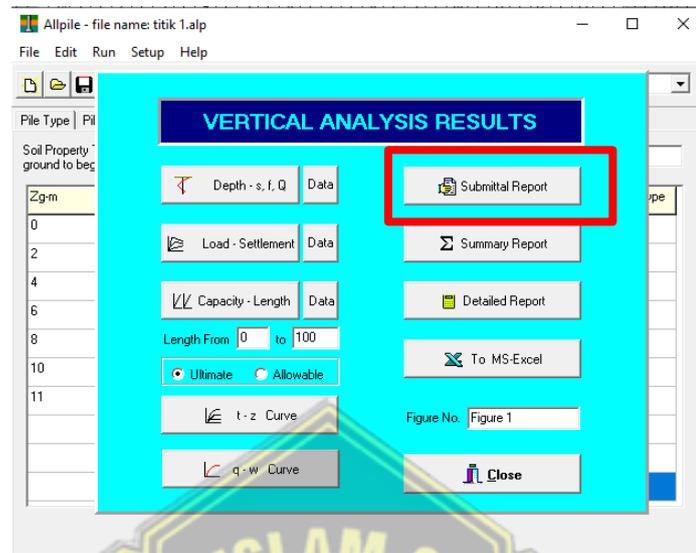
Gambar 4.6 *Advanced Page*

7. Langkah berikutnya setelah mengisi data pile dan tanah, untuk mengetahui berapa nilai daya dukung ultimit (q_u) maka pilih menu Vertical seperti pada Gambar 4.9.



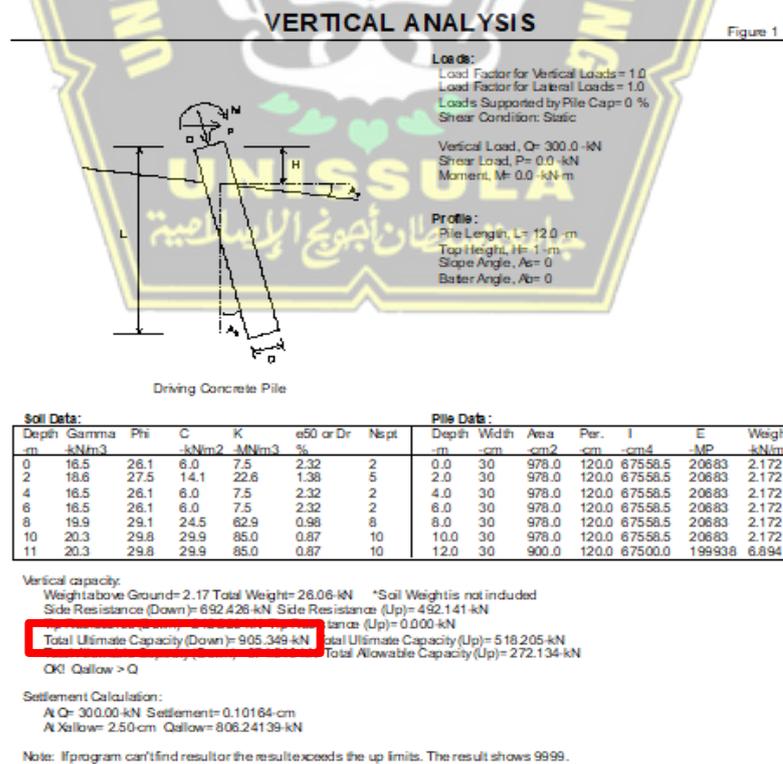
Gambar 4.7 *Vertical Analysis*

8. Setelah itu muncul menu Vertical Analysis Results, dan pilih menu *Submittal Report* seperti Gambar 4.10.



Gambar 4. 8 Detailed Report

9. Berikutnya dalam menu *Submittal Report* dapat dilihat nilai daya dukung ultimit seperti pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 9 Hasil daya dukung ultimit tiang 1 dan 2

Hasil perhitungan daya dukung tiang pancang dari aplikasi Allpile didapatkan nilai 905,349 kN atau 92,320 Ton.

4.9 Pembahasan

Dari perhitungan menggunakan metode Schmertmann - Nottingham, Aoki & De Alencar, PDA Test dan Aplikasi Allpile didapatkan hasil yang bisa dilihat pada tabel 4.6 berikut :

Tabel 4. 6 Hasil perhitungan daya dukung ultimit metode CPT,Allpile & PDA *test*

Metode	Titik	Qu (ton)
Schmertmann & Nottingham	1	101,06
Aoki & De Alencar	1	84,357
PDA Test	1	134
Aplikasi AllPile	1	92,320

Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung ultimate (Qu) dengan metode Schmertmann - Nottingham, Aoki & De Alencar, PDA Test dan Aplikasi Allpile, didapat nilai daya dukung seperti pada tabel 4.6. Perhitungan yang memiliki nilai daya dukung ultimate (Qu) paling besar adalah hasil dari PDA *Test* dan nilai yang mendekati daya dukung ultimate (Qu) dari hasil uji PDA test adalah metode Schmertmann & Nottingham. Dari hasil tersebut dapat dikatakan aman karena hasil PDA Test (metode pengujian langsung di lapangan setelah tiang dipasang) lebih besar dari metode perencanaan lainnya.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis daya dukung tanah dengan metode Schmertmann - Nottingham, Aoki & De Alencar, PDA test, dan juga analisis menggunakan *software* Allpile pada studi kasus Gedung RS Anak Negeri Sawangan Depok, maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil dari perhitungan daya dukung ultimit di lokasi tiang pancang menggunakan data CPT dan dengan perhitungan manual dari metode Schmertmann - Nottingham, Aoki & De Alencar, dan dengan perhitungan *software* AllPile didapat hasil daya dukung (Q_u) sebagai berikut. Metode Schmertmann – Nottingham (101,06 ton), Aoki & De Alencar (84,357 ton), Hasil PDA Test (134 ton) dan perhitungan dengan *software* AllPile (92,32 ton).
2. Hasil dari pengujian PDA test didapat nilai daya dukung ultimit dengan melihat grafik dari data PDA test. Hasil uji PDA test didapatkan Q_u sebesar 134 ton.
3. Perbandingan hasil daya dukung ultimit yang dihitung secara manual dari data CPT menggunakan metode Schmertmann – Nottingham, metode Aoki & De Alencar, hasil pengujian PDA *test* dan perhitungan *software* AllPile dibandingkan dengan hasil pengujian PDA test diketahui hasilnya seperti pada Tabel 4.6 dengan hasil Q_u tertinggi dari pengujian PDA *test*.

5.2 Saran

Dari hasil analisis daya dukung dan kesimpulan yang telah didapat, kami menyimpulkan beberapa saran berikut:

1. Sebelum perhitungan daya dukung dianalisis, kita perlu mendapatkan data teknis lengkap, karena dapat menunjang pada saat analisis data. Memiliki data teknis yang lengkap dapat memperoleh perhitungan yang lebih akurat.
2. Pada perhitungan daya dukung menggunakan data CPT sebaiknya dihitung dengan berbagai metode yang mendukung, agar perbandingan yang didapat lebih bervariasi.
3. Pada penelitian lainnya, disarankan untuk menggunakan metode perhitungan yang belum digunakan dan ditambah menggunakan data test lainnya, agar dapat mengetahui hasil perhitungan yang berbeda.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, R. (2022). *Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Menggunakan Data CPT & SPT Pada Proyek Pembangunan Apartemen 6 Lantai Di Jakarta Selatan*.
- Balamba, S. (2018). Analisis Daya Dukung Lateral Pada Tiang Pancang Kelompok DI Dermaga Belang. *Urnal Sipil Statik Vol.6 No.9 September 2018 (683-692) ISSN: 2337-6732*.
- Bjerrum. (1960). Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah, Mekanika tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 1).
- Bowles, J. E. (1991). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. (1997). Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1 Jose.
- Das. (1991). *Mekanika tanah (prinsip-prinsip rekayasa geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Das. (1994). Geotechnical properties of crude oil contaminated sand. *ASTM Special Technical Publication, 1221, 75-75*.
- Das. (1998). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid-1*. Jakarta: Erlangga.
- Das. (2011). *Mekanika Tanah Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Fernandes, F. (2021). *ANALISIS PERBANDINGAN PERHITUNGAN DAYA DUKUNG TIANG PANCANG SECARA MANUAL DAN*.
- Gunawan, R. (1990). *Pengantar Teknik Pondasi*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Hakam. (2008). *Rekayasa Pondasi*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/292144569>
- Hanafi, M. R., & Tohir, M. (2018). *ANALISA DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DAN METODE AOKI DE ALENCAR PADA GEDUNG LEMBAGA PEMBINAAN KHUSUS ANAK (LPKA) KLAS II SAMARINDA DI KOTA TENGGARONG*.
- Hardiyatmo, H. C. (1996). *Teknik Fondasi 1 Edisi Kedua*. Gramedia Pustaka Utama.
- John Wiley & Sons. (2000). *Soil Mechanics and Foundation*.
- L Braja, J. 1, Bahasa, A., & Noor, L. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip*

Rekayasa Geoteknis).

- Mardianti, I. Y., Nuklirullah, M., & Dwina, D. O. (2022). *ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA SONDIR (STUDI KASUS: PEMBANGUNAN GEDUNG RUMAH SAKIT PENDIDIKAN UNIVERSITAS JAMBI)*. *Menara : Jurnal Teknik Sipil* (Vol. 17).
- Meyerhof, G. G. (1965). Shallow foundations. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*.
- Nji, L. T. (2021). PDA Test. *Lauwtjunnji.Weebly.Com*.
- Raats, P. A. C. (1973). Dynamics of Fluids in Porous Media. *Soil Science Society of America Journal*, 37(4), vi-vi.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1973.03615995003700040004x>
- Rahardjo, P. P. (2013). *Manual Pondasi Tiang*. Bandung: Universitas Parahyangan.
- Riseiyanti, A. (2019). Study Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Data Sondir dan Data Kalendering Pada Bangunan Gedung Asrama BLK Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Sipil*, 1-11.
- Schmertmann, J. H. (1978). Guidelines for cone penetration test: performance and design.
- Setyanto. (1999). *Rekayasa Pondasi I*. Lampung: Fakultas Teknik Unila & Project HEDS-JICA.
- Suhadi. (2020). Analisa daya dukung tiang pondasi boredpile metode pile driving analisis.
- Terzaghi and Peck. (1948). [downacademia.com_karl-terzaghi-ralph-b-peck-gholamreza-mesri-soil-mechanics-in-engineering-practice-3rd-edition-engineersdaily-com](https://www.downacademia.com_karl-terzaghi-ralph-b-peck-gholamreza-mesri-soil-mechanics-in-engineering-practice-3rd-edition-engineersdaily-com).
- Titi & Farsakh. (1999). Evaluation of Bearing Capacity of Piles From Cone Penetration Test.
- Winarti. (2022). Analisis daya dukung pondasi tiang pancang beton pada proyek pembangunan rumah sakit di Kabupaten deli Serdang.