TUGAS AKHIR

ANALISIS DAYA DUKUNG STRUKTUR FONDASI TIANG PANCANG BAWAH ABUTMENT SERTA OPTIMASI DESAIN MENGGUNAKAN BORED PILE

(Studi Kasus: Proyek Rekonstruksi Jembatan Weton Kulon Kebumen Sta 1+300)

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil



FAIRUZ AKBAR PRADIPTA
22511066

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL – PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2026

TUGAS AKHIR

ANALISIS DAYA DUKUNG STRUKTUR FONDASI BAWAH *ABUTMENT* SERTA OPTIMASI DESAIN MENGGUNAKAN *BORED PILE*

Disusun oleh

Fairuz Akbar Pradipta

22511066

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 27 Agustus 2026

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing :

Ir. Muhammad Irfan Marasabessy, S.T., M.T.

NIK : 245110502

Tanggal : 27 Agustus 2026

Penguji I :

Aisya Galuh Laksita, S.T., M. Eng

NIK : 245111201

Tanggal : 28 Agustus 2026

Penguji II :

Anisa Nur Amalina, S.T., M. Eng

NIK : 215111305

Tanggal : 28 Agustus 2026

Mengesahkan,

Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI
YOGYAKARTA

31/8-26

Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng.

NIK : 165110105

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Inovasi Desain, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 31 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan



Fairuz Akbar Pradipta

22511066

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin. Rasa syukur dan puji yang setinggi-tingginya penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sebab hanya karena rahmat dan hidayah-Nya penulis mampu menuntaskan Tugas Akhir yang mengangkat judul Analisis Daya Dukung Struktur Fondasi Bawah Abutment Serta Optimasi Desain Menggunakan *Bored Pile*. Penyusunan karya ini ditujukan kepada Universitas Islam Indonesia sebagai pemenuhan syarat akademik untuk menyelesaikan jenjang pendidikan strata satu pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Selama proses penyusunannya, penulis memperoleh begitu banyak bantuan, bimbingan, serta saran dari berbagai pihak. Dukungan itulah yang membuat setiap tahapan penulisan terasa lebih mudah dilalui hingga karya ini dapat diselesaikan dengan baik. Karena itu, melalui lembar ini penulis ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat.

1. Bapak Ir. Muhammad Irfan Marasabessy, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, dorongan, saran, nasihat, dan motivasi yang diberikan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak/Ibu Dosen Penguji I yang telah memberikan koreksi, masukan, dan saran yang diberikan saat ujian Tugas Akhir demi menyempurnakan Tugas Akhir.
3. Bapak/Ibu Dosen Penguji II yang telah memberikan koreksi, masukan, dan saran yang diberikan saat ujian Tugas Akhir demi menyempurnakan Tugas Akhir.
4. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

5. Ibu Shofwatul Fadilah, S.T.P., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik untuk motivasi, saran, dan bimbingan selama masa kuliah.
6. Seluruh dosen yang telah membagikan banyak ilmu kepada penulis selama menempuh studi di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
7. Kepada kedua orang tua tercinta, Alm. Ayah Urip Widodo dan Bunda Triyani Suci Ambarwi yang telah membesarkan, mendidik, mengiringi setiap langkah penulis dengan do'a dan juga selalu memberi dukungan materil dan non materil. Serta adik saya Rayya Bintang Rasyda yang sudah memberi do'a dan dukungannya selama ini.
8. Keluarga besar dan sahabar-sahabat Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, yang senantiasa memberikan semangat, bantuan, dan kebersamaan hingga tugas akhir ini selesai.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, baik dari sisi isi maupun cara penyajiannya. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna penyempurnaan karya ini.

Akhir kata, penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, terutama bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil, sekaligus menjadi bahan rujukan bagi penelitian serupa pada masa mendatang.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 31 Agustus 2026

Fairuz Akbar Pradipta

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR i
TUGAS AKHIR ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR LAMPIRAN xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xiii
ABSTRAK xvi
ABSTRACT xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 5
1.3 Tujuan Penelitian 6
1.4 Manfaat Penelitian 6
1.5 Batasan Penelitian 7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1 Tinjauan Umum 9
2.2 Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu 9
2.2.1 Analisis daya dukung fondasi *Bored pile* 10
2.2.2 Analisis daya dukung fondasi tiang pancang dan yang lainnya 12
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan 15
BAB III LANDASAN TEORI 19
3.1 Tanah 19
3.2 Penyelidikan Tanah 19
3.3 Penentuan Parameter Tanah 21

3.4 Fondasi Tiang 25
3.4.1 Fondasi Tiang Pancang 26
3.4.2 Fondasi Tiang Bor (*Bored pile*) 27
3.5 Kapasitas Dukung Tiang Pancang 28
3.5.1 Kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal kalendering 29
3.5.2 Kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal 29
3.5.3 Kapasitas daya dukung kelompok tiang 31
3.6 Kapasitas Daya Dukung *Bored pile* 35
3.6.1 Kapasitas daya dukung tiang tunggal 36
3.6.2 Kapasitas dukung ijin 37
3.6.3 Kapasitas daya dukung kelompok tiang 38
BAB IV METODE PENELITIAN 42
4.1 Metode Penelitian 42
4.2 Data Penelitian 42
4.3 Variabel Penelitian 43
4.4 Lokasi Penelitian 43
4.5 Metode Analisis 44
4.6 Tahapan Penggunaan *Software Plaxis* 3D 45
4.7 Tahapan Penelitian 50
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 53
5.1 Data Proyek Rekonstruksi Jembatan Weton Kulon Sta 1+300 53
5.1.1 Denah struktur fondasi jembatan Weton Kulon 53
5.1.2 Data struktur jembatan 53
5.2 Data Analisis Penetuan Desain Jembatan dan Perhitungan Daya Dukung 54
5.2.1 Perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan monitoring lapangan 54
5.2.2 Perhitungan daya dukung tiang pancang metode Naval Engineering Facilities Command 57
5.2.3 Perhitungan *back analysis* 70
5.2.4 Validasi terhadap nilai PDA Test 76

5.2.5 Analisis daya dukung kelompok tiang pancang 76
5.2.6 Perhitungan daya dukung *bored pile* 77
5.2.7 Perhitungan daya dukung kelompok tiang bor 83
5.3 Simulasi Desain Menggunakan *Plaxis 3D* 84
5.3.1 Permodelan tiang pancang dengan *Plaxis* 3D 84
5.3.2 Permodelan *bored pile* dengan *Plaxis* 3D 86
5.4 Rekapitulasi Perbandingan Desain Tiang Pancang Dengan *Bored pile* 91
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 95
6.1 Kesimpulan 95
6.2 Saran 97
Daftar Pustaka 98
LAMPIRAN 100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi Perbandingan Tiang Pancang Rencana dengan *Exisitng* 4
Gambar 1.2 Ilustrasi Tiang Pancang Rencana Tampak Depan 4
Gambar 1.3 Ilustrasi Tiang Pancang Terpasang Tampak Depan 4
Gambar 1.4 Grafik Perbandingan Kedalaman dan Daya Dukung Tiang Pancang 5
Gambar 3.1 Tiga Skema Urutan Uji Penetrasi Standar (SPT) 21
Gambar 3.2 Korelasi Nilai LL Berdasarkan Cv 24
Gambar 3.3 Skema Kelompok Tiang 32
Gambar 3.4 Tiang Ditinjau dari Cara Mendukung Beban 36
Gambar 4.1 Lokasi Proyek yang ditinjau sebagai penelitian 43
Gambar 4.2 Kondisi Aktual Di Lapangan 44
Gambar 4.3 Tahapan Permodelan 45
Gambar 4.4 Tahapan Permodelan 46
Gambar 4.5 Tahapan Permodelan 46
Gambar 4.6 Tahapan Permodelan 47
Gambar 4.7 Tahapan Permodelan 47
Gambar 4.8 Tahapan Permodelan 48
Gambar 4.9 Tahapan Permodelan 48
Gambar 4.10 Tahapan Permodelan 49
Gambar 4.11 Tahapan Permodelan 49
Gambar 4.12 Tahapan Permodelan 50
Gambar 4.13 Bagan Alir Penelitian 51
Gambar 5.1 Denah Fondasi *Existing* 53
Gambar 5.2 Perbandingan Nilai Qu Kalendering, Analisis Sebelum Kalibrasi, dan *Back Analysis* Sesudah Kalibrasi 76
Gambar 5.3 Hasil *Displacement* Arah X Pada Fondasi Tiang Pancang *Existing* 84
Gambar 5.4 Hasil *Displacement* Arah Y Pada Fondasi Tiang Pancang *Existing* 85
Gambar 5.5 Hasil *Displacement* Arah Z Pada Fondasi Tiang Pancang *Existing* 85
Gambar 5.6 Hasil Distribusi Beban Fondasi Tiang Pancang 85
Gambar 5.7 Hasil *Displacement* Arah X Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 1 86

Gambar 5.8 Hasil *Displacement* Arah Y Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 1 87
Gambar 5.9 Hasil *Displacement* Arah Z Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 1 87
Gambar 5.10 Hasil Distribusi Beban Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 1 87
Gambar 5.11 Hasil *Displacement* Arah X Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 2 88
Gambar 5.12 Hasil *Displacement* Arah Y Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 2 88
Gambar 5.13 Hasil *Displacement* Arah Z Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 2 89
Gambar 5.14 Hasil Distribusi Beban Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 2 89
Gambar 5.15 Hasil *Displacement* Arah X Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 3 90
Gambar 5.16 Hasil *Displacement* Arah Y Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 3 90
Gambar 5.17 Hasil *Displacement* Arah Z Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 3 90
Gambar 5.18 Hasil Distribusi Beban Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 3 91
Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Nilai Daya Dukung Ijin Tiang 92
Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Nilai Daya Dukung Kelompok Tiang 93
Gambar 5.21 Perbandingan Nilai Distribusi Beban Maksimal Tiang Berdasarkan *Plaxis* 3D 93
Gambar 5.22 Perbandingan Nilai *Displacement* Tiang Berdasarkan *Plaxis* 3D 94

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbandingan Panjang Tiang Pancang Rencana dengan *Existing* 3
Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Yang Akan Dilakukan 15
Tabel 3.1 Korelasi Parameter Tanah 1 21
Tabel 3.2 Korelasi Parameter Tanah 2 22
Tabel 3.3 Korelasi Tanah Berdasarkan N Koreksi 23
Tabel 3.4 Korelasi Modulus Elastisitas 23
Tabel 3.5 Korelasi Poisson Ratio 24
Tabel 3.6 Hasil Rekap Parameter Tanah 25
Tabel 5.1 Data Analisis Proyek Jembatan Weton Kulon 54
Tabel 5.2 Rekap Hasil Perhitungan Daya Dukung *Existing* 56
Tabel 5.3 Perbandingan nilai daya dukung *Existing* dengan Analisis NAVFAC 70
Tabel 5.4 Rekap Hasil Nilai Qu Total 75
Tabel 5.5 Penentuan Jumlah Penggunaan Tiang Dengan 80
Tabel 5.6 Penentuan Jumlah Penggunaan Tiang Dengan 81
Tabel 5.7 Penentuan Jumlah Penggunaan Tiang Dengan 81
Tabel 5.8 Rekap Hasil Perhitungan Daya Dukung *Bored pile* diameter 82
Tabel 5.9 Rekap Perbandingan Desain Tiang Pancang Dengan *Bored pile* 91

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1: Penjadwalan Penyusunan Tugas Akhir 101
LAMPIRAN 2: Hasil PDA Test 102
LAMPIRAN 3: Pengujian Tanah 106
LAMPIRAN 4: Hasil Monitoring *Existing* 109

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Ap	= luas penampang ujung/dasar tiang (m^2)
As	= luas selimut tiang (m^2)
Cu	= kohesi tanah tak terdrainase, Cu = 2/3 N (ton/m^2)
Cu'	= kohesi efektif tanah (ton/m^2)
Cv	= koefisien konsolidasi tanah (cm^2/detik)
D	= diameter tiang (m)
Dr	= kerapatan relatif tanah (%)
d	= diameter tiang pada perhitungan sudut θ (m)
E	= modulus elastisitas tanah (kN/m^2)
Eg	= efisiensi kelompok tiang
e	= angka pori tanah
K	= koefisien berdasarkan jenis tanah
L	= panjang tiang (m)
Li	= panjang segmen tiang yang ditinjau (m)
LL	= batas cair tanah (%)
m	= jumlah tiang dalam satu kolom (buah)
N	= nilai pukulan uji penetrasi standar (pukulan)
N1	= harga rata-rata nilai NSPT dari dasar tiang ke 10D ke atas (pukulan)
N2	= harga rata-rata nilai NSPT dari dasar tiang ke 4D ke bawah (pukulan)
NSPT	= nilai rata-rata SPT, NSPT = (N1 + N2)/2 (pukulan)
Np	= nilai rata-rata SPT mulai 4D di bawah ujung tiang (pukulan)
Ns	= nilai SPT rata-rata pada lapisan tanah sepanjang tiang (pukulan)
n	= jumlah tiang dalam kelompok atau jumlah tiang dalam satu baris (buah)
P	= gaya aksial rencana yang bekerja pada fondasi (ton)
Pijin	= beban aksial ijin per tiang (ton)
Pmaks	= beban aksial maksimum hasil pemodelan Plaxis 3D (ton)
p	= keliling penampang tiang (m)
Qall	= kapasitas dukung ijin tiang (ton)

Qg	= kapasitas dukung kelompok tiang (ton)
Qp	= tahanan ujung tiang (ton)
Qs	= tahanan selimut atau friksi tiang (ton)
Qs1	= kapasitas dukung friksi tiang tertutup (ton)
Qs2	= kapasitas dukung friksi tiang terbuka (ton)
Qu	= kapasitas dukung ultimit tiang (ton)
Qult	= kapasitas dukung ultimit tiang (ton)
qp	= tahanan ujung per satuan luas (ton/m^2)
S	= jarak antar pusat tiang (m)
SF	= angka keamanan, bernilai 2,5 – 3
Wp	= berat tiang yang digunakan (ton)
WSAT	= kadar air pada kondisi jenuh (%)
γd	= berat volume tanah kering (t/m^3)
γSAT	= berat volume tanah jenuh (t/m^3)
γ	= berat volume tanah (kN/m^3)
θ	= sudut arc tg (d/s), dalam derajat
ν	= angka Poisson
φ	= sudut geser dalam tanah (°)
φ'	= sudut geser dalam efektif tanah (°)
AASHTO	= American Association of State Highway and Transportation Officials
A1	= abutment 1, yaitu abutment yang ditinjau
BSN	= Badan Standardisasi Nasional
CPT	= Cone Penetration Test atau uji sondir
CRS	= Constant Rate of Strain
FHWA	= Federal Highway Administration
NAVFAC	= Naval Facilities Engineering Command
PDA	= Pile Driving Analyzer
P1 s.d. P18	= nomor titik tiang pada abutment A1
Plaxis 3D	= perangkat lunak analisis geoteknik metode elemen hingga tiga dimensi
SAP2000	= Structural Analysis Program 2000
SNI	= Standar Nasional Indonesia

SPT	= Standard Penetration Test
STA	= stationing atau patok jarak proyek
A	= koefisien nilai rumus Qs NAVFAC
B	= koefisien nilai rumus Qp NAVFAC

ABSTRAK

Proyek Rekonstruksi Jembatan Weton Kulon, Kabupaten Kebumen, STA 1+300 merencanakan fondasi tiang pancang beton berdiameter 0,5 m dengan panjang 12 m pada abutment A1. Pada pelaksanaannya tiang tidak mencapai kedalaman rencana karena menumbuk lapisan tanah keras, sehingga panjang tertanam aktual hanya 8,84–11,00 m dan menimbulkan variasi daya dukung antartiang yang signifikan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kapasitas daya dukung kelompok tiang pancang eksisting terhadap beban rencana serta mengkaji optimasi desain menggunakan fondasi bored pile dengan variasi diameter 0,5 m; 0,8 m; dan 1,0 m.

Analisis dilakukan secara analitis dengan metode NAVFAC berdasarkan data sondir dan *Standard Penetration Test* (SPT), dikalibrasi melalui back analysis dan divalidasi terhadap hasil *Pile Driving Analyzer* (PDA) test, dilanjutkan perhitungan efisiensi serta daya dukung kelompok tiang, dan diverifikasi melalui pemodelan numerik tiga dimensi menggunakan program *Plaxis* 3D.

Hasil analisis menunjukkan daya dukung ultimit rata-rata tiang pancang eksisting sebesar 273,47 ton dengan daya dukung ijin 109,39 Ton per tiang, serta daya dukung kelompok 1.936,14 Ton pada efisiensi 0,983, jauh melampaui beban rencana 956,7 ton. Hasil back analysis mendekati nilai PDA test (285 ton) dengan selisih 11,53 ton sehingga perhitungan dinyatakan valid. Alternatif bored pile menghasilkan daya dukung kelompok 984,23 Ton; 999,28 Ton; dan 1.049,33 Ton dengan volume beton 21,206 m^3; 28,149 m^3; dan 28,274 m^3, seluruhnya memenuhi Qg > P. Disimpulkan bahwa fondasi eksisting aman namun tergolong over-design, sedangkan bored pile diameter 0,5 m sepanjang 6 m sebanyak 18 tiang merupakan desain paling optimal karena aman, paling hemat beton, dan tidak memerlukan penyesuaian pile cap.

Kata kunci: daya dukung fondasi, tiang pancang, bored pile, back analysis, Plaxis 3D, optimasi desain

ABSTRACT

The Weton Kulon Bridge Reconstruction Project in Kebumen Regency at STA 1+300 was designed using 0.5 m diameter driven concrete piles with a length of 12 m beneath abutment A1. During installation, the piles could not reach the designed depth due to early refusal on a hard soil layer, resulting in actual embedded lengths of only 8.84–11.00 m and significant variation in bearing capacity among the piles. This study aims to evaluate the bearing capacity of the existing pile group against the design load and to examine design optimization using bored pile foundations with diameter variations of 0.5 m, 0.8 m, and 1.0 m.

The analysis was carried out analytically using the NAVFAC method based on cone penetration test and Standard Penetration Test (SPT) data, calibrated through back analysis and validated against Pile Driving Analyzer (PDA) test results, followed by pile group efficiency and capacity calculations, and verified through three-dimensional numerical modeling using Plaxis 3D.

The results show an average ultimate capacity of 273.47 Tons and an allowable capacity of 109.39 Tons per pile, with a group capacity of 1,936.14 Tons at an efficiency of 0.983, far exceeding the design load of 956.7 Tons. The back-analyzed value closely matches the PDA test result of 285 Tons, with a deviation of only 11.53 Tons, confirming the validity of the calculation. The bored pile alternatives yield group capacities of 984.23, 999.28, and 1,049.33 Tons with concrete volumes of 21.206, 28.149, and 28.274 m³, respectively, all satisfying Qg > P. It is concluded that the existing foundation remains safe but over-designed, whereas eighteen 0.5 m diameter bored piles at 6 m depth constitute the most optimal design because it is safe, requires the least concrete, and needs no pile cap modification.

***Keywords**: bearing capacity, driven pile, bored pile, back analysis, Plaxis 3D, foundation design optimization*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur transportasi memegang peranan penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan mobilitas masyarakat. Dengan infrastruktur trasnportasi yang baik akan mempermudah segala aktifitas dalam lingkup yang luas. Infrastruktur transportasi darat merupakan salah satu dari beberapa jenis infrastruktur transportasi lainnya. Macam-macam jenis infrastruktur darat yaitu jalan raya, jembatan, rel kereta, terowongan, dan jalan pejalan kaki. Jembatan merupakan salah satu infrastruktur transportasi yang memiliki peran penting sebagai penghubung antarwilayah, jembatan harus memenuhi standar keamanan, kualitas, dan ketahanan terhadap beban serta kondisi lingkungan. Namun. seiring berjalannya waktu. banyak jembatan yang mengalami kerusakan akibat faktor usia, bencana alam, atau beban lalu lintas yang melebihi kapasitas. Oleh karena itu. rekonstruksi jembatan menjadi solusi untuk memperbaiki atau mengganti struktur yang sudah tidak layak agar dapat berfungsi secara optimal.

Jembatan merupakan struktur bangunan yang dirancang untuk menghubungkan dua titik yang terpisah oleh rintangan alam atau buatan (seperti sungai, lembah, jalan raya, rel kereta api, atau badan air) sehingga memungkinkan lalu lintas orang, kendaraan, atau utilitas melintas dengan aman dan efisien. Selain itu jembatan juga memiliki fungsi sebagai penyalur beban lalu lintas (statis dan dinamis) ke tanah dengan aman dan juga menjaga stabilitas terhadap gaya alam (angin. gempa. banjir).

Jembatan Weton Kulon merupakan jembatan yang menghubungkan Kecamatan Puring dengan Kecamatan Buayan. dikarenakan beberapa faktor terjadi kerusakan pada jembatan yang mana menyebabkan terputusnya mobilitas warga, distribusi logistik, dan ekonomi pada kedua kecamatan. Dilakukannya proses rekonstruksi jembatan adalah upaya yang dilakukan oleh Pemerintah Kebumen untuk menghidupkan kembali mobilitas warga, distribusi logistik, dan ekonomi di daerah

tersebut. Rekonstruksi pada jembatan kali ini di desain dengan tujuan jangka panjang untuk mencegah faktor-faktor yang dapat menyebabkan rusaknya jembatan. Sehingga, desain yang digunakan pada jembatan kali ini ada berupa fondasi tiang pancang dan *abutment* sebagai struktur bawah yang bertugas menopang pada kedua ujung jembatan.

Abutment adalah struktur vital yang membentuk bagian bawah dari kedua ujung jembatan. Fungsinya yang utama adalah untuk menopang dan menahan semua beban yang bekerja pada bangunan atas jembatan. Beban yang dipikul ini kemudian diteruskan secara aman ke lapisan tanah fondasi di bawahnya. Selain itu, *abutment* juga berperan sebagai konstruksi penahan tanah di sisi ujung jembatan. Peran ganda ini membuatnya menjadi komponen kunci dalam stabilitas jembatan. Dengan demikian, *abutment* memastikan keseluruhan struktur jembatan dapat berdiri dengan aman dan stabil. Sedangkan fondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar fondasi yang cukup kuat menahannya tanpa terjadinya penurunan yang berlebihan pada sistem strukturnya.

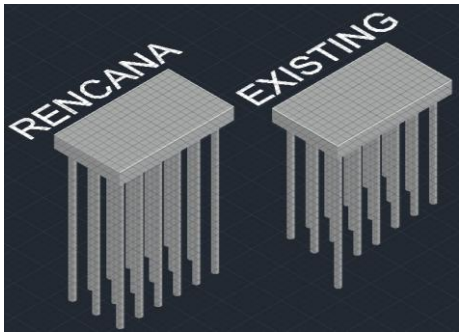
Tiang pancang merupakan elemen struktur berbentuk panjang dan ramping yang berfungsi untuk mentransfer beban dari konstruksi di atasnya ke lapisan tanah yang lebih dalam dan stabil. Bahan pembuatnya sangat beragam, mulai dari beton, baja, hingga kayu, yang dipilih sesuai dengan kebutuhan beban dan kondisi tanah. Metode pemasangannya dapat dilakukan dengan cara dipukul, dibor, atau digetarkan hingga mencapai lapisan tanah keras yang mampu menopang beban. Penggunaan tiang pancang sangat krusial pada tanah yang lunak atau pada proyek-proyek berskala besar seperti jembatan dan gedung pencakar langit. Dengan demikian, tiang pancang memastikan stabilitas dan keamanan struktur bangunan secara keseluruhan.

Pada proyek rekonstruksi jembatan Weton Kulon didapati suatu kejadian yang menjadi dasar dilakukannya penelitian ini. Pada proyek rekonstruksi ini fondasi yang digunakan yaitu merupakan fondasi tiang pancang dengan desain diameter 50 cm dengan panjang tiang yaitu 12 meter. Pada proses pemancangan tiang menggunakan *drop hammer* terjadi suatu kendala dimana tiang pancang sudah tidak

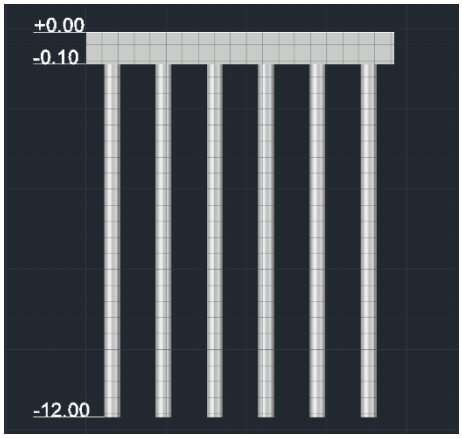
bisa mencapai kedalaman rencana yaitu 12 meter dikarenakan sudah mencapai lapisan tanah keras. yang mana hal tersebut menyebabkan tiang pancang yang jika dipaksakan dilakukkan pemukulan menggunakan *drop hammer* dapat menyebabkan tiang pancang pecah, sehingga kedalaman yang dicapai untuk rata-rata tiang pancang yaitu mulai dari 8 meter hingga 11 meter. Berikut merupakan data dan ilustrasi terkait desain tiang pancang rencana dan *existing* pada *abutment* A1 yang dapat dilihat pada Tabel 1.1 serta Gambar 1.1. sampai Gambar 1.3.

Tabel 1.1 Perbandingan Panjang Tiang Pancang Rencana dengan *Existing*

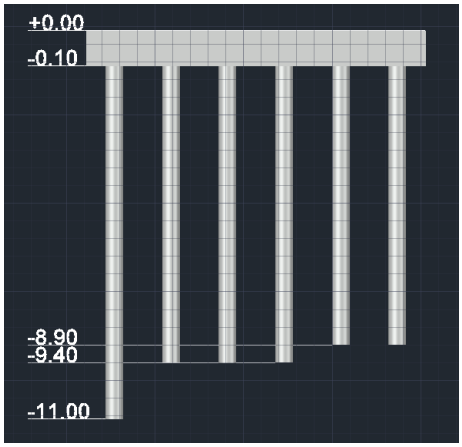
Nomor *Abutment*	Panjang *Abutment* (meter)	
	Rencana	*Existing*
P1	12	11
P2	12	9,40
P3	12	9,42
P4	12	9,38
P5	12	9,39
P6	12	9,40
P7	12	9,43
P8	12	9,35
P9	12	9,42
P10	12	9,40
P11	12	9,37
P12	12	8,98
P13	12	8,84
P14	12	8,88
P15	12	8,90
P16	12	8,85
P17	12	8,89
P18	12	8,85



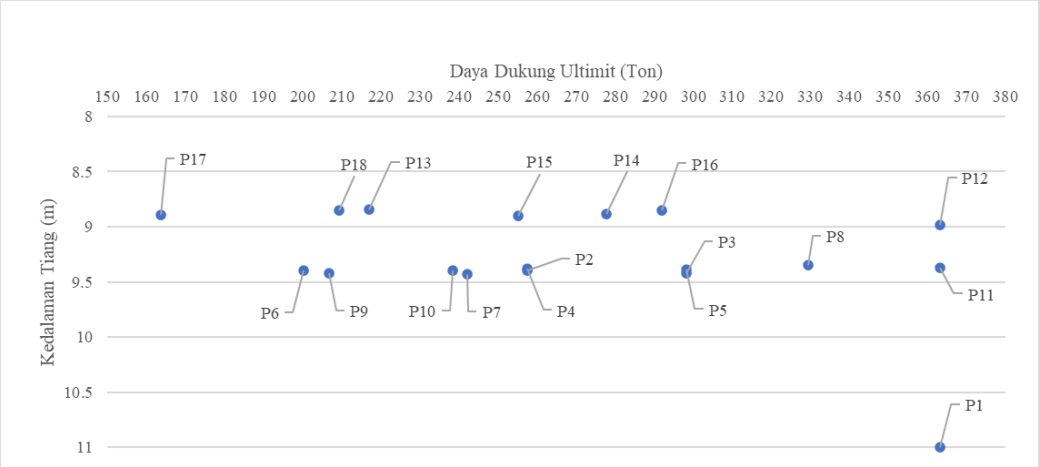
Gambar 1.1 Ilustrasi Perbandingan Tiang Pancang Rencana dengan *Exisitng*



Gambar 1.2 Ilustrasi Tiang Pancang Rencana Tampak Depan



Gambar 1.3 Ilustrasi Tiang Pancang Terpasang Tampak Depan



Gambar 1.4 Grafik Perbandingan Kedalaman dan Daya Dukung Tiang Pancang

Berdasarkan grafik pada Gambar 1.4 didapati perbedaan nilai daya dukung yang signifikan walaupun memiliki kedalaman tiang pancang yang tidak terlalu jauh namun daya dukung yang dimiliki yaitu memiliki selisih nilai sekitar 200 Ton yang dapat dilihat pada notasi titik tiang pancang P17 dan tiang pancang titik P12. Perbedaan nilai yang didapat pada setiap tiang pancang disebabkan oleh beberapa faktor seperti kondisi tanah saat pelaksanaan, hasil data *rebound*, dan penurunan total pada saat *final set*. Oleh sebab itu, pada penelitian kali ini dilakukan analisa lebih lanjut untuk mengetahui apakah dengan adanya sebuah tiang yang memiliki nilai daya dukung yang berbeda-beda sanggup menahan beban sturktur atas jembatan yang ada.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, berikut merupakan rumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini:

1. Bagaimana kapasitas daya dukung kelompok fondasi tiang pancang berdasarkan kondisi panjang tiang tertanam aktual pada *abutment* A1 Jembatan Weton Kulon?
2. Apakah desain yang digunakan kelompok tiang pancang tiang *over design*, *under design* ?

