

**ANALISIS PERBANDINGAN KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN
FONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA UJI
LABORATORIUM DAN UJI PDA (PILE DRIVING ANALYZER)
GEDUNG MASJID RAYA PROVINSI RIAU**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Islam Riau
Pekanbaru*



Disusun oleh:

RIZKY EVAN BUCHIKA

143110348

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2022

**HALAMAN PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PERBANDINGAN KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN
FONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA UJI
LABORATORIUM DAN UJI PDA (PILE DRIVING ANALYZER)
GEDUNG MASJID RAYA PROVINSI RIAU**

Disusun Oleh

**RIZKY EVAN BUCHIKA
NPM. 143110348**

Diperiksa dan Disetujui oleh :

Dr. Anas Puri, ST., MT
Pembimbing

.....
Tanggal : 29 maret 2022

HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERBANDINGAN KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN
FONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA UJI
LABORATORIUM DAN UJI PDA (PILE DRIVING ANALYZER)
GEDUNG MASJID RAYA PROVINSI RIAU**

Disusun Oleh
RIZKY EVAN BUCHIKA
NPM. 143110348

**Telah disetujui didepan Dewan Penguji pada tanggal 29 maret 2022 dan dinyatakan
telah memenuhi syarat untuk diterima**

SUSUNAN DEWAN PENGUJI

Dr. Anas Puri, ST., MT
Dosen Pembimbing

Firman Syarif, S.T., M.Eng
Dosen Penguji

Mahadi Kurniawan, S.T., M.T
Dosen Penguji

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (srata satu), baik di Universitas Islam Riau maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain kecuali secara jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan bila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademis dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

29 Maret 2022



RIZKY EVAN BUCHIKA
NPM. 143110348

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penyusunan skripsi yang berjudul **“ANALISIS PERBANDINGAN KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA UJI LABORATORIUM DAN UJI PDA (PILE DRIVING ANALYZER) GEDUNG MASJID RAYA PROVINSI RIAU”** dapat diselesaikan dengan lancar, guna memenuhi persyaratan untuk meraih gelar sarjana pada program studi strata satu (S1) Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Riau.

Skripsi ini berisi tentang rangkuman dan kesimpulan selama penulis melakukan penelitian dan analisis. Rangkuman dan kesimpulan disusun kedalam beberapa bab, bab tersebut terdiri dari Bab I yang berisi tentang latar belakang, Bab II berisi tentang tinjauan pustaka, Bab III berisi tentang landasan teori, Bab IV berisi tentang metode penelitian, Bab V berisi tentang hasil dan pembahasan, dan Bab VI berisi tentang kesimpulan dan saran.

Semoga skripsi ini bermanfaat untuk semua pihak yang berkepentingan suatu saat nanti. Akhir kata penulis memohon maaf jika terdapat kesalahan kata-kata yang kurang berkenan, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa depan.

Pekanbaru, 29 Maret 2022



RIZKY EVAN BUCHIKA

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini dengan baik. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak akan terwujud tanpa adanya dorongan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam penulisan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr H. Syafrinaldi, S.H., M.C.L, Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng Muslim, MT, Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Mursyidah, S.Si., M.Sc, Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT, Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, dan sebagai Dosen Pembimbing.
5. Bapak Akmar Efendi, S.kom., M.Kom, Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Harmiyati, ST., MT, Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
7. Ibu Sapitri, ST., MT, Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
8. Bapak Firman Syarif, S.T., M.Eng sebagai Dosen Penguji.
9. Bapak Mahadi Kurniawan, S.T., M.T sebagai Dosen Penguji.

10. Bapak dan Ibu Dosen pengajar Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
11. Seluruh karyawan dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
12. Ibunda tercinta Effi Nengsih sebagai orang tua yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan serta do'a terbaik yang sangat berperan penting dalam hidup dan proses pendewasaan serta kesuksesan penulis.
13. Ayah tercinta Miswardi sebagai orang tua yang selalu memberikan bantuan, dukungan serta do'a kepada penulis.
14. Kakak tercinta Chindy Ouctra Sally yang selalu memberikan bantuan, dukungan serta do'a kepada penulis.
15. Istri tercinta Isma Oktaviani yang telah memberikan bantuan, dukungan serta do'a kepada penulis.
16. Keluarga/saudara lainnya yang telah memberikan bantuan, dukungan serta do'a kepada penulis.
17. Buat teman dan rekan-rekan lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu penelitian saya untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Terima kasih atas segala bantuannya, semoga penelitian ini bermanfaat bagi kita semua dan semoga segala amal baik kita mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Pekanbaru, 29 Maret 2022



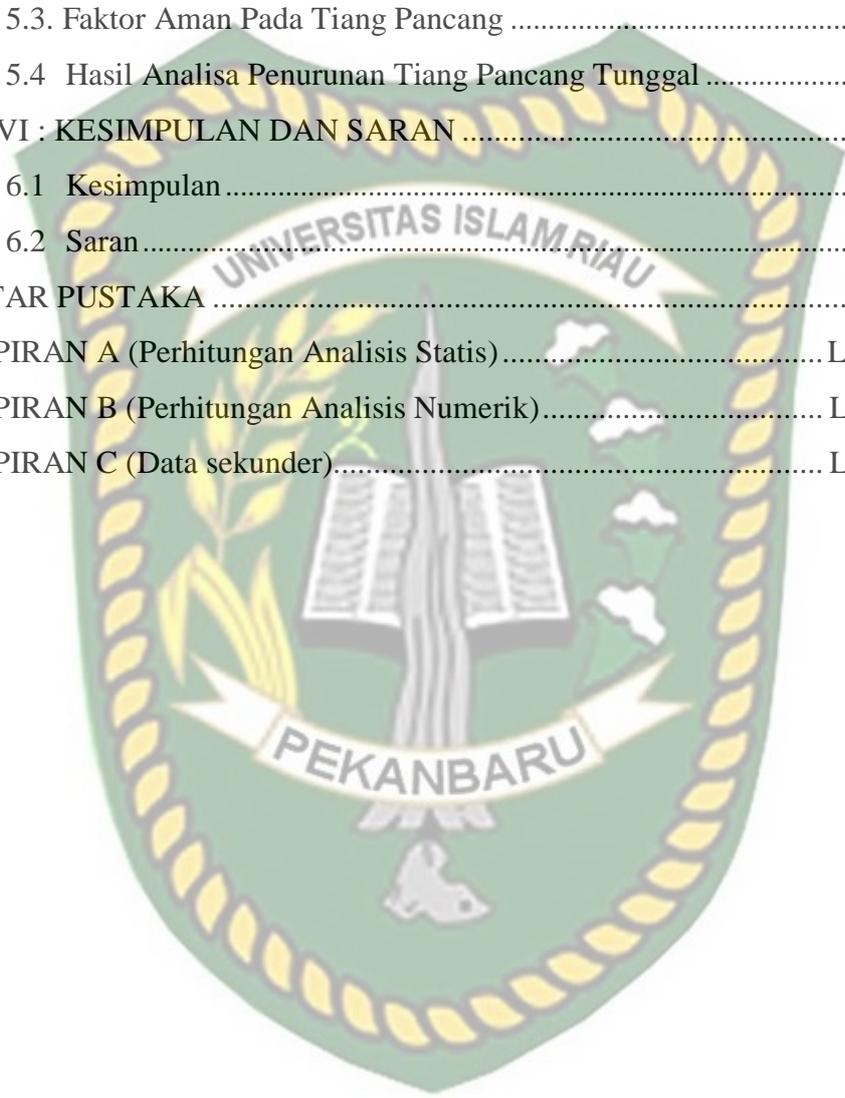
RIZKY EVAN BUCHIKA

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR NOTASI.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK.....	xvi
BAB I : PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Umum.....	4
2.2 Penelitian Terdahulu.....	4
2.3 Keaslian penelitian.....	6
BAB III : LANDASAN TEORI.....	7
3.1 Umum.....	7
3.2 Metode Penyelidikan Tanah.....	7
3.2.1 Standard Penetration Test (SPT).....	7
3.2.2 Uji Laboratorium.....	9
3.3 Klasifikasi Parameter Tanah.....	11
3.4 Fondasi.....	17
3.4.1 Fondasi Tiang Beton Pracetak.....	18
3.4.2 Tiang Dukung Ujung Dan Tiang Gesek.....	20

3.5 Analisis Kapasitas Dukung Tiang Tunggal Metode Statis.	21
1. Metode Kulhawy (Tanah Granular).....	22
2. Metode Poulos Dan Davis (Tanah Granular).....	25
3. Metode U.S Army Corps (Tanah Granular).....	27
4. Metode Alpha (α) pada Tanah Kohesif.	29
5. Metode Lamda (λ) pada Tanah Kohesif.....	30
6. Metode U.S. Army Corps (Tanah Kohesif).....	31
3.6 Perhitungan Penurunan Metode Poulos Dan Davis	32
3.7 Faktor Aman.....	35
3.8 Kapasitas Dukung Dengan PDA Test	36
3.9 Kapasitas Dukung Metode Elemen Hingga Menggunakan Program PLAXIS.....	41
3.9.1 Pemodelan Plaxis.....	42
3.9.2 Jenis Perilaku Material.....	43
BAB IV : METODE PENELITIAN	44
4.1 Lokasi Penelitian.....	44
4.2 Pengumpulan Data Penelitian.....	44
4.3 Tahap Pelaksanaan Penelitian	45
BAB V : HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
5.1 Deskripsi Umum	48
5.2 Hasil Analisis	49
5.2.1 Hasil Klasifikasi Parameter Tanah Dengan Pendekatan N-SPT dan Hasil Uji Laboratorium	49
5.2.3 Hasil Analisa Beban Yang Bekerja Menggunakan Program ETABS.	52
5.2.4 Penerusan Beban Kerja Tiang Pancang Tunggal.....	55
5.2.5 Hasil Analisa Kapasitas Dukung Tiang Pancang Tunggal Metode Statis.	56
5.2.6 Hasil Analisa Kapasitas Dukung Tiang Pancang Tunggal Menggunakan Program Plaxis.....	57

5.2.7 Hasil Uji PDA.....	59
5.2.8 Perbandingan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Tunggal Metode Statis, MEH Menggunakan Plaxis 2D Dan Hasil Uji PDA.....	59
5.3. Faktor Aman Pada Tiang Pancang	61
5.4 Hasil Analisa Penurunan Tiang Pancang Tunggal	63
BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN	64
6.1 Kesimpulan.....	64
6.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN A (Perhitungan Analisis Statis).....	Lampiran A
LAMPIRAN B (Perhitungan Analisis Numerik).....	Lampiran B
LAMPIRAN C (Data sekunder).....	Lampiran C



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rincian penelitian terdahulu.....	2
Tabel 3.1 Hubungan N dengan kerapatan relative (Dr) tanah pasir (Terzaghi dan Peck, 1948 dalam Hardiyatmo, 2011).....	9
Tabel 3.2 Hubungan kuat tekan bebas (q_u) dengan konsistensi (Hardiyatmo, 2011).....	12
Tabel 3.3 Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah (Bowles, 1977 dalam Hardiyatmo 2002).....	13
Tabel 3.4 Nilai-nilai tipikal Rasio Poisson (Kulhawy et al, 1983 dalam hardiyatmo 2020).....	14
Tabel 3.5 Nilai koefisien permeabilitas tanah (Das, 1995)	14
Tabel 3.6 Berat Jenis Tanah (Hardiyatmo, 2002).....	15
Tabel 3.7 Derajat kejenuhan (Hardiyatmo, 2002)	15
Tabel 3.8 Nilai n , e , w , γ_d , γ_b untuk tanah keadaan asli di lapangan (Terzaghi, 1947 dalam Hardiyatmo, 2002)	16
Tabel 3.9 Rasio kd/K_o (Kulhawy et al, 1983 dalam Hardiyatmo 2020)	24
Tabel 3.10 Nilai-nilai δ/ϕ' (Kulhawy et al, 1983 dalam Hardiyatmo 2020).....	25
Tabel 3.11 Nilai K_d dan K_t (U.S Army Corps dalam Hardiyatmo 2020)	29
Tabel 3.12 Nilai - Nilai δ (U.S Army Corps dalam Hardiyatmo 2020).....	29
Tabel 3.13 Faktor aman yang disarankan oleh Reese dan O'Neil (1989 dalam Hardiyatmo 2020).....	36
Tabel 3.14 Nilai Redaman J (Rausche dkk, 1985 dalam Toyeb, 2015)	38
Tabel 5.1 Hasil boring log.....	49
Tabel 5.2 Klasifikasi parameter tanah di kedalaman 0-1,5 m hingga 21-29,5 m. 50	
Tabel 5.3 Data struktur, kolom, balok, pelat lantai.	52
Tabel 5.4 Rekapitulasi beban kolom lantai dasar grid C7.....	54
Tabel 5.5 Beban rencana yang bekerja pada masing-masing tiang pancang	55
Tabel 5.6 Hasil analisis kapasitas dukung tiang pancang tunggal.....	56
Tabel 5.7 Parameter tanah untuk input plaxis.	57
Tabel 5.8 Hasil analisis Plaxis tiang pancang tunggal.	58

Tabel 5.9 Hasil uji PDA	59
Tabel 5.10 Perbandingan Kapasitas Dukung Ultimate.....	59
Tabel 5.11 Faktor aman pada tiang pancang.....	61
Tabel 5.12 Penurunan pondasi tiang pancang tunggal	63



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Sketsa Penetrasi dengan SPT (SNI 4153:2008).....	8
Gambar 3.2 Hubungan ϕ' dengan N-SPT (Peck et al., 1974 dalam Hardiyatmo, 2020)	12
Gambar 3.3 Tiang ditinjau dari cara mendukung beban (Tomlinson, 1977 dalam Hardiyatmo, 2020).....	21
Gambar 3.4 Faktor kapasitas dukung $N\gamma$ (Kulhawy et al, 1983 dalam Hardiyatmo 2020)	23
Gambar 3.5 Faktor kapasitas dukung N_q (Kulhawy et al, 1983 dalam Hardiyatmo 2020)	23
Gambar 3.6 Hubungan N_q dan ϕ' (Berezantzev, 1961 dalam Hardiyatmo 2020).....	25
Gambar 3.7 Hubungan z_c/d terhadap ϕ (Paulos dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo 2020)	26
Gambar 3.8 Hubungan $K_d \text{ tg } \delta$ terhadap ϕ (Paulos dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo 2020).....	27
Gambar 3.9 Hubungan N_q dan ϕ' dari (Reese et al, 2006 dalam Hardiyatmo 2020)	28
Gambar 3.10 Faktor adhesi (α) untuk tiang pancang dalam lempung (McClelland, 1974 dalam Hardiyatmo 2020)	30
Gambar 3.11 Hubungan antara koefisien gesek dinding (λ) dengan kedalaman penetrasi tiang (Vijayvergiya dan Focht, 1972 dalam Hardiyatmo 2020)	31
Gambar 3.12 Nilai α yang digunakan dalam metode U.S Army Corps ($1 \text{ t/ft}^2 = 105,6 \text{ kPa}$) dalam (Hardiyatmo 2020).....	31
Gambar 3.13 Faktor penurunan I_o (Poulos dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo 2020)	33
Gambar 3.14 Koreksi kompresi R_k (Poulos dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo 2020)	33

Gambar 3.15 Koreksi kedalaman R_h (Poulos dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo 2020).....	34
Gambar 3.16 Koreksi angka poisson, R_μ (Poulos dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo 2020).....	34
Gambar 3.17 Skema sistem kerja PDA Test (Hardjasaputra, 2006 dalam Toyeb, 2015).....	37
Gambar 3.18 Macam-macam alat uji beban dinamik (Hardjasaputra, 2006 dalam Toyeb, 2015).....	39
Gambar 3.19 <i>Signal Matching</i> rambatan gelombang PDA dan analisa CAPWAP.....	40
Gambar 3.20 Hasil rekaman rambatan gelombang dengan PDA (Hardjasaputra, 2006 dalam Toyeb, 2015).....	40
Gambar 3.21 Kurva Beban vs Penurunan CAPWAP (Hardjasaputra, 2006 dalam Toyeb, 2015).....	41
Gambar 3.22 Ilustrasi Pemodelan (Brinkgreve et al., 2014 dalam Gunnvard, 2016).....	42
Gambar 4.1 Lokasi pembangunan gedung Masjid Raya Provinsi Riau (Google Satelite).....	44
Gambar 4.2 Bagan alir penelitian.....	47
Gambar 5.1 Tampak bangunan.....	48
Gambar 5.2 Denah dan Detail pile cap F9 C7.....	48
Gambar 5.3 Parameter setiap lapisan tanah titik C7.....	51
Gambar 5.4 Grid F9 C7 dalam ETABS.....	53
Gambar 5.5 Aksial diagram C7.....	54
Gambar 5.6 Penerusan Beban Kerja Tiang Tunggal.....	55
Gambar 5.7 Lapisan tanah, kedalaman dan material.....	58
Gambar 5.8 Perbandingan kapasitas dukung tiang pancang metode analitis, Plaxis 2D dan PDA test.....	60
Gambar 5.9 Penurunan tiang pancang pada F9 C7.....	63

DAFTAR NOTASI



A_b	=	Luas penampang ujung tiang bawah (m^2)
A_s	=	Luas selimut Tiang (m)
α	=	Faktor adhesi
B	=	Lebar (m)
C_b	=	kohesi tanah disekitar ujung tiang (kN/m^2)
c_u	=	Kohesi tak terdrainase (kN/m^2)
d	=	Diameter tiang (m)
D_r	=	Kerapatan Relatif (%)
E	=	Modulus young (kN/m^2)
e	=	Angka Pori
f_b	=	Tahanan Ujung (kN/m^2)
f_c'	=	Mutu beton (Mpa)
f_s	=	Tahanan Gesek (kN/m^2)
f_y	=	Mutu baja (Mpa)
G_s	=	Berat Jenis
h	=	Kedalaman total lapisan tanah
I_o	=	Faktor pengaruh penurunan uantuk tiang yang tidak mudah mampat dalam massa semi tak terhingga
I_r	=	Indeks kekakuan
K	=	Faktor kekakuan tiang
K_d	=	koefisien tekanan tanah pada sisi tiang
K_o	=	Koefisien tekanan tanah lateral saat diam
k_x	=	Koefisien permeabilitas arah horizontal (m/day)
k_y	=	Koefisien permeabilitas arah vertikal (m/day)
L	=	Kedalaman total tiang pancang
n	=	Porositas (%)
N_c	=	Faktor kapasitas dukung

N_q	=	Faktor kapasitas dukung
N_γ	=	Faktor kapasitas dukung
OCR	=	<i>Overconsolidation ratio</i> (rasio konsolidasi berlebihan)
P_b	=	tekanan “overburden” didasar tiang (kN/m^2)
P_b'	=	tekanan vertikal efektif tanah pada ujung bawah tiang (kN/m^2)
p_o'	=	Tekanan <i>overburden</i> efektif (kN/m^2)
Q	=	Beban yang bekerja (kN)
Q_a	=	Kapasitas dukung izin (kN)
Q_b	=	Kapasitas dukung ujung ultimit (kN)
Q_s	=	Kapasitas dukung gesek ultimit (kN)
Q_u	=	Kapsitas dukung ultimit (kN)
q_u	=	tahanan ujung per satuan luas tiang (kN/m^2)
R_a	=	Rasio area tiang
R_h	=	Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras.
R_k	=	Faktor koreksi kemudahan – mampatan (kompresibilitas) tiang untuk $\mu = 0,5$
R_μ	=	Faktor koreksi angka poisson
S	=	Penurunan tiang tunggal (mm)
SF	=	Faktor aman
S_r	=	Drajat Kejenuhan (%)
μ	=	Poisson Rasio tanah (0,2 untuk pasir longgar dan 0,35 untuk pasir padat)
w	=	Kadar Air (%)
W_p	=	Berat sendiri tiang (kN)
γ'	=	Berat Volume Efektif (kN/m^3)
γ_b	=	Berat Volume Basah (kN/m^3)
γ_d	=	Berat Volume Kering (kN/m^3)
γ_w	=	Berat volume air ($9,81\text{kN/m}^3$)
z	=	kedalaman titik yang ditinjau dari permukaan tanah
z_c	=	Kedalaman kritis (m)

- φ = Sudut Gesek Dalam ($^{\circ}$)
 $\varphi d'$ = Sudut gesek dinding efektif antara sisi tiang dan tanah
 λ = Koefisien tidak berdimensi



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. PERHITUNGAN STATIS

A.1 Klasifikasi Parameter Tanah

A.2 Beban Yang Bekerja Setiap Tiang Pancang

A.3 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang

1. Perhitungan daya dukung berdasarkan bahan tiang
2. Perhitungan Dengan Metode α (kohesif)
3. Perhitungan Dengan Metode λ (kohesif)
4. Perhitungan Dengan Metode U.S. Army Corps (kohesif)
5. Perhitungan Dengan Metode U.S. Army Corps (granular)
6. Perhitungan Dengan Metode Kulhawy (granular)
7. Perhitungan dengan metode Poulos dan Davis (granular)

A.3.1 Rekapitulasi hasil perhitungan tahanan gesek tiang pancang

A.3.2 Rekapitulasi hasil perhitungan tahanan ujung tiang pancang

A.3.3 Rekapitulasi Kapasitas Dukung Tiang Pancang

A.4 Perhitungan Faktor Aman

A.5 Analisa Penurunan Tiang Pancang

LAMPIRAN B. PERHITUNGAN SOFTWARE

B.1 Analisa Beban Rencana Pada Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Software ETABS

B.1.1 Beban Mati

B.1.2 Beban Hidup

B.1.3 Beban Gempa

B.1.4 Beban angin

B.1.5 Reduksi Kekakuan Komponen Struktur

B.1.6 Kombinasi pembebanan

B.2. Analisa Kapasitas Dukung Dan Penurunan Tiang Pancang Menggunakan Metode Elemen Hingga (PLAXIS 2D V 8.6)

B.2.1. Langkah pemodelan dan penginputan pada Plaxis

B.2.2 Hasil output plaxis

LAMPIRAN C. DATA DATA SEKUNDER

1. Data laboratorium
2. Data PDA
3. Data Pemancangan
4. Gambar Struktur
5. Data Struktur



**ANALISIS PERBANDINGAN KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN
FONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA UJI
LABORATORIUM DAN UJI PDA (*PILE DRIVING ANALYZER*) GEDUNG
MASJID RAYA PROVINSI RIAU**

RIZKY EVAN BUCHIKA

143110348

ABSTRAK

Pembangunan Masjid Raya Provinsi Riau dilaksanakan pada tahun 2018 di Jalan Lintas Sumatra, Palas, Kecamatan Rumbai, Kota Pekanbaru, Riau. Pada lokasi tersebut dilakukan tiga macam penyelidikan tanah yaitu *cone penetration test*, *standart penetration test* dan uji Laboratorium tanah. Hasil penyelidikan yang terdiri dari tanah kohesif hingga kedalaman 10 m dan seterusnya hingga 29,5 m terdiri dari tanah granular. Jenis fondasi yang digunakan adalah tiang pancang segi empat 25x25 cm dengan mutu beton K-450 dipancang dengan metode pukulan menggunakan *diesel hammer*, dari data pemancangan terdapat beberapa tiang yang mengalami keretakan pada saat dilakukan pemancangan serta perbedaan kedalaman yang signifikan pada salah satu tiang yang terpancang. Kondisi tersebut memiliki daya tarik tersendiri bagi peneliti untuk mengetahui perbandingan nilai kapasitas dukung, nilai penurunan, serta nilai faktor aman fondasi tiang tunggal berdasarkan data-data yang didapatkan, penelitian dilakukan hanya pada fondasi tiang pancang yang telah diuji *pile driving analyzer* yaitu pile cap F9 grid C7.