3. Bagaimana kapasitas daya dukung kelompok fondasi *bored pile* variasi dimensi 0,5 m; 0,8 m; dan 1m sebagai alternatif desain menggunakan metode rekomendasi NAVFAC?
4. Bagaimana perbandingan optimasi variasi dimensi *bored* pile terhadap tiang pancang?
5. Alternatif desain fondasi mana yang akan digunakan berdasarkan hasil evaluasi kapasitas daya dukung?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas. maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini :

1. Mengetahui kapasitas daya dukung kelompok fondasi tiang pancang *existing* berdasarkan kondisi panjang tiang tertanam aktual pada *abutment* A1 Jembatan Weton Kulon?
2. Mengetahui apakah desain yang digunakan kelompok tiang pancang tiang *over estimate*, *under estitmate* ?
3. Mengetahui kapasitas daya dukung kelompok fondasi *bored pile* variasi dimensi 0,5 m; 0,8 m; dan 1m sebagai alternatif desain menggunakan metode rekomendasi NAVFAC
4. Mengetahui perbandingan optimasi variasi dimensi *bored* pile terhadap tiang pancang.
5. Mengetahui desain fondasi mana yang akan digunakan berdasarkan hasil evaluasi kapasitas daya dukung.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil yang diperoleh nanti diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut ini :

1. Menambah pengetahuan bagi pembaca mengenai kapasitas dukung fondasi tiang pancang dan *bored pile.*

2. Mengetahui keefektifan antara fondasi tiang pancang beton dengan fondasi tiang bor untuk daerah sekitar pantai. dan,
3. Dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan fondasi didaerah daerah yang memiliki kesamaan karakteristik tanah dan situasi lingkungan sekitarnya.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan-batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini :

1. Objek penelitian adalah Proyek Rekonstruksi Jembatan Weton Kulon STA 1+300, Desa Weton Kulon, Kecamatan Puring, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah.
2. Analisis hanya ditinjau pada struktur fondasi bawah *abutment* A1, yang terdiri dari 18 tiang pancang beton berdiameter 0,5 m. *Abutment* A2, pilar, struktur atas jembatan, serta struktur pelengkap lainnya tidak ditinjau.
3. Analisis dibatasi pada aspek geoteknik, yaitu kapasitas daya dukung aksial tekan tiang tunggal dan kelompok tiang, efisiensi kelompok tiang, serta penurunan (settlement) hasil pemodelan *Plaxis* 3D. Perencanaan struktural tiang dan pile cap (penulangan, momen, dan geser) tidak dianalisis.
4. Beban gempa, gaya gerusan (*scouring*), gesekan negatif (*negative skin friction*), serta pengaruh korosi dan agresivitas air tanah tidak diperhitungkan dalam analisis.
5. Beban rencana yang bekerja pada abutment A1 sebesar 956,7 Ton diambil langsung dari data perencanaan proyek dan tidak dilakukan perhitungan ulang terhadap kombinasi pembebanan jembatan berdasarkan SNI 1725:2016.
6. Metode analitis lain di luar metode tersebut tidak digunakan sebagai pembanding.
7. Parameter pembanding dalam pemilihan alternatif desain dibatasi pada kapasitas daya dukung kelompok, distribusi beban per tiang, penurunan, dan volume beton. Analisis rencana anggaran biaya (RAB), metode pelaksanaan, durasi pekerjaan, dan dampak lingkungan pelaksanaan tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian.

8. Hasil penelitian merupakan kajian evaluatif dan alternatif desain secara teoretis, tidak diterapkan atau diuji langsung pada pelaksanaan di lapangan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Fondasi merupakan elemen kunci dalam struktur bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban dari struktur atas (*superstructure*) menuju ke lapisan tanah yang memiliki kapasitas dukung memadai. Perencanaan fondasi harus memenuhi dua kriteria utama, yaitu kriteria kekuatan terkait kapasitas dukung dan kriteria pelayanan terkait batas penurunan (settlement) yang diizinkan. Pemilihan tipe fondasi dalam. seperti tiang pancang atau *bored pile*. dilakukan apabila lapisan tanah keras berada pada kedalaman yang jauh dari permukaan atau beban struktur sangat besar sehingga tidak memungkinkan menggunakan fondasi dangkal.

Fondasi tiang pancang dikategorikan sebagai fondasi dalam yang proses pembuatannya dilakukan melalui fabrikasi sebelum kemudian ditanamkan ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman yang direncanakan. Pada umumnya, tiang pancang memiliki penampang berbentuk lingkaran atau segi empat dengan ujung yang dibuat runcing. Material penyusunnya pun beragam. mulai dari baja, beton, kayu, hingga bahan komposit,

Penerapan fondasi dalam ini menjadi krusial ketika lapisan tanah di permukaan tidak memiliki kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) yang memadai untuk menahan beban bangunan. Menurut Sardjono (1988). jika tanah keras berada pada kedalaman lebih dari 10 meter, penggunaan tiang pancang atau tiang apung sangat disarankan. Selain itu, untuk struktur besar seperti gedung bertingkat yang mensyaratkan stabilitas tinggi tanpa adanya penurunan tanah (*settlement*). tiang pancang merupakan solusi yang paling tepat.

2.2 Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu

Berikut adalah perbandingan antara sejumlah penelitian relevan terdahulu dengan penelitian yang akan penulis lakukan

2.2.1 Analisis daya dukung fondasi *Bored pile*

Jihan Khairunnisa (2025). melakukan sebuah penelitian dengan judul "Analisis Daya Dukung Fondasi *Bored pile* Berdasarkan Data SPT Pada Proyek Pembangunan RSUD Kota Yogyakarta". penelitian tersebut bertujuan untuk membandingkan daya dukung serta fondasi *bored pile existing* dan dengan variasi dimensi lalu dilakukan. Analisa menggunakan Plaxis 2D. Pada penelitian ini fondasi *bodred pile existing* menggunakan diameter 0,3 m sedangkan variasi diameter yang digunakan yaitu 0,2 m dan 0,4 m. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan. dengan menggunakan metode Reese & Wright dan Mayerhoff didapatkan nilai sebesar 2489,006 kN dan 3043,224 kN untuk fondasi *bored pile existing* sedangkan untuk variasi diameter fondasi *bored pile* didapatkan nilai sebesar 2864,920 kN dan 3464,489 kN dengan metode Reese & Wright serta 2756,622 kN dan 3023,342 kN dengan metode Mayerhoff. Pada penelitian ini juga didapati nilai penurunan fondasi untuk dimensi fondasi *bored pile* dengan diameter 0,2 m; 0,3 m; 0,4 m secara berututan yaitu 0,028 m; 0,027 m; 0,025 m. Dengan nilai yang sudah didapatkan baik nilai daya dukung maupun nilai penurunan fondasi diketahui bahwa nilai yang didapatkan sudah mencukupi batas nilai yang diharapkan. untuk batas nilai daya dukung yaitu sebesar 2605,840 kN sedangkan untuk batas nilai penurunan yaitu sebesar 0,032 m.

Siti Nur Aulia (2024). melakukan sebuah penelitian dengan judul "Analisis Pembebanan dan Perbandingan Fondasi Tiang Bor dengan Tiang Pancang Pada Jembatan Surah STA 12+195". penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisis besarnya beban yang bekerja berdasarkan SNI 1725-2016 serta membandingkan kapasitas daya dukung untuk menentukan jenis fondasi yang paling efektif dan efisien antara fondasi tiang bor dan tiang pancang dalam menopang struktur jembatan. Pada penelitian ini. jenis fondasi dalam yang digunakan dan dibandingkan memiliki dimensi diameter 1 meter dengan panjang tiang 28 meter. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan, kapasitas daya dukung izin tunggal untuk fondasi tiang bor menggunakan metode Reese & Wright menghasilkan nilai sebesar 5893,70 kN (589,37 Ton) dan metode Skempton sebesar 5354,16 kN

(535,42 Ton). sedangkan untuk fondasi tiang pancang menggunakan metode U.S. Army Corps menghasilkan nilai daya dukung izin sebesar 4396,40 kN (439,64 Ton) dan metode Tomlinson sebesar 6301,00 kN (630,10 Ton). Dengan nilai yang sudah didapatkan, diketahui bahwa kedua jenis fondasi aman digunakan karena beban maksimum yang bekerja pada kombinasi pembebanan struktur jembatan masih berada di bawah batas nilai daya dukung izin yang diharapkan. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menambah pengetahuan dan memberikan referensi ilmiah yang mendalam mengenai perhitungan pembebanan jembatan serta metode perbandingan kapasitas daya dukung antara fondasi tiang bor dan tiang pancang.

Ziaul Haq Alviani (2024), melakukan sebuah penelitian dengan judul "Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang dengan Variasi Diameter pada Bangunan Rumah Susun". Penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisis perbandingan kapasitas dukung serta penurunan fondasi *bored pile existing* (eksisting) dengan fondasi alternatif tiang pancang yang menggunakan variasi diameter. Pada penelitian ini, fondasi *bored pile* eksisting dilapangan menggunakan diameter 0,6 m dan kedalaman tiang 12 m. Sedangkan variasi diameter fondasi tiang pancang alternatif yang digunakan yaitu 0,45 m; 0,5 m; dan 0,6 m dengan kedalaman tiang yang sama yaitu 12 m. Analisis beban struktur menggunakan program SAP2000 V20 berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan data *Detail Engineering Design* (DED) pada proyek Pembangunan Rumah Susun Tenaga Pendidik UGM Yogyakarta. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan metode Poulos & Davis (1980) didapatkan nilai kapasitas dukung tiang kelompok (Q_g) sebesar 3.214,506 kN; 4.033,615 kN; dan 4.803,383 kN untuk variasi diameter tiang pancang 0,45 m; 0,5 m; dan 0,6 m. Sedangkan dengan menggunakan metode Meyerhof didapatkan nilai kapasitas dukung fondasi kelompok (Q_g) sebesar 3.588,638 kN; 4.286,948 kN; dan 4.533,659 kN secara berurutan untuk diameter 0,45 m; 0,5 m; dan 0,6 m. Pada penelitian ini juga didapati nilai penurunan kelompok tiang (S_g) yang terjadi pada fondasi tiang pancang dengan variasi diameter 0,45 m; 0,5 m; dan 0,6 m menurut metode Poulos & Davis (1980) dan Vesic (1977) secara berurutan yaitu sebesar 1,397 cm; 1,246 cm; dan 0,547 cm. Dengan nilai yang sudah didapatkan, pada variasi diameter 0,45 m

kapasitas dukung tiang kelompok mengalami penurunan antara 2% – 12,2% dibandingkan eksisting, sedangkan untuk variasi diameter 0,5 m dan 0,6 m mengalami peningkatan antara 17,1% – 31,2%. Untuk penurunan fondasi kelompok (S_g) mengalami kenaikan antara 0% – 155% pada masing-masing diameter, namun seluruhnya masih dalam batas penurunan yang diizinkan sehingga fondasi dinyatakan aman untuk digunakan.

2.2.2 Analisis daya dukung fondasi tiang pancang dan yang lainnya

Muhammad Rijaluddin Hafizi (2023). melakukan sebuah penelitian dengan judul "Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang dengan Variasi Diameter (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Terpadu (GKT) Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga)", penelitian tersebut bertujuan untuk menghitung perbandingan nilai kapasitas dukung dan penurunan antara fondasi *existing* dengan hasil redesain fondasi tiang pancang melalui bantuan program SAP2000, Pada penelitian ini fondasi *existing* yang digunakan berupa fondasi sumuran diameter 1,0 m. sedangkan variasi diameter untuk redesain fondasi tiang pancang yaitu sebesar 0,5 m; 0,6 m; dan 0,7 m dengan panjang tiang 6 m. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan menggunakan metode Meyerhoff, didapatkan nilai daya dukung kelompok fondasi sumuran *existing* sebesar 3744,674 kN, sedangkan untuk variasi diameter fondasi tiang pancang didapatkan nilai sebesar 4088,496 kN; 4421,208 kN; dan 3890,664 kN berdasarkan data laboratorium serta sebesar 3935,598 kN; 4267,245 kN; dan 4150,300 kN berdasarkan data sondir (CPT). Pada penelitian ini juga didapati nilai penurunan kelompok fondasi sumuran *existing* sebesar 0,07849 m. sedangkan nilai penurunan kelompok fondasi tiang pancang berdasarkan data laboratorium didapatkan berturut-turut sebesar 0,0245 m; 0,01876 m; 0,01898 m. dan berdasarkan data sondir sebesar 0,0197 m; 0,0214 m; 0,01898 m. Dengan nilai yang sudah didapatkan. diketahui bahwa variasi redesain fondasi tiang pancang mampu meningkatkan nilai kapasitas dukung kelompok sebesar 3,9% hingga 18,1% serta mereduksi nilai penurunan fondasi secara signifikan sebesar 68,7% hingga 76,1% jika dibandingkan dengan fondasi *existing*-nya.

Nur Rohman et al. (2025), melakukan sebuah penelitian dengan judul "Evaluasi perilaku pilecap akibat perbedaan daya dukung tiang dalam satu tipe fondasi dengan

Compatible Stress Field Method (studi kasus fondasi square pile Gedung X. Bangka Belitung)" , penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui perilaku pile cap terhadap kondisi normal dan akibat adanya anomali daya dukung tiang yang terjadi melalui bantuan software IdeaStatiCa V.24. Pada penelitian ini, jenis fondasi dalam yang dievaluasi adalah square pile dimensi 30x30 cm dengan kedalaman 8 meter yang dikelompokkan dalam dua pemodelan uji. yaitu Model A (kondisi normal dengan tiga tiang berdaya dukung seragam) dan Model B (kondisi anomali akibat salah satu tiang tidak mencapai final set). Hasil dari penelitian yang telah dilakukan. evaluasi perhitungan daya dukung tiang yang memenuhi final set menggunakan metode modified ENR menghasilkan nilai daya dukung ultimit sebesar 444.415 ton, sedangkan tiang yang mengalami anomali dianalisis menggunakan Pile Driving Analyzer (PDA) test dengan hasil daya dukung sebesar 43,7 ton. Berdasarkan analisis metode CSFM pada *pile cap*, pada Model Uji A (normal) didapatkan nilai tegangan absolut beton sebesar 3 Mpa, gaya tulangan terbesar sebesar 3,1 kN, dan penurunan sebesar 0,1 mm. Sementara itu, pada Model Uji B (anomali) didapatkan peningkatan nilai yang signifikan dengan tegangan absolut beton mencapai 7,4 Mpa, gaya tulangan terbesar sebesar 11,1 kN, dan penurunan sebesar 3,2 mm. Dengan nilai yang sudah didapatkan, diketahui bahwa semua parameter pada kedua model uji tersebut masih berada di bawah batas izin aman. Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan pemahaman dan referensi ilmiah yang mendalam mengenai signifikansi perubahan perilaku struktural pile cap (gaya tulangan, tegangan beton, dan penurunan) saat terjadi ketidakseragaman daya dukung tiang di lapangan.

Siti Nur Aulia (2024), melakukan sebuah penelitian dengan judul "Analisis Pembebanan dan Perbandingan Fondasi Tiang Bor dengan Tiang Pancang Pada Jembatan Surah STA (12+195)" , penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisis besarnya beban yang bekerja berdasarkan SNI 1725-2016 serta membandingkan kapasitas daya dukung untuk menentukan jenis fondasi yang paling efektif dan efisien antara fondasi tiang bor dan tiang pancang dalam menopang struktur jembatan. Pada penelitian ini, jenis fondasi dalam yang digunakan dan dibandingkan memiliki dimensi diameter 1 meter dengan panjang tiang 28 meter. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan. kapasitas daya dukung izin tunggal

untuk fondasi tiang bor menggunakan metode Reese & Wright menghasilkan nilai sebesar 5893,70 kN (589,37 Ton) dan metode Skempton sebesar 5354,16 kN (535.42 Ton), sedangkan untuk fondasi tiang pancang menggunakan metode U.S. Army Corps menghasilkan nilai daya dukung izin sebesar 4396,40 kN (439,64 Ton) dan metode Tomlinson sebesar 6301,00 kN (630,10 Ton). Dengan nilai yang sudah didapatkan. diketahui bahwa kedua jenis fondasi aman digunakan karena beban maksimum yang bekerja pada kombinasi pembebanan struktur jembatan masih berada di bawah batas nilai daya dukung izin yang diharapkan. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menambah pengetahuan dan memberikan referensi ilmiah yang mendalam mengenai perhitungan pembebanan jembatan serta metode perbandingan kapasitas daya dukung antara fondasi tiang bor dan tiang pancang.

Faturrachman Ananto (2023), melakukan sebuah penelitian dengan judul "Analisis Kapasistas Dukung Fondasi Tiang Pancang Pada Gedung Bertingkat (Studi Kasus: Jogja Apartel Kecamatan Umbulharjo. Kota Yogyakarta)", penelitian tersebut bertujuan untuk menghitung besarnya kapasitas daya dukung lateral dan aksial fondasi tiang pancang kelompok melalui bantuan program SAP2000. Pada penelitian ini, jenis fondasi dalam yang dievaluasi adalah fondasi tiang pancang (*driven pile*) berbentuk persegi dengan dimensi ukuran 40x40 cm yang dipasang hingga kedalaman tanah keras sedalam 12 meter. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan. kapasitas daya dukung izin aksial tiang tunggal berdasarkan data uji laboratorium (boring) menggunakan metode Mayerhoff didapatkan sebesar 457,750 kN, sedangkan kapasitas daya dukung lateral izin tiang tunggal berdasarkan metode Broms diperoleh nilai sebesar 60,652 kN. Berdasarkan analisis pemodelan struktur kelompok tiang (*pile group*). nilai efisiensi kelompok tiang yang dihitung menggunakan metode Uniform Building Code (UBC) menghasilkan koefisien sebesar 0,729. di mana beban aksial maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam kelompok akibat kombinasi beban gempa terfaktor masih berada di bawah batas nilai daya dukung izin yang diizinkan. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan kontribusi berupa referensi ilmiah mengenai prosedur evaluasi keandalan struktur bawah gedung bertingkat tinggi di wilayah Yogyakarta terhadap gaya lateral akibat beban gempa dinamis (*response spectrum*)

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan penulis dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Jihan Khairunnisa (2025)	Siti Nur Aulia (2024)	Ziaul Haq Alviani (2024)	Muhammad Rijaluddin Hafizi (2023)	Wahyu Nur Rohman. dkk (2025)	Fairuz Akbar (2026)
Judul Penelitian	Analisis Daya Dukung Fondasi *Bored pile* Berdasarkan Data SPT Pada Proyek Pembangunan RSUD Kota Yogyakarta	Analisis Pembebanan dan Perbandingan Fondasi Tiang Bor dengan Tiang Pancang Pada Jembatan Surah STA 12+195	Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang dengan Variasi Diameter pada Bangunan Rumah Susun	Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang dengan Variasi Diameter (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Terpadu (GKT) Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga)	Evaluasi perilaku pilecap akibat perbedaan daya dukung tiang dalam satu tipe fondasi dengan Compatible Stress Field Method (studi kasus fondasi square pile Gedung X. Bangka Belitung)	Analisis Daya Dukung Struktur Fondasi Tiang Pancang Bawah Abutment Serta Optimasi Desain Menggunakan *Bored pile* (Studi Kasus: Proyek Rekonstruksi Jembatan Weton Kulon Kebumen Sta 1+300)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Jihan Khairunnisa (2025)	Siti Nur Aulia (2024)	Ziaul Haq Alviani (2024)	Muhammad Rijaluddin Hafizi (2023)	Wahyu Nur Rohman. dkk (2025)	Fairuz Akbar (2026)
Tujuan Penelitian	Membandingkan daya dukung serta fondasi *bored pile existing* dan dengan variasi dimensi lalu dilakukan Analisa menggunakan Plaxis 2D.	Menganalisis besarnya beban yang bekerja serta membandingkan kapasitas daya dukung untuk menentukan jenis fondasi yang paling efektif dan efisien antara fondasi tiang bor dan tiang pancang dalam menopang struktur jembatan	Menganalisis perbandingan kapasitas dukung serta penurunan fondasi bored pile existing (eksisting) dengan fondasi alternatif tiang pancang yang menggunakan variasi diameter.	Menghitung perbandingan nilai kapasitas dukung dan penurunan antara fondasi *existing* dengan hasil redesain fondasi tiang pancang melalui bantuan program SAP2000,	Mengetahui perilaku pile cap terhadap kondisi normal dan akibat adanya anomali daya dukung tiang yang terjadi melalui bantuan software IdeaStatiCa V.24.	Mengetahui nilai daya dukung fondasi tiang pancang *existing* dan melakukan optimasi desain dengan fondasi berupa *bored pile*
Metode Penelitian	Reese & Wright dan Mayerhoff	Reese & Wright	Poulos & Davis, Mayethoff,Veisc	Mayerhoff	Compatible Stress Field Method	NAVFAC

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Jihan Khairunnisa (2025)	Siti Nur Aulia (2024)	Ziaul Haq Alviani (2024)	Muhammad Rijaluddin Hafizi (2023)	Wahyu Nur Rohman. dkk (2025)	Fairuz Akbar (2026)
Hasil Penelitian	Didapatkan nilai sebesar 2489.006 kN dan 3043.224 kN umtuk fondasi *bored pile existing* sedangkan untuk variasi diameter fondasi *bored pile* didapatkan nilai sebesar 2864.920 kN dan 3464.489 kN dengan metode Reese & Wright serta 2756.622 kN dan 3023.342 kN dengan	Hasil dari penelitian yang telah dilakukan. kapasitas daya dukung izin tunggal untuk fondasi tiang bor menggunakan metode Reese & Wright menghasilkan nilai sebesar 5893.70 kN (589.37 Ton) dan metode Skempton sebesar 5354.16 kN (535.42 Ton). sedangkan untuk fondasi tiang pancang menggunakan	Hasil dari penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan metode Poulos & Davis (1980) didapatkan nilai kapasitas dukung tiang kelompok (Qg) sebesar 3.214,506 kN; 4.033,615 kN; dan 4.803,383 kN untuk variasi diameter tiang pancang 0,45 m; 0,5 m; dan 0,6 m. Sedangkan dengan menggunakan	Didapatkan nilai daya dukung kelompok fondasi sumuran *existing* sebesar 3744.674 kN. sedangkan untuk variasi diameter fondasi tiang pancang didapatkan nilai sebesar 4088.496 kN; 4421.208 kN; dan 3890,664 kN berdasarkan data laboratorium serta sebesar 3935.598 kN; 4267.245 kN; dan 4150,300 kN berdasarkan data sondir (CPT). Pada penelitian ini	Didapatkan niilai sebesar 444.415 ton . sedangkan tiang yang mengalami anomali dianalisis menggunakan Pile Driving Analyzer (PDA) test dengan hasil daya dukung sebesar 43.7 ton. Berdasarkan analisis metode CSFM pada pile cap. pada Model Uji A (normal) didapatkan nilai tegangan absolut beton sebesar 3 MPa. gaya tulangan terbesar sebesar 3.1 kN. dan penurunan	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Jihan Khairunnisa (2025)	Siti Nur Aulia (2024)	Ziaul Haq Alviani (2024)	Muhammad Rijaluddin Hafizi (2023)	Wahyu Nur Rohman. dkk (2025)	Fairux Akbar (2026)
	metode Mayerhoff. Pada Penelitian ini juga didapati nilai penurunan fondasi untuk dimensi fondasi *bored pile* dengan diameter 0,2 m; 0,3 m; 0,4 m secara berututan yaitu 0,028 m; 0,027 m; 0,025 m.	metode U.S. Army Corps menghasilkan nilai daya dukung. nilai daya dukung izin sebesar 4396.40 kN (439.64 Ton) dan metode Tomlinson sebesar 6301.00 kN (630,10 Ton).	metode Meyerhof didapatkan nilai kapasitas dukung fondasi kelompok (Qg) sebesar 3.588,638 kN; 4.286,948 kN; dan 4.533,659 kN secara berurutan untuk diameter 0,45 m; 0,5 m; dan 0,6 m. didapati nilai penurunan kelompok tiang secara berurutan yaitu sebesar 1,397 cm; 1,246 cm; dan 0,547 cm.	juga didapati nilai penurunan kelompok fondasi sumuran *existing* sebesar 0,07849 m. sedangkan nilai penurunan kelompok fondasi tiang pancang berdasarkan data laboratorium didapatkan berturut-turut sebesar 0,0245 m; 0,01876 m; 0,01898 m. dan berdasarkan data sondir sebesar 0,0197 m; 0,0214 m; 0,01898 m.sumuran	sebesar 0,1 mm. Sementara itu. pada Model Uji B (anomali) didapatkan peningkatan nilai yang signifikan dengan tegangan absolut beton mencapai 7.4 MPa. gaya tulangan terbesar sebesar 11.1 kN. dan penurunan sebesar 3.2 mm.	

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah adalah suatu benda alami yang bersifat heterogen dan terdiri atas tiga komponen yaitu air. bahan padat. dan udara. Secara umum. tanah adalah material yang terdiri atas agregat (butiran) mineral padat yang tidak terikat secara kimia (tersementasi) antara satu dengan yang lain dan terbentuk dari material organik (partikel padat) yang telah melapuk, yang mana ruang-ruang kosong antara partikelpartikel padat tersebut diisi oleh zat cair dan gas (Das & Sivakugan. 2018). Tanah terbentuk dari proses pelapukan batuan secara fisik, kimiawi, maupun biologi. Pelapukan fisik membuat batuan menjadi patikel-partikel yang lebih kecil, peristiwa tersebut terjadi karena adanya perubahan iklim dan cuaca yang ekstrim sehingga mengakibatkan perubahan suhu pada batuan. Pelapukan kimiawi terjadi akibat perubahan susunan kimia pada unsur batuan. umumnya disebabkan adanya zat kimia tertentu seperti oksigen, karbon dioksida, uap air, dan sebagainya. Pelapukan biologi disebabkan oleh makhluk hidup dan faktor alam seperti tumbuhan, lumut, bakteri, dan sebagainya.

Tanah merupakan komponen yang sangat penting dalam konstruksi suatu bangunan sipil, karena selain sebagai bahan bangunan tanah juga berfungsi sebagai dasar pendukung fondasi dari bangunan, hal tersebut dikarenakan keberadaanya sebagai lapisan tanah paling bawah (*subgrade*) yang berfungsi sebagai tempat penyaluran beban yang diterima dari struktur diatasnya. Semua bangunan dibuat dengan bagian bawahnya yang berpijak pada tanah. sehingga diperlukan suatu sistem fondasi yang tepat untuk menyalurkan beban dari bangunan ke tanah (Bowles, 1997).

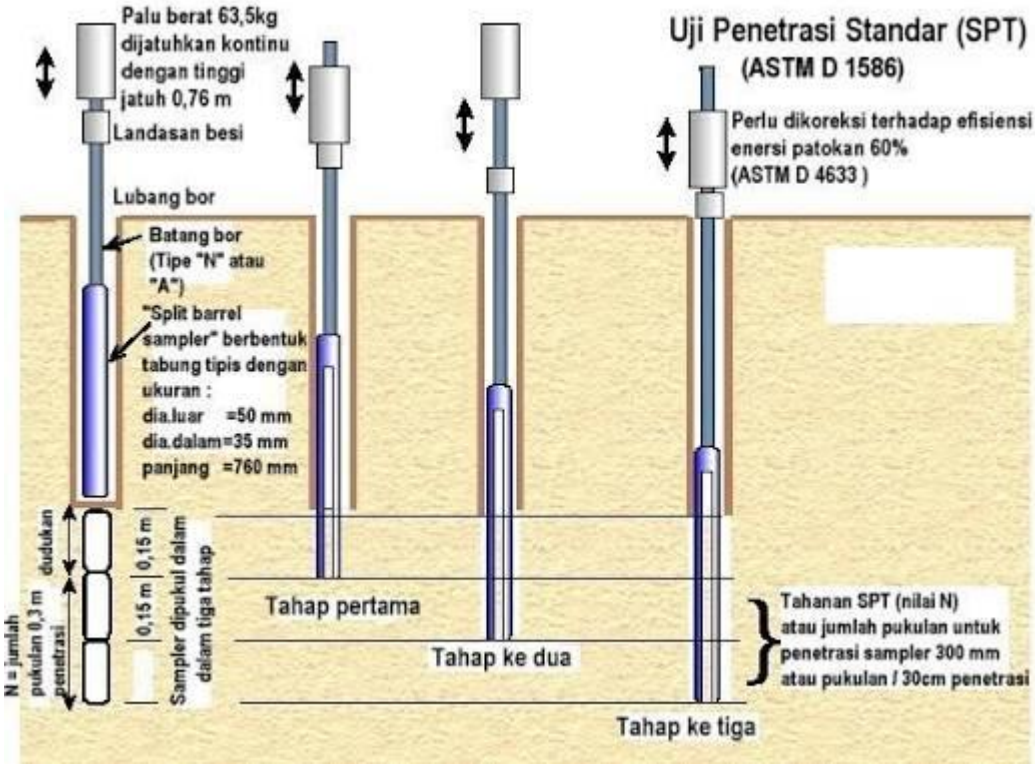
3.2 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah (*soil investigation*) merupakan tahapan awal yang wajib dilakukan dalam proyek konstruksi untuk mengetahui kondisi stratigrafi karakteristik teknis lapisan tanah dibawah permukaan. Proses ini bertujuan untuk

mengurangi ketidakpastian geoteknik (*geotechnical risk*) yang dapat mengancam keselamatan struktur serta mengoptimalkan efisiensi biaya perencanaan fondasi (Bowles, 1997). Melalui penyelidikan tanah yang representatif, perencana dapat menentukan jenis fondasi yang paling tepat, kedalaman lapisan tanah keras, serta memprediksi potensi kendala pelaksanaan konstruksi seperti muka air tanah yang tinggi atau keberadaan lapisan lensa yang lunak.

Penyelidikan tanah pada umumnya komparabel melalui tiga tahapan utama, meliputi pengeboran, pengambilan sampel di lapangan, dan pengujian laboratorium. Di Indonesia, pengujian lapangan secara langsung (*in situ field test*) yang lazim diterapkan adalah Uji Sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) dan *Standard Penetration Test* (SPT). Dalam penelitian ini, analisis dilakukan dengan memanfaatkan data sekunder/primer yang bersumber dari hasil pengujian SPT.

Pengujian SPT bertujuan untuk mengevaluasi stratigrafi tanah serta mengukur parameter kekuatan pada tiap lapisan tanah. Secara teknis, prosedur ini dilaksanakan pada setiap interval kedalaman 2 meter pasca-pemboran. Pengujian dilakukan dengan memukul tabung penetrometer menggunakan palu pemukul (*hammer*) berbobot 63,5 kg yang dijatuhkan bebas dari ketinggian standar 0,76 meter hingga masuk sedalam 0,45 meter. Jumlah hantaman yang diperlukan untuk mendorong tabung pada setiap segmen penetrasi 0,15 meter dicatat sebagai nilai N (*N-value*). Parameter *N-value* merupakan indikator fundamental dalam mengidentifikasi karakteristik geoteknik tanah di lokasi tinjauan. Nilai tersebut kemudian diinterpretasikan untuk mengklasifikasikan jenis tanah, menentukan kerapatan relatif, serta mengestimasi kekuatan geser tanah. Lebih lanjut, data ini menjadi parameter input yang krusial dalam analisis kapasitas daya dukung tanah dan perancangan sistem fondasi. Mengingat prosedurnya yang relatif efisien, praktis, dan mampu menghasilkan data empiris yang representatif. SPT menjadi salah satu metode penyelidikan tanah yang paling diandalkan dalam perencanaan geoteknik konstruksi. Skema pengujian SPT dapat dilihat pada pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Tiga Skema Urutan Uji Penetrasi Standar (SPT)

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional (2008))

3.3 Penentuan Parameter Tanah

Parameter tanah berguna untuk menentukan jenis tanah yang digunakan agar sesuai dengan kondisi tanah dilapangan. dalam penelitian kali ini digunakan beberapa sumber untuk menentukan model parameter tanah yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 sampai Tabel 3.5 serta Gambar 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Korelasi Parameter Tanah 1

N	γ_{SAT}	ϕ	Dr
	t/m^3	°	%
0	0	25	0
4	1,2	30	15
10	1,4	32	35
30	1,8	35	65
50	2,3	43	100

(Sumber: Bowles. 1997)

Tabel 3.2 Korelasi Parameter Tanah 2

γ_d	γ_{SAT}	e	Cv	W_{SAT}	n
t/m^2	t/m^3		cm^2/s	%	
0,5	1,31	4,4	0,00001	163	80
0,6	1,38	3,5	0,0000585	129,6	78
0,7	1,44	2,86	0,0001	105,8	74
0,8	1,5	2,38	0,0002	88	70
0,9	1,57	2	0,0003	74,1	67
1	1,63	1,7	0,0005	63	63
1,1	1,69	1,45	0,0006	53,9	59
1,2	1,76	1,25	0,0007	46,3	56
1,3	1,82	1,08	0,0008	39,9	52
1,4	1,88	0,93	0,0009	34,4	48
1,5	1,94	0,8	0,001	29,6	44
1,6	2,04	0,69	0,0057	25,5	41
1,7	2,07	0,59	0,006	21,8	37
1,8	2,13	0,5	0,01	18,5	33
1,9	2,2	0,42	0,072	15,6	30
2	2,26	0,35	0,1	13	26
2,1	2,32	0,29	0,1	10,6	22
2,2	2,39	0,23	0,1	8,4	19
2,3	2,45	0,17	0,1	6,4	15
2,4	2,51	0,13	0,1	4,63	11
2,5	2,57	0,08	0,1	2,96	7,4
2,6	2,64	0,038	0,1	1,42	3,7
2,7	2,7	0	0,1	0	0

(Sumber: Biarez & Favre, 1975)

Tabel 3.3 Korelasi Tanah Berdasarkan N Koreksi

Cohessionless Soil						
Deskripsi	Unit	Verry Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
Kerapatan relatif (Dr)	%	0 - 0,15	0,15 – 0,35	0,35 – 0,65	0,65 – 0,85	0,85 - 1
Nilai NSPT terkoreksi	blow	0 – 4	4 - 10	10 - 30	30 - 50	>50
Sudut geser dalam (ϕ)	(˚)	25 - 30	27 - 32	30 -35	35 - 40	38 - 43
Berat volume tanah (γ)	kN/m^3	11,0 – 15,7	14,1 – 18,1	17,4 – 20,4	17,3 - 22	20,4 – 23,6

(Sumber: Bowles.1977)

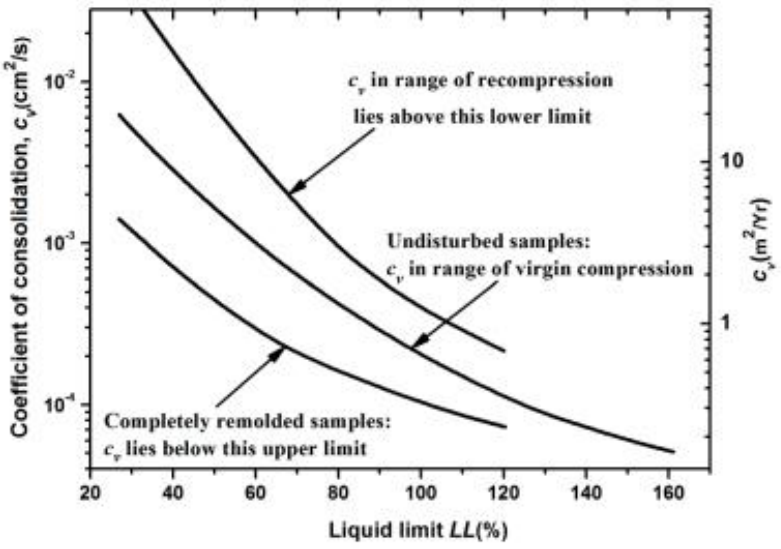
Tabel 3.4 Korelasi Modulus Elastisitas

Jenis Tanah	Modulus Elastisitas. E (kN/m^3)
Pasir Lepas (*Loose Sand*)	10500 – 24000
Pasir Medium (*Medium Dense Sand*)	17250 – 27600
Pasir Padat (*Dense Sand*)	34500 55200
Pasir Kelanauan (*Silly Sand*)	10350 – 17250
Pasir dan Kerikil (*Sand and Gravel*)	69000 – 172500
Lempung Lunak (*Soft Clay*)	4100 – 20700
Lempung Sedang (*Medium Clay*)	20700 – 41400
Lempung Kaku (*Stiff Clay*)	41400 – 96600

Tabel 3.5 Korelasi Poisson Ratio

Jenis Tanah	Modulus Elastisitas. E (kN/m^3)
Pasir Lepas (*Loose Sand*)	0,2 – 0,4
Pasir Medium (*Medium Dense Sand*)	0,25 – 0,4
Pasir Padat (*Dense Sand*)	0,3 – 0,45
Pasir Kelanauan (*Silly Sand*)	0,2 – 0,4
Pasir dan Kerikil (*Sand and Gravel*)	0,15 – 0,35
Lempung Lunak (*Soft Clay*)	0,25 – 0,5
Lempung Sedang (*Medium Clay*)	
Lempung Kaku (*Stiff Clay*)	

(Sumber: AASHTO. 1998)



Gambar 3.2 Korelasi Nilai LL Berdasarkan Cv

(Sumber: Henniche & Belkacemi (2017))

Berdasarkan penggabungan korelasi tanah yang ada pada tabel dan grafik sebelumnya maka didapatkan rekap untuk model parameter tanah yang akan digunakan kedalam *software* yang dapat dilihat pada Tabel 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3.6 Hasil Rekap Parameter Tanah

Parameter Tanah	Satuan	Nilai
N		60
γ_{SAT}	t/m^3	2,3
e		0,31
Cv	cm^2/s	0,1
W_{SAT}	%	11,4
ϕ’		49,41
ϕ		43
Dr	%	100
γ_d	t/m^3	2,07
n		23,33
LL		20
Cu	t/m^2	1
Cu’	t/m^2	0,67
E	kN/m^2	55200
v (nu)		0,45

3.4 Fondasi Tiang

Fondasi dalam, salah satunya berbentuk fondasi tiang. merupakan elemen struktural yang berfungsi meneruskan dan mendistribusikan beban dari struktur atas menuju lapisan tanah keras yang memiliki kapasitas daya dukung memadai. Dalam aplikasinya, jenis fondasi tiang yang sering digunakan meliputi fondasi tiang pancang (*driven pile*) dan fondasi tiang bor (*bored pile*). Perbedaan mendasar dari kedua jenis fondasi ini terletak pada metode pelaksanaannya di lapangan. Struktur *bored pile* dikerjakan dengan metode ekskavasi atau pengeboran tanah terlebih dahulu. diikuti dengan pemasangan keranjang tulangan baja. dan diakhiri dengan proses pengecoran beton secara *in-situ*. Sebaliknya, fondasi tiang pancang menggunakan komponen prefabrikasi (pracetak) yang dipasang dengan cara dipukul menggunakan alat pemancang (*pile hammer*) hingga ujung bawah tiang mencapai kedalaman tanah keras yang direncanakan.

3.4.1 Fondasi Tiang Pancang

Fondasi tiang pancang merupakan komponen struktural bawah yang berfungsi untuk menerima serta meneruskan beban dari struktur atas menuju lapisan tanah penunjang (*bearing layer*) pada kedalaman tertentu. Elemen ini memiliki karakteristik geometri yang panjang dan langsing guna mentransfer beban ke lapisan tanah yang lebih dalam dan stabil. Secara material, tiang pancang umumnya terbuat dari kayu, baja, maupun beton pracetak. Proses instalasinya ke dalam tanah dapat dilakukan melalui metode pemancangan tumbukan (*driven*). pengeboran. atau sistem dongkrak hidrolik (*jack-in pile*), yang kemudian diintegrasikan dengan kepala tiang (*pile cap* atau *poer*). Lebih lanjut, karakteristik penyebaran beban pada sistem fondasi ini bervariasi dan sangat dipengaruhi oleh tipologi serta parameter tanah di lokasi tersebut.

Pemasangan fondasi tiang pancang di lapangan umumnya menerapkan dua pilihan metode utama yang dibedakan berdasarkan jenis alatnya, yaitu sistem *drop hammer* dan *hydraulic jack*. Pada metode *drop hammer*, pemancangan mengandalkan energi tumbukan dari palu berat yang diletakkan di bagian atas tiang untuk memukulnya hingga menancap pada titik koordinat tanah yang telah ditentukan, di mana pada bagian kepala tiang wajib dipasangi topi pelindung (*pile cap/cushion*) guna mendistribusikan beban pukulan dan mencegah terjadinya kerusakan atau pecah material akibat hantaman hammer tersebut. Sebaliknya, metode *hydraulic jack* menggunakan mekanisme penekanan statis dengan menempatkan alat secara paralel atau sejajar dengan poros tiang, lalu mendorongnya masuk ke dalam tanah melalui sebuah pelat penekan yang dipasang pada puncak tiang. Karena tiang didorong secara konstan dan perlahan oleh sistem hidrolik tanpa melibatkan beban tumbukan, metode kedua ini mampu menginstalasi tiang secara terus-menerus ke dalam tanah dengan keunggulan utama berupa proses kerja yang bersih dari gangguan polusi suara (bising) serta bebas dari getaran di area sekitar konstruksi.Pemasangan fondasi tiang pancang dalam proyek konstruksi memiliki karakteristik kelebihan dan kekurangan tersendiri.

3.4.2 Fondasi Tiang Bor (*Bored pile*)

Menurut (Hardiyatmo, 2017), fondasi tiang bor (*bored pile*) merupakan jenis fondasi dalam yang pembuatannya diawali dengan proses pengeboran tanah, diikuti dengan pemasangan rangkaian baja tulangan ke dalam lubang bor, dan diakhiri dengan pengecoran beton. Metode ini umumnya diimplementasikan pada kondisi tanah yang stabil dan kaku, sehingga lubang vertikal yang dihasilkan oleh alat bor tidak mudah runtuh. Apabila dijumpai kondisi tanah berair atau jenuh air, penggunaan pipa besi penahan (*temporary casing*) sangat diperlukan untuk menjaga stabilitas dinding lubang, yang nantinya akan ditarik kembali ke permukaan setelah proses pengecoran selesai. Sementara itu, pada formasi tanah keras atau batuan lunak, bagian dasar tiang dapat diperlebar (*underreamed*) guna meningkatkan kapasitas tahanan ujungnya. Penggunaan *bored pile* biasanya dipilih karena mampu menghasilkan kapasitas dukung per tiang yang tinggi, serta menjadi solusi efektif untuk area kerja padat yang sensitif terhadap getaran masif dan kebisingan, di mana penggunaan fondasi tiang pancang tidak memungkinkan untuk diterapkan.

Beberapa keunggulan fondasi *bored pile* dibandingkan tiang pancang meliputi keluwesan pengaplikasian pada segala kondisi geologi termasuk lapisan tanah berbatu, serta minimnya intensitas kebisingan dan getaran selama konstruksi, Selain itu, dimensi diameter dan panjang tiang dapat disesuaikan secara dinamis di lapangan sesuai kebutuhan. Kapasitas daya dukungnya yang masif juga memungkinkan penerapan sistem tumpuan satu kolom satu tiang (*single pile*) guna mengefisiensikan dimensi *pile cap*, disertai dengan fleksibilitas modifikasi pada geometri ujung bawah tiang. Di sisi lain, kelemahan metode ini terletak pada tingginya ketergantungan terhadap keahlian tenaga kerja, sensitivitas proses instalasi terhadap perubahan cuaca, risiko reduksi kapasitas dukung ujung akibat gangguan mekanis tanah dan sedimentasi lumpur di dasar lubang, serta potensi ketidakseragaman mutu beton hasil pengecoran in-situ sepanjang badan tiang.

Secara umum, fondasi *bored pile* difabrikasi langsung di lokasi proyek dengan bentuk penampang silinder. Menurut Hardiyatmo (2017), diameter tiang bor standar berkisar antara 0,5 meter hingga 1 meter, dengan panjang tiang rata-rata berkisar

antara 20 meter hingga 40 meter, bahkan dapat mencapai kedalaman 60 meter untuk jenis beton bertulang. Adapun estimasi kapasitas beban maksimum untuk tiang bor berdimensi kecil berada pada rentang 300 kN hingga 800 kN.

3.5 Kapasitas Dukung Tiang Pancang

Menurut Hardiyatmo (2017), kapasitas tiang (*pile capacity*) didefinisikan sebagai kemampuan atau daya dukung suatu tiang dalam memikul beban struktural yang bekerja. Dalam mengestimasi nilai kapasitas dukung tersebut, diperlukan pemahaman mengenai klasifikasi tiang berdasarkan mekanisme kerjanya. Mengacu pada teori Terzaghi, klasifikasi fondasi tiang dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kategori berikut:

1. *Friction Pile* (Tiang Gesek): Kondisi ini terjadi apabila tiang dipancangkan pada formasi tanah berbutir (non-kohesif), Aktivitas pemancangan dan efek getaran yang dihasilkan akan mereduksi nilai porositas serta kompresibilitas tanah di sekitar tiang, sehingga meningkatkan kepadatan tanah. Fenomena ini memicu peningkatan gesekan lateral antara butir-butir tanah dengan permukaan selimut tiang.
2. Tiang Lekat (*Cohesive Friction Pile*): Kategori ini berlaku ketika tiang diinstalasi pada lapisan tanah lunak atau tanah yang memiliki parameter kohesi yang tinggi, di mana daya dukung dominan diperoleh dari lekatan antara tanah kohesif dengan dinding tiang.
3. Tiang Tahanan Ujung (*End Bearing Pile*): Tiang diklasifikasikan ke dalam jenis ini jika ujung bawah tiang dipasang hingga mencapai lapisan tanah keras. sehingga seluruh beban struktural dari atas ditransfer secara langsung menuju lapisan keras tersebut melalui ujung tiang.
4. Tiang Tekan: Merupakan kondisi di mana tiang telah bertumpu secara kokoh pada lapisan tanah keras dan menerima kombinasi transfer beban vertikal yang bersumber dari beban mati (*dead load*) maupun beban hidup (*live load*) superstruktur.

5. Tiang Tarik (*Uplift Pile*): Kategori ini merujuk pada tiang pancang pada tanah berbutir yang mengalami tegangan tarik akibat pengaruh gaya angkat atau momen penggulingan yang bekerja pada struktur.

Pada aplikasinya di lapangan, kondisi stratigrafi tanah bersifat sangat heterogen, sehingga mekanisme daya dukung yang terjadi umumnya merupakan kombinasi atau akumulasi dari kelima karakteristik klasifikasi di atas.

3.5.1 Kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal kalendering

Metode yang digunakan dalam perhitungan lapangan untuk mengetahui daya dukung tiang pancang digunakan rumus Modified New ENR dari Das & Sivakugan (2018)pada Persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$Qu = \frac{E \times Wr \times H}{S+K} \times \frac{(Wr+n^2 \times Wp)}{Wr+Wp} \quad (3.1)$$

Keterangan:

Qu = Daya dukung tiang pancang (Ton)
E = Efisiensi *hammer*
Wr = Berat *hammer* atau ram (ton)
Wp = Berat tiang pancang (ton)
S = Penetrasi pukulan per cm
K = *Rebound* dari pukulan10 terakhir (cm)
H = Tinggi jatuh *hammer* (cm)
n = Koefisien restitusi
N = Faktor keamanan

3.5.2 Kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal

Perhitungan daya dukung dengan metode Naval Engineering Facilities Command yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Kapasitas dukung ultimate tiang

   Kapasitas dukung ultimate tiang dapat dilihat pada Persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$Qult = Qp + Qs \quad (3.2)$$

Dengan:

Qult : Kapasitas dukung ultimate (ton)

Qp : Kapasitas dukung ujung tiang (ton)

Qs : Kapasitas dukung selimut tiang (ton)

2. Kapasitas dukung ujung tiang (Qp)

   Perhitungan kapasitas dukung ujung tiang dapat dilakukan menggunakan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$Qp = 40 \times NSPT \times Ap \quad (3.3)$$

Dengan:

Qp : Tahanan ujung tiang (Ton)

NSPT : $\frac{N1+N2}{2}$

N1 : Harga rata-rata nilai NSPT dari dasar tiang ke 10D ke atas

N2 : Harga rata-rata nilai NSPT dari dasar tiang ke 4D ke bawah

Ap : Luas penampang tiang (m^2)

3. Kapasitas dukung selimut tiang

   Perhitungan kapasitas dukung selimut tiang dapat dilakukan menggunakan Persamaan 3.4 dan Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$Qs1 = 0{,}2 \times NSPT \times p \times Li \quad (3.4)$$

$$Qs2 = 0{,}1 \times NSPT \times p \times Li \quad (3.5)$$

Dengan:

Qs1 : Kapasitas dukung friksi tiang tertutup (ton)

Qs2 : Kapasitas dukung friksi tiang terbuka (ton)

NSPT : $\frac{N1+N2}{2}$

N1 : Harga rata-rata nilai NSPT dari dasar tiang ke 10D ke atas

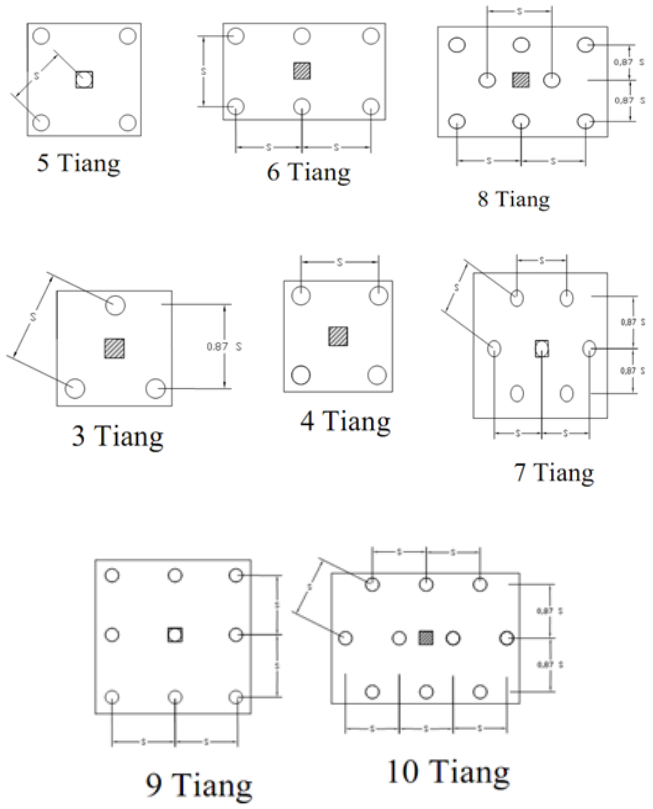
N2 : Harga rata-rata nilai NSPT dari dasar tiang ke 4D ke bawah

p : Keliling penampang tiang (m)

Li : Panjang tiang bor (m)

3.5.3 Kapasitas daya dukung kelompok tiang

Dalam menopang struktur bangunan yang masif, penggunaan fondasi tiang tunggal umumnya kurang memadai sehingga diterapkan sistem kelompok tiang demi meningkatkan kapasitas dukung beban. Guna mengantisipasi risiko pergeseran posisi serta eksentrisitas lainnya, setidaknya diperlukan kombinasi dua atau tiga tiang di bawah elemen fondasi. Konfigurasi kelompok ini memicu terjadinya interaksi tekanan antara gesekan selimut (*skin friction*) dan daya dukung ujung (*end bearing*). Tingkat intensitas tekanan akibat efek superposisi tersebut sangat dipengaruhi oleh besaran beban dan jarak antar-tiang, di mana tekanan yang berlebihan berpotensi memicu keruntuhan geser pada tanah atau penurunan fondasi (Bowles, 1997). Skema kelompok tiang dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Skema Kelompok Tiang

(Sumber: (Hardiyatmo, 2014))

Pemasangan fondasi tiang biasanya dilakukan dalam bentuk kelompok. di mana beberapa tiang dipancang dengan jarak yang relatif dekat dan disatukan menggunakan *pile cap*. Sebelum menghitung kapasitas dukung dari kelompok tiang tersebut, terdapat beberapa parameter utama yang wajib dianalisis, meliputi jumlah dan susunan tiang, jarak antar-tiang, serta nilai efisiensi kelompoknya. Berikut ini merupakan hal-hal yang harus diperhatikan dalam perhtungan kapasitas daya dukung kelompok tiang

1. Jumlah tiang (n)

   Menurut Pamungkas & Harianti (2013), penentuan jumlah tiang yang dibutuhkan dalam suatu struktur diperoleh dari hasil pembagian antara besarnya beban aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang tunggalnya. Untuk menentukan jumlah tiang uang diperlukan dapat digunakan Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$n = \frac{P}{Qall} \quad (3.6)$$

Dengan:

n : Jumlah tiang

P : Gaya aksial yang terjadi (ton)

Qall : Kapasitas dukung ijin tiang (ton)

2. Jarak tiang (s)

Dalam mengestimasi jarak ideal antar-tiang. persamaan berikut merujuk pada ketentuan yang dikeluarkan oleh Dirjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.

$$S \geq 2.5D \quad (3.7)$$

$$S \leq 3D \quad (3.8)$$

Dengan:

S : Jarak antar setiap pusat tiang (m)

D : Diameter tiang (m)

Dalam mengantisipasi beban vertikal. konfigurasi jarak optimum antar-tiang umumnya direkomendasikan sebesar 2.5D sampai 3.5D. atau antara 2 hingga 3H. Apabila kelompok tiang direncanakan untuk memikul gaya lateral maupun beban dinamis. penerapan jarak yang lebih renggang terbukti memberikan efisiensi yang lebih baik (Bowles, 1997).