Terdapat banyak metode yang digunakan dalam menganalisis kapasitas dukung fondasi. Analisis perhitungan dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan parameter tanah yang didapatkan dari hasil uji laboratorium, untuk analisis statis dipilih metode Alpha, metode Lamda, dan metode U.S Army Corps guna menganalisis tahanan gesek pada tanah kohesif, metode Kulhawy, metode Poulos dan Davis, dan juga metode U.S Army Corps guna menganalisis tahanan gesek serta tahanan ujung pada tanah granular. Untuk analisis numerik metode elemen

hingga menggunakan program Plaxis berdasarkan beban rencana yang didapatkan menggunakan program Etabs.

Dari analisis perhitungan diperoleh hasil perbandingan kapasitas dukung ijin (Q_a) semua tiang pancang tunggal dengan menggunakan metode statis sebesar 163,392 kN - 309,494 kN, metode elemen hingga program Plaxis 2D sebesar 184,632 kN - 222,352 kN, yang artinya semua hasil kapasitas dukung ijin (Q_a) fondasi tersebut mampu mendukung beban rencana (P_i) yang diperoleh dari program Etabs yaitu sebesar 129,67 kN - 151,69 kN, dan jauh lebih kecil jika dibandingkan kapasitas dukung ijin hasil uji *pile driving analyzer* yaitu sebesar 510,4 kN. Penurunan segera menggunakan metode statis Poulos dan Davis diperoleh hasil lebih kecil yaitu 0,66 mm - 1,8 mm dibandingkan metode elemen hingga program Plaxis 2D sebesar 5,56 mm - 8,91 mm dan hasil uji *pile driving analyzer* sebesar 7 mm. Nilai faktor aman (SF) analisis statis dan analisis numerik diperoleh hasil sebesar 3 - 5,9 dikarenakan kapasitas dukung ultimitnya yang besar, namun hasil tersebut merupakan kontrol tidak normal atau tidak efisien dalam pelaksanaannya, untuk perencanaan pembangunan gedung permanen untuk kontrol normal pada umumnya digunakan nilai faktor aman $\geq 2,5$. Pada tiang nomor 4 dengan kedalaman penetrasi terkecil diantara semua tiang (12 m) diperoleh hasil $Q_a > P_i$ dengan $SF > 2,5$. Kemungkinan terjadinya keretakan pada saat pemancangan (tiang nomor 5, 6 dan 8) adalah akibat pemancangan yang berlebihan karena tiang telah mencapai tanah keras pada kedalaman > 12 m dan mampu mendukung beban rencana pada kedalaman tersebut seperti tiang nomor 4. Dari semua hasil perbandingan kapasitas dukung, penurunan serta faktor aman, tiang pancang nomor 4 diperoleh nilai terkecil, namun masih mampu mendukung beban rencana, maka sebaiknya pemancangan cukup pada kedalaman 12 m saja seperti tiang nomor 4 agar lebih efisien atau sebaiknya pemancangan pada fondasi grid C7 hanya membutuhkan < 9 tiang jika dipancang pada kedalaman ≥ 17 m.

Kata Kunci : Fondasi tiang pancang, Kapasitas dukung, Penurunan elastis, Faktor Aman, Analisis Statis, Analisis Numerik.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF SUPPORTING CAPACITY AND
DECREASE FOUNDATION BASED ON LABORATORY TEST AND
PILE DRIVING ANALYZER TEST OF THE GREAT MOSQUE
BUILDING RIAU PROVINCE**

RIZKY EVAN BUCHIKA

143110348

ABSTRACT

The construction of the Riau Province Grand Mosque was carried out in 2018 on Jl. Cross Sumatra, Palas, District Rumbai, Pekanbaru City, Riau. At that location, three kinds of soil investigations were carried out, namely cone penetration test, standard penetration test and soil laboratory test. The results of the investigation consist of cohesive soil to a depth of 10 m and so on up to 29.5 m consisting of granular soil. The type of foundation used is a 25x25 cm rectangular pile with K-450 concrete quality, driven by the blow method using a diesel hammer, from the driving data there are several piles that experience cracks when driving and a significant difference in depth on one of the piles. This condition has its own charm for researchers to find out the comparison of the value of bearing capacity, settlement value, and the value of the safety factor for single pile foundations based on the data obtained, the research was carried out only on pile foundations that have been tested by pile driving analyzer, namely pile cap F9 grid C7.

There are many methods used in analyzing the bearing capacity of the foundation. Calculation analysis in this study was carried out based on soil parameters obtained from laboratory test results, for static analysis the Alpha method, the Lamda method, and the US Army Corps method were chosen to analyze the frictional resistance in cohesive soils, the Kulhawy method, the Poulos and Davis method, and also the method US Army Corps to analyze frictional resistance and end resistance in granular soils. For numerical analysis

of the finite element method using the Plaxis program based on the design load obtained using the Etabs program.

From the calculation analysis, the results of the comparison of the allowable bearing capacity (Q_a) of all single piles using the static method are 163.392 kN - 309.494 kN, the finite element method of the Plaxis 2D program is 184.632 kN - 222.352 kN, which means all the results of the allowable bearing capacity (Q_a) the foundation is able to support the design load (P_i) obtained from the Etabs program, which is 129.67 kN - 151.69 kN, and is much smaller than the permit bearing capacity of the pile driving analyzer test results, which is 510.4 kN. Immediate reduction using the Poulos and Davis static method obtained smaller results, namely 0.66 mm - 1.8 mm compared to the finite element method of the Plaxis 2D program of 5.56 mm - 8.91 mm and the pile driving analyzer test results were 7 mm. The value of the safety factor (SF) for static analysis and numerical analysis obtained results of 3 - 5.9 due to the large ultimate bearing capacity, but these results are abnormal or inefficient controls in their implementation, for planning the construction of permanent buildings for normal control generally the safe factor value is used ≥ 2.5 . On pile number 4 with the smallest penetration depth among all piles (12 m) the results are (Q_a) > (P_i) with (SF) > 2.5. The possibility of cracking during driving (piles 5, 6 and 8) is the result of excessive driving because the pile has reached hard ground at a depth of > 12 m and is able to support the design load at that depth like pile number 4. , settlement and safety factor, pile number 4 obtained the smallest value, but is still able to support the design load, so it is better if the driving is only at a depth of 12 m such as pile number 4 to be more efficient or it is better if the pile on the C7 grid foundation only requires < 9 piles if staked at a depth of ≥ 17 m.

Keywords: Pile foundation, Ultimate bearing capacity, Elastic settlement, Safety factor, Static method, Numerical method.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi untuk memikul beban yang ada di atasnya. Tahap pertama dalam pelaksanaan perencanaan konstruksi adalah penyelidikan tanah untuk bahan pertimbangan dalam menganalisis daya dukung, penurunan serta tingkat keamanan, karena tanah berfungsi meneruskan beban bangunan yang didistribusikan oleh fondasi (Hardiyatmo, 1996)

Pembangunan Masjid Raya Provinsi Riau dilaksanakan pada tahun 2018 di Jl. Lintas Sumatra, Palas, Kec. Rumbai, Kota Pekanbaru, Riau. Pembangunan masjid ini juga menambah sektor pariwisata religi di Riau karena berlokasi dekat tepian sungai siak. Pada lokasi tersebut dilakukan 3 macam penyelidikan tanah yaitu uji sondir/*Cone Penetration Test* (CPT), uji *Standart Penetration Test* (SPT) dan uji Laboratorium tanah.

Kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang harus lebih besar dari beban yang direncanakan untuk dapat menahan bangunan secara aman serta tidak terjadi penurunan pada struktur tersebut. Jenis fondasi yang digunakan ialah fondasi tiang pancang persegi 25 cm dengan mutu beton K-450 dipancang dengan metode pukulan menggunakan *diesel hammer*, dari hasil data pemancangan terdapat beberapa tiang yang mengalami keretakan pada saat melakukan pemancangan serta perbedaan kedalaman yang signifikan pada salah satu tiang yang terpancang.

Kondisi tersebut memiliki daya tarik tersendiri untuk diteliti agar mengetahui nilai perbandingan kapasitas dukung, nilai penurunan, serta faktor aman fondasi tiang tunggal berdasarkan data-data yang didapatkan, penelitian dilakukan hanya pada fondasi tiang pancang yang telah diuji *Pile Driving Analyzer* (PDA) yaitu pile cap F9 grid C7.

Terdapat banyak metode yang digunakan dalam menganalisis kapasitas dukung fondasi. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan analisis statis dan analisis numerik menggunakan pemrograman komputer. Hasil penyelidikan tanah

terdiri dari tanah kohesif dan tanah granular atau tanah keras yang terdapat pada kedalaman > 10 m. Karena proses pemasangan tiang yang dipancang sangat berpengaruh terhadap kelakuan tiang dan perubahan sifat tanah dalam mendukung beban maka perhitungan dianalisis berdasarkan data hasil uji laboratorium penyelidikan tanah, untuk menganalisa tahanan gesek ultimit pada tanah kohesif menggunakan metode Alpha, metode lamda, dan metode U.S Army Corps dan untuk menganalisa tahanan gesek serta tahanan ujung ultimit pada tanah granular menggunakan metode kulhawy, metode Poulos dan Davis, dan juga metode U.S Army Corps (Hardiyatmo, 2020). Untuk perhitungan secara numerik menggunakan metode elemen hingga program Plaxis, berdasarkan beban rencana struktur yang diperoleh dari program Etabs.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang didapat dari latar belakang ialah:

1. Berapakah nilai kapasitas dukung fondasi tiang pancang tunggal?
2. Berapakah nilai faktor aman terhadap beban rencana?
3. Berapakah nilai penurunan fondasi yang terjadi akibat beban rencana?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang ada, dapat diketahui tujuan penulisan antara lain:

1. Mengetahui nilai kapasitas dukung fondasi tiang pancang tunggal.
2. Mengetahui nilai faktor aman terhadap beban rencana.
3. Mengetahui nilai penurunan elastis fondasi akibat beban rencana.

1.4 Manfaat Penelitian

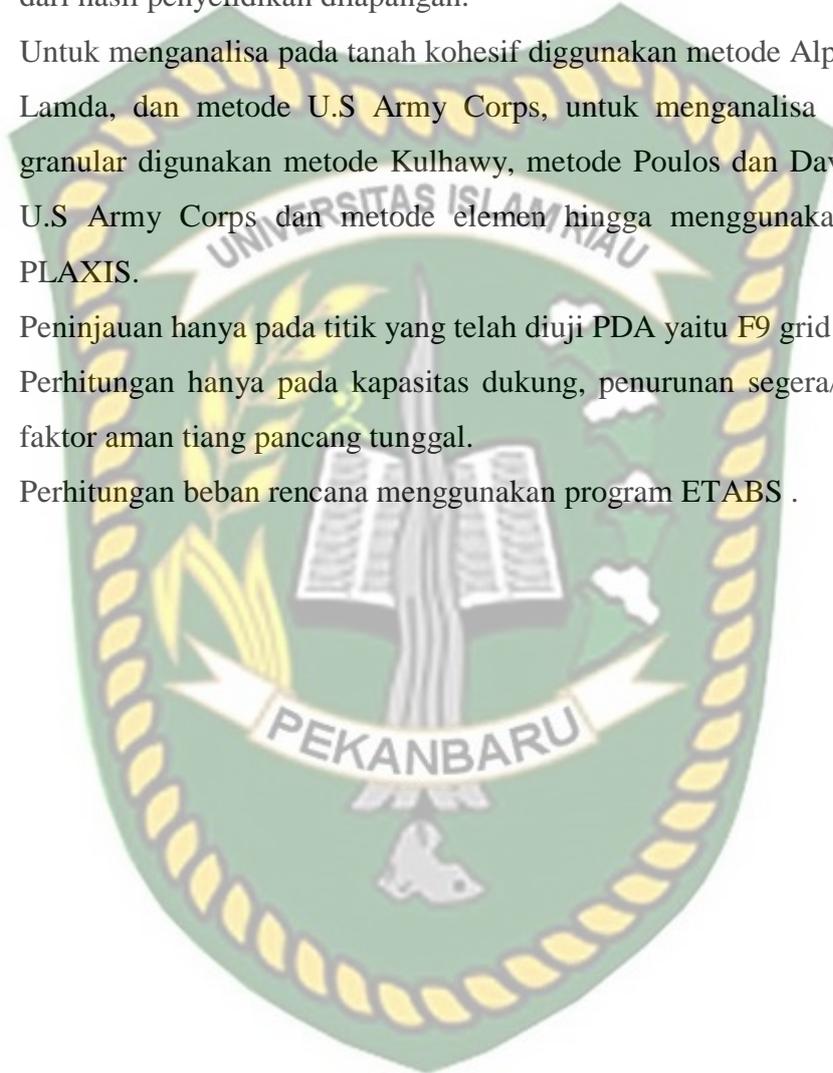
Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis, mendalami ilmu Teknik Sipil khususnya ilmu pada bidang fondasi dalam dan menganalisis menurut metode yang dipilih.
2. Bagi pihak pembaca, sebagai referensi mengenai analisis tiang pancang menggunakan data korelasi hasil uji laboratorium tanah.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam karya ilmiah ini antara lain:

1. Data yang digunakan untuk menganalisis yaitu data uji laboratorium tanah dari hasil penyelidikan dilapangan.
2. Untuk menganalisa pada tanah kohesif digunakan metode Alpha, metode Lamda, dan metode U.S Army Corps, untuk menganalisa pada tanah granular digunakan metode Kulhawy, metode Poulos dan Davis, metode U.S Army Corps dan metode elemen hingga menggunakan program PLAXIS.
3. Peninjauan hanya pada titik yang telah diuji PDA yaitu F9 grid C7.
4. Perhitungan hanya pada kapasitas dukung, penurunan segera/elastis dan faktor aman tiang pancang tunggal.
5. Perhitungan beban rencana menggunakan program ETABS .



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka bertujuan untuk menguatkan penelitian yang sedang dilakukan dengan berlandaskan penelitian yang sudah ada sebelumnya. Tinjauan pustaka memuat tentang hasil penelitian yang terdahulu sebagai landasan bagi peneliti untuk melakukan suatu penelitian dengan teori-teori yang relevan. Penelitian ini dilakukan tidak terlepas dari hasil penelitian-penelitian serupa yang pernah dilakukan sebelumnya sebagai bahan perbandingan dan kajian. Penelitian mengenai pondasi tiang pancang sudah banyak dilakukan diberbagai tempat dengan metode-metode yang berbeda-beda. Maka dari itu, dalam bab ini memuat beberapa referensi dari penelitian sebelumnya antara lain Aldino (2019), Ahmad, dkk (2016), Yusti, dkk (2014).

2.2 Penelitian Terdahulu

Yusti, dkk (2014), dalam penelitiannya yang berjudul Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi Dengan Hasil Uji *Pile Driving Analyzer* Test Dan Capwap (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang) Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan daya dukung pondasi tiang tunggal secara analitis dan numeris dengan pengujian dinamik tes dilapangan atan *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan CAPWAP. Secara analitis, perhitungan dilakukan dengan analisis manual menggunakan metode Bagemann, deRuitter dan Beringen, Mayerhof (1976), Mayerhof (1956), Alpha (α), Tonlinson (1977) yang dilakukan dengan menghitung kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data-data dari lapangan yang didapat dari pengujian CPT dan SPT, sedangkan numeris yaitu menghitung dengan menggunakan metode elemen hingga menggunakan program Plaxis 2D V.8. Perhitungan dilakukan pada dua titik pengujian dilapangan yaitu titik SI dan S2 untuk pengujian CPT, sedangkan pengujian SPT yaitu titik BHI dan BH2 yang akan diverifikasi dengan pengujian

PDA dan CAPWAP. Dari hasil analisis secara manual dan program, dapat disimpulkan bahwa metode Mayerhof (1956) memiliki nilai rentang paling kecil dibandingkan dengan metode-metode lainnya yang diverifikasi dengan pengujian PDA dan CAPWAP. Nilai Q_u sebesar 128,298 ton berbanding 118 ton, dan 102 ton pada titik BHI. Sedangkan pada titik BH2 Q_u sebesar 118,679 ton berbanding 165 ton, dan 163 ton.

Ahmad, dkk (2016), dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Menggunakan Data Insitu Test, Parameter Laboratorium Terhadap Loading Test Kantledge”. Tujuan penelitiannya untuk menghitung perbandingan daya dukung tiang pancang dari hasil data *in situ test* (Sondir/CPT dan SPT), hasil parameter laboratorium, dan hasil formula dinamis dibandingkan dengan hasil pembebanan statis (*static loading test kantledge*). Pada perhitungan daya dukung tiang pancang dilakukan beberapa metode yaitu untuk data sondir menggunakan metode bagemann, metode deRuiter dan beringen, untuk data SPT menggunakan metode Meyerhof (1956) dan metode L. Decourt (1982), untuk data hasil laboratorium dengan metode Alpha (α), metode Lamda (λ), dan metode U.S Army Corp, untuk data formula dinamis dengan metode Hiley (1930), metode ENR, metode Janbu (1953), metode Mansur dan Hunter (1970). Beberapa metode perhitungan daya dukung pondasi tersebut terdapat perbedaan nilai, baik dilihat dari penggunaan metode perhitungan, faktor aman (*safety factor*) yang digunakan maupun lokasi titik yang di tinjau. Berdasarkan data sondir dengan metode Bagemann dari titik pancang 1 s/d 4 diperoleh hasil rata-rata $Q_{ult} = 360,43$ ton dan metode deRuiter and Beringen dari titik pancang 1 s/d 4 diperoleh hasil rata-rata $Q_{ult} = 536,99$ ton. Untuk data SPT dengan metode Meyerhof (1956) dari titik pancang 1 s/d 4 diperoleh hasil rata-rata $Q_{ult} = 407,09$ ton, metode L.Decourt (1982) diperoleh hasil rata-rata $Q_{ult} = 536,99$ ton.

Aldino (2019), dalam penelitiannya yang berjudul “Tinjauan Perbedaan Kuat Dukung Tiang Tunggal Antara Data Kalendering, Data SPT, Dan Data PDA Test Pada Tiang Pancang No. 7 Dan No. 25 Pile Cap No. 1 Overpass Sta 58+250 Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai”. Dalam penelitian ini perhitungan tiang pancang berdasarkan hasil kalendering digunakan metode Hilley dan berdasarkan

hasil SPT digunakan metode Meyerhoff. Pemancangan dipilih metode penumbuk *Diesel Hammer* (Kobelco K45). Hasil analisis dari formula statik dan dinamik memberikan nilai kuat dukung ultimit (Q_u) yang beragam untuk data penyelidikan tanah dan data pemancangan di lokasi *Pier* yang sama. Berdasarkan hasil analisa perbandingan kuat dukung ultimit (Q_u) *spun pile* di *Pier* I pada titik P1-07 dan P1-25 dari formula Hilley memiliki nilai kuat dukung ultimit (Q_u) 295,11 ton, yang cenderung serupa dengan *PDA test* yaitu sebesar 278 ton. Hasil perhitungan formula dinamik metode Meyerhoff sebesar 533,73 ton, menunjukkan bahwa nilai kuat dukung ultimit (Q_u) yang lebih besar dibanding formula statik metode Hilley dan *PDA test*.

2.3 Keaslian penelitian

Judul yang diajukan oleh penulis dalam penelitian terdapat beberapa perbedaan dan persamaan dengan penelitian terdahulu, rinciannya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Rincian penelitian terdahulu.

No	Nama	Lokasi	Tinjauan	Data	Metode	Perbandingan
1	Yusti, dkk	Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkal pinang.	Kapasitas dukung aksial tiang tunggal dan kelompok	- Sondir - SPT - Uji Laboratorium	- Bagemann - DeRuitter dan Beringen - Meyerhof - Alpha (α) - Tomlinson - Plaxis 2D	<i>PDA test</i>
2	Ahmad, dkk	Pembangunan Green Hill Apartement, Jakarta.	Kapasitas dukung aksial tiang tunggal	- Sondir - SPT - Uji Laboratorium	- Bagemann - DeRuitter dan Beringen - Meyerhof - L. Decourt - Alpha (α) - Lamda (λ) - U.S Army Corp - Hiley, ENR - Janbu - Mansur dan Hunter	<i>Static loading test</i>
3	Aldino	Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru - Dumai	Kapasitas dukung aksial tiang tunggal	- Kalendering - SPT	- Hilley - Meyerhoff	<i>PDA test</i>

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Seperangkat definisi, konsep, porposi, serta sistematis tentang variabel-variabel yang kuat telah dituangkan dalam bab ini untuk menjadi dasar dalam sebuah penelitian agar mendapatkan hasil yang valid serta solid. Pembahasan tersebut meliputi teori-teori yang berkaitan dengan judul penelitian, antara lain mengenai tanah, fondasi, perhitungan kapasitas dukung tiang dan penurunan fondasi, serta software yang digunakan sebagai penunjang dalam perhitungan. Karena tingkat keberhasilan suatu bangunan tidak ditentukan dengan kokohnya struktur atas saja, tetapi konstruksi dibawah menjadi suatu kesatuan struktur bangunan yang merupakan salah satu komponen paling utama dalam pembangunan.