Biasanya jarak antara 2 tiang dalam kelompok diisyaratkan minimum 0,60 m dan maksimum 2.00 m. Ketentuan ini berdasarkan pada pertimbangan – pertimbangan sebagai berikut.

a. Ketika S < 2.5D

1) Ada kemungkinan bahwa kondisi tanah di sekitar kelompok tiang bisa terjadi kenaikan yang terlalu berlebihan yang disebabkan oleh jarak pemasangan antar tiang pancang yang terlalu dekat

2) Kemungkikan terjadi kenaikan tiang – tiang pancang yang ada di sekitarnya yang sudah di lakukan pemancangan terlebih dahulu

b. Ketika S > 3D

Disaat jarak antar tiang (s) memiliki nilai yang lebih besar dari 3D (S > 3D) maka hal tersebut menunjukan bahwa adanya ketidak ketidak ekonomisan. karena jika jarak antar tiang sudah melebihi 3D maka akan memperbesar dimensi yang akan digunakan pada *pile cap*.

3. Kapasitas daya dukung kelompok tiang pada kondisi tanah pasir

Untuk mengetahui nilai daya dukung kelompok tiang pada kondisi tanah berpasir dengan memperhitungkan faktor efisiensi tiang dapat dilihat pada Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$Qg = n \times Qall \times Eg \tag{3.9}$$

Keterangan:

Qg : beban maksimum kelompok tiang
n : jumlah tiang dalam kelompok
Qall : kapasitas dukung ijin
Eg : efisiensi kelompok tiang

4. Efisiensi kelompok tiang

Penentuan nilai efisiensi kelompok tiang diperoleh dengan menerapkan pedoman atau ketentuan yang merujuk pada Uniform Building Code AASHTO. Perhitungan untuk mengetahui efisiensi kelompok tiang digunakan rumus *Converse – Labbare* yang dapat dilihat pada Persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$Eg = 1 - \theta \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90mn} \quad (3.10)$$

Keterangan:

Eg : Efisiensi kelompok tiang

m : Jumlah tiang dalam 1 kolom

n : Jumlah tiang dalam 1 baris

θ : Arc tg d/s. dalam derajat

Dalam kondisi nilai jarak antar tiang (s) lebih besar dari 3D pada tiang pancang maka pada tahanan gesek maupun tahanan ujung nilai efisiensi kelompok tiang yang digunakan yaitu 1 (Eg = 1).

3.6 Kapasitas Daya Dukung *Bored pile*

Parameter kemampuan tiang dalam memikul beban struktural beserta bobotnya sendiri dikenal sebagai kapasitas dukung tiang. Menurut Hardiyatmo, terdapat dua metode pendekatan untuk menahan beban tersebut. yaitu melalui mekanisme tahanan ujung (end bearing) dan tahanan gesek (*friction pile*).

1. Tiang Dukung Ujung (*End Bearing Pile*)

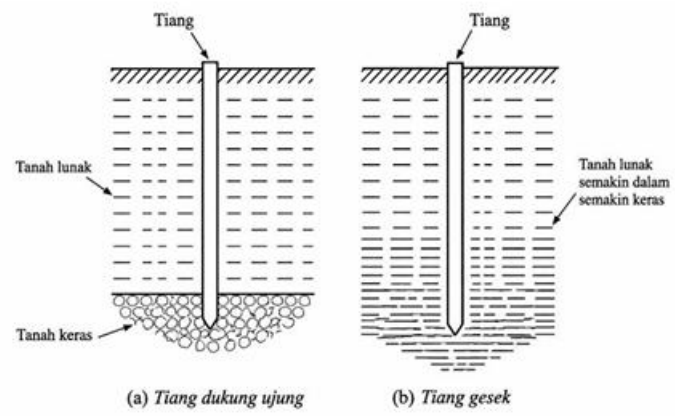
   Jenis tiang ini mengandalkan kekuatan di bagian ujung bawahnya sebagai penopang utama beban. Pendekatan ini biasanya diterapkan pada kondisi tanah lunak yang memiliki lapisan tanah keras di bawahnya. Tiang dipasang hingga menyentuh batuan dasar atau batuan keras agar mampu memikul beban secara optimal sekaligus mencegah terjadinya penurunan tanah (settlement) yang drastis. Dengan demikian. kapasitas dukungnya bergantung penuh pada kekuatan lapisan keras tersebut.

2. Tiang Gesek (*Friction Pile*)

   Kekuatan tiang jenis ini bertumpu pada gaya gesek yang terjadi antara dinding tiang dengan tanah di sekitarnya. Gaya gesek ini, bersama dengan tekanan dari tanah di bawah ujung tiang, menjadi faktor penentu dalam menghitung daya dukungnya. Metode ini umumnya dipilih ketika lapisan tanah keras berada di kedalaman yang sangat jauh, sehingga tidak ekonomis jika tiang harus bertumpu

di ujung bawah. Sebagai solusinya. beban disalurkan melalui gesekan di sepanjang selimut tiang.

Menurut Tomlinson & Woodward , dibawah ini merupakan gambaran tiang yang ditinjau dari cara mendukung bebannya yang dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut



Gambar 3.4 Tiang Ditinjau dari Cara Mendukung Beban

(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

3.6.1 Kapasitas daya dukung tiang tunggal

Daya dukung pada tiang tunggal pada dasarnya ditopang oleh dua komponen utama. yaitu tahanan ujung dan tahanan gesek dinding tiang. Untuk mengestimasi nilai tersebut. terdapat berbagai metode analisis yang dikembangkan oleh para ahli. salah satunya adalah pendekatan rumus yang direkomendasikan oleh NAVFAC yang dapat dilihat pada persamaan 3.11 sebagai berikut.

$$Qp = 7 \times NSPT \times Ap \tag{3.11}$$

Dengan:

Qp : Tahanan ujung tiang (Ton)

NSPT : $\frac{N1+N2}{2}$

N1 : Harga rata-rata nilai NSPT dari dasar tiang ke 10D ke atas

N2 : Harga rata-rata nilai NSPT dari dasar tiang ke 4D ke bawah

Ap : Luas penampang tiang (m^2)

1. Kapasitas dukung selimut tiang

   Perhitungan kapasitas dukung selimut tiang dapat dilakukan menggunakan Persamaan 3.12 sebagai berikut.

$$Qs = 0{,}1 \times NSPT \times p \times Li \quad (3.12)$$

   Dengan:

   Qs : Kapasitas dukung friksi tiang

   NSPT : $\frac{N1+N2}{2}$

   N1 : Harga rata-rata nilai NSPT dari dasar tiang ke 10D ke atas

   N2 : Harga rata-rata nilai NSPT dari dasar tiang ke 4D ke bawah

   p : Keliling penampang tiang (m)

   Li : Panjang tiang bor (m)

3.6.2 Kapasitas dukung ijin

Kapasitas dukung izin didefinisikan sebagai batas aman kemampuan tiang dalam memikul beban guna meminimalkan risiko kegagalan struktural akibat kondisi tak terduga. Nilai ini diperoleh dengan membagi kapasitas ultimit tiang dengan sebuah faktor keamanan (*safety factor*). Menurut Hardiyatmo (2014), penerapan faktor keamanan ini bertujuan untuk:

1. Mengantisipasi aspek ketidakpastian pada parameter kuat geser serta sifat kompresibilitas yang merepresentasikan kondisi lapisan tanah di lapangan.
2. Menjamin agar diferensiasi penurunan (*differential settlement*) antar-tiang tidak melewati ambang batas toleransi yang diizinkan.
3. Memastikan kekuatan material tiang itu sendiri tetap aman dan mumpuni dalam menopang beban kerja.

4. Menjaga agar akumulasi penurunan total. baik pada konfigurasi tiang tunggal maupun tiang kelompok. tetap berada dalam batas aman.
5. Mereduksi dampak ketidakpastian yang berasal dari asumsi atau metode analisis perhitungan yang digunakan.

Adapun besaran angka keamanan yang lazim diaplikasikan pada fondasi tiang pancang maupun tiang bor merujuk pada regulasi Tomlinson & Woodward (2007), sebagaimana termuat dalam Hardiyatmo (2014), di antaranya adalah sebagai berikut.

$$Qall = (\frac{Qult}{2.5}) \quad (3.13)$$

Dengan:

Qall : Kapasitas dukung ijin tiang

Qult : Kapasitas dukung ultimate tiang

2.5 : Faktor aman

3.6.3 Kapasitas daya dukung kelompok tiang

Dalam menopang struktur bangunan yang masif. penggunaan fondasi tiang tunggal umumnya kurang memadai sehingga diterapkan sistem kelompok tiang demi meningkatkan kapasitas dukung beban. Guna mengantisipasi risiko pergeseran posisi serta eksentrisitas lainnya. setidaknya diperlukan kombinasi dua atau tiga tiang di bawah elemen fondasi. Konfigurasi kelompok ini memicu terjadinya interaksi tekanan antara gesekan selimut (*skin friction*) dan daya dukung ujung (*end bearing*). Tingkat intensitas tekanan akibat efek superposisi tersebut sangat dipengaruhi oleh besaran beban dan jarak antar-tiang, di mana tekanan yang berlebihan berpotensi memicu keruntuhan geser pada tanah atau penurunan fondasi (Bowles, 1997).

Pemasangan fondasi tiang biasanya dilakukan dalam bentuk kelompok, di mana beberapa tiang dipancang dengan jarak yang relatif dekat dan disatukan menggunakan *pile cap*. Sebelum menghitung kapasitas dukung dari kelompok tiang tersebut, terdapat beberapa parameter utama yang wajib dianalisis. meliputi jumlah dan susunan tiang, jarak antar-tiang. serta nilai efisiensi kelompoknya. Berikut ini

merupakan hal-hal yang harus diperhatikan dalam perhtungan kapasitas daya dukung kelompok tiang.

1. Jumlah tiang (n)

   Menurut Pamungkas & Harianti (2013), penentuan jumlah tiang yang dibutuhkan dalam suatu struktur diperoleh dari hasil pembagian antara besarnya beban aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang tunggalnya. Untuk menentukan jumlah tiang uang diperlukan dapat digunakan Persamaan 3.6 sebagai berikut.

   $$n = \frac{P}{Qall} \tag{3.6}$$

   Dengan:

   n : Jumlah tiang

   P : Gaya aksial yang terjadi (ton)

   Qall : Kapasitas dukung ijin tiang (ton)

2. Jarak tiang (s)

   Dalam mengestimasi jarak ideal antar-tiang. persamaan berikut merujuk pada ketentuan yang dikeluarkan oleh Dirjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.

   $$S \geq 2.5D \tag{3.7}$$

   $$S \leq 3D \tag{3.8}$$

   Dengan:

   S : Jarak antar setiap pusat tiang (m)

   D : Diameter tiang (m)

   Dalam mengantisipasi beban vertikal. konfigurasi jarak optimum antar-tiang umumnya direkomendasikan sebesar 2,5D sampai 3,5D, atau antara 2 hingga 3H. Apabila kelompok tiang direncanakan untuk memikul gaya lateral maupun beban dinamis. penerapan jarak yang lebih renggang terbukti memberikan efisiensi yang lebih baik (Bowles, 1997).

Biasanya jarak antara 2 tiang dalam kelompok diisyaratkan minimum 0,60 m dan maksimum 2,00 m. Ketentuan ini berdasarkan pada pertimbangan – pertimbangan sebagai berikut.

a. Ketika S < 2.5D

   1) Ada kemungkinan bahwa kondisi tanah di sekitar kelompok tiang bisa terjadi kenaikan yang terlalu berlebihan yang disebabkan oleh jarak pemasangan antar tiang pancang yang terlalu dekat

   2) Kemungkikan terjadi kenaikan tiang – tiang pancang yang ada di sekitarnya yang sudah di lakukan pemancangan terlebih dahulu

b. Ketika S > 3D

   Disaat jarak antar tiang (s) memiliki nilai yang lebih besar dari 3D (S > 3D) maka hal tersebut menunjukan bahwa adanya ketidak ketidak ekonomisan. karena jika jarak antar tiang sudah melebihi 3D maka akan memperbesar dimensi yang akan digunakan pada *pile cap*.

3. Kapasitas daya dukung kelompok tiang pada kondisi tanah pasir

   Untuk mengetahui nilai daya dukung kelompok tiang pada kondisi tanah berpasir dengan memperhitungkan faktor efisiensi tiang dapat dilihat pada Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$Qg = n \times Qall \times Eg \tag{3.9}$$

   Keterangan:

   Qg : beban maksimum kelompok tiang
   n : jumlah tiang dalam kelompok
   Qall : kapasitas dukung ijin
   Eg : efisiensi kelompok tiang

4. Efisiensi kelompok tiang

   Penentuan nilai efisiensi kelompok tiang diperoleh dengan menerapkan pedoman atau ketentuan yang merujuk pada Uniform Building Code AASHTO. Perhitungan untuk mengetahui efisiensi kelompok tiang digunakan rumus *Converse – Labbare* yang dapat dilihat pada Persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$Eg = 1 - \theta \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90mn} \quad (3.10)$$

Keterangan:

Eg : Efisiensi kelompok tiang

m : Jumlah tiang dalam 1 kolom

n : Jumlah tiang dalam 1 baris

θ : Arc tg d/s. dalam derajat

Dalam kondisi nilai jarak antar tiang (s) lebih besar dari 3D pada tiang pancang maka pada tahanan gesek maupun tahanan ujung nilai efisiensi kelompok tiang yang digunakan yaitu 1 (Eg = 1)

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan. merupakan sebuah perbandingan analisis nilai daya dukung tiang pancang *existing* dan nilai daya dukung tiang pancang rencana, selanjutnya dilakukan optimasi desain menggunakan *bored pile* dengan spasi dan diameter yang disesuaikan agar nilai daya dukung sama dengan nilai daya dukung yang dihasilkan dari tiang pancang. Objek yang digunakan yaitu pada proyek rekonstruksi Jembatan Weton Kulon dengan fondasi *existing* berupa fondasi tiang pancang. Metode perhitungan yang diginakan pada penelitian kali ini merupakan metode statis. Hasil analisis kapasitas daya dukung yang dimiliki tiang pancang baik *existing* maupun rencana dan *bore pile* akan dibandingkan serta dilakukan simulasi menggunakan *software*.

4.2 Data Penelitian

Dalam penelitian ini. menggunakan data yang diperoleh dari PT. Karya Adi Kencana selaku kontraktor pada proyek Rekonstruksi Jembatan Weton Kulon. Data yang didapat nantinya akan digunakan sebagai dasar dan acuan perhitungan kapasitas daya dukung. simulasi pembebanan dan desain. serta optimasi desain fondasi dalam bentuk fondasi *bored pile.*

Adapun jenis data yang dimanfaatkan guna mendukung tercapainya tujuan penelitian ini meliputi.

1. Data penyelidikan tanah berupa data bor log tanah. serta data *Standard Penetration Test* (SPT) dengan kedalaman 20 meter.
2. Data PDA *Test*. yang dimana dilakukan dari 1 titik lokasi tiang pancang dengan kedalaman kurang lebih 10 meter
3. Data monitoring tiang pancang *existing*. data ini nantinya digunakan sebagai perbadingan nilai daya dukung tiang pancang rencana dengan *existing*

4.3 Variabel Penelitian

Adapun variabel-variabel yang terdapat dalam penelitian analisis daya dukung tiang panjang pada proyek rekonstruksi Jembatan Weton Kulon adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas. yaitu jenis fondasi tiang. diameter fondasi tiang. panjang tiang *bored pile* yang digunakan, dan
2. Variabel terikat. yaitu kapasitas beban rencana (P) sebesar 956,7 Ton, dan parameter tanah yang digunakan

4.4 Lokasi Penelitian

Proyek rekonstruksi Jembatan Weton Kulon berlokasi di Desa Weton Kulon, Kecamatan Puring, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.1 Lokasi Proyek yang ditinjau sebagai penelitian



Gambar 4.2 Kondisi Aktual Di Lapangan

4.5 Metode Analisis

Analisis dilakukan menggunakan metode statis untuk menganalisis nilai daya dukung tiang pancang maupun *bored pile*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada persamaan dari peneliti terdahulu dan pendekatan empiris dari data lapangan. Adapun analisis yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

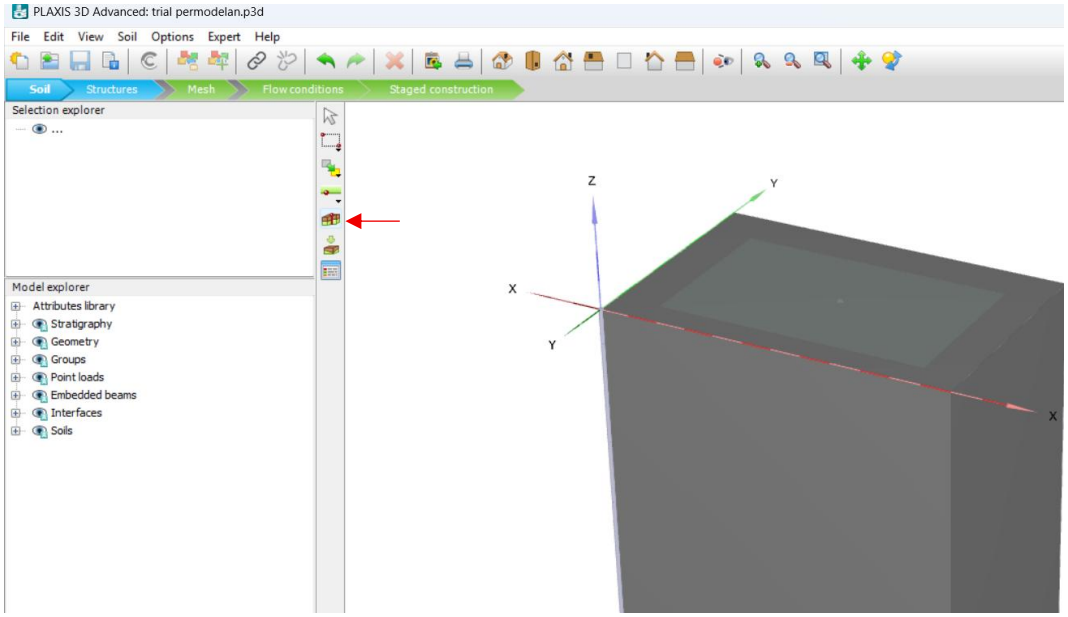
1. Analisis daya dukung fondasi tiang pancang menggunakan metode yang direkomendasikan oleh NAVFAC.
2. Analisis daya dukung fondasi *bored pile* dengan diameter dan kedalaman yang menyeseuaikan nilai daya dukung fondasi *existing* menggunakan metode rekomendasi NAVFAC tanpa menggunakan koefisien empiris tanah kalibrasi.
3. Analisis daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan data bor log dengan diameter dan kedalaman yang didapat dari PT. Karya Adi Kencana pada proyek rekonstruksi Jembatan Weton Kulon
4. Hasil perhitungan analitis tiang pancang dikalibrasi melalui back analysis berdasarkan syarat Niazi & Mayne (2015)dan dibandingkan terhadap hasil PDA test pada satu titik tiang yang tersedia.

5. Optimasi desain fondasi alternatif diameter dan kedalaman bored pile, dengan tiga yaitu diameter 0,5 m, 0,8 m, dan 1,0 m.
6. Verifikasi menggunakan *software Plaxis* 3D

4.6 Tahapan Penggunaan *Software Plaxis* 3D

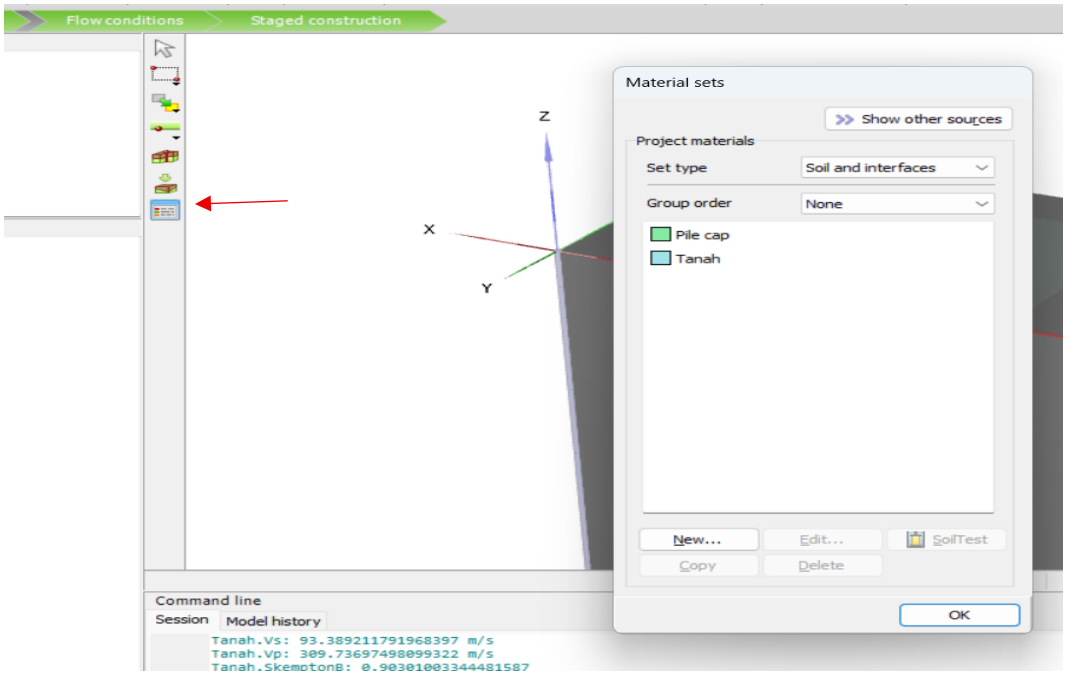
Berikut ini merupakan tahapan penggunaan *software plaxis* yang nantinya akan digunakan pada penelitian kali ini. Urutan permodelan menggunankan *Plaxis* 3D dapat dilihat pada Gambar 4.3 sampai Gambar 4.12

1. Buat *borehole* terlebih dahulu



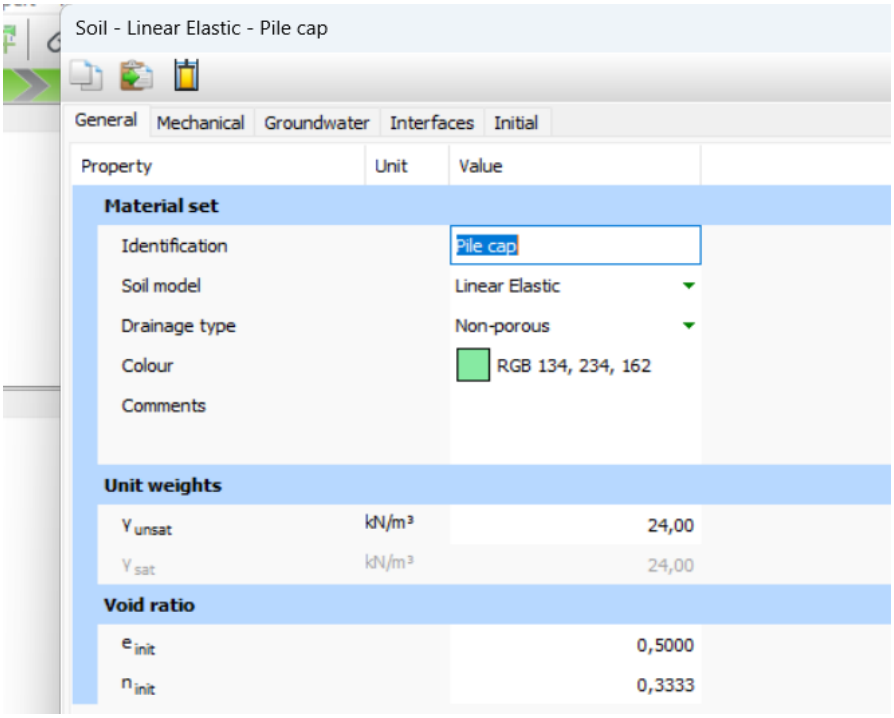
Gambar 4.3 Tahapan Permodelan

2. Buat material untuk tanah dan material struktur



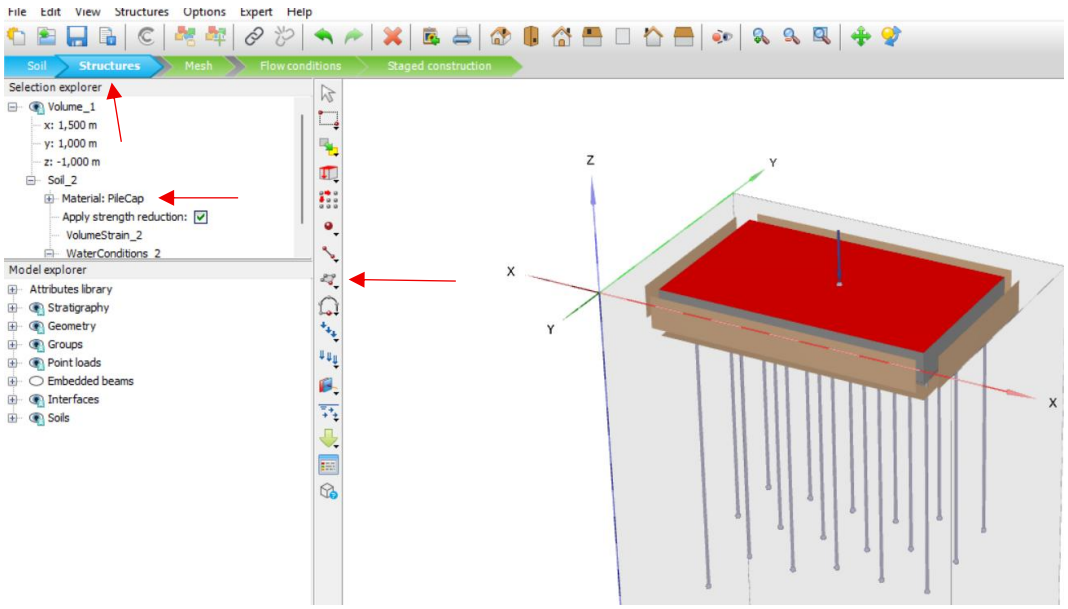
Gambar 4.4 Tahapan Permodelan

3. Masukan nilai koefisien dan parameter sesuai kondisi yang dimiliki



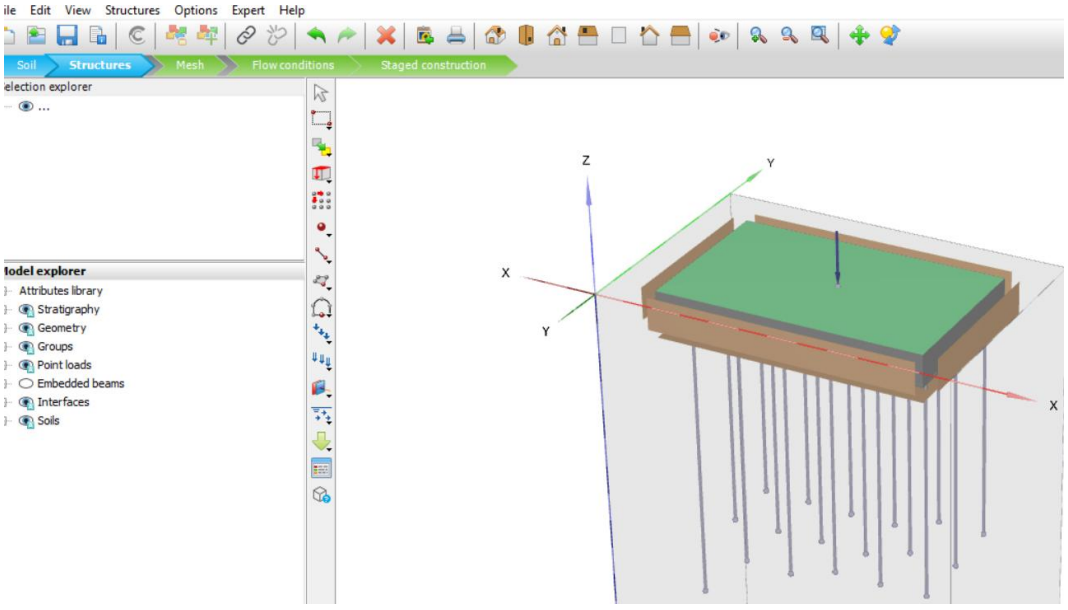
Gambar 4.5 Tahapan Permodelan

4. Tekan pada *section structures* buat *surface* untuk digunakan sebagai *pile cap*. pastikan material surface sudah sesuai dengan material yang sudah siapkan.



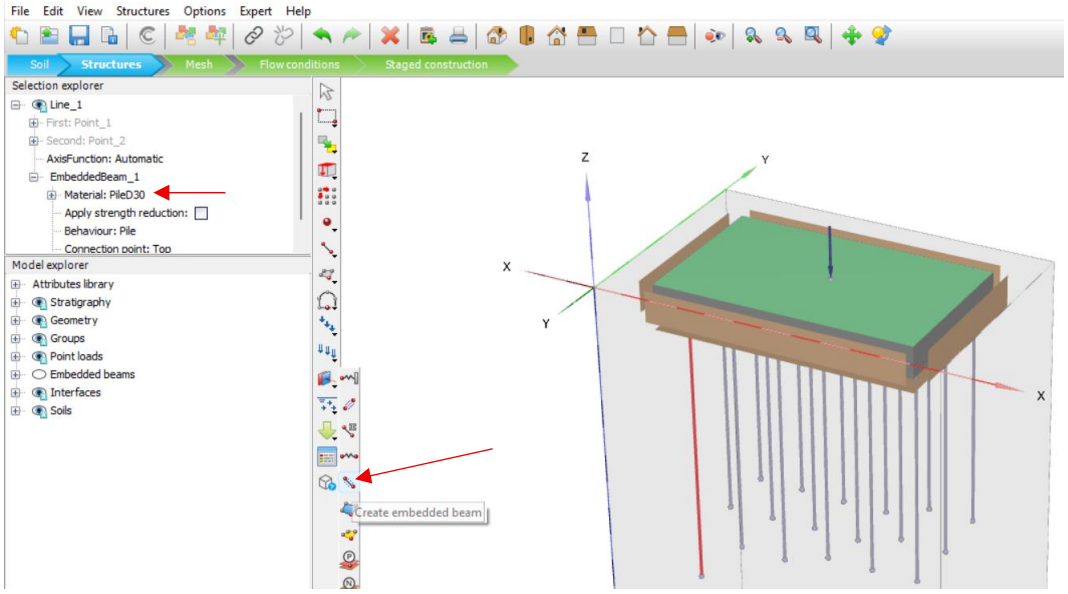
Gambar 4.6 Tahapan Permodelan

5. Selanjutnya klik pada *extrude object* untuk memberikan tebal pada *pile cap.*



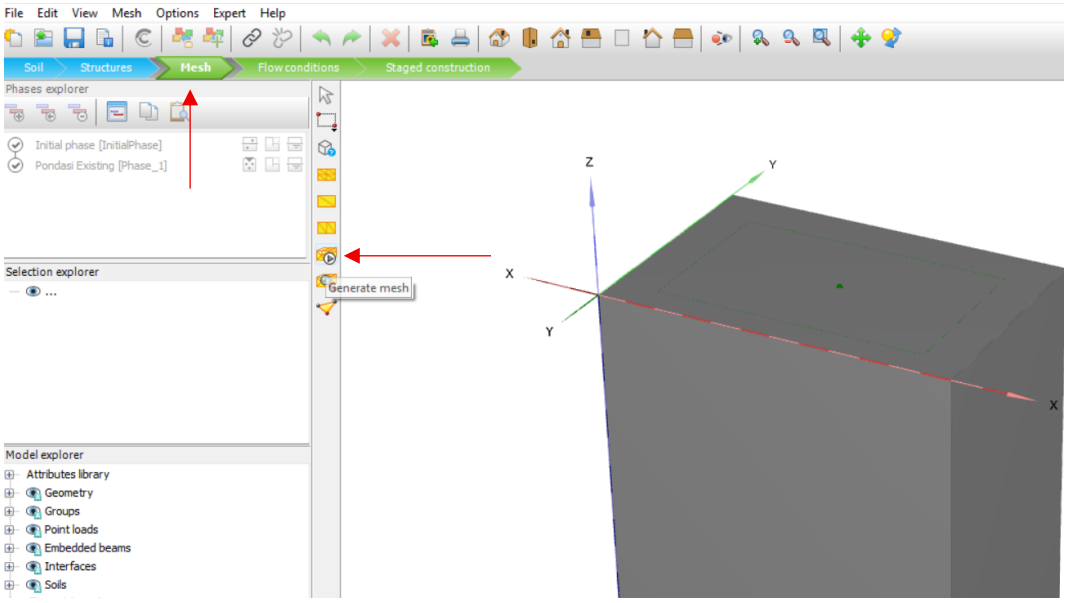
Gambar 4.7 Tahapan Permodelan

6. Selanjutnya untuk memodelkan fondasi tiang bisa menggunakan *embedded beam*. atur posisi dan kedalaman sesuai dengan denah yang dimiliki. serta pilih material *embedded beam* sesuai dengan materian fondasi tiang yang sudah disiapkan.



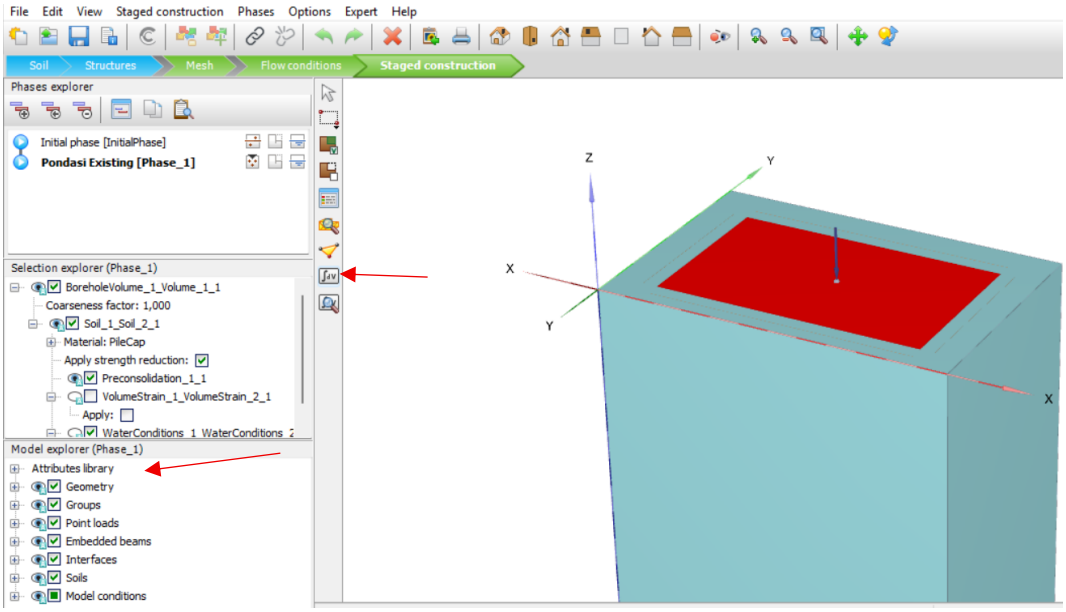
Gambar 4.8 Tahapan Permodelan

7. Tekan pada section mesh lalu pilih generate mesh.



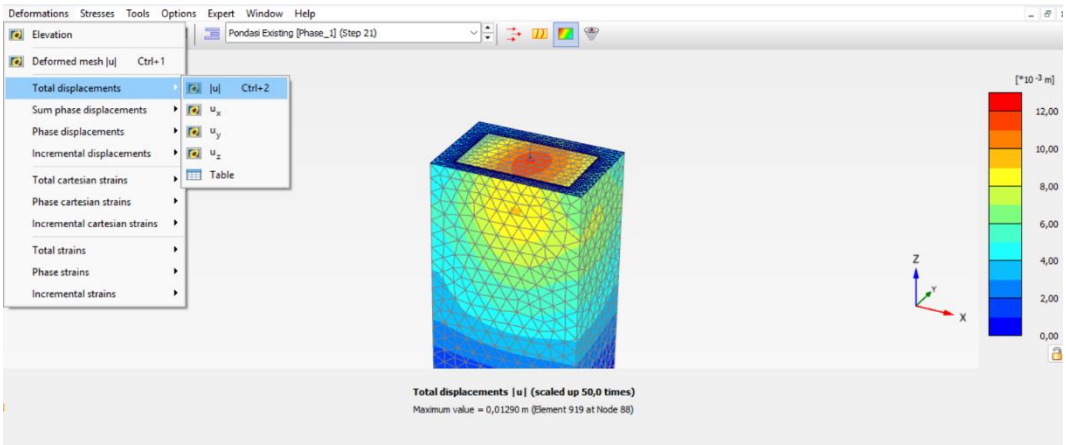
Gambar 4.9 Tahapan Permodelan

8. Tekan pada *section staged construction*. Lalu pilih *calculate*. Jangan lupa berikan *checklist* pada semua *model explorer*. Setelah selesai *calculate* selanjutnya tekan pada *view calculation result* untuk melihat hasil running.



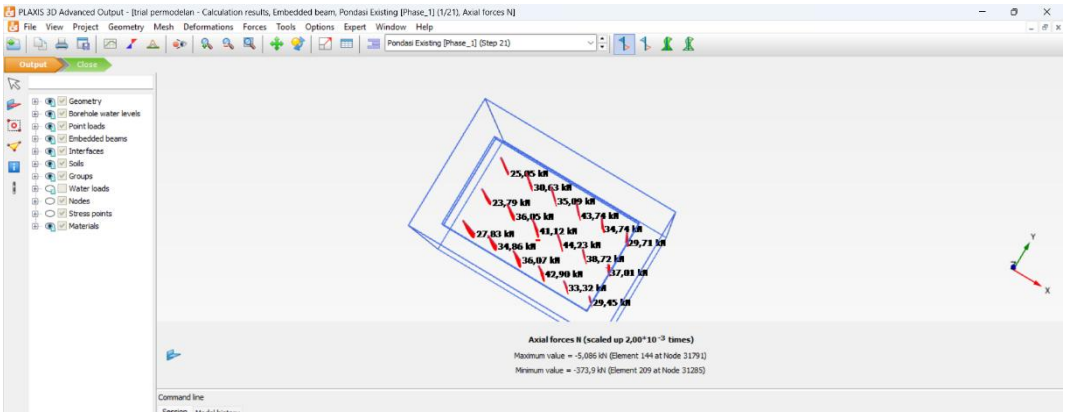
Gambar 4.10 Tahapan Permodelan

9. Jika sudah selesai *running* selanjutnya akan dialihkan pada *Plaxis* 3D Output. Pilih pada *deformation* untuk mengetahui nilai deformasi dan *displacement* yang terjadi.



Gambar 4.11 Tahapan Permodelan

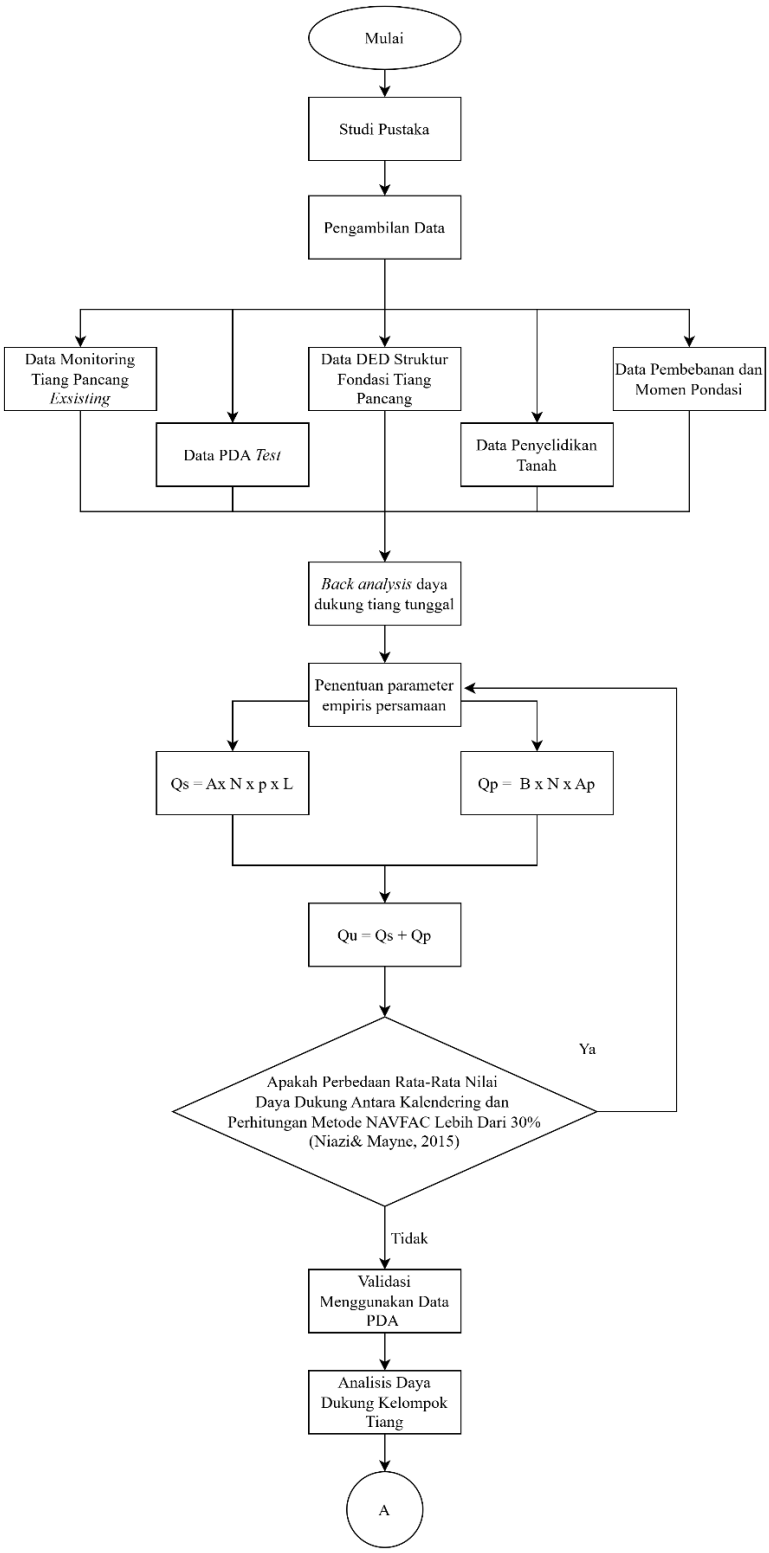
10. Selanjutnya pilih pada bagian *embedded beam* lalu tekan enter dan pilih *forces* untuk mengetahui daya dukung yang terjadi.



Gambar 4.12 Tahapan Permodelan

4.7 Tahapan Penelitian

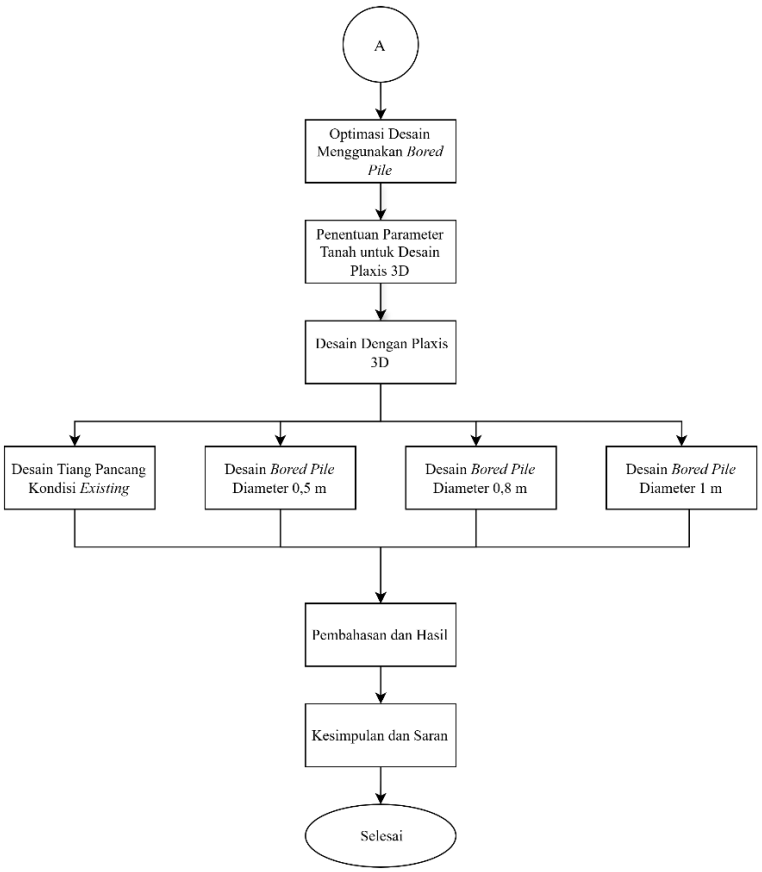
Tahapan penelitian ini dilakukan secara sistematis dari mulai pencarian data hingga memperoleh hasil analisis dan kesimpulan. Berikut ini adalah tahapan tahapan penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 4.13 sebagai berikut.



Gambar 4.13 Bagan Alir Penelitian

A : Koefisien rumus daya dukung selimut tiang

B : Koefisien rumus daya dukung ujung tiang



Lanjutan Gambar 4.13 Bagan Alir Penelitian

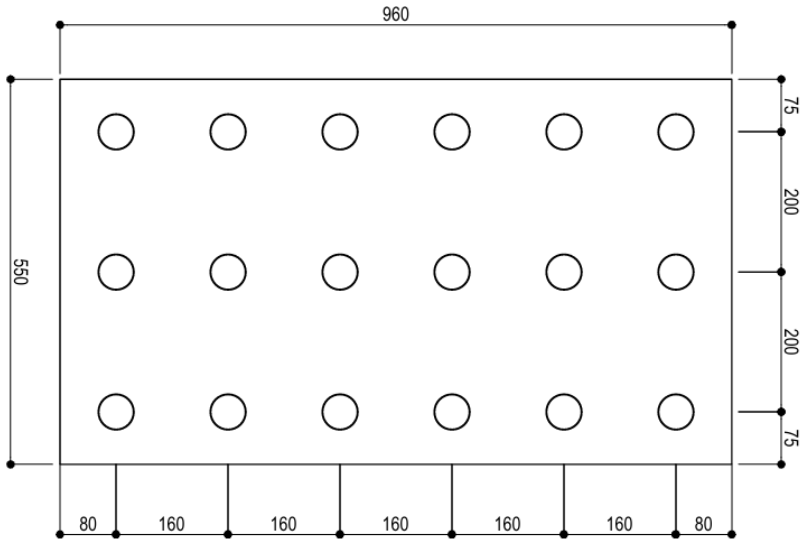
BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Proyek Rekonstruksi Jembatan Weton Kulon Sta 1+300

Jembatan Weton Kulon merupakan jembatan penting yang menghubungkan 2 kecamatan sebagai akomodasi utama warga melakukan kegiatan sehari-hari. Jembatan ini dibangun dengan panjang 70 meter dengan ditopang oleh 2 *abutment* di setiap ujung jembatan. Fondasi yang digunakan pada proyek rekonstruksi jembatan menggunakan fondasi dalam berupa tiang pancang.

5.1.1 Denah struktur fondasi jembatan Weton Kulon

Berikut merupakan denah fondasi struktur tiang pancang yang ada pada lokasi proyek yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 sebagai berikut.



Gambar 5.1 Denah Fondasi *Existing*

5.1.2 Data struktur jembatan

Struktur jembatan ini terdiri dari 2 buah jenis struktur. yaitu struktur atas dan struktur bawah. struktur atas yang digunakan pada jembatan Weton Kulon berupa baja. Sedangkan struktur bawah yaitu meliputi fondasi tiang pancang dengan mutu beton 30 Mpa.

5.2 Data Analisis Penetuan Desain Jembatan dan Perhitungan Daya Dukung

Dalam perencanaan pembangunan diperlukan data-data yang akan digunakan untuk menentukan desain agar bangunan dapat dibuat dengan standar dan mutu yang sesuai sehingga dapat menghindari kemungkinan adanya kegagalan struktur. Berikut ini merupakan rekap hasil analisis yang digunakan sebagai acuan dalam meracang desain jembatan yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Data Analisis Proyek Jembatan Weton Kulon

No	Keterangan	Nilai
1.	Jumlah momen arah x	3440,08 t.m
2.	Jumlah momen arah y	162.22 t.m
3.	Jumlah gaya arah vertikal pada *abutment*	956.7 ton
4.	Jumlah gaya arah horizontal pada *abutment*	36.1 ton
5.	Lebar pilecap	5.5 meter
6.	Panjang pilecap	9.6 meter

(Sumber: PT. Karya Adi Kencana)

Data tersebut kemudian dilakukan olah analisis lanjutan dan didapatkan rancangan desain fondasi yang sudah diperlihatkan sebelumnya. yaitu fondasi dengan pilecap yang memiliki panjang 9.6 meter dan lebar 5.6 meter. Tiang pancang yang digunakan yaitu sebanyak 18 tiang pancang dengan kedalaman 12 meter. Namun. dalam pelaksanaannya dilapangan dilapangan terjadi beberapa kendala sehingga kedalaman tiang pancang yang rata-rata yaitu sekitar 9 meter. Berikut merupakan hasil perhitungan daya dukung berdasarkan monitoring di lapangan.

5.2.1 Perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan monitoring lapangan

Perhitungan yang dilakukan di lapangan menggunakan rumus. Berikut merupakan rekap hasil perhitungan daya dukung tiang pancang di lapangan menggunakan rumus yang ada pada Persamaan 3.1. berikut contoh perhitungan yang telah dilakukan.

Diketahui:

Diameter = 0,5 m

Wr = 2,5 Ton

H = 2,5 m

E = 0,9

Wp = 3,61 Ton

n = 0,4

Perhitungan pada tiang P1

$$Qu = \frac{E \times Wr \times H}{S+K} \times \frac{(Wr+n^2 \times Wp)}{Wr+Wp}$$

$$Qu = \frac{0,9 \times 2,5 \times 2,5}{0,0003+0,008} \times \frac{(2,5+0,4^2 \times 3,61)}{2,5+3,61}$$

Qu = 363,16 Ton

Berikut ini merupakan rekap hasil perhitungan daya dukung berdasarkan hasil monitoring yang dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Rekap Hasil Perhitungan Daya Dukung *Existing*

Tiang Pancang	Penurunan tiang pada 10 pukulan terakhir (K)										K rata"		Penurunan tiang total (S)		Panjang	Qu
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	mm	m	mm	m	m	Ton
P1	7	8	9	6	5	7	8	9	9	7	7,50	0,008	0,30	0,0003	11	363,16
P2	9	9	11	13	12	11	12	11	12	9	10,90	0,011	0,10	0,0001	9,4	257,52
P3	8	8	7	7	6	6	14	13	11	12	9,20	0,009	0,30	0,0003	9,42	298,18
P4	11	8	9	12	12	11	10	7	13	13	10,60	0,011	0,40	0,0004	9,38	257,52
P5	8	9	7	10	9	11	9	10	0	0	9,13	0,009	0,38	0,0004	9,39	298,18
P6	15	16	14	14	13	13	14	14	14	12	13,90	0,014	0,25	0,0003	9,4	200,19
P7	11	9	12	11	12	11	12	13	12	11	11,40	0,011	0,30	0,0003	9,43	242,11
P8	10	11	9	9	8	8	8	8	6	7	8,40	0,008	0,20	0,0002	9,35	329,38
P9	12	11	9	8	15	14	16	17	17	16	13,50	0,014	0,20	0,0002	9,42	206,76
P10	10	12	11	12	11	11	10	14	15	0	11,78	0,012	0,11	0,0001	9,4	238,28
P11	7	8	9	6	5	7	8	9	9	7	7,50	0,008	0,30	0,0003	9,37	363,16
P12	7	8	9	6	5	7	8	9	9	7	7,50	0,008	0,30	0,0003	8,89	363,16
P13	11	11	13	14	12	14	13	14	14	12	12,80	0,013	0,25	0,0003	8,84	217,06
P14	9	10	12	11	12	9	10	9	9	10	10,10	0,010	0,10	0,0001	8,88	277,71
P15	12	12	10	12	11	10	11	10	11	11	11,00	0,011	0,10	0,0001	8,9	255,2
P16	8	12	8	11	9	10	9	8	10	9	9,40	0,009	0,30	0,0003	8,85	292,03
P17	12	16	15	17	18	17	19	19	17	20	17,00	0,017	0,30	0,0003	8,89	163,74
P18	0	13	12	12	11	15	13	14	14	13	13,00	0,013	0,53	0,0005	8,85	209,36

Berdasarkan hasil daya dukung yang didapat dari monitoring di lapangan. selanjutya dilakukan perhitungan analisis menggunakan metode NAVFAC untuk digunakan sebagai perbandingan perhitungan daya dukung *existing* yang dapat dilihat sebagai berikut.

5.2.2 Perhitungan daya dukung tiang pancang metode Naval Engineering Facilities Command

Dikarenakan pada tempat studi kasus tanah di lapangan merupakan pasir serta data uji tanah yang didapatkan berupa data NSPT maka dapat dilakukan perhitugan dengan menggunakan metode NAVFAC.

Berikut ini merupakan analisa daya dukung tiang pancang *existing* menggunakan metode NAVFAC.