3.2 Metode Penyelidikan Tanah

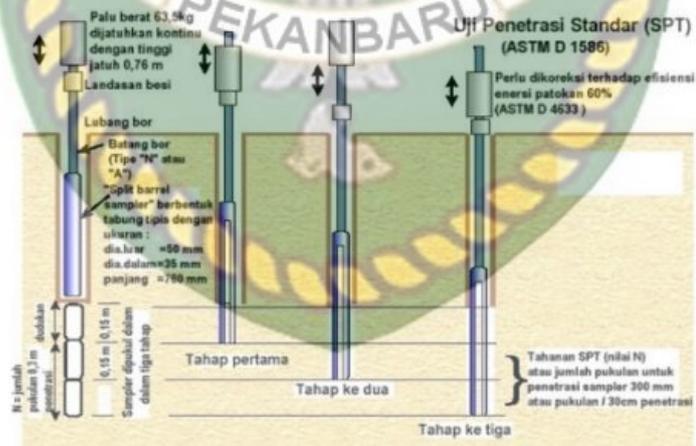
Penyelidikan tanah merupakan hal mutlak yang harus dilakukan sebelum menentukan kedalaman, tipe, jenis dan dimensi suatu fondasi pada struktur bangunan, karena tanah menduduki peran yang sangat vital sebagai landasan fondasi agar beban bangunan tetap stabil dan terjaga. Terdapat berbagai metode dalam penyelidikan tanah, diantaranya pengujian langsung dilapangan (*in-situ test*) seperti uji CPT dan SPT, uji laboratorium (uji sample tanah) pada kedalaman tertentu, dan metode lainnya. Dari data yang diperoleh kemudian dijadikan pertimbangan dalam menganalisa jenis dan sifat-sifat teknis tanah, kapasitas dukung tanah, mengetahui posisi muka air tanah, menentukan tipe dan kedalaman fondasi, besarnya penurunan, dan lainnya (Hardiyatmo, 2011).

3.2.1 Standard Penetration Test (SPT)

Uji penetrasi standar (SPT) dikembangkan pada tahun 1927 dan merupakan sarana yang paling populer dan ekonomis untuk memperoleh informasi jenis dan kekuatan tanah dari suatu lapisan bawah permukaan tanah.

Dan telah dibakukan sebagai ASTM D 1586 dan sampai dengan sekarang telah mengalami revisi-revisi secara berkala untuk memperoleh kesempurnaan (Hardiyatmo, 2011).

Metode uji dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh tanah tak terganggu (*undisturb*) dengan teknik penumbukan. Uji spt terdiri atas uji pemukulan tabung belah ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap ke-dua dan ke-tiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m). Hasil tersebut diperoleh dari jumlah pukulan terhadap penetrasi konus, yang dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi perlapisan tanah yang merupakan bagian dari desain fondasi (Hardiyatmo, 2011).



Gambar 3.1 Sketsa Penetrasi dengan SPT (SNI 4153:2008)

Uji penetrasi standar (SPT) dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah, selain itu juga untuk mengidentifikasi jenis lapisan tanah setiap kedalamannya sehingga bisa menentukan jenis fondasi yang sesuai dengan sifat-sifat tanah tersebut, sifat tanah ditentukan dengan kerapatan relatif tanah,

kerapatan relatif bisa didapatkan dengan menghubungkan dengan nilai N yang diusulkan oleh Terzaghi dan Peck (1948). Jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tabung belah standar yang diartikan sebagai nilai-N untuk tanah pasir.

Tabel 3.1 Hubungan N dengan kerapatan relative (Dr) tanah pasir (Terzaghi dan Peck, 1948 dalam Hardiyatmo, 2011).

Nilai N	Kerapatan Relatif (Dr)
<4	Sangat tidak padat
4-10	Tidak padat
10-30	Kepadatan sedang
30-50	Padat
>50	Sangat padat

Pada tanah lempung nilai-N tidak begitu dapat diandalkan karena umumnya tanah lempung mempunyai butiran halus dengan penetrasi yang rendah, sehingga pada tanah lempung ditentukan berdasarkan kekuatan gesernya yang dapat diperoleh dari uji tekan bebas.

3.2.2. Uji Laboratorium

Pengujian ini menggunakan sampel tanah yang telah di ambil pada pekerjaan uji SPT yaitu contoh tanah terganggu dan tidak terganggu untuk mengetahui jenis, sifat, karakteristik dan parameter tanah, hasil dari uji laboratorium akan di korelasikan dengan hasil uji lapangan sehingga dapat digunakan untuk mendesain struktur pondasi yang sesuai, aman dan efisien.

Klasifikasi tanah yang paling terkenal di kalangan para ahli teknik tanah dan pondasi adalah klasifikasi sistem USCS. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir, serta tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana terdiri atas lanau, lempung dan gambut.

Uji laboratorium yang dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan sifat mekanis tanah yaitu berat isi tanah (γ), berat jenis tanah (G_s), kadar air tanah (w), sudut geser tanah (ϕ), kohesi (c), serta analisa butir (grain size analisis), test atterberg limits, tes konsolidasi, dsb. Penelitian dari contoh tanah tidak terganggu

dilakukan dengan persyaratan prosedur dari ASTM (*American Standard for Testing Material*). Dalam (Hardiyatmo, 2002) menjelaskan pengujian tanah meliputi:

1. Pengujian pertama adalah kadar air yang diambil dari contoh tanah yang tidak terganggu, kadar air didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butir tanah yang dinyatakan dalam persen.
2. Pengujian selanjutnya adalah analisis saringan, analisis yang dimaksudkan untuk mengetahui besar butiran tanah juga merupakan dasar untuk mengklasifikasi dan mendeskripsikan tanah, pengujian dilakukan dengan saringan yang memiliki nomor saringan yang digetarkan oleh alat penggetar.
3. Menguji batas konsistensi Atterberg, menguraikan garis besar sifat-sifat tanah, batas-batas Atterberg yang paling penting adalah batas cair dan batas plastis. Batas cair dimana kadar air berada di antara cair dan plastis dan batas plastis dimana kadar air terletak pada plastis hingga semi padat, batas cair (LL) adalah nilai kadar air pada batas antara keadaan cair dan plastis dan batas plastis (PL) yaitu kadar air tanah pada kedudukan antara plastis dan semipadat. Tanah yang memiliki batas cair tinggi biasanya memiliki sifat teknik yang buruk, yaitu kekuatannya rendah, kompresibilitas tinggi, sulit dipadatkan.
4. Uji triaksial terbatas hanya dilakukan pada tanah-tanah lempung, lanau, dan batuan halus karena pasir dan kerikil sulit diperoleh contoh tanah tidak terganggu. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai kohesi (C) dan sudut gesek dalam (ϕ) pada lapisan tanah, untuk tanah pasir sudut gesek dalam lebih baik dilakukan di lapangan dengan cara SPT atau sondir, sedangkan kohesi diperoleh dari tanah lempung, lanau, dan batuan lunak, sudut gesek dalam dianggap kecil atau tidak ada mempertimbangkan jenis tanah tersebut dianggap jenuh.
5. Pengujian tekan bebas dilakukan untuk tanah lempung atau tanah lanau, pengujian ini untuk mengetahui kuat geser kapasitas dukung tiang.
6. Maksud dari uji konsolidasi mencari besaran-besaran dalam perhitungan yaitu kecepatan konsolidasi dan besarnya penurunan tanah akibat adanya perubahan tekanan dan memperkirakan besarnya penurunan tanah dilapangan sebagai

pendekatan akibat struktur bangunan di atasnya. Pengujian ini dilakukan di tanah lempung dan lanau.

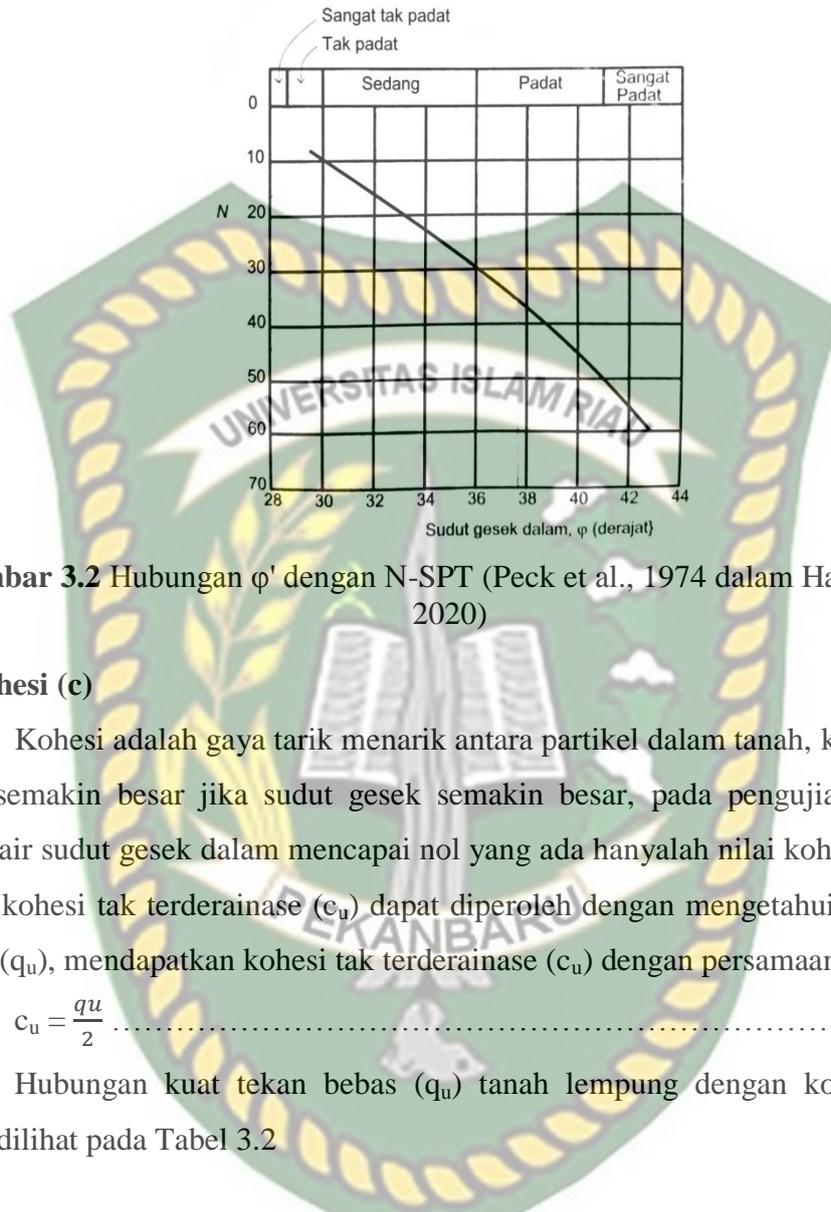
7. Uji permeabilitas adalah cepat atau lambatnya air merembes ke tanah, permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cair yang terdiri dari air atau minyak yang mengalir melalui rongga pori, uji ini dilakukan untuk mengetahui air yang harus dikeluarkan dari tanah guna penggalian pondasi.
8. Pengujian dari pengamatan langsung terhadap pengujian yang dilakukan dengan mencatat warna tanah, bau, konsistensi dari contoh tanah terganggu dan tidak terganggu yang diperoleh dari lapangan.
9. Uji geser kipas, pada pengujian ini pada umumnya dilakukan di lapangan, namun juga dilakukan di laboratorium jika tanah sangat sensitif dan lunak yang menyulitkan dalam pemasangan contoh tanah pada saat dilakukan uji tekan bebas.

3.3 Klasifikasi Parameter Tanah

Dalam jenis tanah yang didapatkan dari uji SPT, maka selanjutnya dapat mengklasifikasikan parameter tanah sesuai dengan jenis tanah dengan cara pendekatan, pada umumnya jenis tanah ada dua yakni tanah granular dan tanah kohesif, tanah granular tanah yang membulat, atau banyak sisi, tanah jenis ini seperti pasir dan krikil, sedangkan tanah kohesif adalah tanah yang berbutir halus seperti lempung dan lanau. Adapun parameter tanah yang digunakan dalam analisis antara lain:

1. Sudut Gesek Dalam (ϕ)

Sudut gesek dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser didalam material tanah atau batuan, semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya. Sudut gesek dalam berhubungan dengan N dari hasil uji SPT, hubungan antara ϕ' dan N disarankan oleh Peck et al pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Hubungan ϕ' dengan N-SPT (Peck et al., 1974 dalam Hardiyatmo, 2020)

2. Kohesi (c)

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam tanah, kohesi tanah akan semakin besar jika sudut gesek semakin besar, pada pengujian lempung jenuh air sudut gesek dalam mencapai nol yang ada hanyalah nilai kohesinya saja, untuk kohesi tak terderainase (c_u) dapat diperoleh dengan mengetahui kuat tekan bebas (q_u), mendapatkan kohesi tak terderainase (c_u) dengan persamaan 3.1:

$$c_u = \frac{q_u}{2} \dots\dots\dots(3.1)$$

Hubungan kuat tekan bebas (q_u) tanah lempung dengan konsistensinya dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Hubungan kuat tekan bebas (q_u) dengan konsistensi (Hardiyatmo, 2011)

Konsistensi	Kuat Tekan Bebas (q_u) (kN/m^2)
Lempung Keras	>400
Lempung Sangat Kaku	200-400
Lempung Kaku	100-200
Lempung Sedang	50-100
Lempung Lunak	25-50
Lempung Sangat Lunak	<25

Dari Tabel 3.2 nilai kuat tekan bebas dipengaruhi oleh konsistensi tanah lempung, apabila tanah lempung keras maka nilai kuat tekan bebas (q_u) besar, begitu juga sebaliknya apabila tanah lempung sangat lunak maka nilai kuat tekan bebas (q_u) kecil.

3. Modulus Young (E)

Modulus Young ialah besarnya elastisitas yang terjadi akibat dari perbandingan tegangan terhadap regangan yang bisa didapat dari uji *triaxial*. Nilai Modulus Young (E) dapat ditentukan dari jenis tanah yang didapatkan dari hasil sondir dan SPT, perkiraan Modulus Young yang disarankan oleh (Bowles, 1977) dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah (Bowles, 1977 dalam Hardiyatmo 2002)

Jenis Tanah	Modulus Young (E) kg/cm ²
Lempung sangat lunak	3-30
Lempung lunak	20-40
Lempung sedang	45-90
Lempung keras	70-200
Lempung Berpasir	300-425
Pasir berlanau	50-250
Pasir tidak padat	100-250
Pasir padat	500-1000
Pasir dan kerikil padat	800-2000
Pasir dan kerikil tidak padat	500-1400
Lanau	20-200
Lanau <i>loess</i>	150-600
Lanau serpih	1400-14000

Nilai Modulus Young pada lempung sangat lunak paling kecil dikarenakan tegangannya kecil bila dibandingkan dengan regangannya begitu juga sebaliknya pada tanah lanau serpih.

4. Poisson Rasio (μ)

Sebuah benda yang diberi gaya akan mengalami perubahan bentuk, perubahan bentuk terjadi kearah tegak lurus dengan arah gaya. Poisson rasio ialah perbandingan antara berubahnya arah aksial dengan arah lateral. Pada tanah

poisson rasio dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.4 Nilai-nilai tipikal Rasio Poisson (Kulhawy et al, 1983 dalam hardiyatmo 2020)

Tanah dan Batu	Rasio Poisson (μ)
Lempung jenuh, Kondisi <i>Undrained</i>	0,50
Lempung tidak jenuh	0,30-0,40
Pasir padat kondisi terdrainase	0,30-0,40
Pasir longgar kondisi terdrainase	0,1-0,3
Batu pasir	0,25-0,30
Granit	0,23-0,27

Pada nilai rasio poisson didapatkan lempung jenuh 0,50, hal tersebut dikarenakan apabila perubahan terjadi kearah tegak lurus dengan arah gaya besar, maka besar pula rasio poissonnya.

5. Permeabilitas (k)

Permeabilitas tergantung dari butiran tanah tersebut, apabila butiran tanah kecil maka meloloskan air juga kecil seperti tanah lempung, beda dengan tanah yang granular seperti pasir yang permeabilitasnya relatif besar. Koefisien permeabilitas dinyatakan dalam (k), nilai (k) bisa didapatkan melalui pendekatan jenis tanah yang tertera pada Tabel 3.5 dibawah ini.

Tabel 3.5 Nilai koefisien permeabilitas tanah (Das, 1995)

Jenis Tanah	K	
	Cm/dtk	ft/mnt
Kerikil bersih	1,0-100	2,0-200
Pasir kasar	1,0-0,01	2,0-0,02
Pasir halus	0,01-0,001	0,02-0,002
Lanau	0,001-0,00001	0,002-0,00002
Lempung	<0,000001	<0,000002

Permeabilitas yang besar terjadi pada kerikil bersih dikarenakan air mudah lolos disebabkan karena butiran pada kerikil besar maka diperoleh permeabilitas besar pula, berbeda dengan lempung dengan butiran yang kecil maka permeabilitas juga kecil.

6. Berat Jenis Tanah (Gs)

Berat jenis tanah adalah perbandingan berat satuan bahan dengan berat satuan air, Nilai Gs juga bisa didapatkan dari jenis tanah, adapun nilai Gs berdasarkan jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Berat Jenis Tanah (Hardiyatmo, 2002)

Macam Tanah	Berat Jenis Tanah (Gs)
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau anorganik	2,62-2,68
Lempung organik	2,58-2,65
Lempung anorganik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,80

Berat jenis tanah seperti pada Tabel 3.6 tentunya diperoleh dengan melakukan pengujian.

7. Derajat kejenuhan (Sr)

Derajat kejenuhan merupakan perbandingan volume air dengan volume total rongga pori yang dinyatakan dalam persen (%). Dalam menentukan derajat kejenuhan bisa dilakukan dengan mengetahui keadaan tanah berdasarkan N-SPT, didalam data N-SPT juga dijelaskan apakah tanah tersebut jenuh air, kering atau basah, apabila keadaan tanah tersebut dapat diketahui, maka nilai derajat kejenuhan bisa didapatkan melalui tabel 3.7.

Tabel 3.7 Derajat kejenuhan (Hardiyatmo, 2002)

Keadaan Tanah	Derajat Kejenuhan (Sr)
Tanah kering	0
Tanah agak lembab	>0-0,25
Tanah lembab	0,26-0,50
Tanah sangat lembab	0,51-0,75
Tanah basah	0,76-0,99
Tanah jenuh air	1

Dari Tabel 3.7 diperoleh derajat kejenuhan dengan keadaan tanah, apabila tanah mengalami jenuh air atau bisa dikatakan dibawah permukaan air tanah, maka derajat kejenuhanya 1, apabila diatas permukaan air tanah bisa dikatakan

tanah tersebut agak lembab atau bisa kering, dimana nilai tanah kering derajat kejenuhannya 0.

8. Porositas, Kadar Air, Angka Pori, Berat Volume Basah (γ_b), Berat Volume Kering (γ_d)

Porositas (n) merupakan perbandingan antara volume rongga (V_v) dan volume total (V), parameter ini berguna untuk mencari angka pori, porositas dinyatakan dalam persen (%) dan untuk kadar air adalah perbandingan berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) yang juga dinyatakan dalam persen (%). Mendapatkan berat volume basah harus diketahui berat butiran air tanah dan udara (W) yang dibagi volume total tanah (V) dan berat volume kering bisa didapatkan dengan berat butiran (W_s) dibagi dengan volume total tanah (V). Berat volume basah dan berat volume kering guna menganalisa kapasitas dukung tiang pancang yang mana kedua parameter tersebut dinyatakan dalam kN/m^3 , nilai-nilai parameter tersebut bisa dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Nilai n , e , w , γ_d , γ_b untuk tanah keadaan asli di lapangan (Terzaghi, 1947 dalam Hardiyatmo, 2002)

Macam Tanah	n	e	w	γ_d	γ_b
Pasir seragam, tidak padat	46	0,85	32	14,3	18,9
Pasir seragam, padat	34	0,51	19	17,5	20,9
Pasir berbutir campuran, tidak padat	40	0,67	25	15,9	19,9
Pasir berbutir campuran, padat	30	0,43	16	18,6	21,6
Lempung lunak sedikit organik	66	1,90	70	-	15,8
Lempung lunak sangat organik	75	3,00	110	-	14,3

Parameter tersebut bisa didapatkan atas saran yang dilakukan oleh (Terzaghi, 1947) dengan mengetahui dari jenis tanah di lapangan. Angka pori (e) berguna untuk mencari berat volume jenuh (γ_{sat}), dengan persamaan berikut:

$$\gamma_{unsat} = \frac{G_s - \gamma_w(1+e)}{1+e} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1+e} \dots \dots \dots (3.3)$$

Untuk berat volume efektif (γ') yang digunakan dalam analisa metode statis dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma' = (\gamma_{sat}) - \gamma_w \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan:

- e = Angka pori
- γ_{sat} = Berat volume jenuh
- γ' = Berat volume efektif
- Gs = Berat jenis tanah
- γ_w = Berat volume air (9,81 kN/m³)

3.4 Fondasi

Fondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak dibawah permukaan tanah yang mempunyai fungsi memikul beban bangunan lain diatasnya. Fondasi terbagi menjadi dua klasifikasi yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. (Hardiyatmo, 2011)

Fondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung beban secara langsung, seperti fondasi telapak, fondasi memanjang dan fondasi rakit. Berikut penjelasannya:

1. Fondasi Telapak (*foot plate*) / fondasi setempat terbuat dari beton bertulang dengan bentuk pelat persegi yang bekerja menahan beban secara terpusat pada titik kolom bangunan. Fondasi telapak banyak digunakan untuk fondasi rumah, ruko dan bangunan sederhana lainnya.
2. Fondasi Memanjang (menerus) adalah fondasi yang berbentuk persegi ataupun trapesium yang terbuat dari pasangan batu pecah, batu kali, cor beton tanpa tulangan dan batu bata, yang digunakan untuk mendukung beban memanjang/dinding dan kolom tau kolom praktis dalam jarak yang dekat.
3. Fondasi Rakit adalah fondasi berbentuk rakitan/tapak gabungan yang terbuat dari plat beton bertulang untuk mendukung suatu bangunan pada tanah lunak, atau digunakan bila susunan jarak kolom sedemikian dekat, penggunaan pondasi rakit ini lebih ekonomis dibanding dengan penggunaan pondasi dalam.

Fondasi dalam merupakan struktur bawah suatu konstruksi yang berfungsi untuk meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah keras yang berada jauh dari permukaan tanah. Material pondasi dalam bisa dari kayu, baja, beton bertulang,

dan beton pratekan. Fondasi dalam terdapat beberapa macam yaitu fondasi tiang pancang, fondasi bored pile, fondasi caisson. Berikut penjelasannya:

1. Fondasi Tiang Pancang (*Pile*) adalah suatu tiang yang dipancang atau mendesak ke dalam tanah menggunakan alat berat khusus dengan cara pukulan, getaran, dan tekanan. Bahan yang digunakan pada pondasi ini diantaranya bahan kayu (balok kayu), beton (berbentuk persegi, segitiga, maupun silinder), dan berbentuk *sheet pile*.
2. Fondasi Bor (*Bored Pile*) adalah beton bertulang yang dicor di tempat dengan cara membuat lubang bor terlebih dahulu dengan peralatan bor manual maupun menggunakan mesin bor hingga kedalaman rencana.
3. Fondasi Sumuran (*Caisson*) umum digunakan pada pekerjaan jembatan di Indonesia, fondasi ini berbentuk sumuran dengan diameter yang relatif lebih besar. Dengan cara memasukkan fondasi kaisson ke dalam tanah dan melakukan pengerukan tanah di bawah kaisson sedikit demi sedikit, sehingga dengan berat sendiri fondasi *caisson* dan beban-beban yang diberikan, fondasi kaisson dapat mencapai kedalaman yang diinginkan.

3.4.1 Fondasi Tiang Beton Pracetak

Dari uraian singkat tersebut di atas telah dijelaskan beberapa tipe dan jenis fondasi yang umum digunakan pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia, berikut penjelasan lebih detail yang digunakan dalam penelitian:

1. Tiang Pancang Beton Pracetak (*Mini Pile*) merupakan tiang yang digunakan untuk penyangga fondasi bangunan gedung, jembatan, dermaga dan sebagainya yang berdiri di atas tanah lunak. Bentuk penampang mini pile biasanya persegi empat dan segitiga dengan variasi penampang 0,2 x 0,2m sampai dengan 0,4 x 0,4m dengan variasi panjang antara 3m sampai dengan 9m atau jika kebutuhan yang lebih panjang dapat disambung dengan plat besi yang dilas.

Keuntungan pemakaian tiang pancang pracetak *mini pile* antara lain:

- a. Pondasi tiang pancang terbuat dari beton terbaik sehingga mempunyai tegangan yang terjamin kekuatannya dan bahan tiang dapat diperiksa sebelum pemancangan.
- b. Penggunaan pondasi tiang pancang akan meminimalisir galian pada tanah karena pengaplikasian tiang pancang tidak dipengaruhi tinggi muka air tanah.
- c. Pemancangan tiang dapat menambah kepadatan tanah granular.
- d. Lebih tahan korosi karena tiang pancang yang terbuat dari beton berkualitas baik yang akan membantu melindungi bagian dalam tulangan beton dari pengaruh kontak langsung air ataupun zat kimia korosif. Dijamin tiang pancang akan awet hingga puluhan tahun serta disegala kondisi.

Kekurangan pemakaian tiang pancang pracetak *mini pile* antara lain:

- a. Memerlukan alat berat dan transportasi khusus dalam pengiriman serta pelaksanaannya karena produk tiang pancang memiliki bobot yang cukup berat.
- b. Biaya operasional relatif lebih mahal karena proses produksi yang cukup jauh dari lokasi pemancangan.
- c. Harus lebih teliti dalam pelaksanaannya untuk menghindari keretakan/patahan sewaktu pengangkatan tiang dan akan lebih sulit karena memerlukan waktu yang lama.
- d. Membutuhkan penyambungan tiang sampai kedalaman sesuai rencana serta sulit melakukan penyambungan apabila terjadi pergeseran/tidak lurus vertikal dan terjadi pecah kepala tiang.

2. Pemancangan Metode Pukulan (*Diesel Hammer*) merupakan alat dengan kinerja paling sederhana diantara alat-alat lain yang digunakan untuk memasang tiang pancang. Bentuknya berupa silinder dengan piston atau ram yang berfungsi untuk menekan tiang pancang. Selain itu, terdapat dua mesin diesel yang menggerakkan piston ini. Bagian-bagian lain dari alat ini adalah tangki untuk bahan bakar, tangki untuk pelumas, pompa bahan bakar, injector dan mesin pelumas agar piston dapat bekerja dengan lancar. Saat bekerja, mesin diesel akan memberikan tekanan pada udara dalam silinder. Tekanan

udara yang bertambah ini akan menggerakkan piston yang akan memukul tiang pancang.

Kelebihan Pemakaian *Diesel Hammer* adalah :

- a. Ekonomis dalam pemakaian.
- b. Mudah dalam pemakaian di daerah terpencil.
- c. Berfungsi dengan baik pada daerah dingin.
- d. Mudah dalam perawatan.

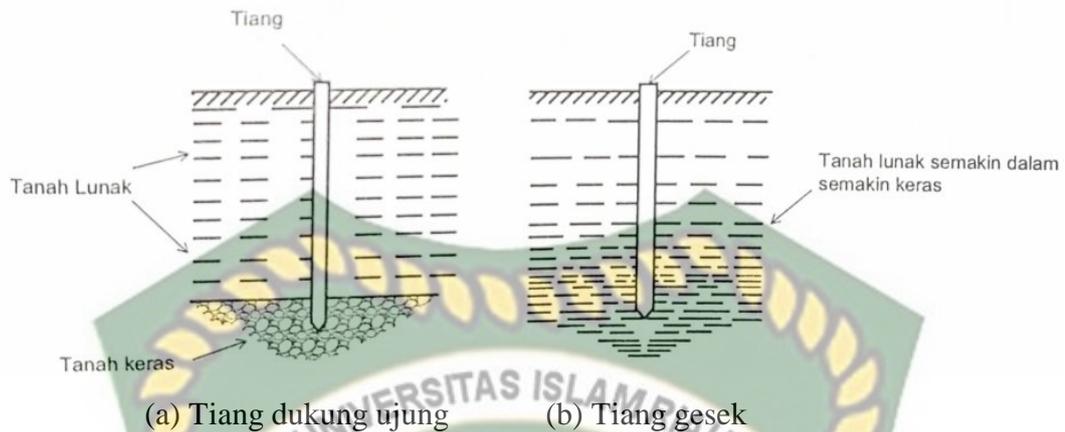
Kekurangan Pemakaian *Diesel Hammer* adalah :

- a. Kesulitan dalam menentukan energi per blow
- b. Sulit dipakai pada tanah lunak
- c. Menimbulkan getaran dan kebisingan.

3.4.2 Tiang Dukung Ujung Dan Tiang Gesek

Suatu konstruksi bangunan memerlukan pondasi tiang apabila tanah disekitar lokasi proyek tersebut merupakan tanah lunak. Pondasi tiang mendukung beban dengan 2 macam bagian yaitu (Hardiyatmo, 2020):

1. Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung yang berada diatas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lainnya dan dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang.
2. Tiang gesek (*Friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya. Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah di bawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.



Gambar 3.3 Tiang ditinjau dari cara mendukung beban (Tomlinson, 1977 dalam Hardiyatmo, 2020).

3.5 Analisis Kapasitas Dukung Tiang Tunggal Metode Statis

Banyak metode dan data yang dapat digunakan dalam perhitungan tiang pancang. Perhitungan terdiri dari kapasitas gesek ultimit (Q_s) dan kapasitas ujung ultimit (Q_b), untuk mendapatkan kapasitas gesek ultimit dan kapasitas ujung ultimit, perlu diketahui tahanan gesek atau tiang gesek (f_s) dan tahanan dukung ujung (f_b) terlebih dahulu, karena (Q_s) dan (Q_b) merupakan penjumlahan dari (f_s) dan (f_b) yang mana tahanan gesek atau tiang gesek merupakan kapasitas dukung yang didapatkan dari perlawanan gesek sisi tiang terhadap tanah di sekitarnya dan tahanan dukung ujung atau tiang dukung ujung merupakan kapasitas dukungnya terletak pada ujung tiang yang mana ujung tersebut berada di tanah keras atau lapisan keras agar penurunan terjadi tidak berlebihan, apabila sudah diketahui, maka kapasitas dukung ultimit netto (Q_u) bisa didapatkan (Hardiyatmo, 2020), maka persamaan kapasitas dukung ultimit tiang pancang adalah :

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan:

Q_u = kapasitas ultimit netto

Q_b = kapasitas dukung ujung

Q_s = kapasitas dukung gesek

W_p = berat sendiri tiang

Dalam penilitan ini, perhitungan kapasitas dukung tiang pancang menggunakan metode statis dipengaruhi dari jenis tanah yang ada di lapangan.

Untuk tanah granular menggunakan metode Kulhawy, Metode Poulos dan Davis, dan metode U.S. Army Corps sedangkan untuk tanah kohesif menggunakan metode Alpha (α), Lamda (λ), dan U.S. Army Corps (Hardiyatmo, 2020).

1. Metode Kulhawy Pada Tanah Granular

Untuk menghitung daya dukung ultimate pada tiang pancang menggunakan persamaan:

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \dots\dots\dots (3.6)$$

$$= A_b f_b + A_s f_s - W_p \dots\dots\dots (3.7)$$

Keterangan:

Q_u = Kapasitas dukung ultimate tiang

A_b = Luas penampang ujung tiang bawah

A_s = Luas selimut tiang

f_b = Tahanan ujung per satuan luas

f_s = Tahanan gesek per satuan luas

W_p = Berat tiang

Untuk mendapat I_r , Kulhawy mengembangkan teori (Vesic (1977) dalam mengevaluasi tahanan ujung dengan memperhatikan indeks kekakuan (*rigidity index*) tanah yang dinyatakan oleh persamaan:

$$I_r = \frac{E}{2(1+\mu)p_b'tg\phi} \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan:

I_r = Indeks kekakuan

E = Modulus elastisitas tanah

μ = Poisson rasio

P_o' = Tegangan vertikal efektif pada elevasi dasar tiang

ϕ = Sudut gesek dalam tanah

Untuk mendapatkan f_b , Kulhawy mendefinisikan tahanan ujung satuan dari analisis vesic.

$$f_b = d\gamma N_\gamma + p_b' N_q \dots\dots\dots (3.9)$$

Keterangan:

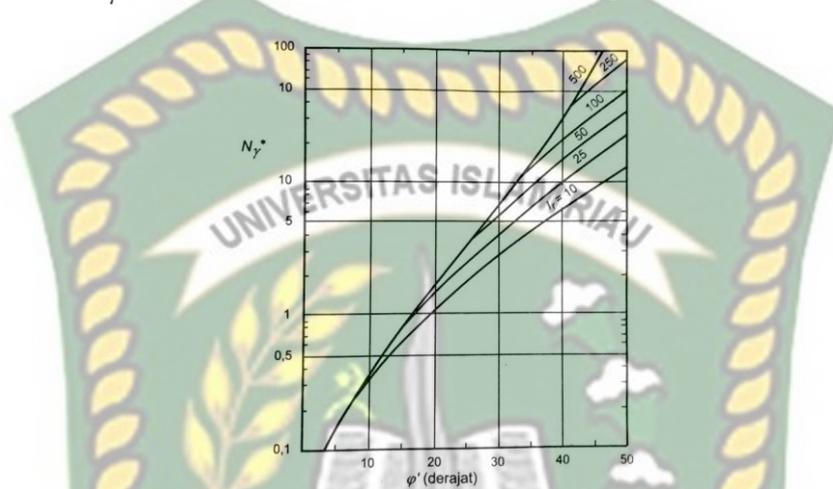
f_b = tahanan ujung satuan

d = diameter atau lebar tiang

γ = berat volume tanah

N_γ , N_q = faktor - faktor kapasitas dukung

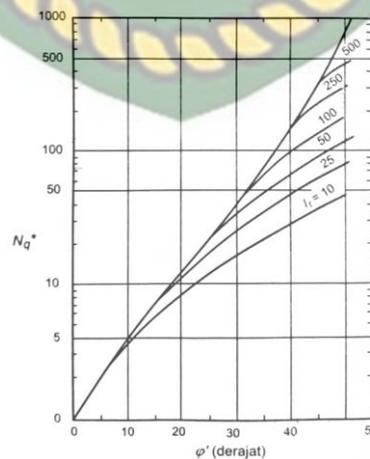
Nilai N_γ yang disarankan oleh Kulhawy, ditunjukkan dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Faktor kapasitas dukung N_γ (Kulhawy et al, 1983 dalam Hardiyatmo 2020)

Gambar 3.4 adalah gambar untuk memperoleh nilai N_γ dengan diketahui sudut gesek dalamnya, lalu dari nilai tersebut ditarik garis sampai kekurva I_r sesuai dengan nilai I_r yang diperoleh, setelah itu ditarik garis ke kiri untuk mendapatkan nilai N_γ yang dimasukkan dalam perhitungan.

Untuk nilai N_q yang disarankan oleh Kulhawy ditunjukkan dalam Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Faktor kapasitas dukung N_q (Kulhawy et al, 1983 dalam Hardiyatmo 2020)

Untuk mendapatkan nilai N_q caranya sama dengan cara mendapatkan nilai N_γ , yakni dengan diketahui sudut gesek dalamnya, lalu dari nilai tersebut ditarik garis sampai kekurva I_r sesuai dengan nilai I_r yang diperoleh, setelah itu ditarik garis ke kiri untuk mendapatkan nilai N_q .

Tahanan gesek persatuan luas dapat dihitung dengan Metode β yang disarankan oleh (Burland, 1973) dinyatakan oleh persamaan .

$$f_s = \beta p_o' \dots\dots\dots (3.10)$$

Keterangan:

f_s = Tahan gesek

p_o' = Tekanan overburden efektif rata-rata

$$\beta = K_o \left(\frac{K_d}{K_o} \right) \text{tg} \left\{ \varphi' \left(\frac{\delta}{\varphi'} \right) \right\} \dots\dots\dots (3.11)$$

Mayne dan Kulhawy (1982) mendapatkan K_o sebagai berikut.

$$K_o = (1 - \sin \varphi') \text{OCR}^{\sin \varphi'} \dots\dots\dots (3.12)$$

Keterangan:

K_o = koefisien tekanan tanah lateral saat diam

φ' = sudut gesek dalam

OCR = *overconsolidation ratio* (rasio konsolidasi berlebihan)

Nilai-nilai rasio $\left(\frac{K_d}{K_o} \right)$ bergantung pada tipe fondasi dan metode pelaksanaannya, rasio $\left(\frac{K_d}{K_o} \right)$ yang disarankan oleh ditunjukkan dalam Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Rasio $\left(\frac{K_d}{K_o} \right)$ (Kulhawy et al, 1983 dalam Hardiyatmo 2020)

Tipe fondasi dan metode pelaksanaan	K_d/K_o
Tiang - semprot (<i>jetted</i>)	0,5 - 0,7
Tiang - perpindahan kecil, pacang	0,7 - 1,2
Tiang - perpindahan besar, pacang	1,0 - 2,0
Tiang bor - (<i>drilled shaft</i>) - dibangun menggunakan metode kering dengan gangguan dinding samping kecil dan pengecoran cepat	0,9 - 1,0
Tiang bor - pelaksanaan cair dengan kecakapan kerja tinggi	0,9 - 1,0
Tiang bor - pelaksanaan cair dengan kecakapan kerja rendah	0,6 - 0,7
Tiang bor - metode pipa selubung (<i>casing</i>) di bawah muka air	0,7 - 0,9

Kulhawy menyarankan nilai-nilai rasio tahanan sudut gesek antara tiang dan tanah $\left(\frac{\delta}{\varphi'} \right)$, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Nilai-nilai $\left(\frac{\delta}{\varphi'}\right)$ (Kulhawy et al, 1983 dalam Hardiyatmo 2020)

Gesekan antara tanah dan bahan tiang	δ/φ'
Pasir dengan beton kasar (beton cetak di tempat)	1
Pasir dengan beton halus (beton pracetak)	0,8 - 1,0
Pasir dengan baja kasar (baja kasar, meruncing)	0,7 - 0,9
Pasir dengan baja halus (profil H atau pipa bulat)	0,5 - 0,7
Pasir dengan kayu	0,8 - 0,9
Tiang bor dibangun dengan metode kering atau dengan pipa selubung sementara dan pelaksanaan bagus	1
Tiang bor dibangun dengan metode basah/cair (nilai lebih besar bila pelaksanaan dilakukan hati-hati)	0,8-1,0

2. Metode Poulos Dan Davis Pada Tanah Granular

Poulos dan Davis menyarankan distribusi kedalaman vertikal bertambah sampai kedalaman tertentu (z_c), sesudah itu konstan dalam artian tekanan *overburden* tetap sama dengan kedalaman z_c , maka dari itu untuk tahanan ujung ultimit dinyatakan dalam Persamaan 3.13.

$$Q_b = A_b f_b = A_b p_b' N_q \dots\dots\dots (3.13)$$

Keterangan:

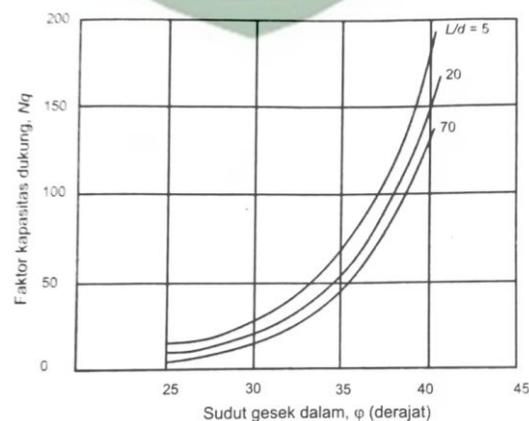
Q_b = Tahanan ujung ultimit

p_b' = Tekanan *overburden*

N_q = Faktor kapasitas dukung

A_b = Luas penampang ujung tiang

Untuk menentukan hubungan antara φ' dan N_q Poulos dan Davis menyarankan nilai N_q yang diusulkan oleh (Berezantzev, 1961).



Gambar 3.6 Hubungan N_q dan φ' (Berezantzev, 1961 dalam Hardiyatmo 2020)

Dari Gambar 3.6 adalah hubungan N_q dan φ' dimana bagian bawah gambar sudut gesek dan sebelah kiri gambar adalah faktor kapasitas dukung, untuk mendapatkan faktor kapasitas dukung harus mengetahui nilai L/d , setelah diketahui maka nilai faktor kapasitas dukung didapatkan dengan menarik garis dari nilai sudut gesek dalam ke kurva L/d , lalu kurva L/d ditarik garis ke faktor kapasitas dukung.

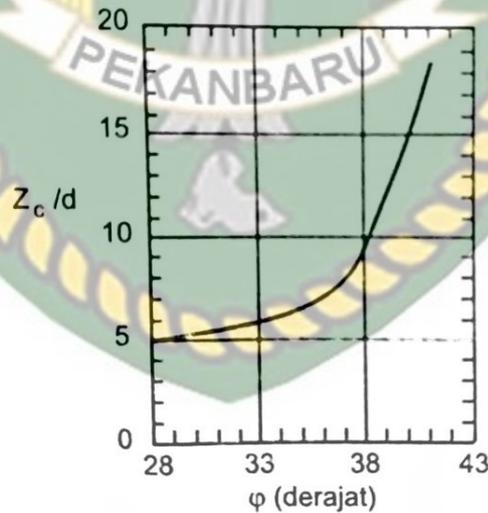
Untuk sudut gesek yang digunakan pada tahanan ujung, Poulos dan Davis menggunakan sudut gesek dalam efektif yang disarankan oleh (Kishida, 1967).

$$\varphi' = \frac{1}{2}(\varphi' + 40^\circ) \dots\dots\dots (3.14)$$

Sedangkan untuk tahanan gesek ultimit, Poulos dan Davis memberi persamaan berikut.

$$Q_s = A_s f_s = A_s P_o' K_d \text{tg } \delta \dots\dots\dots (3.15)$$

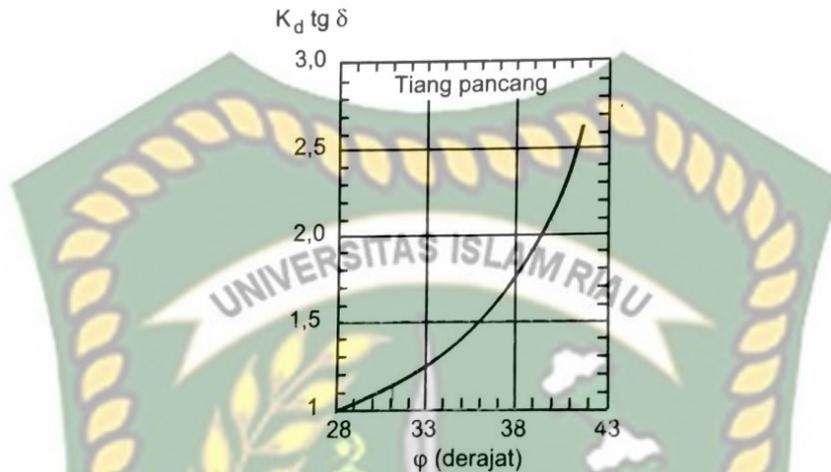
Poulos dan Davis mengevaluasi nilai - nilai hubungan $K_d \text{tg } \varphi$ dan $\frac{z_c}{d}$ dari hasil pengujian Vesic (1967) dengan Gambar 3.7 dan Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Hubungan $\frac{z_c}{d}$ terhadap φ (Paulos dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo 2020)

Dari Gambar 3.7 bisa diperoleh nilai $\frac{z_c}{d}$ dengan diketahui sudut gesek dalam $\varphi' = \frac{3}{4}(\varphi' + 10^\circ)$ untuk tahanan ujung, mendapatkan nilai $\frac{z_c}{d}$, tarik garis dari nilai sudut gesek dalam hingga ke garis kurva, setelah garis sudut gesek dalam

bertemu dengan garis kurva, langkah berikutnya tarik garis dari kurva tersebut ke nilai $\frac{z_c}{d}$.