1. Tiang P1

Diketahui:

NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

$= \frac{60+60}{2}$

$= 60$

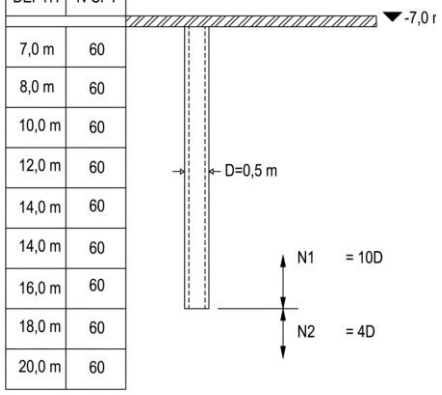
Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 11 m

DEPTH	N-SPT
7,0 m	60
8,0 m	60
10,0 m	60
12,0 m	60
14,0 m	60
14,0 m	60
16,0 m	60
18,0 m	60
20,0 m	60



a. Tahanan selimut tiang:

Qs $= 0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs $= 0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 11$

Qs = 207,35 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp $= 40 \times NSPT \times Ap$

Qp $= 40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu $= Qs + Qp$

Qu = 207,35 + 471,239

Qu = 678,58 Ton

2. Tiang P2

Diketahui:

NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

$= \frac{60+60}{2}$

$= 60$

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,4 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs $= 0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs $= 0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}4$

Qs = 177,19 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp $= 40 \times NSPT \times Ap$

Qp $= 40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu $= Qs + Qp$

Qu = 177,19 + 471,239

Qu = 648,42 Ton

3. Tiang P3

Diketahui:

NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

$= \frac{60+60}{2}$

$= 60$

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,42 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs = $0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs = $0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}42$

Qs = 177,56 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $40 \times NSPT \times Ap$

Qp = $40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 177,56 + 471,239

Qu = 678,58 Ton

4. Tiang P4

Diketahui:

NSPT = $\frac{N1+N2}{2}$

= $\frac{60+60}{2}$

= 60

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,38 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs = $0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs = $0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}38$

Qs = 176,81 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $40 \times NSPT \times Ap$

Qp = $40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 176,81 + 471,239

Qu = 648,05 Ton

5. Tiang P5

Diketahui:

NSPT = $\frac{N1+N2}{2}$

= $\frac{60+60}{2}$

= 60

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,39 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs = $0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs = $0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}39$

Qs = 177 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $40 \times NSPT \times Ap$

Qp = $40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 177 + 471,239

Qu = 648,24 Ton

6. Tiang P6

Diketahui:

NSPT = $\frac{N1+N2}{2}$

= $\frac{60+60}{2}$

= 60

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,4 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs = $0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs = $0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}4$

Qs = 177,19 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $40 \times NSPT \times Ap$

Qp = $40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 177,19 + 471,239

Qu = 648,42 Ton

7. Tiang P7

Diketahui:

NSPT = $\frac{N1+N2}{2}$

= $\frac{60+60}{2}$

= 60

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,43 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs = $0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs = $0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}43$

Qs = 177,75 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $40 \times NSPT \times Ap$

Qp = $40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 177,75 + 471,239

Qu = 648,99 Ton

8. Tiang P8

Diketahui:

NSPT = $\frac{N1+N2}{2}$

= $\frac{60+60}{2}$

= 60

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,35 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs = $0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs = $0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}35$

Qs = 176,24 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $40 \times NSPT \times Ap$

Qp = $40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 176,24 + 471,239

Qu = 647,48 Ton

9. Tiang P9

Diketahui:

NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

$= \frac{60+60}{2}$

$= 60$

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,42 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs $= 0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs $= 0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}42$

Qs = 177,56 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp $= 40 \times NSPT \times Ap$

Qp $= 40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu $= Qs + Qp$

Qu = 177,56 + 471,239

Qu = 648,8 Ton

10. Tiang P10

Diketahui:

NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

$= \frac{60+60}{2}$

$= 60$

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,4 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs $= 0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs = $0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}4$

Qs = 177,19 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $40 \times NSPT \times Ap$

Qp = $40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 177,19 + 471,239

Qu = 648,42 Ton

11. Tiang P11

Diketahui:

NSPT = $\frac{N1+N2}{2}$

= $\frac{60+60}{2}$

= 60

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,37 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs = $0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs = $0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}37$

Qs = 176,62 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $40 \times NSPT \times Ap$

Qp = $40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 176,62 + 471,239

Qu = 678,58 Ton

12. Tiang P12

Diketahui:

NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

$= \frac{60+60}{2}$

$= 60$

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 8,89 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs $= 0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs $= 0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 8{,}89$

Qs = 167,57 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp $= 40 \times NSPT \times Ap$

Qp $= 40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu $= Qs + Qp$

Qu = 167,57 + 471,239

Qu = 638,81 Ton

13. Tiang P13

Diketahui:

NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

$= \frac{60+60}{2}$

$= 60$

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 8,84 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs = $0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs = $0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 8{,}84$

Qs = 166,63 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $40 \times NSPT \times Ap$

Qp = $40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 166,63 + 471,239

Qu = 6637,87 Ton

14. Tiang P14

Diketahui:

NSPT = $\frac{N1+N2}{2}$

= $\frac{60+60}{2}$

= 60

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 8,88 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs = $0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs = $0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 8{,}88$

Qs = 167,38 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $40 \times NSPT \times Ap$

Qp = $40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 167,38 + 471,239

Qu = 638,62 Ton

15. Tiang P15

Diketahui:

NSPT = $\frac{N1+N2}{2}$

= $\frac{60+60}{2}$

= 60

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 8,9 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs = $0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs = $0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 8{,}9$

Qs = 167,76 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $40 \times NSPT \times Ap$

Qp = $40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 167,76 + 471,239

Qu = 639 Ton

16. Tiang P16

Diketahui:

NSPT = $\frac{N1+N2}{2}$

= $\frac{60+60}{2}$

= 60

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 8,85 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs $= 0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs $= 0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 8{,}85$

Qs = 166,82 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp $= 40 \times NSPT \times Ap$

Qp $= 40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu $= Qs + Qp$

Qu = 166,82 + 471,239

Qu = 638,06 Ton

17. Tiang P17

Diketahui:

NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

$= \frac{60+60}{2}$

= 60

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 8,89 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs $= 0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs $= 0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 8{,}89$

Qs = 167,57 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $40 \times NSPT \times Ap$

Qp = $40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 167,57 + 471,239

Qu = 638,81 Ton

18. Tiang P18

Diketahui:

NSPT = $\frac{N1+N2}{2}$

= $\frac{60+60}{2}$

= 60

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 8,85 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs = $0{,}2 \times NSPT \times p \times Li$

Qs = $0{,}2 \times 60 \times 1{,}571 \times 8{,}85$

Qs = 166,82 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $40 \times NSPT \times Ap$

Qp = $40 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 471,24 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 166,82 + 471,239

Qu = 638,06 Ton

Selanjutnya yaitu perbandingan nilai daya dukung tiang pancang *existing* dengan nilai daya dukung analisis menggunakan metode NAVFAC yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 Sebagai berikut.

Tabel 5.3 Perbandingan nilai daya dukung *Existing* dengan Analisis NAVFAC

Tiang Pancang	Nilai Daya Dukung (Ton)	
	Existing	Analisis Metode NAVFAC
P1	363,16	678,58
P2	257,52	648,42
P3	298,18	648,80
P4	257,52	648,05
P5	298,18	648,24
P6	200,19	648,42
P7	242,11	648,99
P8	329,38	647,48
P9	206,76	648,80
P10	238,28	648,42
P11	363,16	647,86
P12	363,16	638,81
P13	217,06	637,87
P14	277,71	638,62
P15	255,2	639,00
P16	292,03	638,06
P17	163,74	638,81
P18	209,36	638,06

5.2.3 Perhitungan *back analysis*

Berdasarkan hasil perbandingan nilai daya dukung diatas terdapat perbedaan nilai yang besar sehingga perlu dilakukannya *back analisis* untuk penggunaaan rumus NAVFAC sehingga rumus yang digunakan menjadi sebagai berikut.

Qs $= 0{,}05 \times NSPT \times p \times Li$

Qp $= 19{,}5 \times NSPT \times Ap$

Qu $= Qs + Qp$

Berikut ini merupakan contoh perhitungan menggunakan rumus yang telah dilakukan *back analysis*.

1. Tiang P1

   Diketahui:

   NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

   $= \frac{60+60}{2}$

   $= 60$

   Diameter tiang = 0,5 m

   Luas penampang = 0,169 m^2

   Keliling tiang = 1,571 m

   Kedalaman tiang = 11 m

   a. Tahanan selimut tiang:

      Qs $= 0{,}05 \times NSPT \times p \times Li$

      Qs $= 0{,}05 \times 60 \times 1{,}571 \times 11$

      Qs = 51,84 Ton

   b. Tahanan ujung tiang:

      Qp $= 19{,}5 \times NSPT \times Ap$

      Qp $= 19{,}5 \times 60 \times 0{,}169$

      Qp = 229,73 Ton

   c. Daya dukung ultimit

      Qu $= Qs + Qp$

      Qu = 51,84 + 229,73

      Qu = 281,57 Ton

2. Tiang P2

   Diketahui:

   NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

$= \frac{60+60}{2}$

$= 60$

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,4 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs $= 0{,}05 \times NSPT \times p \times Li$

Qs $= 0{,}05 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}4$

Qs = 44,30 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp $= 19{,}5 \times NSPT \times Ap$

Qp $= 19{,}5 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 229,73 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu $= Qs + Qp$

Qu = 44,30 + 229,73

Qu = 274,57 Ton

3. Tiang P3

Diketahui:

NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

$= \frac{60+60}{2}$

$= 60$

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,42 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs $= 0{,}05 \times NSPT \times p \times Li$

Qs $= 0{,}05 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}42$

Qs = 44,39 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $19{,}5 \times NSPT \times Ap$

Qp = $19{,}5 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 229,73 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 44,39 + 229,73

Qu = 274,12 Ton

4. Tiang P4

Diketahui:

NSPT = $\frac{N1+N2}{2}$

= $\frac{60+60}{2}$

= 60

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,38 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs = $0{,}05 \times NSPT \times p \times Li$

Qs = $0{,}05 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}38$

Qs = 44,20 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp = $19{,}5 \times NSPT \times Ap$

Qp = $19{,}5 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 229,73 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu = $Qs + Qp$

Qu = 44,20 + 229,73

Qu = 273,93 Ton

5. Tiang P5

Diketahui:

NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

$= \frac{60+60}{2}$

$= 60$

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 9,39 m

a. Tahanan selimut tiang:

Qs $= 0{,}05 \times NSPT \times p \times Li$

Qs $= 0{,}05 \times 60 \times 1{,}571 \times 9{,}39$

Qs = 44,25 Ton

b. Tahanan ujung tiang:

Qp $= 19{,}5 \times NSPT \times Ap$

Qp $= 19{,}5 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 229,73 Ton

c. Daya dukung ultimit

Qu $= Qs + Qp$

Qu = 44,25 + 229,73

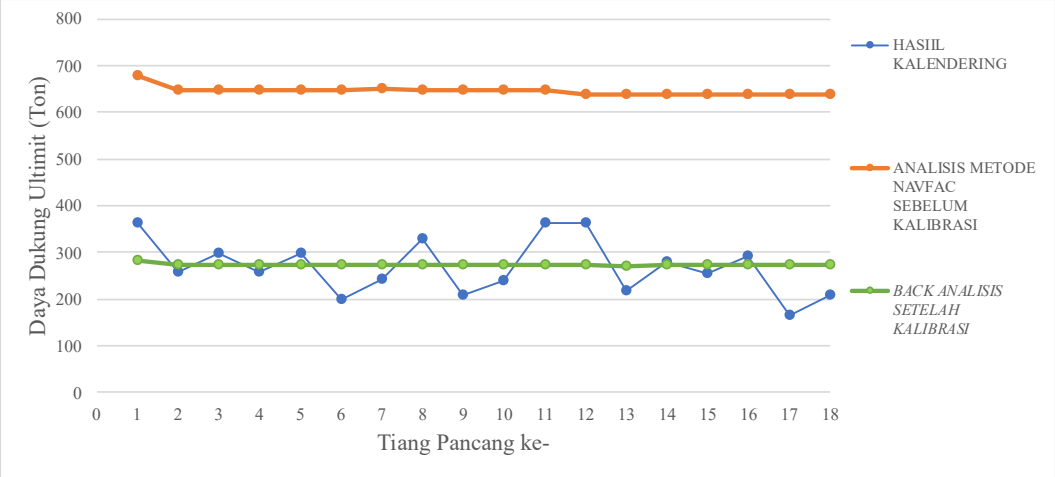
Qu = 273,98 Ton

Berikut ini merupakan hasil rekapan dan grafik perbandingan daya dukung tiang pancang dengan metode NAVFAC yang sudah dilakukan *back analysis*.

Tabel 5.4 Rekap Hasil Nilai Qu Total

Tiang Pancang	Nilai Daya Dukung (Ton)				
	Hasil Monitoring Kalendering	Analisis Metode NAVFAC Sebelum Kalibrasi	Selisish ($\frac{\|1-3\|}{3}$)	*Back Analysis* Setelah Kalibrasi	Selisih ($\frac{\|1-5\|}{5}$)
1	2	3	4	5	6
P1	363,16	678,58	87%	281,57	22%
P2	257,52	648,42	152%	274,03	6%
P3	298,18	648,80	118%	274,12	8%
P4	257,52	648,05	152%	273,93	6%
P5	298,18	648,24	117%	273,98	8%
P6	200,19	648,42	224%	274,03	37%
P7	242,11	648,99	168%	274,17	13%
P8	329,38	647,48	97%	273,79	17%
P9	206,76	648,80	214%	274,12	33%
P10	238,28	648,42	172%	274,03	15%
P11	363,16	647,86	78%	273,88	25%
P12	363,16	638,81	76%	271,62	25%
P13	217,06	637,87	194%	271,39	25%
P14	277,71	638,62	130%	271,57	2%
P15	255,2	639,00	150%	271,67	6%
P16	292,03	638,06	118%	271,43	7%
P17	163,74	638,81	290%	271,62	66%
P18	209,36	638,06	205%	271,43	30%

Nilai selisih didapatkan dari ($\frac{|Qu\ Kalendering - Qu\ Analisis|}{Qu\ Analisis}$)



Gambar 5.2 Perbandingan Nilai Qu Kalendering, Analisis Sebelum Kalibrasi, dan *Back Analysis* Sesudah Kalibrasi

5.2.4 Validasi terhadap nilai PDA Test

Setelah dilakukan *back analysis* selanjutnya hasil tersebut dilakukan validasi terhadap nilai PDA Test.

Nilai PDA= 285 Ton

Daya dukung maks = 281,5 Ton

Daya dukung rata rata = 273, 47 Ton

Hasil analisis menunjukkan daya dukung ultimit tiang berdasarkan PDA test sebesar 285 ton, lebih besar 11,53 ton atau 4,22 % dibandingkan hasil analisis manual sebesar 273,47 ton. Perbedaan ini masih dalam batas wajar dan disebabkan oleh pengaruh set-up tanah serta sifat konservatif korelasi empiris data N-SPT. Dengan demikian, perhitungan analitis yang digunakan dapat dinyatakan valid dan konservatif terhadap kondisi aktual di lapangan.

5.2.5 Analisis daya dukung kelompok tiang pancang

Setelah dilakukan *back analysis* selanjutnya perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai daya dukung dari kelompok tiang *existing*. Berikut merupakan perhitungan untuk mengetahui nilai daya dukung tiang pancang.

1. Efisiensi kelompok tiang

   Eg $= 1 - \theta \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90mn}$

   Eg $= 1 - \theta \frac{(6-1)3+(3-1)6}{90\times3\times6}$

   Eg = 0,983

2. Nilai daya dukung kelompok tiang

   Qg $= n \times Qall \times Eg$

   Qg $= 109{,}39 \times 0{,}983$

   Qg = 1936,14 Ton

3. Reaksi beban terhadap fondasi

   P = 956,7 Ton

   Jumlah tiang = 18 tiang

   Daya dukung ijin per tiang = 109,39 Ton

   Daya dukung kelompok tiang = 1936,14 Ton

   Berdasarkan reaksi beban tersebut didapatkan selisih yang sangat jauh yaitu sekitar 1000 Ton antara beban rencana (P) dan daya dukung kelompok tiang. sehingga dapat dilakukan optimasi desain agar desain lebih optimal.

5.2.6 Perhitungan daya dukung *bored pile*

Pada penelitian kali ini saya bertujuan untuk melakukan optimasi dalam desain fondasi yang mana pada fondasi jembatan *existing* lalu dilakukan optimasi desain menggunakan *bored pile* agar tidak terlalu menggunakan material yang terlalu belebih. Berikut merupakan tahapan perhitungan daya dukung fondasi *bored pile.*

1. Kapasitas daya dukung tunggal *bored pile*

Perhitungan daya dukung tunggal pada *bored pile* dilakukan menggunakan rumus metode NAVFAC. Contoh perhitungan terkait daya dukung tunggal untuk menentukan jumlah kebutuhan tiang yang diperlukan dapat dilihat sebagai berikut.

a. Tiang bor diameter 0,5 m dengan kedalaman 6 m

   Diketahui:

   NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

   $= \frac{60+60}{2}$

   $= 60$

Diameter tiang = 0,5 m

Luas penampang = 0,169 m^2

Keliling tiang = 1,571 m

Kedalaman tiang = 6 m

1) Tahanan selimut tiang:

Qs $= 0{,}1 \times NSPT \times p \times Li$

Qs $= 0{,}1 \times 60 \times 1{,}571 \times 6$

Qs = 56,55 Ton

2) Tahanan ujung tiang:

Qp $= 7 \times NSPT \times Ap$

Qp $= 7 \times 60 \times 0{,}169$

Qp = 82,47 Ton

3) Daya dukung ultimit

Qu $= Qs + Qp$

Qu = 56,55 + 82,47

Qu = 139,02 Ton

4) Daya dukung ijin

Qall $= \frac{Qu}{2,5}$

Qall $= \frac{139,02}{2,5}$

Qall = 55,61 Ton

b. Tiang bor diameter 0,8 m dengan kedalaman 6 m

Diketahui:

NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

$= \frac{60+60}{2}$

$= 60$

Diameter tiang = 0,8 m

Luas penampang = 0,503 m^2

Keliling tiang = 2,153 m

Kedalaman tiang = 6 m

1) Tahanan selimut tiang:

Qs $= 0{,}1 \times NSPT \times p \times Li$

Qs $= 0{,}1 \times 60 \times 2{,}153 \times 6$

Qs = 90,48 Ton

2) Tahanan ujung tiang:

Qp $= 7 \times NSPT \times Ap$

Qp $= 7 \times 60 \times 0{,}503$

Qp = 211,12 Ton

3) Daya dukung ultimit

Qu $= Qs + Qp$

Qu = 90,48 + 211,12

Qu = 301,59 Ton

4) Daya dukung ijin

Qall $= \frac{Qu}{2{,}5}$

Qall $= \frac{301{,}59}{2{,}5}$

Qall = 120,64 Ton

c. Tiang bor diameter 1 m dengan kedalaman 6 m

Diketahui:

NSPT $= \frac{N1+N2}{2}$

$= \frac{60+60}{2}$

$= 60$

Diameter tiang = 1 m

Luas penampang = 0,785 m^2

Keliling tiang = 3,142 m

Kedalaman tiang = 6 m

1) Tahanan selimut tiang:

Qs $= 0{,}1 \times NSPT \times p \times Li$

Qs $= 0{,}1 \times 60 \times 3{,}142 \times 6$

Qs = 113,10 Ton

2) Tahanan ujung tiang:

Qp $= 7 \times NSPT \times Ap$

Qp $= 7 \times 60 \times 0{,}785$

Qp $= 329{,}87$ Ton

3) Daya dukung ultimit

Qu $= Qs + Qp$

Qu $= 113{,}10 + 329{,}87$

Qu $= 480{,}66$ Ton

4) Daya dukung ijin

Qall $= \frac{Qu}{2{,}5}$

Qall $= \frac{442{,}96}{2{,}5}$

Qall $= 177{,}19$ Ton

2. Penentuan jumlah penggunaan tiang dengan variasi dimensi 0,5 m

Penentuan jumlah penggunaan tiang dengan variasi dimensi 0,5 m dapat dilihat pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Penentuan Jumlah Penggunaan Tiang Dengan Variasi Dimensi 0,5 m

Kedalaman	Qs	Qp	Qu	Qall	Jumlah Tiang	Volume	Eg	Qg
m	Ton	Ton	Ton	Ton		m^3		Ton
6	56.55	82.47	139.02	55.61	18.0	21.206	0.983	984.23
7	65.97	82.47	148.44	59.38	17.0	23.366	0.983	992.57
8	75.40	82.47	157.87	63.15	16.0	25.133	0.983	993.50
9	84.82	82.47	167.29	66.92	15.0	26.507	0.984	987.38
10	94.25	82.47	176.71	70.69	14.0	27.489	0.984	973.48
11	103.67	82.47	186.14	74.46	13.0	28.078	0.984	952.15
12	113.10	82.47	195.56	78.23	13.0	30.631	0.984	1000.36

3. Penentuan jumlah penggunaan tiang dengan variasi dimensi 0,8 m

Penentuan jumlah penggunaan tiang dengan variasi dimensi 0,8 m dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Penentuan Jumlah Penggunaan Tiang Dengan Variasi Dimensi 0,8 m

Kedalaman	Qs	Qp	Qu	Qall	Jumlah Tiang	Volume	Eg	Qg
m	Ton	Ton	Ton	Ton		m^3		Ton
6	90.48	211.12	301.59	120.64	8.0	24.127	0.986	951.69
7	105.56	211.12	316.67	126.67	8.0	28.149	0.986	999.28
8	120.64	211.12	331.75	132.70	8.0	32.170	0.986	1046.86
9	135.72	211.12	346.83	138.73	7.0	31.667	0.986	957.64
10	150.80	211.12	361.91	144.76	7.0	35.186	0.986	999.28
11	165.88	211.12	376.99	150.80	7.0	38.704	0.986	1040.92
12	180.96	211.12	392.07	156.83	7.0	42.223	0.986	1082.55

4. Penentuan jumlah penggunaan tiang dengan variasi dimensi 1 m

Penentuan jumlah penggunaan tiang dengan variasi dimensi 1 m dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Penentuan Jumlah Penggunaan Tiang Dengan Variasi Dimensi 1 m

Kedalaman	Qs	Qp	Qu	Qall	Jumlah Tiang	Volume	Eg	Qg
m	Ton	Ton	Ton	Ton		m^3		Ton
6	113.10	329.87	442.96	177.19	6.0	28.274	0.987	1049.33
7	131.95	329.87	461.81	184.73	6.0	32.987	0.987	1093.99
8	150.80	329.87	480.66	192.27	5.0	31.416	0.987	948.87
9	169.65	329.87	499.51	199.81	5.0	35.343	0.987	986.08
10	188.50	329.87	518.36	207.35	5.0	39.270	0.987	1023.29
11	207.35	329.87	537.21	214.88	5.0	43.197	0.987	1060.50
12	226.19	329.87	556.06	222.42	5.0	47.124	0.987	1097.71

Berdasarkan hasil penentuan kebutuhan jumlah tiang pada variasi dimensi yang digunakan, Berikut merupakan rekap perhitungan daya dukung optimasi desain menggunakan *bored pile* yang dapat dilihat pada Tabel 5.8

Tabel 5.8 Rekap Hasil Perhitungan Daya Dukung *Bored pile* diameter

Tiang	D = 0,5 m			D = 0,8			D = 1 m		
	L	Qu	Qall	L	Qu	Qall	L	Qu	Qall
	m	Ton	Ton	m	Ton	Ton	m	Ton	Ton
P1	6	139.02	55.61	7	316.67	126.67	6	442.96	177.19
P2	6	139.02	55.61	7	316.67	126.67	6	442.96	177.19
P3	6	139.02	55.61	7	316.67	126.67	6	442.96	177.19
P4	6	139.02	55.61	7	316.67	126.67	6	442.96	177.19
P5	6	139.02	55.61	7	316.67	126.67	6	442.96	177.19
P6	6	139.02	55.61	7	316.67	126.67	6	442.96	177.19
P7	6	139.02	55.61	7	316.67	126.67			
P8	6	139.02	55.61	7	316.67	126.67			
P9	6	139.02	55.61						
P10	6	139.02	55.61						
P11	6	139.02	55.61						
P12	6	139.02	55.61						
P13	6	139.02	55.61						
P14	6	139.02	55.61						
P15	6	139.02	55.61						
P16	6	139.02	55.61						
P17	6	139.02	55.61						
P18	6	139.02	55.61						

Jadi berdasarkan analisis perhitungan yang dilakukan sebelumnya maka didapatkan hasil yaitu untuk tiang *bored pile* dengan diameter 0,5 m digunakan jumlah tiang dengan kedalaman 6 m sebanyak 18 tiang, untuk tiang *bored pile* dengan diameter 0,8 m digunakan jumlah tiang dengan kedalaman 7 m sebanyak 8 tiang, dan tiang *bored pile* dengan diameter 1 m digunakan jumlah tiang dengan kedalaman 6 m sebanyak 6 tiang. Sedangkan volume yang didapatkan untuk tiap variasi dimensi

berturut-turut yaitu 21,206 m^3; 28,149 m^3; dan 28,274 m^3. Hasil tersebut memenuhi desain optimasi yang mana volume tiang pancang *existing* yaitu 32,802 m^3.

5.2.7 Perhitungan daya dukung kelompok tiang bor

Berikut merupakan perhitungan untuk mengetahui nilai daya dukung kelompok tiang bor.

1. Tiang bor diameter 0,5 m dengan kedalaman 6 m
   a. Efisiensi kelompok tiang

      Eg $= 1 - \theta \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90mn}$

      Eg $= 1 - \theta \frac{(6-1)3+(3-1)6}{90\times6\times3}$

      Eg = 0,983

   b. Nilai daya dukung kelompok tiang

      Qg $= n \times Qall \times Eg$

      Qg $= 18 \times 55{,}61 \times 0{,}983$

      Qg = 984,23 Ton
2. Tiang bor diameter 0,8 m dengan kedalaman 7 m
   a. Efisiensi kelompok tiang

      Eg $= 1 - \theta \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90mn}$

      Eg $= 1 - \theta \frac{(4-1)2+(2-1)4}{90\times2\times4}$

      Eg = 0,987

   b. Nilai daya dukung kelompok tiang

      Qg $= n \times Qall \times Eg$

      Qg $= 8 \times 126{,}67 \times 0{,}986$

      Qg = 999,28 Ton
3. Tiang bor diameter 1 m dengan kedalaman 6 m
   a. Efisiensi kelompok tiang

      Eg $= 1 - \theta \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90mn}$

      Eg $= 1 - \theta \frac{(3-1)2+(2-1)3}{90\times2\times3}$

      Eg = 0,987

b. Nilai daya dukung kelompok tiang

Qg $= n \times Qall \times Eg$

Qg $= 6 \times 177{,}19 \times 0{,}987$

Qg = 1049,33 Ton

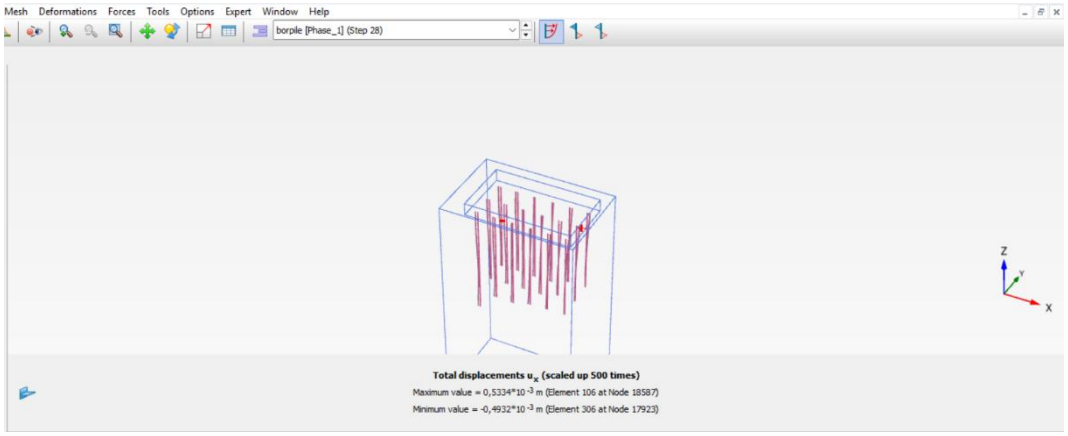
Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, nilai daya dukung kelompok tiang yang dimiliki oleh semua variasi dimensi memiliki nilai lebih dari 956,7 Ton. Sehingga semua desain dapat dikatakan aman dalam menahan beban rencana (P).