Gambar 3.8 Hubungan K_d tg δ terhadap φ (Paulos dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo 2020)

Dari Gambar 3.8 bisa diperoleh nilai K_d tg δ dengan diketahui sudut gesek dalam, untuk mendapatkan nilai K_d tg δ, tarik garis dari nilai sudut gesek dalam hingga ke garis kurva, setelah garis sudut gesek dalam bertemu dengan garis kurva, langkah berikutnya tarik garis dari kurva tersebut ke nilai K_d tg δ.

3. Metode U.S Army Corps Pada Tanah Granular

Metode ini hampir sama dalam menentukan kedalaman kritis z_c, namun perbedaannya adalah nilai kedalaman kritis tergantung dari kepadatan pasir, antara lain:

- a. z_c = 10d untuk pasir longgar
- b. z_c = 15d untuk pasir kepadatan sedang
- c. z_c = 10d untuk pasir padat

Dari pada itu, U.S Army Corps juga menggunakan Persamaan 3.16 sebagai tahanan ujung ultimit tiang.

$$Q_b = p_b' N_q A_b \dots\dots\dots (3.16)$$

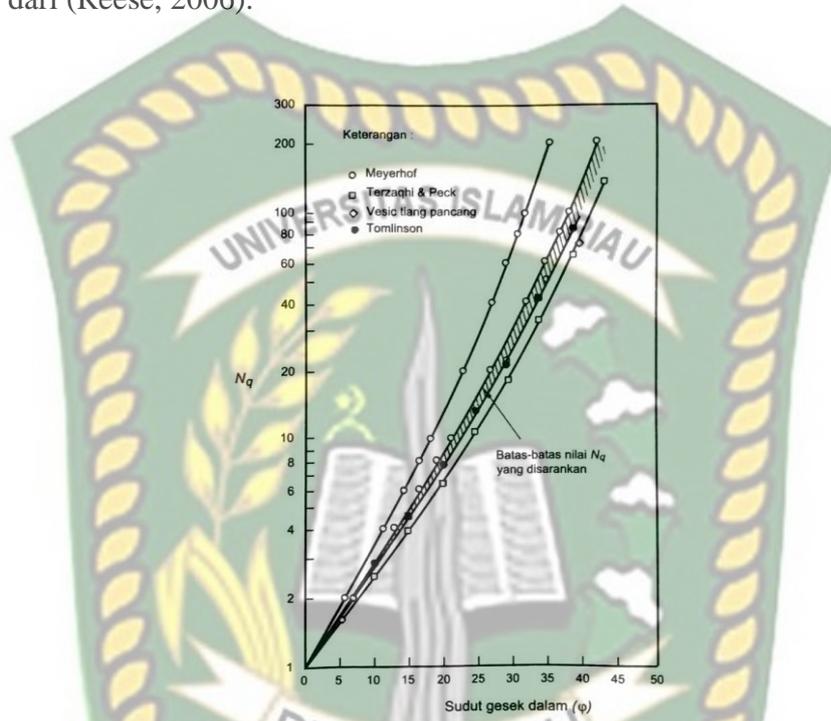
Keterangan:

- Q_b = Tahanan ujung ultimit
- p_b' = Tekanan *overburden*

N_q = Faktor kapasitas dukung

A_b = Luas penampang ujung tiang

Untuk menentukan nilai N_q , U.S Army Corps menggunakan hubungan N_q dan ϕ' dari (Reese, 2006).



Gambar 3.9 Hubungan N_q dan ϕ' dari (Reese et al, 2006 dalam Hardiyatmo 2020)

Dalam perhitungan dengan metode U.S. Army Corps memerlukan koefisien kapasitas dukung tiang (N_q), untuk mendapatkan bisa menggunakan kurva yang diusulkan Reese (2006) dengan mengetahui sudut gesek dalam, dimana ditarik garis dari nilai sudut gesek dalam ke kurva batas nilai N_q yang disarankan, lalu tarik garis ke nilai N_q , semakin besar sudut gesek dalam, maka semakin besar nilai N_q .

Untuk tahanan gesek ultimit yang digunakan dalam metode U.S Army Corps adalah sebagai berikut:

$$Q_s = A_s K_d p_b' \text{tg } \delta \dots\dots\dots(3.17)$$

Dimana nilai K_d untuk tiang tekan atau K_t untuk tiang tarik didapatkan berdasarkan tanah, $\text{tg } \delta$ didapatkan berdasarkan bahan tiang yang digunakan.

Tabel 3.11 Nilai K_d dan K_t (U.S Army Corps dalam Hardiyatmo 2020)

Tanah	K_d (tiang tekan)	K_t (tiang tarik)
Pasir	1,0 - 2,0	0,5 - 0,7
Lanau	1,0	0,5 - 0,7
Lempung	1,0	0,7 - 1,0

Pada perhitungan metode U.S. Army Corps memerlukan koefisien dari nilai K_d yakni koefisien nilai tekan tanah yang tergantung dari jenis tanah, sehubungan dengan metode U.S. Army Corps adalah untuk metode tanah granular maka yang digunakan adalah pada tanah pasir nilai K_d berkisar 1,0 - 2,0 untuk tiang tekan.

Tabel 3.12 Nilai - Nilai δ (U.S Army Corps dalam Hardiyatmo 2020)

Bahan Tiang	δ
Tiang baja	0,67 φ' - 0,83 φ'
Tiang beton	0,90 φ' - 1,00 φ'
Tiang kayu	0,80 - 1,00 φ'

Dalam metode U.S. Army Corps memerlukan sudut gesek dinding efektif untuk δ pada perhitungan tahanan gesek ultimit, untuk tiang baja sudut gesek dinding efektif δ diperoleh dengan cara 0,67 sampai 0,83 dikali dengan sudut gesek dalam, bahan tiang beton 0,90 sampai 1,00 dikali dengan sudut gesek dalam dan bahan tiang kayu 0,80 sampai 1,00 dikali dengan sudut gesek dalam.

4. Metode Alpha (α) Pada Tanah Kohesif

Pada metode alpha, tahanan gesek menggunakan adhesi (α) yang dikumpulkan (McClelland, 1974) yang ditunjukkan pada Gambar 3.10, adapun untuk tahanan gesek dinyatakan oleh Persamaan 3.18.

$$Q_s = A_s \alpha c_u \dots\dots\dots (3.18)$$

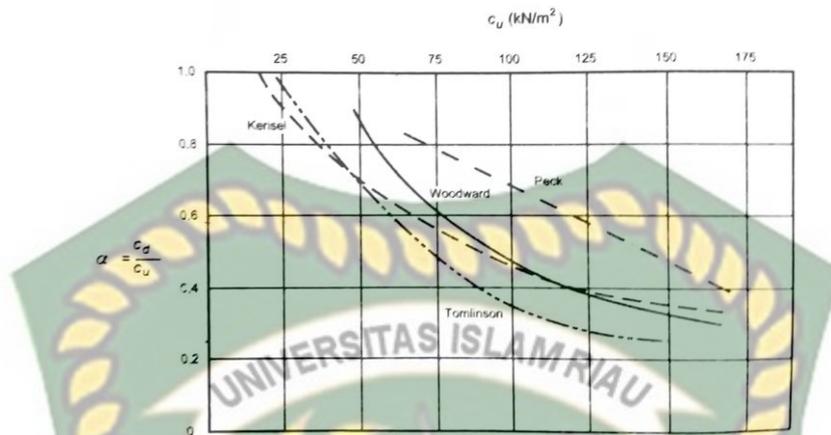
Keterangan:

A_s = Luas selimut tiang

α = Faktor adhesi

c_u = Kohesi tak terdrainase

untuk lempung dengan $c_u < 25 \text{ kN/m}^2$, nilai adhesi bisa diambil 1.



Gambar 3.10 Faktor adhesi (α) untuk tiang pancang dalam lempung (McClelland, 1974 dalam Hardiyatmo 2020)

Pada Gambar 3.10 merupakan gambar untuk memperoleh nilai faktor adhesi (α) dimana kurva yang digunakan kurva Tomlinson dengan cara membuat garis dari nilai c_u hingga ke kurva Tomlinson, apabila sudah didapatkan kurva Tomlinson, langkah selanjutnya dengan menarik garis dari kurva Tomlinson ke nilai adhesi (α).

5. Metode Lamda (λ) Pada Tanah Kohesif

Tahanan gesek tiang pada metode lamda menggunakan koefisien tak berdimensi (λ) yang disaran dari (Vijayvergiya dan Focht, 1972).

$$Q_s = \sum f_s A_s \dots\dots\dots (3.19)$$

dimana

$$f_s = \lambda (p_o' + 2c_u) \dots\dots\dots (3.20)$$

Keterangan:

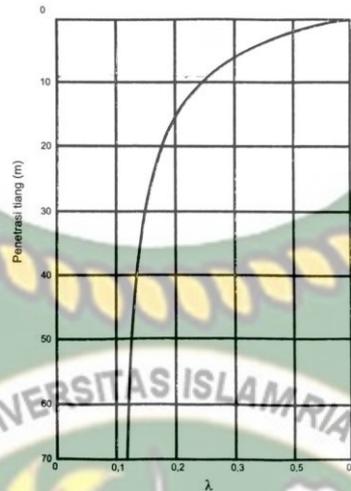
λ = Koefisien tidak berdimensi (Gambar 3.11)

p_o' = Tekanan *overburden* efektif rata-rata

c_u = Kohesi tak terdrainase

A_s = Luas selimut tiang

f_s = Tahanan gesek persatuan luas



Gambar 3.11 Hubungan antara koefisien gesek dinding (λ) dengan kedalaman penetrasi tiang (Vijayvergiya dan Focht, 1972 dalam Hardiyatmo 2020)

6. Metode U.S. Army Corps Pada Tanah Kohesif

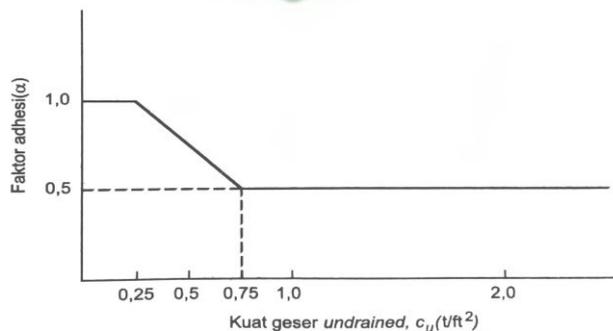
Metode U.S. Army Corps juga menggunakan adhesi seperti metode Alpha, namun adhesi yang digunakan tergantung dari kuat geser tak terdrainase dimana adhesi dikali dengan kohesi tak terdrainase (C_u) untuk memperoleh tahanan gesek (f_s), adapun tahanan gesek ultimit dari metode U.S. Army Corps adalah sebagai berikut:

$$Q_s = A_s f_s \dots\dots\dots (3.21)$$

keterangan:

A_s = Luas selimut tiang

f_s = Tahanan gesek persatuan luas



Gambar 3.12 Nilai α yang digunakan dalam metode U.S Army Corps ($1 \text{ t/ft}^2 = 105,6 \text{ kPa}$) dalam (Hardiyatmo 2020)

Nilai faktor adhesi α yang paling kecil 0,5 dan yang paling besar 1,0, nilai C_u dari 0,75 hingga 2,0 didapatkan 0,5, sedangkan nilai C_u dari 0,25 hingga 0,75 didapatkan faktor adhesi α antara 0,5 sampai 1,0.

3.6 Perhitungan Penurunan Metode Poulos Dan Davis

Penurunan fondasi yang berlebihan adalah salah satu penyebab terjadi kegagalan suatu konstruksi, sewaktu merencanakan pondasi haruslah memperhatikan jenis tanah dan konstruksi yang dibangun, banyak bangunan gagal dikarenakan oleh penurunan yang lebih besar dari penurunan yang diizinkan, penurunan terjadi sewaktu tiang dibebani, maka tanah sekitarnya akan mengalami penurunan. Besarnya penurunan terdiri dari berbagai faktor seperti jenis, tinggi, kekakuan, dan fungsi bangunan itu sendiri. Perhitungan penurunan dalam penelitian ini menggunakan metode Poulos dan Davis. Penurunan tiang dengan modulus elastis dan rasio poisson yang konstan dapat dihitung yang disarankan dari (Poulos dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo, 2020)

$$S = \frac{Ql}{E_s d} \dots \dots \dots (3.22)$$

$$I = I_o R_b R_h R_\mu \dots \dots \dots (3.23)$$

Keterangan;

S = Penurunan tiang

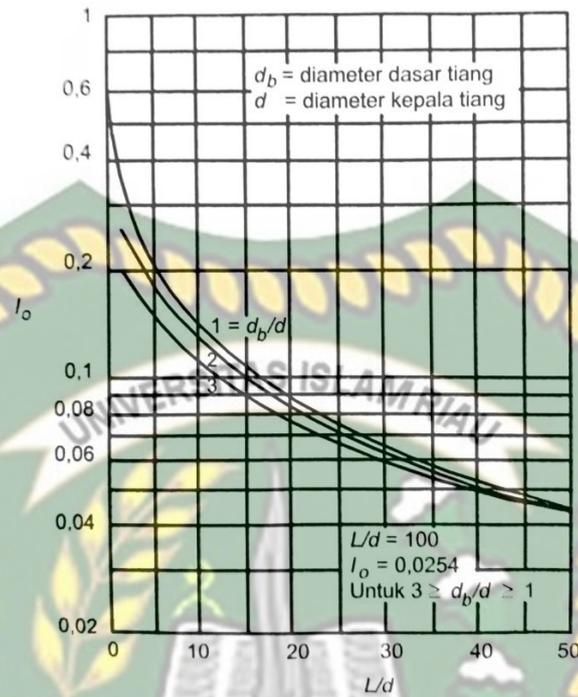
Q = Beban yang bekerja

I_o = Faktor pengaruh penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat dalam massa semi tak terhingga (Gambar 3.13)

R_k = Faktor koreksi kemudahan - mampatan (kompresibilitas) tiang untuk $\mu = 0,5$ (Gamabar 3.14)

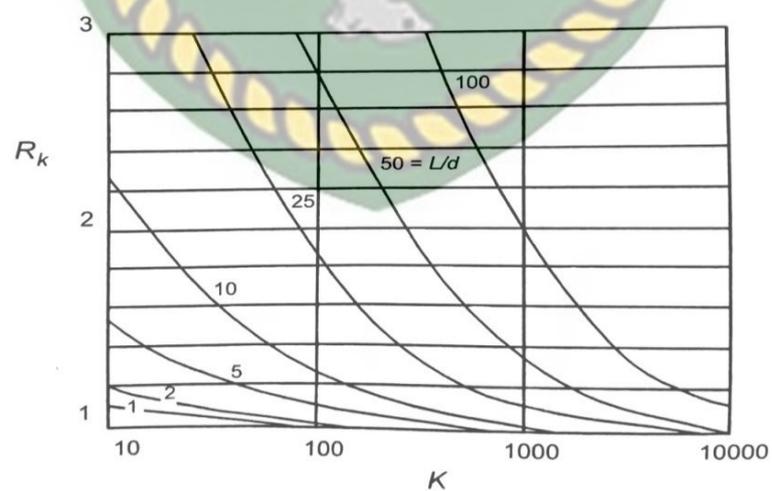
R_h = Fakotr koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras (Gambar 3.15)

R_μ = Faktor koreksi angka poisson (Gambar 3.16)



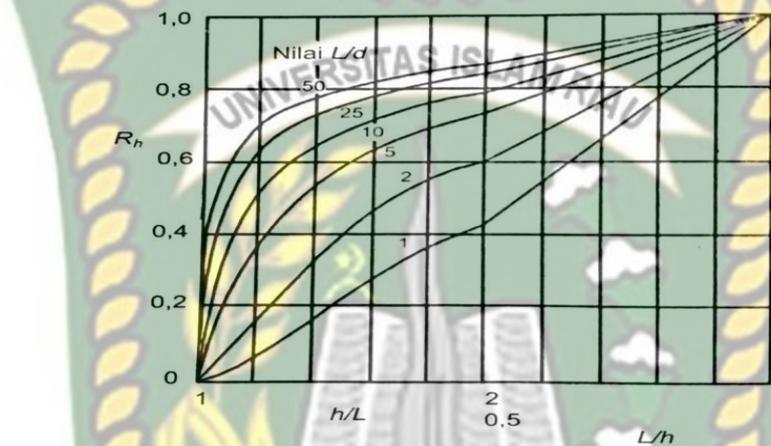
Gambar 3.13 Faktor penurunan I_o (Poulos dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo 2020)

Nilai I_o dipengaruhi oleh nilai d_b/d , kurva d_b/d berbeda satu sama lain sesuai hasil d_b/d dimana nilai d_b/d terdiri 1, 2, dan 3, semakin besar L/d maka semakin kecil nilai I_o yang didapatkan.



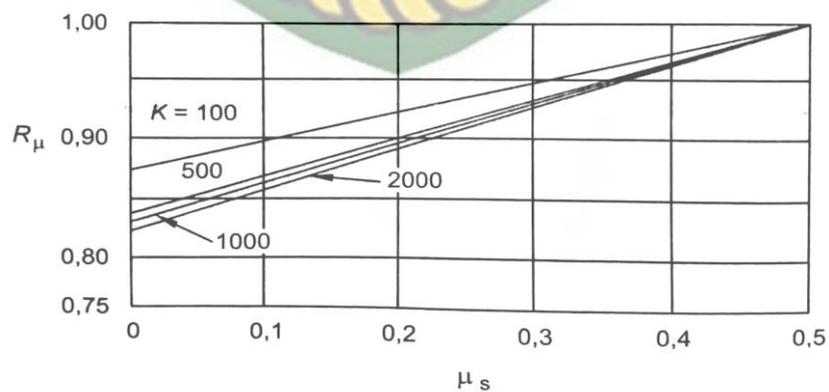
Gambar 3.14 Koreksi kompresi R_k (Poulos dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo 2020)

Nilai R_k dipengaruhi oleh nilai L/d , setiap kurva L/d berbeda-beda tergantung dari hasil L/d yang didapat, L merupakan panjang tiang dan d merupakan diameter tiang, untuk mendapatkan nilai R_k harus mencari nilai K terlebih dahulu, setelah nilai K didapatkan tarik garis menuju garis L/d sesuai dengan hasil yang didapatkan, setelah itu tarik dari kurva L/d ke nilai R_k .



Gambar 3.15 Koreksi kedalaman R_h (Poulos dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo 2020)

Nilai R_h bisa didapatkan dengan mengetahui hasil dari L/d dan hasil h/L dan L/h , untuk mendapatkan koreksi kedalaman R_h dengan menarik garis dari h/L atau L/h ke kurva dari hasil L/d , kemudian setelah didapatkan kurvanya, ditarik garis koreksi kedalaman R_h , sehingga diperoleh nilai R_h .



Gambar 3.16 Koreksi angka poisson, R_μ (Poulos dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo 2020)

Nilai $R\mu$ dipengaruhi dengan nilai K, semakin kecil nilai K maka semakin besar nilai $R\mu$ yang didapatkan, nilai μ_s merupakan rasio poisson bahan tiang, $R\mu$ bisa didapatkan dengan menarik garis ke garis K yang sesuai dengan hasil K yang didapatkan, setelah tarik garis dari garis K ke koreksi angka poisson $R\mu$ sehingga didapatkan nilai $R\mu$.

Nilai - nilai koefisien diatas memerlukan nilai K, nilai K adalah ukuran kompresibilitas relatif antara tiang dan tanah.

$$K = \frac{E_p R_a}{E_s} \dots\dots\dots (3.24)$$

$$R_a = \frac{A_p}{1/4 \pi d} \dots\dots\dots (3.25)$$

Keterangan:

E_p = Modulus elastisitas tiang

E_s = Modulus elastisitas tanah

A_p = Luas tiang

d = diameter tiang

Penurunan izin maksimum menurut (Fleming, 1992) adalah sebesar 10% dari diameter tiang yang mana penurunan total kecil dari penurunan izin

$$S_{izin} = 10\% D \dots\dots\dots (3.26)$$

3.7 Faktor Aman

Faktor aman digunakan untuk memperoleh kapasitas izin fondasi tiang dengan kapasitas dukung ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu (Hardiyatmo 2020). Fungsi faktor aman diberi dengan tujuan sebagai berikut :

- a. Untuk memberikan keamanan dari ketidakpastian hitungan yang telah dianalisis.
- b. Untuk meyakinkan penurunan tiang-tiang yang tidak seragam masih dalam toleransi.
- c. Untuk meyakinkan bahan tiang aman dari beban yang bekerja.
- d. Untuk meyakinkan penurunan total pada tiang tunggal dan tiang kelompok masih dalam batas toleransi.

- e. Untuk mengantisipasi ketidakpastian dari metode yang digunakan dalam hitungan.

Variasi besarnya faktor aman telah banyak digunakan, pada umumnya faktor aman yang biasa digunakan dalam perancangan tiang pancang:

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \dots\dots\dots (3.27)$$

atau,

$$Q_a = \frac{Q_b}{3} + \frac{Q_s}{1,5} \dots\dots\dots (3.28)$$

Keterangan:

SF = Faktor aman

Q_u = Kapasitas dukung ultimit

Q_a = Kapasitas dukung ijin

Tomlinson, 1977 menyarankan untuk $d < 600$ mm dan penurunan akibat beban kerja < 10 mm digunakan nilai faktor aman $\geq 2,5$. Namun banyak penelitian lainnya yang menyarankan faktor aman berbeda - beda sesuai dengan tipe struktur itu sendiri, Reese dan O'Neil, 1989 memberikan saran untuk faktor aman berdasarkan klasifikasi struktur tersebut.

Tabel 3.13 Faktor aman yang disarankan oleh (Reese dan O'Neil, 1989 dalam Hardiyatmo 2020)

Klasifikasi struktur	Faktor aman			
	Kontrol baik	Kontrol normal	Kontrol jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2,0	2,3	2,8

3.8 Kapasitas Dukung Dengan *Pile Driving Analyzer* Test

Pengujian dinamis *Pile Driving Analyzer* berfungsi untuk mendapatkan informasi interaksi fondasi terhadap tanah. Hasil yang didapat yaitu nilai kapasitas tiang, transfer energi *hammer* ke tiang, tegangan tekan dan tarik yang bekerja pada tiang akibat tumbukan, serta integritas keutuhan tiang. Pengujian bisa dilakukan ketika dilakukan pemancangan tiang (*initial driving*) atau akhir

pemancangan (*end of driving*), atau dengan memukul kembali (*restrike*). Tujuan *Pile Driving Analyzer Test* adalah untuk verifikasi kapasitas dukung tiang yang sudah dipancang terhadap beban rencana dengan nilai faktor keamanan 2.



Gambar 3.17 Sistem kerja *Pile Driving Analyzer Test* (Hardjasaputra, 2006 dalam Aldino, 2019)

Berdasarkan hukum Hooke, regangan yang diukur dapat dikonversikan menjadi gaya (F), sedangkan percepatan yang diukur diintegrasikan terhadap waktu (T) untuk menghasilkan kecepatan partikel (V). Dengan kecepatan membaca PDA sebesar 20.000 sampel per detik, alat ini sanggup membaca regangan dan percepatan tiang sebanyak 5.000 sampel per detik (*4 channels*). Dengan kecepatan gelombang sekitar 5.000 m/det, hanya diperlukan 0,1 detik bagi gelombang untuk merambat mencapai ujung bawah tiang sepanjang 250 m (*offshore pile*) dan kembali lagi ke ujung atas tiang. Jadi selama perambatan gelombang, dapat disampel sebanyak 500 titik (apabila diperlukan).

Pada umumnya didalam sebuah praktek tidak diperlukan sampel point sebanyak itu dan juga karena PDA harus mengkonversikan setiap hasil pengukuran, menghitung daya dukung tiang dan berbagai besaran lainnya, serta memplotkannya dilayar komputer, untuk setiap blow (tumbukan). Setiap pasangan kurva F dan V yang ditayangkan dilayar komputer adalah konversi hasil pengukuran dengan prosedur sederhana yang dijelaskan diatas. Jadi, kurva yang dihasilkan PDA bukan hasil model matematika. Berdasarkan kurva hasil pengukuran tersebut, PDA

menghitung kuat dukung aksial tiang pancang yang diuji dengan menggunakan chase method.

Tahanan tiang total (RT) yang dijelaskan diatas terdiri dari tahanan dinamis dan daya dukung statis. *Chase method* yang dikembangkan oleh Goble dkk (1975) menguraikan lebih lanjut tahanan total RT dan mengusulkan rumus untuk menghitung kuat dukung statis (RSP) pondasi tiang yang diuji secara dinamis, untuk berbagai kondisi. Salah satu rumus yang banyak digunakan pada awal penggunaan PDA adalah RSP:

$$RSP = (1-J)[F(t_1) + Z.V(t_1)]/2 + (1+J)[F(t_2)-Z.V(t_2)]/2 \dots\dots\dots (3.29)$$

Dimana : J adalah faktor damping Case, yang tidak berdimensi.

Berdasarkan hasil penelitian, besarnya J yang direkomendasikan untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.8 dibawah ini.

Tabel 3.14 Nilai Redaman J (Rausche dkk, 1985 dalam Aldino, 2019)

Jenis Tanah	Nilai J
Pasir	0,05-0,20
Pasir berlanau, lanau berpasir	0,15-0,30
Lanau	0,20-0,45
Lanau berlempung, lempung berlanau	0,40-0,70
Lempung	0,60-1,10

Berdasarkan nilai J yang dipilih akan mempengaruhi besarnya perkiraan daya dukung tiang, karena itu dalam perkembangan selanjutnya telah direkomendasikan juga '*automatic method*' RAU dan RA2, yang tidak dipengaruhi oleh faktor redaman J, karena hitungan pada saat V_b (kecepatan ujung bawah tiang) mencapai 0 (tidak bergerak) sehingga daya dukung total pada saat itu statis.

Apabila tiang diuji beberapa waktu setelah pemancangan, lekatan tanah telah bekerja dengan baik. Lekatan tanah yang cukup besar akan menyebabkan terjadinya '*unloading*' selama pengujian, yaitu kecepatan partikel dibagian atas tiang arahnya keatas akibat gelombang reaksi tanah. Untuk kondisi seperti ini, perlu dilakukan koreksi RSU method untuk memperkirakan daya dukung yang diuji.

Sampai saat ini pengujian dengan PDA sudah banyak dilakukan untuk pondasi tiang pancang seperti precast piles, steel piles dan spun piles, dengan

menggunakan palu dari alat pancangnya sendiri sehingga sangat praktis dan ekonomis. Salah satu contoh PDA *Test* dapat dilihat pada Gambar 3.18:

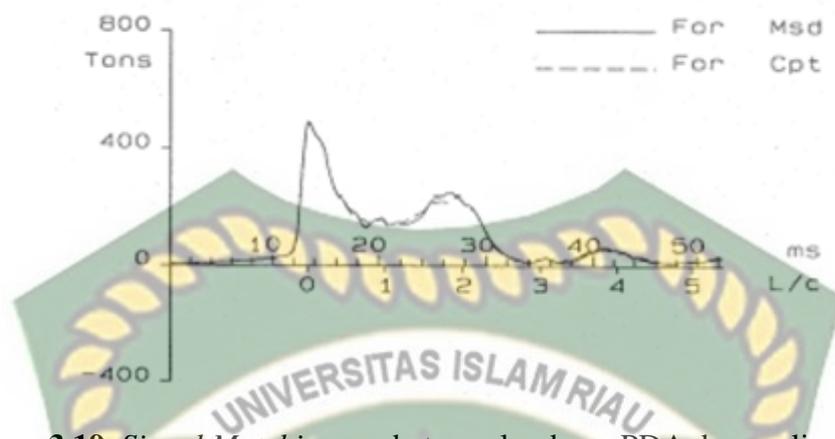


(a) Alat PDA (*Pile Driving Analyzer*) (b) *Strain transducer dan Accelerometer*

Gambar 3.18 Macam-macam alat uji beban dinamik (Hardjasaputra, 2006 dalam Aldino, 2019)

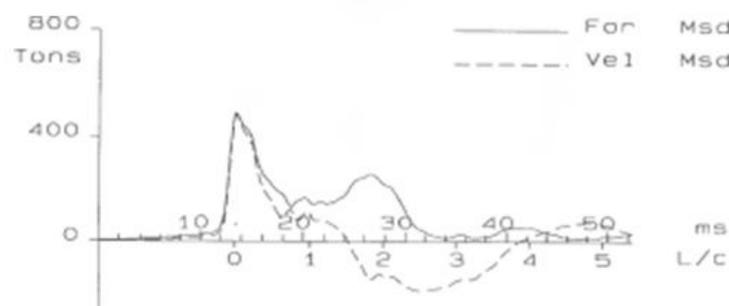
Sebuah analisa lanjutan pengujian dengan PDA, hasil rekaman gelombang akibat tumbukan palu dapat dianalisa lebih jauh dengan menggunakan *software Case Pile Wave Equation Analysis Program* disingkat CAPWAP, sebagai satu paket dengan PDA.

Program CAPWAP mengkombinasikan rambatan gelombang pada tiang hasil rekaman PDA dan modelisasi tanah beserta parameter-parameternya (*damping factor, quake, material tiang*) dan secara iterasi menentukan parameter-parameter tanah lainnya, sehingga grafik gelombang hasil interaksi itu mempunyai korelasi yang cukup baik dengan grafik gelombang yang di hasilkan oleh PDA. Proses iterasi ini disebut sebagai *signal matching*. Gambar 3.19 menunjukkan proses iterasi antara rambatan gelombang PDA dan analisa CAPWAP .



Gambar 3.19 *Signal Matching* rambatan gelombang PDA dan analisa CAPWAP (Hardjasaputra, 2006 dalam Aldino, 2019)

Beban dinamik akibat tumbukan dari drop hammer pada kepala tiang, akan menimbulkan regangan pada tiang dan pergerakan relatif (*relative displacement*) yang terjadi antara tiang dan tanah disekitarnya menimbulkan gelombang akibat perlawanan atau reaksi tanah. Semakin besar kekuatan tanah, semakin kuat gelombang perlawanan yang timbul. Gelombang aksi maupun reaksi akibat perlawanan tanah akan direkam. Dari hasil rekaman, karakteristik gelombang-gelombang ini dapat di analisa untuk menentukan daya dukung statik tiang yang diuji, berdasarkan *Theory of Stress Wave Propagation on Pile (Case Method)*. Hubungan antara rambatan gelombang dengan PDA dapat dilihat pada Gambar 3.20 dibawah.



Gambar 3.20 Hasil rekaman rambatan gelombang dengan PDA (Hardjasaputra, 2006 dalam Aldino, 2019)

Analisa dengan CAPWAP akan menghasilkan kurva penurunan tiang S vs. beban dan distribusi gaya gesek dan tahanan ujung tiang. Dengan demikian kualitas pengujian dengan PDA dapat kita bandingkan selain dengan daya dukung batasnya juga melalui kurva penurunan tiang S vs beban yang diperoleh melalui uji beban statik. Grafik kurva beban vs penurunan CAPWAP dapat dilihat pada Gambar 3.21 dibawah ini.



Gambar 3.21 Kurva Beban vs Penurunan CAPWAP (Hardjasaputra, 2006 dalam Aldino, 2015)

3.9 Kapasitas Dukung Metode Elemen Hingga Menggunakan Program PLAXIS

PLAXIS adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan bidang rekayasa geoteknik. Prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu elemen model hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat, sedangkan berbagai fasilitas yang tersedia dapat digunakan untuk menampilkan hasil komputasi secara mendetil. Proses perhitungannya sendiri sepenuhnya berjalan otomatis dan berdasarkan pada prosedur numerik yang handal. Konsep ini memungkinkan para pemula untuk dapat menggunakan program paket ini hanya dengan mengikuti beberapa jam pelatihan saja.

Akurasi hasil yang didapatkan dari program ini dibandingkan di lapangan tergantung pada keahlian pengguna dalam memodelkan permasalahan, parameter

yang digunakan, pemahaman terhadap model-model, dan kemampuan menginterpretasikan hasil menggunakan plaxis.

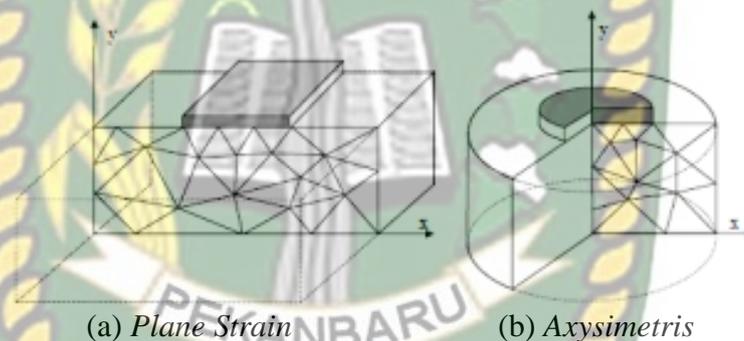
Didalam plaxis terdapat dua pemodelan yakni:

1. *Axysimetris*

Pemodelan ini digunakan pada struktur yang separuh melingkar dengan potongan melintang sumbu x dan y dimana sumbu x menggambarkan radius putaran dan sumbu y adalah sumbu yang mempresentasikan atau meragakan separuh lingkaran lagi.

2. *Plane Strain*

Pemodelan ini digunakan untuk pemodelan struktur yang menerus, seperti dinding penahan tanah, jalan, dan saluran drainase.



Gambar 3.22 Ilustrasi Pemodelan (Brinkgreve et al., 2014 dalam Gunnvard, 2016)

3.9.1 Pemodelan Plaxis

Ada berbagai macam pemodelan dalam plaxis, maka dari itu perlu diperhatikan pemodelan yang dipilih sebelum melakukan perhitungan, seperti suatu pondasi yang memiliki pemodelan yang berbeda dimana pada material tanah menggunakan *Mohr-Coulumb* dan pada tiang pondasi menggunakan linier elastis, berikut akan dijelaskan *Mohr-Coulumb* dan linier elastis.

1. Model Linier Elastis

Model ini menyatakan hukum Hooke tentang elastis linier isotropis. Model ini meliputi dua buah parameter kekakuan, yaitu Modulus Young (E_s) dan Angka Pori (ν). Model linier elastis sangat terbatas untuk permodelan perilaku tanah, model ini terutama digunakan pada struktur-struktur yang kaku dalam tanah.

2. Model *Mohr - Coulumb*

Model ini digunakan untuk pendekatan awal terhadap perilaku tanah secara umum, model ini meliputi lima buah parameter, yaitu modulus young (E_s), angka poisson (ν), kohesi (c), sudut gesek dalam (φ), dan sudut dilintasi (ψ).

3.9.2 Jenis Perilaku Material

Parameter model dalam plaxis bertujuan untuk menyatakan respons tanah dalam kondisi tegangan efektif, yaitu hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi pada butiran tanah. Tekanan air pori signifikan akan mempengaruhi respon dari tanah, setiap model tanah terdapat ada tiga buah jenis perilaku:

1. Perilaku Terdrainase

Dengan menggunakan pilihan ini maka tekanan air pori berlebih tidak akan dibentuk sama sekali, perilaku jenis ini untuk diterapkan pada kasus tanah-tanah kering seperti pasir dimana terjadi drainase penuh akibat permeabilitas yang tinggi.

2. Perilaku Tak Terdrainase

Perilaku tak terdrainase digunakan untuk pembentukan tekan air pori berlebih secara penuh, aliran air pori terkadang dapat diabaikan karena permeabilitas yang sangat rendah seperti tanah lempung atau akibat kecepatan pembebanan yang sangat tinggi.

3. Perilaku Tidak Porous

Dengan pilihan ini maka tekanan air pori yang awal maupun tekanan air pori berlebih tidak akan dihitung sama sekali pada kluster-kluster dengan jenis perilaku ini, perilaku tidak porous sering dikombinasikan dengan pengguna model linier elastis, masukan berupa berat isi jenuh dan permeabilitas adalah tidak relevan untuk material tanpa pori.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian mengenai kapasitas dukung tiang pancang sudah banyak dilakukan diberbagai tempat dengan data dan metode yang berbeda. Untuk lokasi penelitian ini berada di pembangunan gedung Masjid Raya Provinsi Riau yang berlokasi di Jl. Lintas Sumatera, Palas, Kec. Rumbai, Kota Pekanbaru, Riau. Untuk peta lokasi gedung Masjid Raya Provinsi Riau bisa dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi pembangunan gedung Masjid Raya Provinsi Riau (Google Satelit)

4.2 Pengumpulan Data Penelitian

Dalam melakukan analisis memerlukan data-data penting yang berhubungan dengan penelitian, data yang diperoleh yaitu data sekunder seperti data laporan penyelidikan tanah yang diperoleh dari CV. Harita Consultant bekerja sama dengan Unit Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Riau, laporan *Pile Driving Analyzer* (PDA) yang diperoleh dari PT. Harita Karsa Mandiri, data pemancangan yang diperoleh dari PT. Tri Jaya Permai, data struktur dan arsitektur yang diperoleh dari PT. Yodya Karya.

4.3 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian perlunya tahapan-tahapan agar mudah sewaktu mengerjakannya. Adapun tahapan-tahapan penelitian ini secara umum adalah sebagai berikut:

1. Persiapan

Tahapan perizinan penelitian yang diajukan kepada pimpinan proyek pembangunan Masjid Raya Provinsi Riau.

2. Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data yang diperlukan sebagai penelitian, antara lain:

- A. Laporan *Soil Penetration Test* (SPT)
- B. Laporan hasil uji laboratorium tanah
- C. Laporan pelaksanaan pemancangan.
- D. Laporan *Pile Driving Analyzer* (PDA)
- E. *Shop Drawing*
- F. Data Struktur

3. Analisa Data

Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis:

- A. Menentukan klasifikasi parameter tanah berdasarkan laporan SPT dan laporan hasil uji laboratorium sesuai dengan laporan pelaksanaan pemancangan.
- B. Menentukan beban rencana pada titik yang telah diuji PDA menggunakan program ETABS berdasarkan *shop drawing* dan data struktur yang sudah didapatkan dan menghitung nilai penerusan beban tiang pancang tunggal.
- C. Menganalisa kapasitas dukung, penurunan, dan faktor aman menggunakan metode Alpha, Lamda, U.S Army Corps untuk perhitungan pada tanah kohesif, metode Kulhawy, Poulos dan Davis, U.S Army Corps pada tanah granular berdasarkan klasifikasi parameter tanah, dan analisis metode elemen hingga menggunakan program Plaxis berdasarkan parameter tanah dan beban rencana.

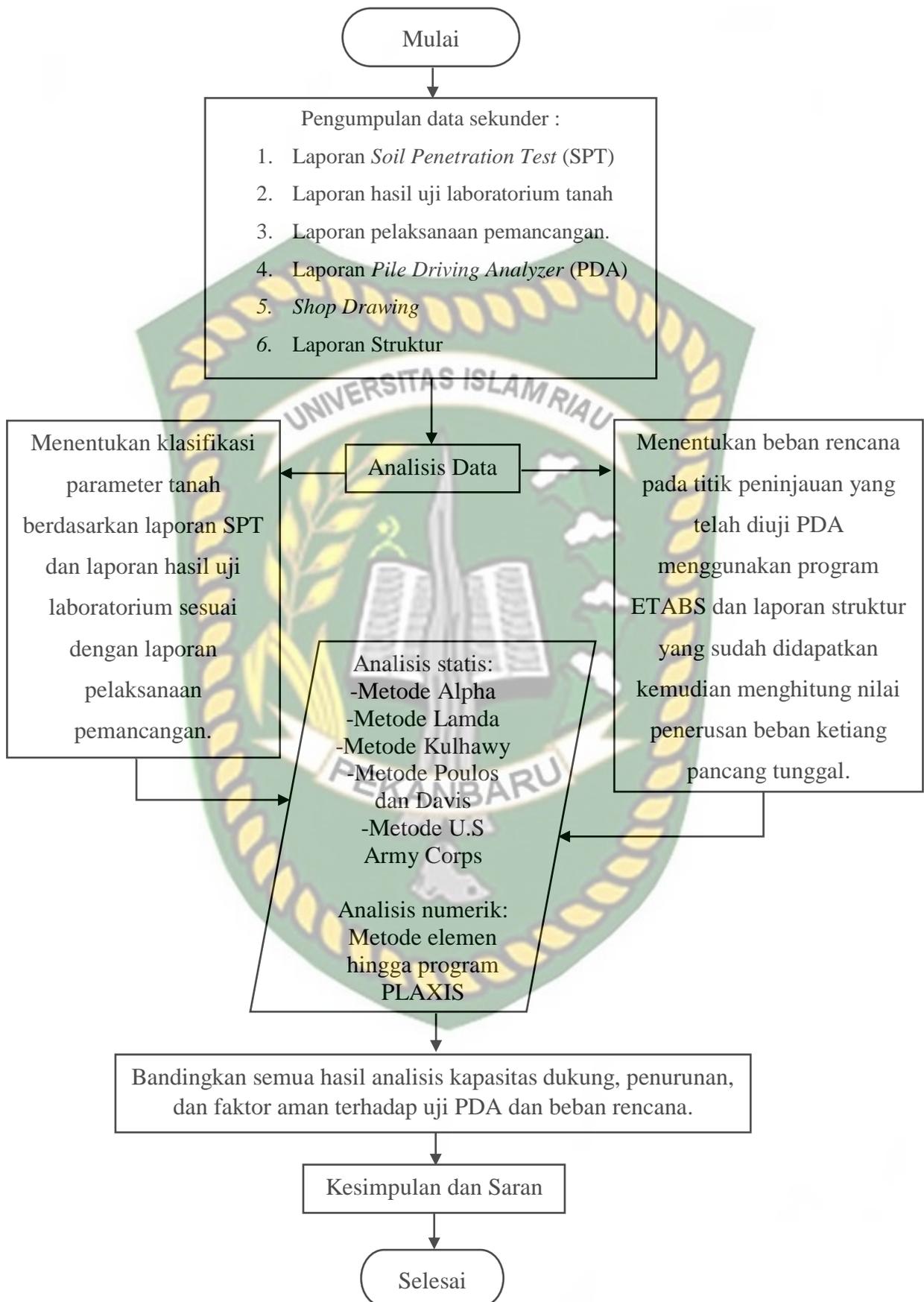
4. Hasil dan pembahasan

Setelah dilakukan analisis, maka didapatkan nilai kapasitas dukung, penurunan, dan factor aman pada masing-masing tiang pancang tersebut, serta membandingkan dengan hasil PDA *test* dan beban rencana.

5. Kesimpulan dan saran

Setelah dijabarkan hasil analisis, maka tahap terakhir dari penelitian ialah menyimpulkan, apakah kapasitas dukung hasil Analisis mampu mendukung beban yang direncanakan, factor aman yang cocok dalam perencanaan, serta penurunan yang terjadi dan memberikan saran terhadap penelitian tersebut maupun untuk penelitian selanjutnya.