5.3 Simulasi Desain Menggunakan *Plaxis 3D*

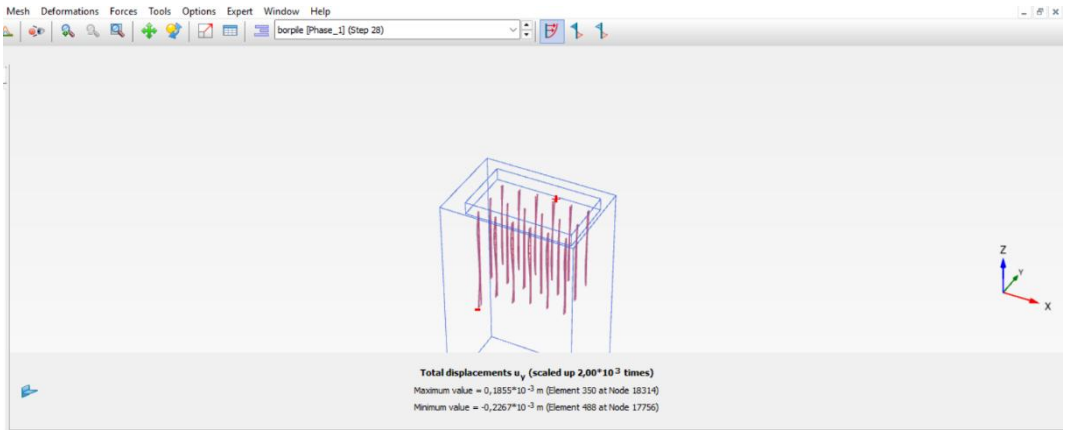
Setelah dilakukan analisis manual selanjutnya dilakukan analisis menggunakan *software* berupa *Plaxis* 3D. penggunaan *Plaxis* 3D bertujuan untuk mengetahui pembebanan pada fondasi baik tiang pancang maupun tiang bor serta mengetahui gaya gaya yang bekerja. Berikut ini merupakan proses dan pembahasan hasil analisa berdasarkan *Plaxis* 3D. Desain yang di masukkan untuk parameter tanah yaitu menggunakan jenis *Mohr Coloumb*

5.3.1 Permodelan tiang pancang dengan *Plaxis* 3D

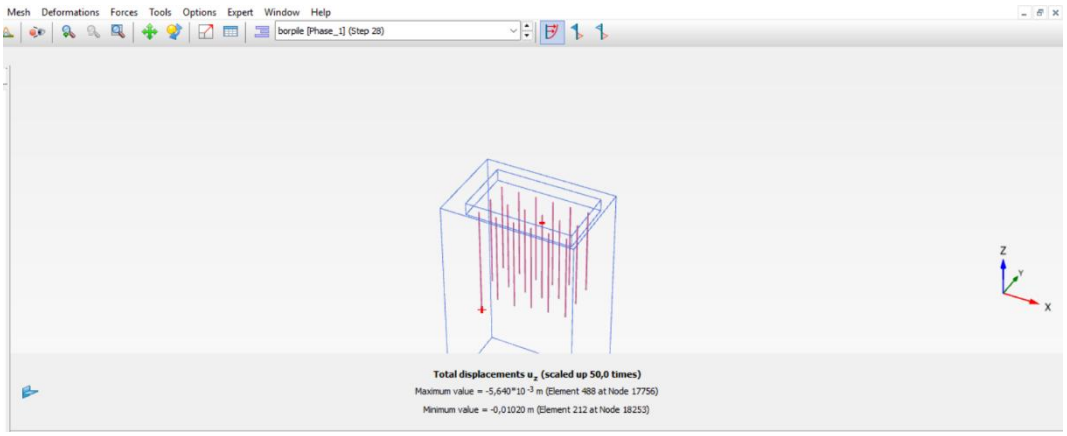
Berdasarkan hasil analisis menggunakan *Plaxis* 3D didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 sampai Gambar 5.6 sebagai berikut.



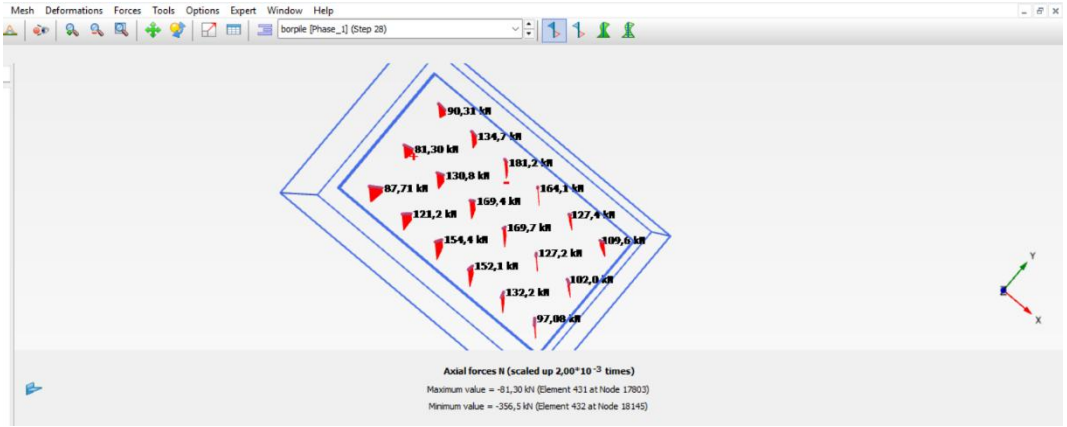
Gambar 5.3 Hasil *Displacement* Arah X Pada Fondasi Tiang Pancang *Existing*



Gambar 5.4 Hasil *Displacement* Arah Y Pada Fondasi Tiang Pancang *Existing*



Gambar 5.5 Hasil *Displacement* Arah Z Pada Fondasi Tiang Pancang *Existing*



Gambar 5.6 Hasil Distribusi Beban Fondasi Tiang Pancang

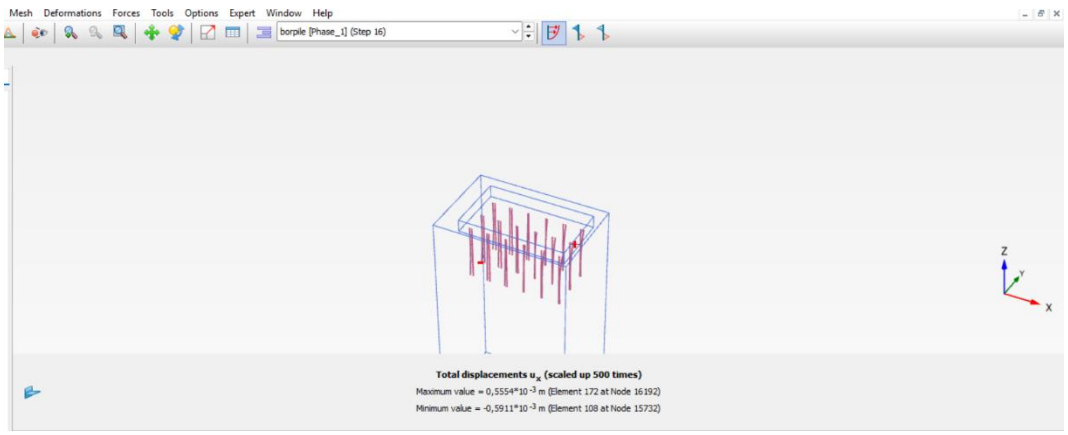
Berdasarkan hasil analisis *Plaxis* 3D didapatkan nilai Pmax sebesar 356,5 kN atau 36.34 Ton dan nilai *displacement* maksimum arah Z sebesar 0,0056 meter. Berdasarkan hasil Pmax tersebut diketahui bahwa nilai Pmax < Qall yang mana nilai Qall tiang pancang sebesar 109,39 Ton sehingga permodelan menunjukan bahwa desain sudah sesuai dengan standar dan mampu menahan beban sebesar 956,7 Ton. Namun selisih antara Pmax dan Pijin dapat dikatakan cukup besar sehingga masih bisa dilakukan optimasi desain.

5.3.2 Permodelan *bored pile* dengan *Plaxis* 3D

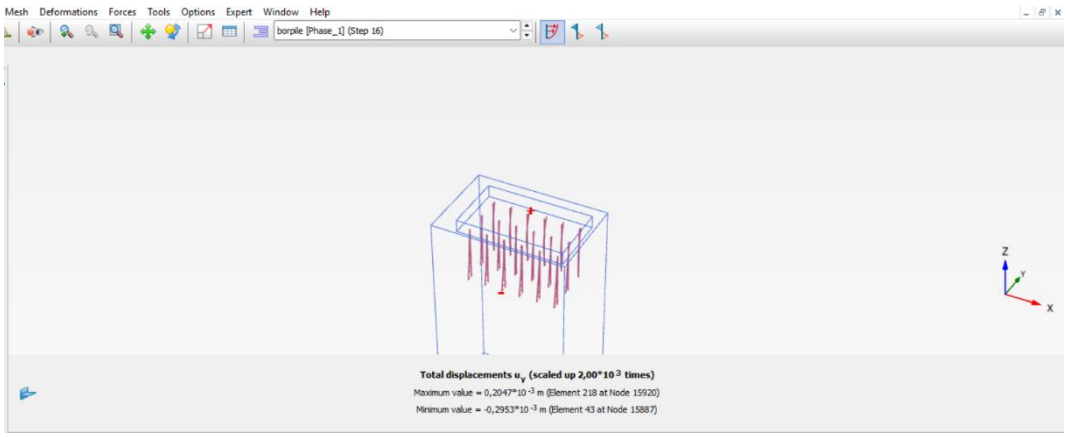
Berdasarkan hasil analisis menggunakan *Plaxis* 3D didapatkan hasil sebagai berikut.

1. *Bored pile* diameter 0,5 m dan kedalaman 6 m

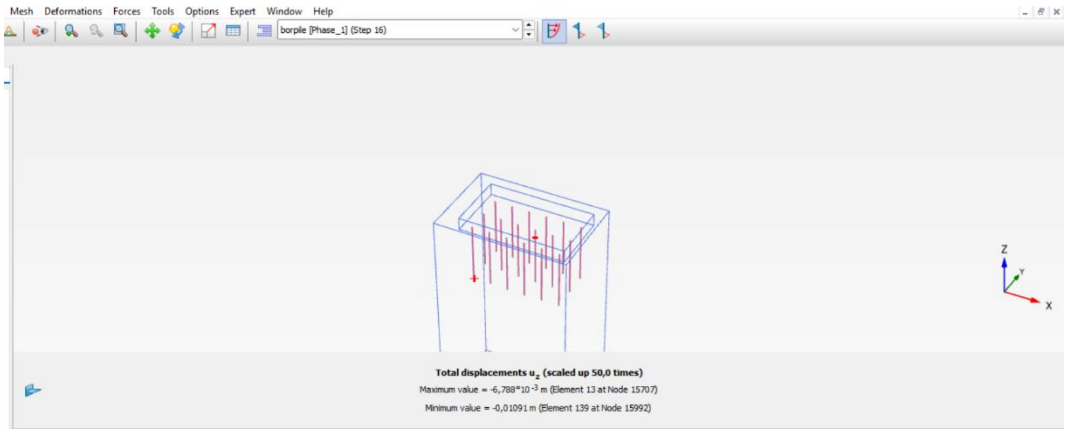
Hasil analisis menggunakan *Plaxis* 3D didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 5.7 sampai Gambar 5.10 sebagai berikut.



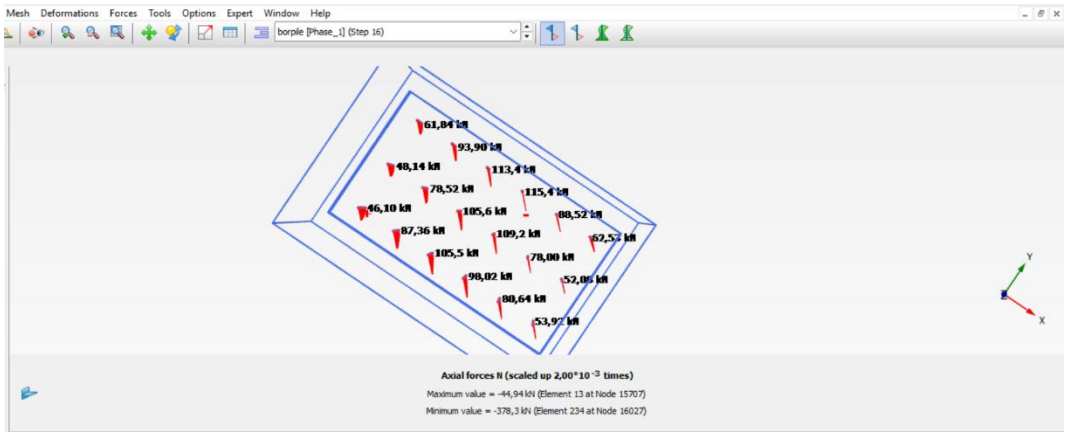
Gambar 5.7 Hasil *Displacement* Arah X Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 1



Gambar 5.8 Hasil *Displacement* Arah Y Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 1



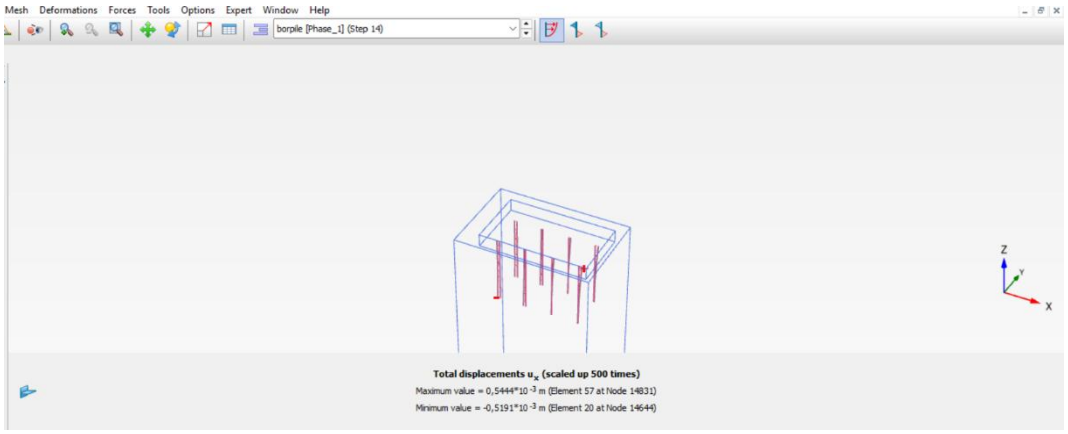
Gambar 5.9 Hasil *Displacement* Arah Z Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 1



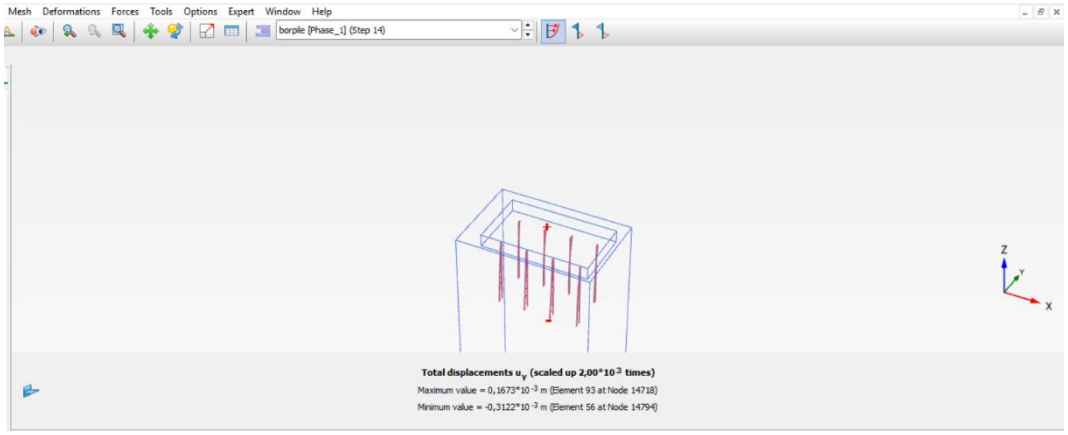
Gambar 5.10 Hasil Distribusi Beban Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 1

2. *Bored pile* diameter 0,8 m dan kedalaman 7 m

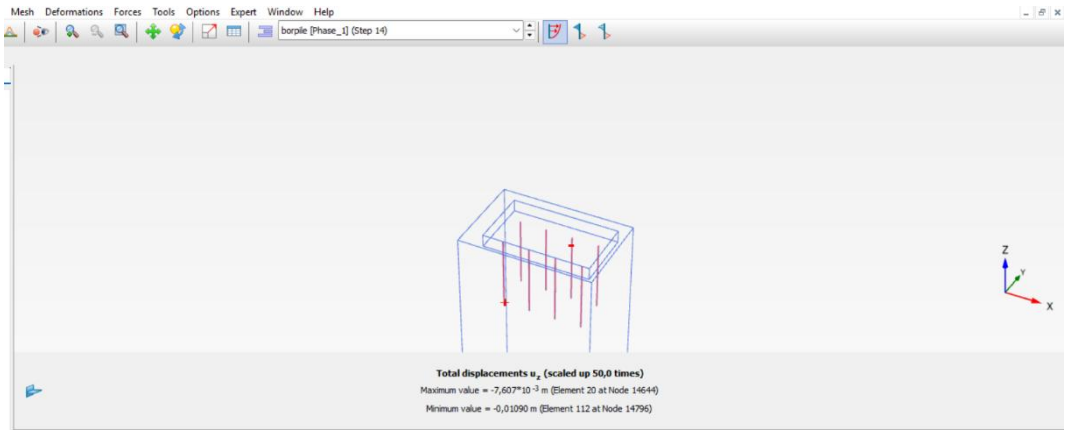
Hasil analisis menggunakan *Plaxis* 3D didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 5.11 sampai Gambar 5.14 sebagai berikut.



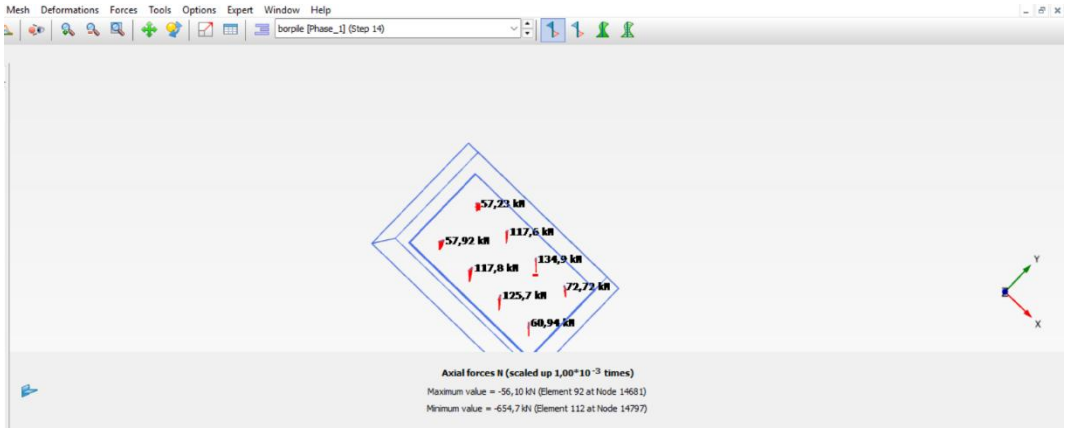
Gambar 5.11 Hasil *Displacement* Arah X Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 2



Gambar 5.12 Hasil *Displacement* Arah Y Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 2



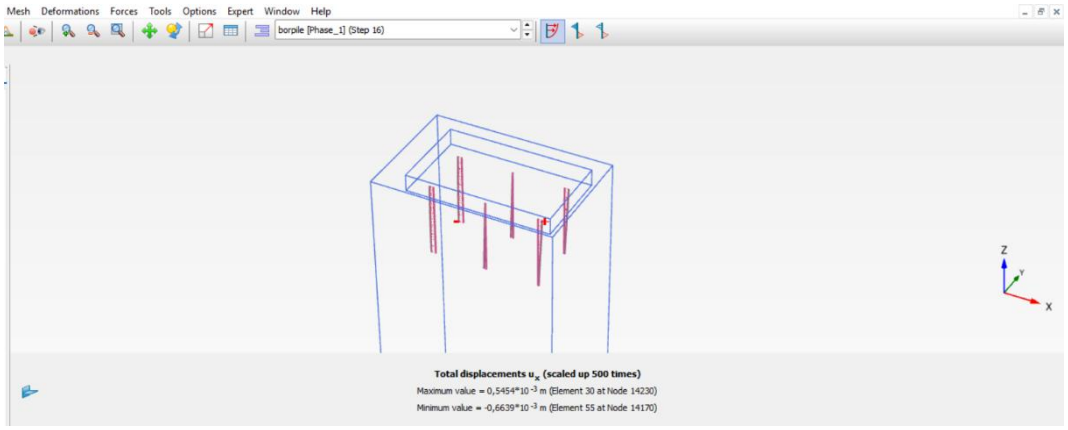
Gambar 5.13 Hasil *Displacement* Arah Z Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 2



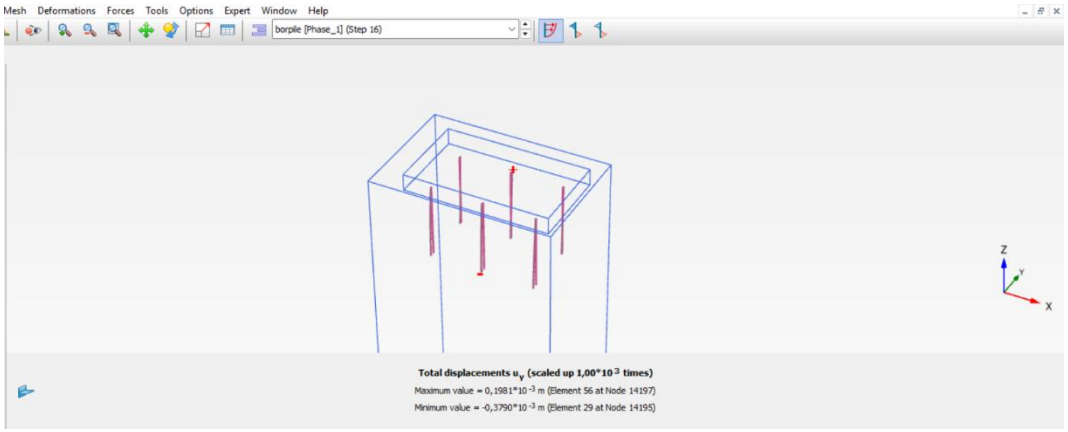
Gambar 5.14 Hasil Distribusi Beban Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 2

3. *Bored pile* diameter 1 m dan kedalaman 8 m

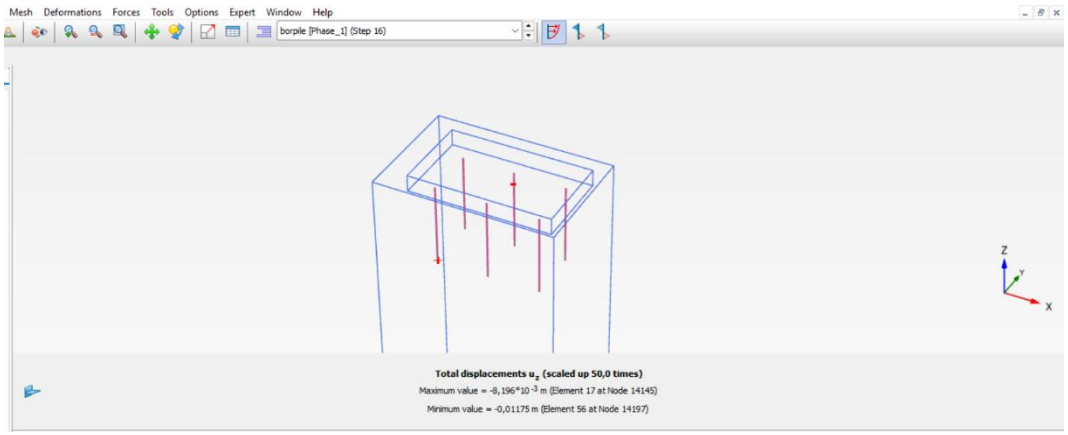
Hasil analisis menggunakan *Plaxis* 3D didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 5.15 sampai Gambar 5.18 sebagai berikut.