Gambar 4.2 Bagan alir penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

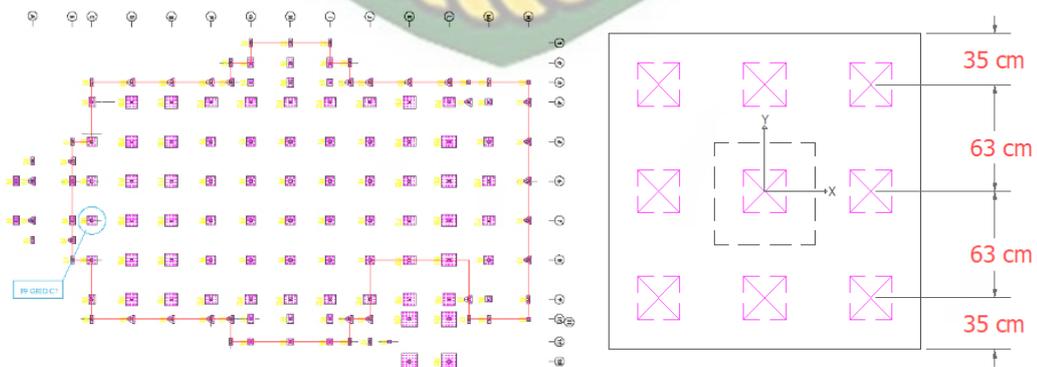
5.1 Deskripsi Umum

Pembangunan Masjid Raya Provinsi Riau dilaksanakan pada tahun 2018 di Jl. Lintas Sumatra, Palas, Kec. Rumbai, Kota Pekanbaru, Riau. Masjid ini juga menambah sektor pariwisata religi di Riau karena berlokasi dekat tepian sungai siak.



Gambar 5.1. Tampak bangunan.

Pembangunan Masjid Raya Provinsi Riau menggunakan pondasi tiang pancang square pile 25x25 cm dengan mutu K-450, hasil uji SPT diambil beberapa sampel tanah kemudian dilakukan pengujian di laboratorium untuk mendapatkan parameter - parameter tanah yang digunakan dalam perhitungan analisis statis dan analisis plaxis.



Gambar 5.2 Denah dan detail pile cap F9 C7.

Fondasi yang ditinjau dalam penelitian ini adalah pada F9 C7 (fondasi pile cap dengan 9 tiang pancang pada grid C-7). Peninjauan dilakukan pada grid C7 karena tiang pancang dititik tersebut telah diuji PDA.

5.2 Hasil Analisis

Hasil yang disajikan meliputi klasifikasi parameter tanah, hasil analisis beban rencana menggunakan program ETABS, hasil penerusan beban kerja tiang tunggal, hasil semua perhitungan metode statis, dan hasil perhitungan menggunakan program PLAXIS serta perbandingan hasil kapasitas dukung, penurunan, dan factor aman tiang pancang tunggal terhadap hasil PDA test.

5.2.1 Hasil Klasifikasi Parameter Tanah Dengan Pendekatan N-SPT dan Hasil Uji Laboratorium

Klasifikasi jenis tanah dilakukan dengan cara mengambil sampel tanah pada kedalaman tertentu dan dilakukan pengujian di laboratorium, dari hasil laboratorium akan didapatkan data tanah. Klasifikasi jenis tanah dilakukan dengan cara pendekatan berdasarkan data Boring Log N-SPT, hasil klasifikasi tanah bisa dilihat pada tabel-tabel berikut ini:

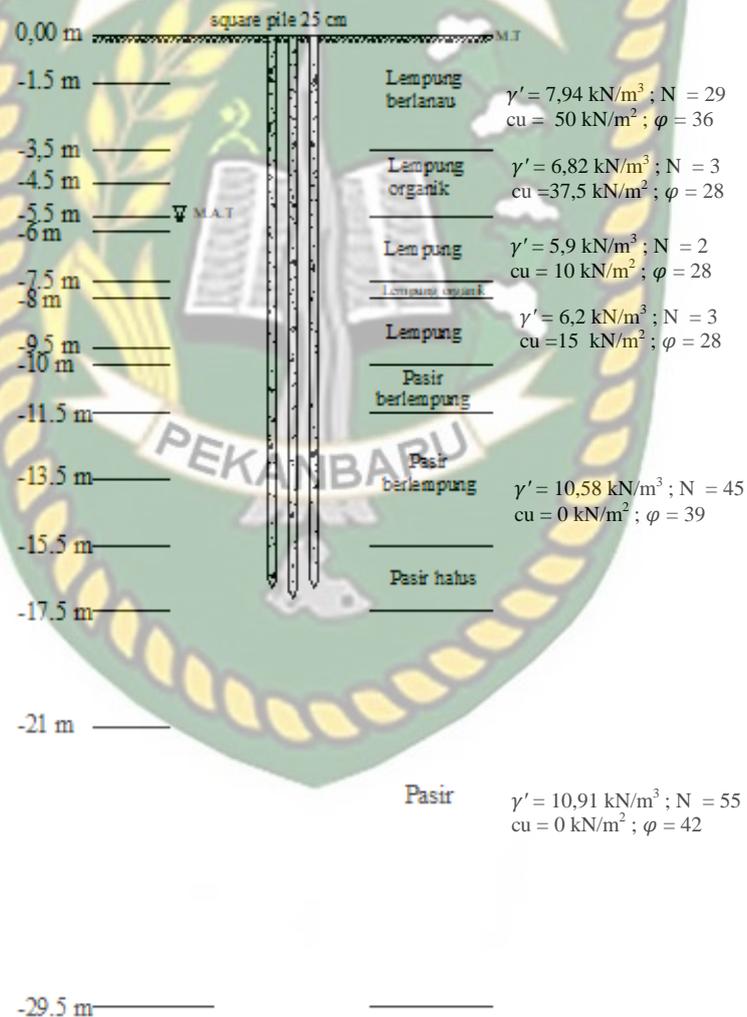
Tabel 5.1 Hasil boring log.

Kedalaman (m)	Jenis tanah	Tekstur	Warna	N - SPT
0 -1,5	Lempung berlanau	Padat	Kuning	15
1,5 -3,5	Lempung berlanau	Sangat kaku	Abu- abu	29
3,5 - 4,5	Lempung organik	Kaku sedang	Abu - abu	5
4,5 - 5,5	Lempung organik	Kaku sedang	Abu - abu	4
5,5 - 6	Lempung	Kaku sedang	Abu - abu	3
6 - 7,5	Lempung	Kaku	Abu - abu	3
7,5 - 8	Lempung organik	Sangat lunak	Coklat hitam	3
8 - 9,5	Lempung	Lunak	Coklat hitam	3
9,5 - 10	Lempung	Lunak	Abu pekat	3
10 - 11,5	Pasir berlempung	Padat	Abu - abu	20
11,5 - 13,5	Pasir berlempung	Keras	Abu - abu	37
13,5 - 15,5	Pasir berlempung	Padat	Abu - abu	40
15,5 - 17,5	Pasir halus	Padat	Abu - abu	45
17,5 - 21	Pasir padat	Sangat padat	Abu - abu	51
21 - 29,5	Pasir padat	Sangat padat	Abu kknngn	58

Tabel 5.2 Klasifikasi parameter tanah di kedalaman 0 - 1,5 m hingga 21 - 29,5 m.

Kedalaman (m)	Parameter tanah										
	GS	γ' (kN/m ³)	γ_b (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Wn (%)	E	n (%)	Sr (%)	ϕ (°)	qu (kN/m ²)	C _u (kN/m ²)
0,0-1,5	2,68	7,04	18	12,5	39	1,1	50	84	29	100	50
1,5-3,5	2,62	7,94	18,2	12,8	35	1,0	48	83	36	100	50
3,5-4,5	2,55	6,46	17,8	11,9	38,5	1,1	50	85,5	29	75	37,5
4,5-5,5	2,53	6,82	17,8	11,3	40,7	1,2	54,6	85,5	28	75	37,5
5,5-6	2,60	6,82	17,3	11	45	1,3	55	85	28	75	37,5
6-7,5	2,58	6,74	17,3	11	45	1,3	55	85	28	50	25
7,5-8	2,50	5,9	16,5	10,5	55	1,5	60	85,5	28	20	10
8-9,5	2,60	6,54	17	10,5	50	1,4	58	90	28	25	12,5
9,5-10	2,58	6,2	16,8	10,2	55	1,5	62	90	28	30	15
10-11,5	2,55	8,9	17,5	15,2	24,5	0,7	39	76,5	31	0	0
11,5-13,5	2,58	9,4	18	15,5	22	0,65	38,5	78,3	38	0	0
13,5-15,5	2,52	9,5	19,5	15,7	18,5	0,57	36,2	82,4	39	0	0
15,5-17,5	2,65	10,58	20,5	16,8	18,7	0,53	35	84	40	0	0
17,5-21	2,67	10,85	20,9	17,5	19	0,51	34	85,3	41	0	0
21-29,5	2,68	10,91	20,9	17,5	19	0,51	34	85,5	42	0	0

Klasifikasi parameter tanah dari data hasil uji laboratorium hanya sampel tanah pada kedalaman 4,50 - 5,50 m dan 14,50 - 15,50 m dan hasil pada kedalaman lainnya hingga kedalaman total pada 29,5 m didapatkan dari metode pendekatan. Berat jenis tanah (G_s) didapatkan pada **Tabel 3.6**, berat volume efektif (γ') didapatkan dengan melakukan perhitungan menggunakan **Persamaan 3.4**, berat volume basah (γ_b), berat volume kering (γ_d), kadar air (W_n), angka pori (e), porositas (n) diperoleh dari **Tabel 3.8**, derajat kejenuhan (S_r) didapatkan dari **Tabel 3.7**, sudut gesek dalam (ϕ) didapatkan dari **Gambar 3.2**, kuat tekan bebas (q_u) diperoleh dari **Tabel 3.2**, dan kohesi tak terdrainase (C_u) didapatkan dengan **Persamaan 3.1**.



Gambar 5.3 Parameter setiap lapisan tanah.

5.2.3 Hasil Analisa Beban Yang Bekerja Menggunakan Program ETABS

Analisa beban yang bekerja yakni beban aksial, beban momen dan beban lateral. Untuk menentukan beban rencana pada pile cap F9C7 digunakan program ETABS berdasarkan data struktur, arsitektur menurut peraturan yang berlaku.

1. Data Struktur dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.3 Data struktur, kolom, balok, pelat lantai.

STRUKTUR	TIPE	Dimensi (cm)
Kolom	K.30.30	30 x 30
	K.50.50	50 x 50
	K.50.50-B	50 x 50
	K.60.60	60 x 60
	K.70.70	70 x 70
	K.70.70-B	70 x 70
	K.100.100	100 x 100
Balok	B.20.30	20 x 30
	B.30.40	30 x 40
	B.30.40-B	30 x 40
	B.30.60	30 x 60
	B.30.60-B	30 x 60
	B.40.60	40 x 60
	B.40.60-B	40 x 60
	B.50.70	50 x 70
	B.50.70-B	50 x 70
	B.70.90	70 x 90
	B.70.120	70 x 120
	B.70.120-B	70 x 120
	Pelat Lantai	LT10
LT12		12
LT15		15
LT25		25

2. Arsitektur

Data arsitektur yang dimasukkan dalam analisa ETABS adalah fungsi ruang setiap lantai yaitu ruang sholat, ruang kantor, ruang serbaguna, ruang lobi, dll.

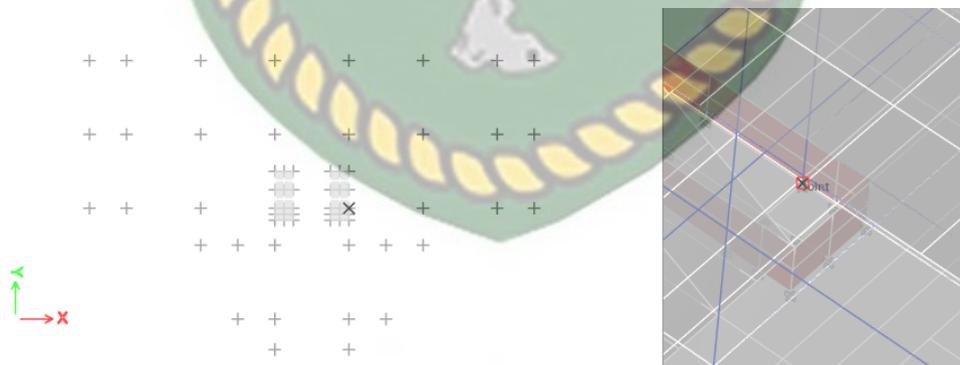
3. Pembebanan

Perhitungan beban terdiri dari beban tetap dan beban sementara, beban tetap terdiri dari beban mati dan beban hidup, untuk beban sementara terdiri dari beban gempa dan beban angin, beban-beban tersebut didapatkan berdasarkan SNI 1727:2013 dan untuk beban gempa menggunakan SNI 1726:2012. Untuk detail penginputan/perhitungan beban dapat dilihat pada **Lampiran B**.

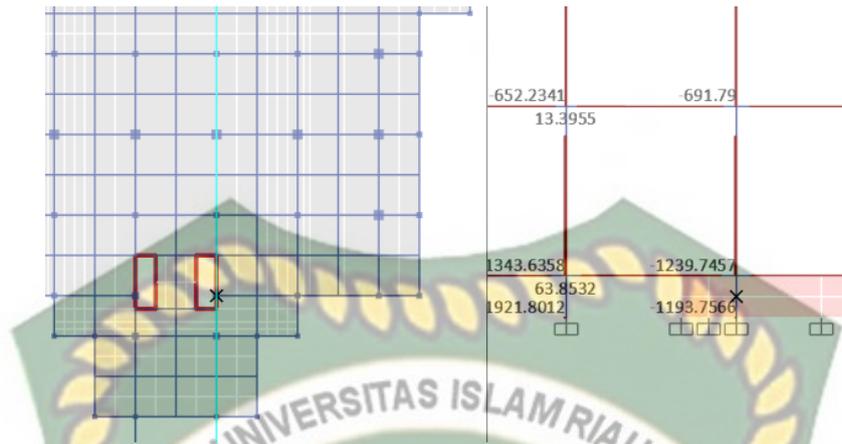
Berdasarkan SNI 1727:2013 pasal kombinasi pembebanan yang digunakan adalah:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$
3. $1,2D + 1,6Lr + 1L$
4. $1,2D + 1W + 1L + 0,5Lr$
5. $1,2D + 1E + 1L$
6. $0,9D + 1W$
7. $0,9D + 1E$

Dari hasil analisis menggunakan ETABS didapatkan beban yang akan ditinjau pada F9 C7 yang mana hasil tersebut bisa dilihat pada gambar output dibawah ini.



Gambar 5.4. Grid F9 C7 dalam ETABS



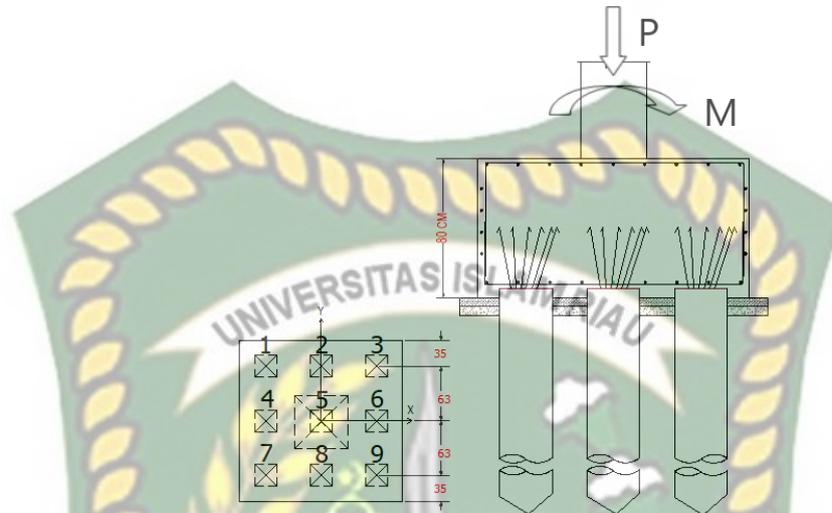
Gambar 5.5. Aksial diagram kolom lantai dasar C7

Tabel 5.4 Rekapitulasi beban kolom lantai dasar grid C7.

No Kombinasi	Aksial (Z) (kN)	Lateral (X) (kN)	Lateral (Y) (kN)	Momen (X) (kN)	Momen (Y) (kN)
2	1193,757	-192,15	18,8052	10,945	30,6769
5.1 (min)	1159,74	-170,054	9,6498	4,298	17,1585
5.1 (max)	1117,288	-154,898	23,2398	15,215	37,0501
3	1143,901	-156,196	12,728	9,35	26,1051
4.3 (min)	1104,010	-166,214	14,076	8,585	11,7931
4.3 (max)	1087,857	-145,554	15,5983	10,036	40,0504
1	1062,940	-111,182	10,713	7,663	20,8988
6.1	683,319	-71,474	6,8869	4,926	13,435
7.1 (min)	640,161	-72,318	-0,557	-0,996	2,2233
7.1 (max)	597,690	-57,162	13,033	9,896	22,2296

Tabel 5.4 merupakan rekapitulasi hasil dari analisis beban menggunakan program ETABS pada grid C7, dari ketujuh kombinasi tersebut gaya yang terbesar diterima oleh tiang akibat beban rencana adalah kombinasi 2 yaitu $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$ atau untuk keterangan lebih jelas dapat dilihat pada **Lampiran B**, Maka dari itu nilai beban tersebut digunakan untuk perhitungan kapasitas dukung fondasi tiang pancang pada grid C7.

5.2.4 Penerusan Beban Kerja Tiang Pancang Tunggal



Gambar 5.6 Penerusan Beban Kerja Tiang Tunggal.

Keterangan:

Beban aksial (P)	= 1193,76 kN
Momen pada sumbu X (M)	= 10,94 kN
Momen pada sumbu Y (M)	= 30,68 kN
Jumlah tiang pancang (n)	= 9
Banyak tiang sumbu x	= 3
Banyak tiang sumbu y	= 3
Berat pile cap (P)	= 72,35 kN

Tabel 5.5 Beban rencana yang bekerja pada masing-masing tiang pancang

No. Pile (n)	Koordinat (m)		X_n^2 (m)	Y_n^2 (m)	$\frac{P}{n}$ (kN)	$\frac{M_x \cdot Y_n}{\sum Y_n^2}$ (kN)	$\frac{M_y \cdot X_n}{\sum X_n^2}$ (kN)	P_i (kN)
	X_n	Y_n						
1	0,63	-0,63	0,397	0,397	140,679	-2,893	8,114	145,900
2	0,63	0	0,397	0	140,679	0	8,114	148,790
3	0,63	0,63	0,397	0,397	140,679	2,893	8,114	151,687
4	0	-0,63	0	0,397	140,679	-2,893	0	137,785
5	0	0	0	0	140,679	0	0	140,679
6	0	0,63	0	0,397	140,679	2,893	0	143,572
7	-0,63	-0,63	0,397	0,397	140,679	-2,893	-8,114	129,671
8	-0,63	0	0,397	0	140,679	0	-8,114	132,565
9	-0,63	0,63	0,397	0,397	140,679	2,893	-8,114	135,458
			$\sum=2,382$	$\sum=2,382$			P maks	151.687

5.2.5 Hasil Analisa Kapasitas Dukung Tiang Pancang Tunggal Metode Statis

Perhitungan kapasitas dukung tiang pancang tunggal dengan dimensi tiang square pile 25 cm menggunakan 6 macam metode statis, tiga metode untuk tanah kohesif yaitu metode alpha (α), lamda (λ), U.S. Army Corp dan tiga metode lagi untuk tanah granular yaitu metode Kulhawy, Poulos dan Davis, dan U.S. Army Corp serta metode analisis Plaxis. Pada perhitungan metode statis, kapasitas dukung tiang pancang dipengaruhi oleh panjang tiang terpancang, analisis perhitungan lebih detail dapat dilihat pada **Lampiran A**. Sedangkan untuk metode analisis plaxis kapasitas dukung tiang pancang dipengaruhi beban rencana yang bekerja di atasnya, analisis perhitungan lebih detail dapat dilihat pada **Lampiran B**. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel sesuai kedalaman tiang yang terpancang.

Tabel 5.6 Hasil analisis kapasitas dukung tiang pancang tunggal.

Nomor tiang	Kedalaman (m)	Kapasitas Dukung Ultimate (Q_u) (kN)		
		Kulhawy + Alpha (α)	Poulos dan Davis + Lamda (λ)	U.S.Army Corps
1	17	773,735	603,517	574,254
2	16,5	728,564	589,803	564,148
3	16	684,345	576,087	554,044
4	12	408,480	432,306	481,563
5	16,5	728,564	589,803	564,148
6	17	773,735	603,517	574,254
7	15,5	761,953	537,806	482,103
8	16	684,345	576,087	554,044
9	15,5	761,953	537,806	482,103

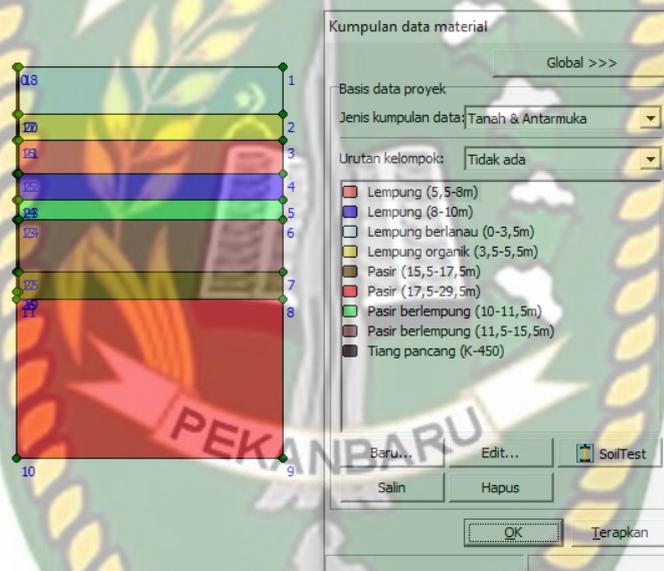
5.2.6 Hasil Analisis Kapasitas Dukung Tiang Pancang Tunggal Menggunakan Program Plaxis

Penginputan parameter tanah dilakukan sebagai acuan untuk mengetahui perubahan tanah tersebut jika ditambah beban, dan agar dapat diketahui nilai faktor aman akibat beban rencana tiang tunggal serta nilai penurunan elastis, parameter tanah yang diinput pada plaxis diantaranya ialah modulus young (E), berat volume tanah kering (γ_d), berat volume tanah basah (γ_b), berat volume beton, rasio poisson (μ), permeabilitas (k), kohesi (c), sudut gesek dalam (ϕ).

Tabel 5.7 Parameter tanah untuk input plaxis.

Kedalaman (m)	Jenis tanah	Model material	Jenis material	γ_d (kN/m ³)	γ_b (kN/m ³)	Kx (m/hari)	Ky (m/hari)	E (kN/m ²)	C (kN/m ²)	ϕ (°)	V	R _{inter}
0,00 - 3,50	Jenis tanah	<i>Mohr-coulomb</i>	<i>Undrainad</i>	12,8	17,7	$8,64 \times 10^{-4}$	$8,64 \times 10^{-4}$	19.613,3	100	36	0,35	0,8
3,50 - 5,50	Lmpng berlanau	<i>Mohr-coulomb</i>	<i>Undrainad</i>	11,3	16,63	$8,64 \times 10^{-4}$	$8,64 \times 10^{-4}$	8825,99	27,5	28	0,35	0,8
5,50 - 7,50	Lempung	<i>Mohr-coulomb</i>	<i>Undrainad</i>	11	16,55	$8,64 \times 10^{-4}$	$8,64 \times 10^{-4}$	5883,99	25	28	0,35	0,8
7,5-10	Lempung	<i>Mohr-coulomb</i>	<i>Undrainad</i>	10,2	16,01	$8,64 \times 10^{-4}$	$8,64 \times 10^{-4}$	3922,66	15	28	0,35	0,8
10-11,5	Lempung	<i>Mohr-coulomb</i>	<i>Drainad</i>	15,2	18,75	0,864	0,864	29420	1	31	0,35	0,8
11,5-15,5	Pasir berlempung	<i>Mohr-coulomb</i>	<i>Drainad</i>	15,7	19,3	0,864	0,864	24516,6	1	39	0,30	0,8
15,5-17,5	Pasir berlempung	<i>Mohr-coulomb</i>	<i>Drainad</i>	16,8	20,39	0,864	0,864	24516,6	1	40	0,3	0,8
17,5-29,5	Pasir	<i>Mohr-coulomb</i>	<i>Drainad</i>	17,5	20,72	8,64	8,64	49033,3	1	42	0,4	0,8
0-dst	-	<i>Elastis Linier</i>	<i>Tidak Porous</i>	24	-	-	-	28723884	-	-	0,3	1,0

Parameter yang diinput diantaranya didapatkan dari tabel - tabel seperti nilai permeabilitas (k_x) dan permeabilitas (k_y) dari **Tabel 3.5**, nilai modulus elastisitas dari **Tabel 3.3**, berat isi jenuh (γ_{sat}) dari Persamaan 3.3, nilai parameter angka poisson (ν) didapatkan dari **Tabel 3.4**, dan untuk berat isi tidak jenuh (γ_{unsat}), kohesi (c), sudut gesek (ϕ) nilainya sama dengan parameter laboratorium pada **Tabel 5.2**, untuk model material menggunakan Mohr - coulomb dengan jenis material tidak terdrainase/terdrainase. Untuk keterangan lebih jelas dapat dilihat pada **Lampiran B**.



Gambar 5.7 Lapisan tanah, kedalaman dan material.

Tabel 5.8 Hasil analisis Plaxis tiang pancang tunggal.

Nomor tiang	Kedalaman (m)	$\sum -M_{sf}$	$Q_u = \sum -M_{sf} \times \pi$ (kN)
1	17,00	3,81	555,88
2	16,50	3,63	540,12
3	16,00	3,10	470,23
4	12,00	3,35	461,58
5	16,50	3,65	513,48
6	17,00	3,81	547,01
7	15,50	3,92	508,31
8	16,00	3,80	503,75
9	15,50	3,88	525,58

5.2.7 Hasil Uji PDA

PDA test merupakan salah satu jenis pengujian dinamik yang menggunakan metode *wave analysis* atau bisa disebut dengan *re-strike* test sesuai dengan sifat pengujiannya yakni melakukan pemukulan ulang pondasi tiang yang diuji. Adapun tujuan menggunakan PDA test ialah untuk mengetahui kapasitas dukung tiang pancang tunggal, keutuhan tiang dan sambungannya, dan efisiensi dari transfer energi pukulan alat pancang, terdapat dua titik pengujian PDA test yang dilakukan pada pembangunan Masjid Raya Provinsi Riau, salah satunya yakni pada F9 C7.

Tabel 5.9. Hasil uji PDA .

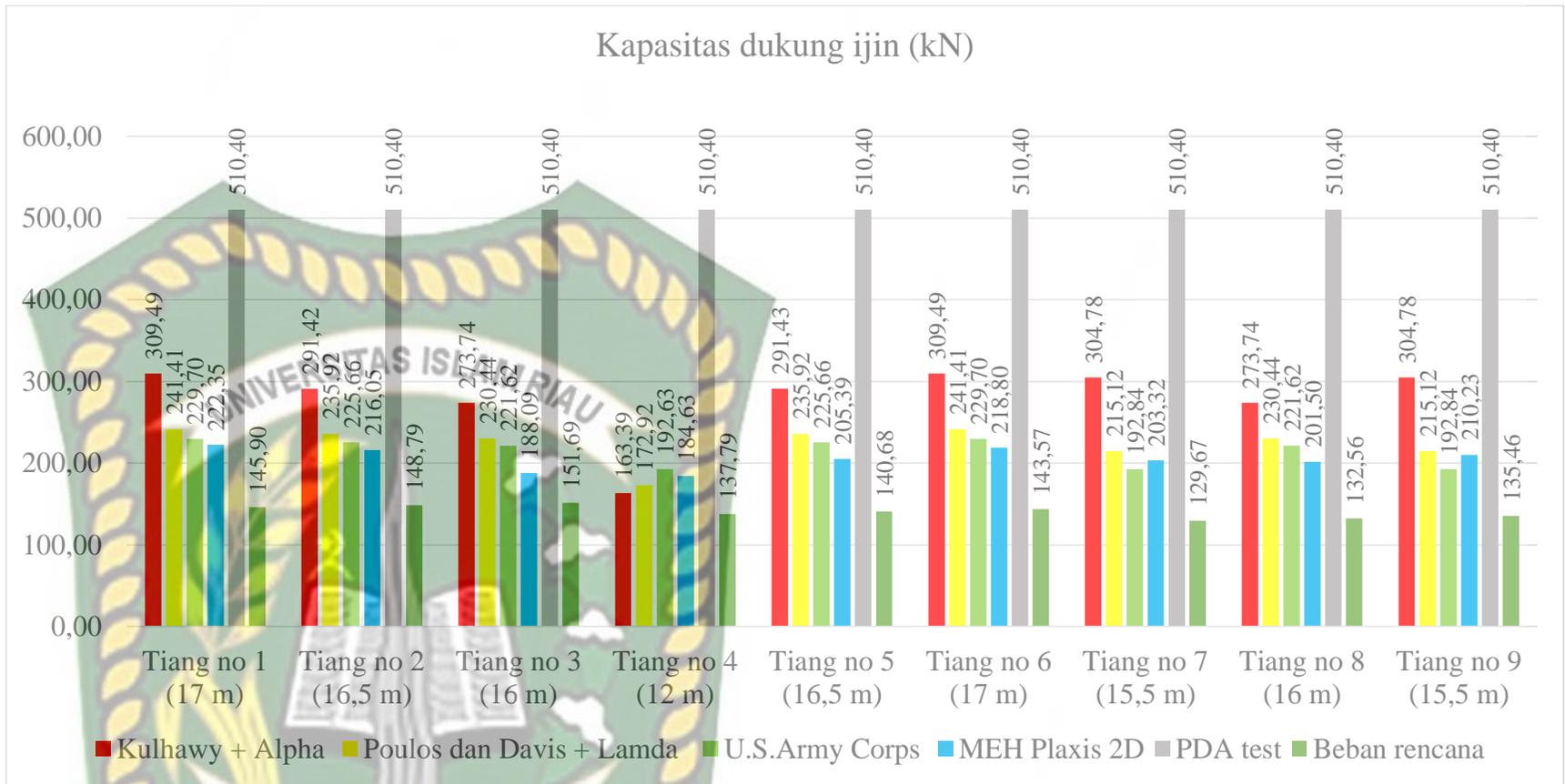
Titik uji	Panjang penetrasi tiang	Kapasitas dukung ultimit (kN)
F9 C7	17,60	1276
F9 H6	10,60	6710

5.2.8 Perbandingan Kapasitas Dukung Ijin Tiang Pancang Tunggal Metode Statis, Metode Elemen Hingga (Plaxis 2D) Dan Hasil Uji PDA Terhadap Beban Rencana

Kapasitas dukung tiang pancang tunggal berbagai metode perlu dilakukan perbandingan guna mengetahui perbedaan dari hasil yang didapatkan. Tabel dan grafik perbandingan dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 5.10. Rekapitulasi Perbandingan Hasil

No. tiang Dan Kedalaman	Kapasitas Dukung Ijin ($Q_a = Q_u/SF$)					
	Kulhawy + Alpha (α)	Poulos dan Davis + Lamda (λ)	U.S.Army Corps	PLAXIS 2D	PDA	Beban Rencana
m	kN	kN	kN	kN	kN	kN
1 (17,00)	309,49	241,40	229,70	222,35	510,40	145,90
2 (16,50)	291,42	235,92	225,66	216,04	510,40	148,79
3 (16,00)	273,74	230,43	221,61	188,09	510,40	151,68
4 (12,00)	163,39	172,92	192,62	184,63	510,40	137,78
5 (16,50)	291,42	235,92	225,66	205,39	510,40	140,68
6 (17,00)	309,49	241,40	229,70	218,80	510,40	143,57
7 (15,50)	304,78	215,12	192,84	203,32	510,40	129,67
8 (16,00)	273,73	230,43	221,62	201,50	510,40	132,56
9 (15,50)	304,78	215,12	192,84	210,23	510,40	135,46



Gambar 5.8 Perbandingan kapasitas dukung ijin tiang pancang metode statis, Plaxis 2D, PDA test dan Beban rencana

Dari Gambar 5.8 didapatkan perbandingan kapasitas dukung tiang pancang dari metode statis, MEH Plaxis 2D dan hasil uji PDA, untuk hasil kapasitas dukung dengan metode statis lebih besar dibandingkan metode elemen hingga Plaxis 2D.

5.3. Faktor Aman Pada Tiang Pancang

Untuk mendapatkan faktor aman, maka kapasitas ultimate dibagi dengan beban yang bekerja pada tiang, faktor aman memberi fungsi ketidakpastian beban yang bekerja, faktor aman yang diberikan pada analisa statis bekisar dari 2 - 4 dan untuk kontrol normal pada struktur permanen adalah 2,5. Hasil faktor aman yang didapat bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.11 Faktor aman aktual pada tiang pancang.

Metode	No tiang	Kedalaman	$Q_u =$ $Q_s + Q_b - W_p$	P_i	$SF =$ Q_u / P
		(m)	(kN)	(kN)	(kN)
Alpha + Kulhawy	1	17,00	773,73	145,90	5,31
	2	16,50	728,56	148,79	4,94
	3	16,00	684,34	151,69	4,52
	4	12,00	408,48	137,79	3,06
	5	16,50	728,56	140,68	5,29
	6	17,00	773,73	143,57	5,43
	7	15,50	761,95	129,67	5,93
	8	16,00	684,34	132,56	5,22
	9	15,50	761,95	135,45	5,66
Lamda + Poulos dan Davis	1	17,00	603,52	145,90	4,17
	2	16,50	589,80	148,79	4,04
	3	16,00	576,09	151,68	3,87
	4	12,00	432,31	137,78	3,17
	5	16,50	589,80	140,68	4,24
	6	17,00	603,52	143,57	4,25
	7	15,50	537,81	129,67	4,16
	8	16,00	576,09	132,56	4,34
	9	15,50	537,81	135,46	4,03

Tabel 5.11 Lanjutan.

Metode	No tiang	Kedalaman	$Q_u =$ $Q_s + Q_b - W_p$	P	SF = Q_u/P
		(m)	(kN)	(kN)	(kN)
U.S. Army Corps	1	17,00	574,25	145,90	3,93
	2	16,50	564,15	148,79	3,82
	3	16,00	554,04	151,69	3,71
	4	12,00	481,56	137,78	3,53
	5	16,50	564,15	140,68	4,04
	6	17,00	574,25	143,57	4,06
	7	15,50	482,10	129,67	3,78
	8	16,00	554,04	132,56	4,29
	9	15,50	482,10	135,46	3,65
MEH 2D dengan interface	1	17,00	555,88	145,90	3,85
	2	16,50	540,12	148,79	3,65
	3	16,00	470,23	151,69	3,17
	4	12,00	461,58	137,79	3,34
	5	16,50	513,48	140,68	3,67
	6	17,00	547,01	143,57	3,89
	7	15,50	508,31	129,67	3,94
	8	16,00	503,75	132,56	3,84
	9	15,50	525,58	135,46	3,94

Dari tabel 5.11 didapatkan berbagai macam nilai faktor aman yang diperoleh dari kapasitas dukung ultimit dibagi dengan beban rencana pada masing - masing tiang, hasil faktor aman berbeda dikarenakan kapasitas dukung ultimit berbeda pada setiap tiang pancang. Nilai faktor aman terbesar diperoleh dari metode *Kulhawy + Alpha* (α), namun itu merupakan kontrol sangat jelek/tidak efisien, untuk faktor aman kontrol normal yang disarankan Reese dan O'Neil (Tabel 3.13) pada gedung permanen dengan kontrol normal digunakan nilai 2,5 dan jika penurunan < 10 mm untuk diameter tiang < 600 mm juga digunakan nilai 2,5 menurut (Tomlinson, 1977).

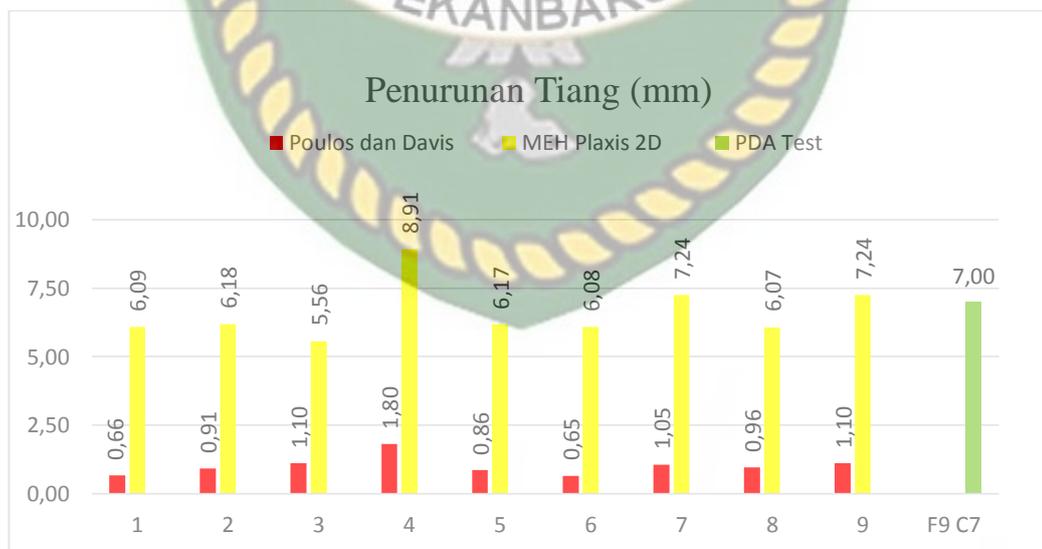
5.4. Hasil Analisis Penurunan Tiang Pancang Tunggal

Analisis penurunan segera/elastis pada tiang pancang tunggal menggunakan metode statis Poulos dan Davis, metode elemen hingga program Plaxis, dan penurunan hasil uji PDA, dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Penurunan pondasi tiang pancang tunggal

Nomor Tiang	Kedalaman Tiang (m)	Poulos dan Davis (mm)	MEH Plaxis (mm)	Uji PDA (mm)
1	17,00	0,66	6,09	7,00
2	16,50	0,91	6,18	7,00
3	16,00	1,10	5,56	7,00
4	12,00	1,80	8,91	7,00
5	16,50	0,86	6,17	7,00
6	17,00	0,65	6,08	7,00
7	15,50	1,05	7,24	7,00
8	16,00	0,96	6,07	7,00
9	15,50	1,10	7,24	7,00

Dari Tabel 5.12 Analisis penurunan dengan metode statis Poulos dan Davis diperoleh nilai lebih kecil dan masih jauh dibawah batas penurunan izin yaitu $10\% d = 25 \text{ mm}$.



Gambar 5.9 Penurunan tiang pancang pada F9 C7.

Dari Gambar 5.9 penurunan pondasi yang terbesar terjadi pada tiang nomor 4 .

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan yang telah dijelaskan pada bab hasil dan pembahasan dapat disimpulkan nilai kapasitas dukung, penurunan dan faktor aman fondasi tiang pancang F9 C7 pada pembangunan Masjid Raya Provinsi Riau adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas dukung ijin (Q_a) semua tiang pancang tunggal metode statis diperoleh hasil sebesar 163,39 kN - 309,49 kN, program Plaxis 2D sebesar 184,63 kN - 222,352 kN, yang artinya semua tiang tersebut mampu mendukung beban rencana sebesar 129,67 kN - 151,69 kN, dan semua hasil tersebut jauh lebih kecil dibandingkan hasil uji PDA yaitu sebesar 510,4 kN.
2. Nilai faktor aman (SF) metode statis diperoleh hasil sebesar 3 - 5,6 namun nilai tersebut merupakan kontrol tidak normal atau tidak efisien dalam pelaksanaannya.
3. Penurunan segera/elastis metode Poulos dan Davis diperoleh hasil sebesar 0,65 mm - 1,8 mm, program Plaxis 2D yaitu sebesar 5,56 mm - 8,91 mm dan PDA *test* sebesar 7 mm.
4. Pada tiang nomor 4 dengan kedalaman penetrasi terkecil diantara semua tiang (12 m) diperoleh hasil kapasitas dukung ijin $>$ beban rencana dengan nilai faktor aman $>$ 2,5.

6.2 Saran

Dari hasil kesimpulan penelitian, peneliti memberikan beberapa saran:

1. Sebaiknya hanya menganalisa pada tiang pancang yang terdapat kejanggalan saja, seperti mengalami keretakan atau perbedaan penetrasi yang signifikan (terkecil) diantara semua tiang, karena apabila tiang yang mengalami kejanggalan tersebut mampu memikul beban rencana maka sudah dipastikan tiang yang lainnya juga mampu memikul beban rencana tersebut, maka sebaiknya analisis perhitungan hanya dilakukan pada tiang nomor 4 saja untuk mewakili yang lainnya.

2. Dari semua hasil perbandingan kapasitas dukung, penurunan serta faktor aman, tiang pancang nomor 4 diperoleh nilai terkecil, namun masih mampu mendukung beban rencana, maka sebaiknya pemancangan cukup pada kedalaman 12 m saja seperti tiang nomor 4 agar lebih efisien atau sebaiknya pemancangan pada fondasi grid C7 hanya membutuhkan < 9 tiang jika dipancang pada kedalaman ≥ 17 m.
3. Untuk penelitian selanjutnya agar dapat diminati untuk menganalisis kebutuhan pemancangan atau menganalisis kapasitas dukung tiang pancang grup atau kapasitas dukung lateral, dan sebagainya.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR PUSTAKA

- Aldino, R. (2019). Tinjauan Perbedaan Kuat Dukung Tiang Tunggal Antara Data Kalendering, Data Spt, Dan Data Pda Test Pada Tiang Pancang No. 7 Dan No. 25 Pile Cap No. 1 Overpass Sta 58+ 250 Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai . Pekanbaru: Universitas Islam Riau.
- Andi Yusti, F. F. (2014). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi Dengan Hasil Uji Pile Driving Analyzer Test Dan Capwap (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang). Jurnal Fropil, 19-31.
- Consultant, C. (2018). Soil Penetration Test Masjid Raya Provinsi Riau. Pekanbaru: Cv.Harita Consultant.
- Edward, M. (2019). Perbandingan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Menggunakan Data N-SPT Pada Gedung Menara BRI Kota Pekanbaru. Pekanbaru: Universitas Islam Riau.
- Hardiyatmo, H. C. (1996). Teknik Fondasi 1. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika Tanah I. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2003). Mekanika Tanah II. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). Teknik Fondasi II. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2011). Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian 1. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2015). Teknik Fondasi II. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2020). Analisis dan Perancangan Fondasi II . Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Lilik Gani Ahmad, M. S. (2016). Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Menggunakan Data Insitu Test, Parameter Laboratorium Terhadap Loading test Kantledge. Jurnal Konstruksia, 65-73.

- Mandiri, P. H. (2018). Laporan PDA Masjid Raya Provinsi Riau. Pekanbaru: PT. Delta Systech Indonesia.
- Permai, P. T. (2018). Laboratory Report Pembangunan Masjid Raya Provinsi Riau. Pekanbaru: Unit Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Riau.
- Ulina, T. A. (2020). Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diameter 0,6 M Dengan Metode Analitis Dan Metode Elemen Hingga (PROYEK TOL MEDAN-BINJAI). Medan: Universitas Sumatra Utara.