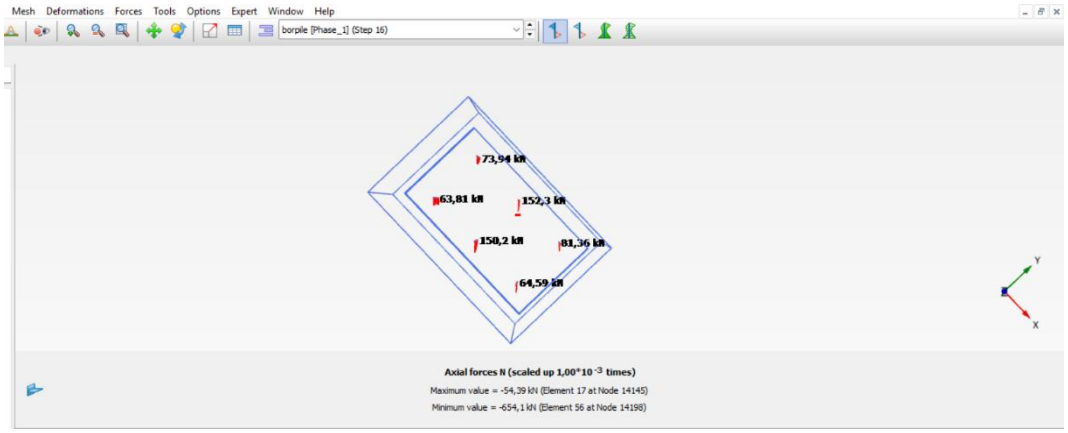
Gambar 5.15 Hasil *Displacement* Arah X Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 3



Gambar 5.16 Hasil *Displacement* Arah Y Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 3



Gambar 5.17 Hasil *Displacement* Arah Z Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 3



Gambar 5.18 Hasil Distribusi Beban Pada Fondasi *Bored Pile* Variasi 3

Berdasarkan hasil analisis *Plaxis* 3D didapatkan beberapa nilai-nilai yang akan dibahas pada rekapitulasi pada berikut

5.4 Rekapitulasi Perbandingan Desain Tiang Pancang Dengan *Bored pile*

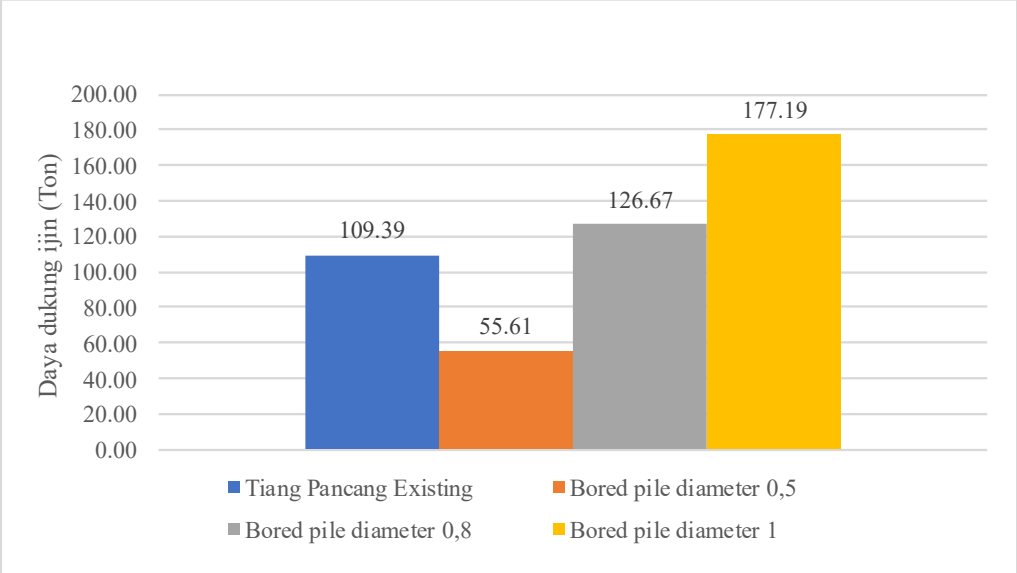
Setelah dilakukannya analisi baik secara manual maupun menggunakan *software* didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5.9 Rekap Perbandingan Desain Tiang Pancang Dengan *Bored pile*

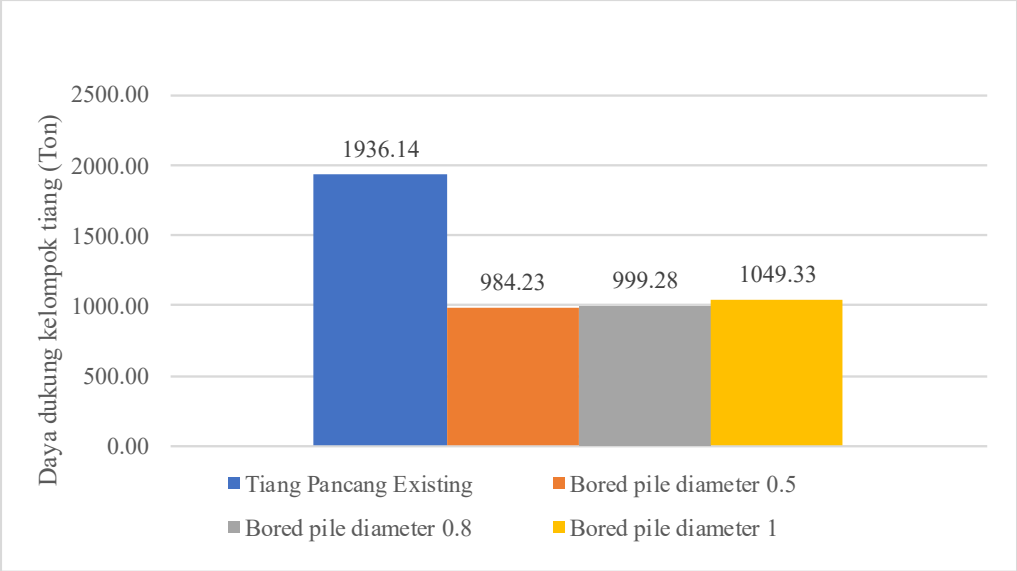
Keterangan	Desain Fondasi			
	Tiang pancang	*Bored pile*		
Diameter tiang	0,5 m	0,5 m	0,8 m	1 m
Jumlah tiang	18	18	8	6
Kedalaman	8-11 m	6 m	7 m	6 m
Beban (P)	956,7 Ton	956,7 Ton	956,7 Ton	956,7 Ton
Volume	32,802 m^3	21,206 m^3	28,149 m^3	28,274 m^3
Daya dukung ultimit analisis	273,47 Ton	139,02 Ton	316,67 Ton	442,96 Ton
Daya dukung ijin tiang analisis (Q all)	109,39 Ton	55,61 Ton	126,67 Ton	177,19 Ton
Daya dukung kelompok tiang	1936,14 Ton	984,23 Ton	999,28 Ton	1049,33 Ton

Lanjutan Tabel 5.9 Rekap Perbandingan Desain Tiang Pancang Dengan Bored pile

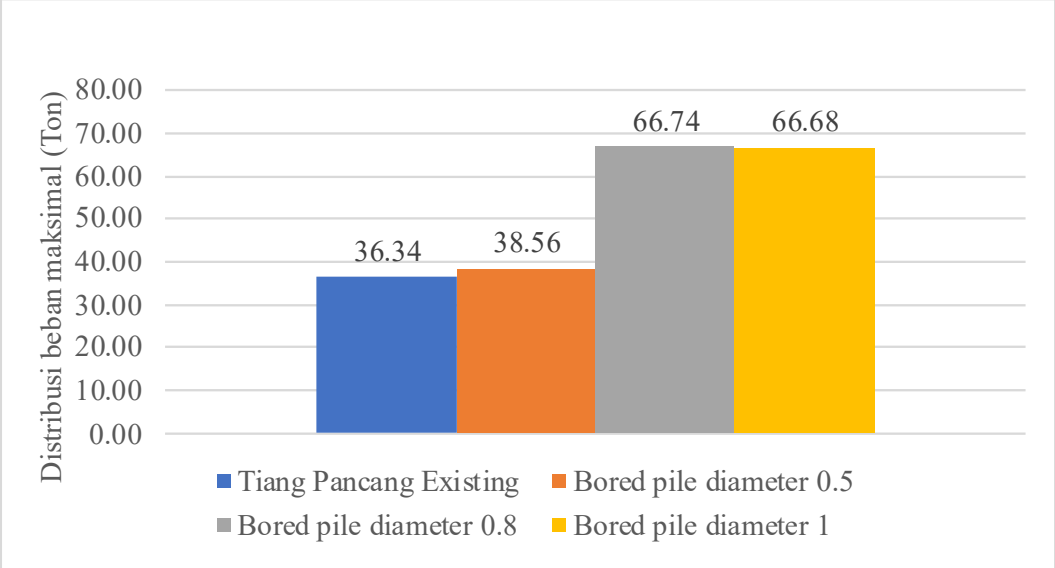
Keterangan	Desain Fondasi			
	Tiang pancang	*Bored pile*		
Distribusi beban per-tiang maksimal *Software Plaxis* 3D (P maks)	36,34 Ton	38,56 Ton	66,74 Ton	66,68 Ton
Displacement tiang maksimal arah X	0,00053 m	0,00059 m	0,00054 m	0,00066 m
Displacement tiang maksimal arah Y	0,00023 m	0,00029 m	0,00031 m	0,00038 m
Displacement tiang maksimal arah Z	0,0056 m	0,0068 m	0,0076 m	0,0082 m
Ketahanan fondasi terhadap beban berdasarkan *Plaxis* 3D	Aman menahan beban (P)	Aman menahan beban (P)	Aman menahan beban (P)	Aman menahan beban (P)



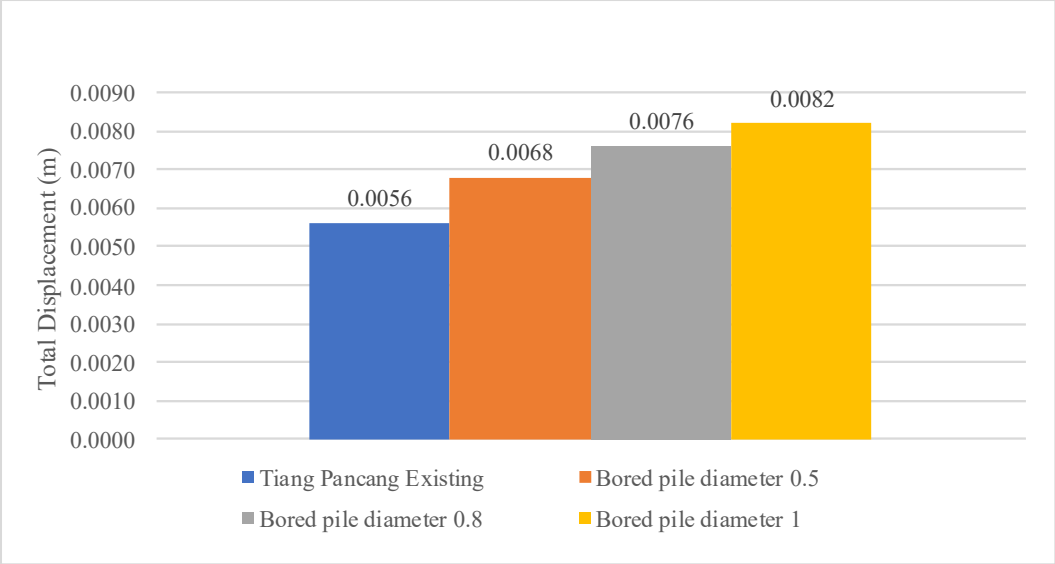
Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Nilai Daya Dukung Ijin Tiang



Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Nilai Daya Dukung Kelompok Tiang



Gambar 5.21 Perbandingan Nilai Distribusi Beban Maksimal Tiang Berdasarkan *Plaxis* 3D



Gambar 5.22 Perbandingan Nilai *Displacement* Tiang Berdasarkan *Plaxis* 3D

Setelah didapatkan hasil baik analisis manual maupun analisis *software* dapat diketahui bahwa desain awal fondasi yang menggunakan tiang pancang dapat dikatakan sangat aman dalam menahan beban sebesar 956.7 Ton. Namun. desain desain tiang pancang dapat dilakukan optimasi desain agar lebih efisien. Optimasi desain yang dilakukan yaitu menggunakan *bored pile* dengan beberapa macam variasi yaitu diameter tiang, jumlah tiang, dan kedalaman tiang. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan didapatkan hasil volume untuk variasi dimensi 0,5 m; 0,8 m; dan 1 m berturut-turut 21,206 m^3; 28,149 m^3; dan 28,274 m^3. Untuk daya dukung kelompok tiang yaitu didapatkan sebesar 984,23 Ton; 999,28 Ton; 1049,33 Ton. Untuk distribusi beban maksimal per tiang hasil *Plaxis* 3D didapatkan nilai 38,56 Ton (dari Qall 55,61 Ton); 66,74 Ton (dari Qall 126,67 Ton); dan 66,68 Ton (dari Qall 192,27 Ton). Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa semua desain *bored pile* memiliki nilai daya dukung kelompok tiang yang mampu menahan beban rencana (P) sebesar 956,7 Ton.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis baik analisis manual maupun *Plaxis* 3D pada tiang pancang maupun tiang bor dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Fondasi *existing* terdiri dari 18 tiang pancang diameter 0,5 m dengan panjang tertanam aktual 8–11 m (tidak mencapai kedalaman rencana 12 m akibat tumbukan lapisan tanah keras). Hasil perhitungan metode NAVFAC berdasarkan data sondir dan N-SPT menghasilkan daya dukung ultimit rata-rata 273,47 Ton per tiang dan daya dukung ijin 109,39 Ton per tiang. Dengan efisiensi kelompok (Eg) sebesar 0,983, diperoleh daya dukung kelompok (Qg) sebesar 1936,14 Ton. Hasil analisis manual ini terverifikasi terhadap PDA test sebesar 285 Ton, dengan selisih hanya 11,53 Ton, sehingga perhitungan dinyatakan valid.
2. Terhadap beban rencana (P) sebesar 956,7 Ton, kelompok tiang *existing* memberikan Qg = 1936,14 Ton, atau rasio keamanan . Beban aktual yang dipikul tiap tiang hanya 53,13 Ton terhadap daya dukung ijin 109,39 Ton per tiang, dan pemodelan *Plaxis* 3D memberikan distriusi beban maksimal (Pmaks) 36,34 Ton per tiang dengan displacement maksimum 0,0056 m. Dengan demikian, fondasi tiang pancang *existing* mampu menahanan beban rencana meskipun kedalaman tiang tertanam tidak sesuai desain awal, namun selisih yang sangat besar antara kapasitas dan beban menunjukkan adanya *over-design* sehingga masih terbuka peluang optimasi.

3. Alternatif *bored pile* untuk variasi dimensi dengan diameter 0,5 m; 0,8 m; dan 1 m berturut-turut sebesar 984,23 Ton; 999,28 Ton; 1049,33 Ton. Hasil tersebut menunjukan variasi dimensi *bored pile* mampu menahan beban rencana (P) sebesar 956,7 Ton
4. Terhadap beban rencana yang sama sebesar 956,7 Ton, fondasi tiang pancang *existing* menghasilkan daya dukung kelompok terbesar yaitu 1936,14 Ton dengan 18 tiang dan volume beton 32,802 m^3 dan distribusi beban maksimal per tiang hasil *Plaxis* 3D 38,11 Ton dari kapasitas ijin 109,39 Ton, namun kapasitasnya hampir dua kali kebutuhan sehingga tergolong berlebih. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan didapatkan hasil volume untuk variasi dimensi 0,5 m; 0,8 m; dan 1 m berturut-turut 21,206 m^3; 28,149 m^3; dan 28,274 m^3. Untuk daya dukung kelompok tiang yaitu didapatkan sebesar 984,23 Ton; 999,28 Ton; 1049,33 Ton. Untuk distribusi beban maksimal per tiang hasil *Plaxis* 3D didapatkan nilai 38,56 Ton (dari Qall 55,61 Ton); 66,74 Ton (dari Qall 126,67 Ton); dan 66,68 Ton (dari Qall 192,27 Ton). Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa semua desain *bored pile* memiliki nilai daya dukung kelompok tiang yang mampu menahan beban rencana (P) sebesar 956,7 Ton.
5. Dari tiga pilihan desain yang dihitung, *bored pile* diameter 0,5 m dengan kedalaman 6 m sebanyak 18 tiang dipilih sebagai desain yang digunakan salah satunya yaitu karena pemakaian betonnya paling sedikit, yaitu 21,206 m^3, lebih hemat dibanding tiang pancang existing (32,802 m^3), diameter 0,8 m (28,149 m^3), maupun diameter 1 m (28,274 m^3). Selain itu dengan menggunakan jumlah tiang serta diameter yang digunakan sama dengan *existing* menyebabkan tidak perlunya melakukan penyesuaian yang terlalu rumit terhadap *pile cap*. Dibandingkan variasi dimensi dengan diameter 0,8 m dan 1 m, variasi dimensi dengan diameter 0,5 dapat dikatakan paling ideal karena selisih antara beban rencana (P) sebesar 956,7 Ton hanya sekitar 27,53 Ton, jika dibandingkan dengan daya dukung kelompok variasi dimensi yang lain dapat dikatakan lebih ideal.

6.2 Saran

Berdasarkan pelaksanaan penelitian yang telah penulis jalankan, terdapat beberapa hal yang dapat disarankan guna meningkatkan keoptimalan hasil penelitian dan analisis, sebagaimana diuraikan berikut ini:

1. Dapat dilakukan analisis menggunakan *software* geoteknik lainnya sebagai output perbandingan seperti All pile dan Group.
2. Proses optimasi terhadap hasil analisis ini masih berpeluang untuk dikembangkan dengan mempertimbangkan variabel bebas yang lebih beragam, seperti mutu beton atau spesifikasi baja tulangan, di samping variabel diameter dan kedalaman yang telah digunakan sebelumnya.

Daftar Pustaka

Aashto, L. (1998). *Bridge design specifications*. American association of state highway and transportation officials ….

Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara uji penetrasi lapangan dengan. *Badan Standardisasi Nasional.*, (SNI 4153:2008 Cara uji penetrasi lapangan dengan SPT.).

Biarez, J., & Favre, J. L. (1975). Parameters filing and statistical analysis of data in soil mechanics. *Proceedings of the 2nd International Conference On Application of Statistics and Probabilities in Soil Mechanics. Aachen*, *2*, 249–264.

Bowles, J. E. (1997). *Foundation analysis and design 5th edition*. Singapore: The McGraw-Hill Companies, Inc.

Das, B. M., & Sivakugan, N. (2018). *Principles of foundation engineering*. Cengage learning.

Faturrachman Ananto. (2023). *Analisis Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Gedung Bertingkat (Studi Kasus:Jogja Apartel, Kecamatan Umbulharjo, KotaYogyakarta)*.

Hardiyatmo, H. C. (2014). *Analisis dan perancangan fondasi I*.

Hardiyatmo, H. C. (2017). Mekanika Tanah I Gajah Mada University Press, Yogyakarta. *Sistem Klasifikasi Tanah Unified Soil Classification System (USCS), Edisi Ketujuh*.

Henniche, A., & Belkacemi, S. (2017). Numerical Simulation to Select Proper Strain Rates during CRS Consolidation Test. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. https://doi.org/10.3311/PPci.9650

Jihan Khairunnisa. (2025). *ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI BORED PILE BERDASARKAN DATA SPT PADA PROYEK PEMBANGUNAN RSUD KOTA YOGYAKARTA (ANALYSIS OF BORED PILE FOUNDATION BEARING CAPABILITIES BASED ON SPT DATA ON THE YOGYAKARTA CITY REGIONAL HOSPITAL CONSTRUCTION PROJECT)*.

Muhammad Rijaluddin Hafizi. (2023). *Analisis kapasitas dukung dan penurunan fondasi tiang pancang dengan variasi diameter (Studi kasus: Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Terpadu (GKT) Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga)*.

Niazi, F., & Mayne, P. (2015). Operational Soil Stiffness from Back-Analysis of Pile Load Tests within Elastic Continuum Framework. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, *46*, 1–19.

Nur Rohman, W., Irfan Marasabessy, M., Fadlan Alhamid, M., Zakki Rizal Hidayat, M., & Faried Hanafi, N. (2025). *Evaluasi perilaku pilecap akibat perbedaan daya dukung tiang dalam satu tipe pondasi dengan Compatible*

Stress Field Method (studi kasus pondasi square pile Gedung X, Bangka Belitung).

Pamungkas, A., & Harianti, E. (2013). Desain pondasi tahan gempa. *Yogyakarta: Andi Offset*.

Sardjono, H. S. (1988). *Pondasi Tiang Pancang: Untuk Universitas dan Umum: Jilid 1*. Sinar Wijaya. https://lib.ui.ac.id/detail?id=20154198&lokasi=lokal

Siti Nur Aulia. (2024). *ANALISIS PEMBEBANAN DAN PERBANDINGAN PONDASI TIANG BOR DENGAN TIANG PANCANG PADA JEMBATAN SURAH STA 12+195 (LOADING ANALYSIS AND COMPARISON OF BORE PILE FOUNDATIONS WITH PILES ON SURAH BRIDGE STA 12+195) (Studi Kasus Proyek Tol Solo-Yogya-NYIA Kulon Progo Seksi 1 Paket 1.1 Solo-Klaten)*.

Tomlinson, M., & Woodward, J. (2007). *Pile design and construction practice*. CRC press.

Ziaul Haq Alviani. (2024). *Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang dengan Variasi Diameter pada Bangunan Rumah Susun*.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Penjadwalan Penyusunan Tugas Akhir

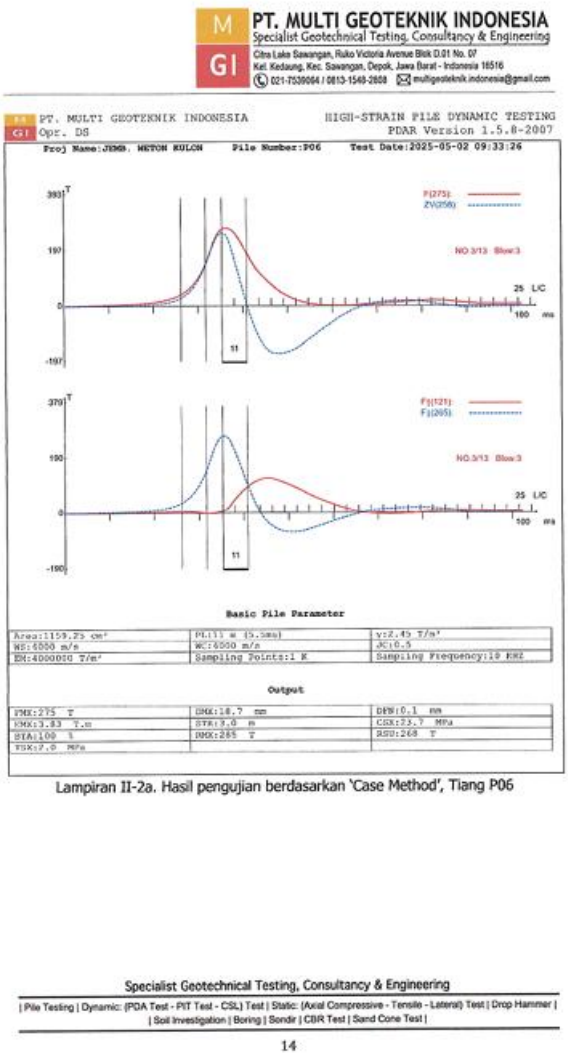
No	Uraian Kegiatan	Jam Kerja	Bulan Ke - 1				Bulan Ke - 2				Bulan Ke - 3				Bulan Ke - 4				Bulan Ke - 5				Bulan Ke - 6			
			M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
A	**PERSIAPAN**																									
1	Pengajuan Judul & Persetujuan Dosen	6	3	3																						
2	Studi Pustaka	7		2	5																					
3	Penyusunan Proposal TA	20			2	6	3	3	2	2	2															
B	**PENGUMPULAN DATA**																									
1	Pengumpulan Data DED Jembatan Wetonkulon	4			2	2																				
2	Pengumpulan Data Penyelidikan Tanah	4				2	2																			
3	Pengumpulan Data PDA Test	4					2	2																		
4	Pengumpulan Data Pembebanan dan Momen Fondasi	4						2	2																	
5	Pengumpulan Data Monitoring Tiang Pancang *Existing*	4							2	2																
C	**ANALISIS DATA**																									
1	Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Rencana	10									4	6														
2	Analisis Daya Dukung Tiang Pancang *Existing*	10										4	6													
3	*Back Analysis* Berdasarkan Hasil Tiang Rencana	10											3	4	3											
4	Optimasi Desain Fondasi Dengan Tiang Bor	6												3	3											
5	Analisis Daya Dukung *Bored Pile*	10													2	6	2									
6	Simulasi Desain Fondasi Menggunakan Plaxis 3D	30															10	10	10							
D	**PENYELESAIAN**																									
1	Pembahasan dan Hasil	25																	6	10	4	5				
2	Penyusunna Laporan Akhir	30																			2	2	8	8	6	4
Total		**184**																								
Rencana Kerja (Jam)		**Mingguan**	3	5	9	10	7	7	6	4	6	10	9	7	8	6	12	10	16	10	6	7	8	8	6	4
		Kumulatif	3	8	17	27	34	41	47	51	57	67	76	83	91	97	109	119	135	145	151	158	166	174	180	184

Gambar L-1.1 Jadwal Penyusunan Tugas Akhir

LAMPIRAN 2 Hasil PDA Test

Tabel 3. Data dan Hasil Pengujian Dinamis Tiang		
Data Tiang & *Hammer*		
Area	**Sisi Barat**	**Sisi Timur**
Nomor Tiang	**P06**	**P06**
Tanggal Uji	07/05/25	02/05/25
Jenis Tiang	Spun	Spun
Diameter Tiang [mm]	500	500
Tebal Tiang [mm]	90	90
Total Panjang Tiang [m]	12,0	12,0
Panjang Tiang dibawah Sensor [m]	11,0	11,0
Panjang Tiang Tertanam [m]	10,0	10,7
Jenis Hammer	Diesel hammer	Diesel hammer
Berat Hammer [ton]	2,5	2,5
Daya Dukung Ultimate [ton]	108,0	110,0
Pengukuran Data *(Case Method)*		
RMX – Pile Capacity [ton]	**244**	**285**
FMX – Max. Compression Force [ton]	209	275
EMX – Max. Transferred Energy [ton.m]	2,13	3,83
CSX – Max. Compression Stress [Mpa]	18,1	23,7
TSX – Max. Tension Stress [Mpa]	1,5	2,0
DMX – Max. Displacement [mm]	14,0	18,7
DFN – Final Displacement [mm]	0,1	0,1
BTA – Pile Integrity Value [%]	100	100
Hasil *(CAPWAP)*		
Daya Dukung Tiang (Ru) [ton]	**244,0**	**285,0**
Lengketan (Rs) [ton]	94,0	100,0
Tahanan Ujung (Rb) [ton]	150,0	185,0

Gambar L-2.1 Data dan Hasil Pengujian Dinamis Tiang



PT. MULTI GEOTEKNIK INDONESIA
Specialist Geotechnical Testing, Consultancy & Engineering
Citra Laka Sawangan, Ruko Victoria Avenue Blok D.01 No. 07
Kel. Kedaung, Kec. Sawangan, Depok, Jawa Barat - Indonesia 16516
021-7539064 / 0813-1540-2888 multigeoteknik.indonesia@gmail.com

PT. MULTI GEOTEKNIK INDONESIA
Opr. DS

HIGH-STRAIN PILE DYNAMIC TESTING
PDAR Version 1.5.8-2007

Proj Name:JEMB. METON KULON Pile Number:P06 Test Date:2025-05-02 09:33:26

Basic Pile Parameter

Area:1159.25 cm²	PL:11 m (5.5ms)	γ:2.45 T/m³
WS:5000 m/s	WC:4000 m/s	JC:0.5
EM:40000DO T/m²	Sampling Points:1 K	Sampling Frequency:10 KHZ

Output

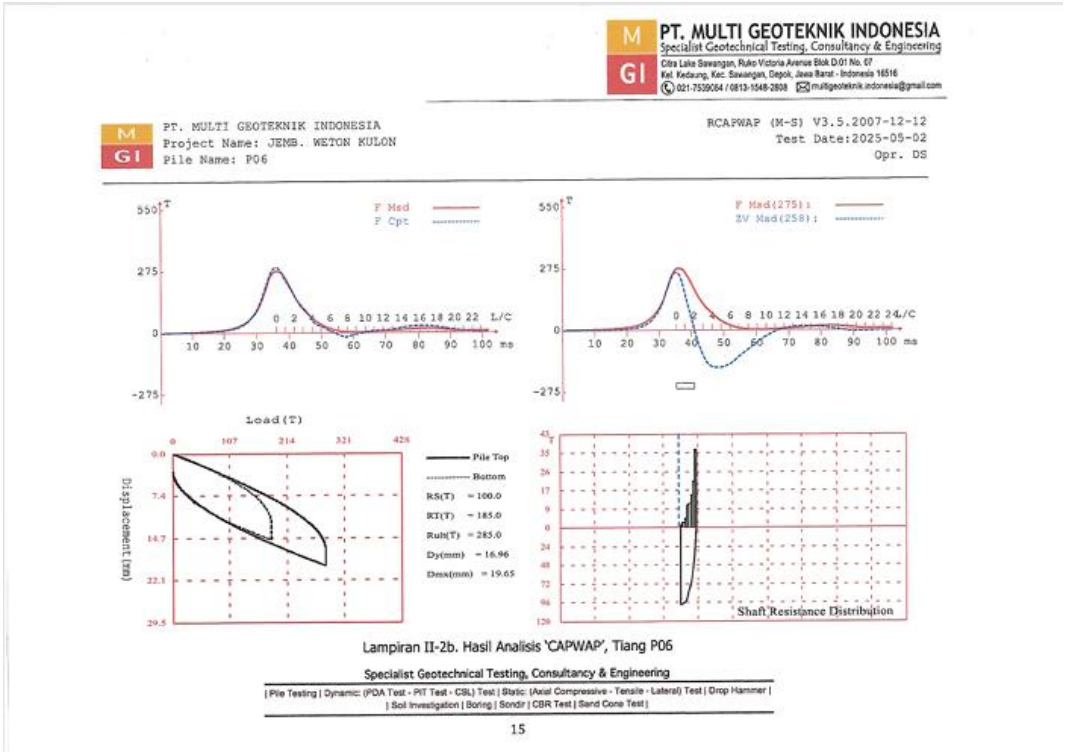
FMX:275 T	DMX:18.7 mm	DFN:0.1 mm
VMX:3.83 T.m	STK:9.0 m	CSX:23.7 MPa
BTA:100 %	NMX:285 T	RSU:268 T
TSX:7.0 MPa		

Lampiran II-2a. Hasil pengujian berdasarkan 'Case Method', Tiang P06

Specialist Geotechnical Testing, Consultancy & Engineering
| Pile Testing | Dynamic: (PDA Test - PIT Test - CSL) Test | Static: (Axial Compressive - Tensile - Lateral) Test | Drop Hammer | | Soil Investigation | Boring | Sondir | CBR Test | Sand Cone Test |

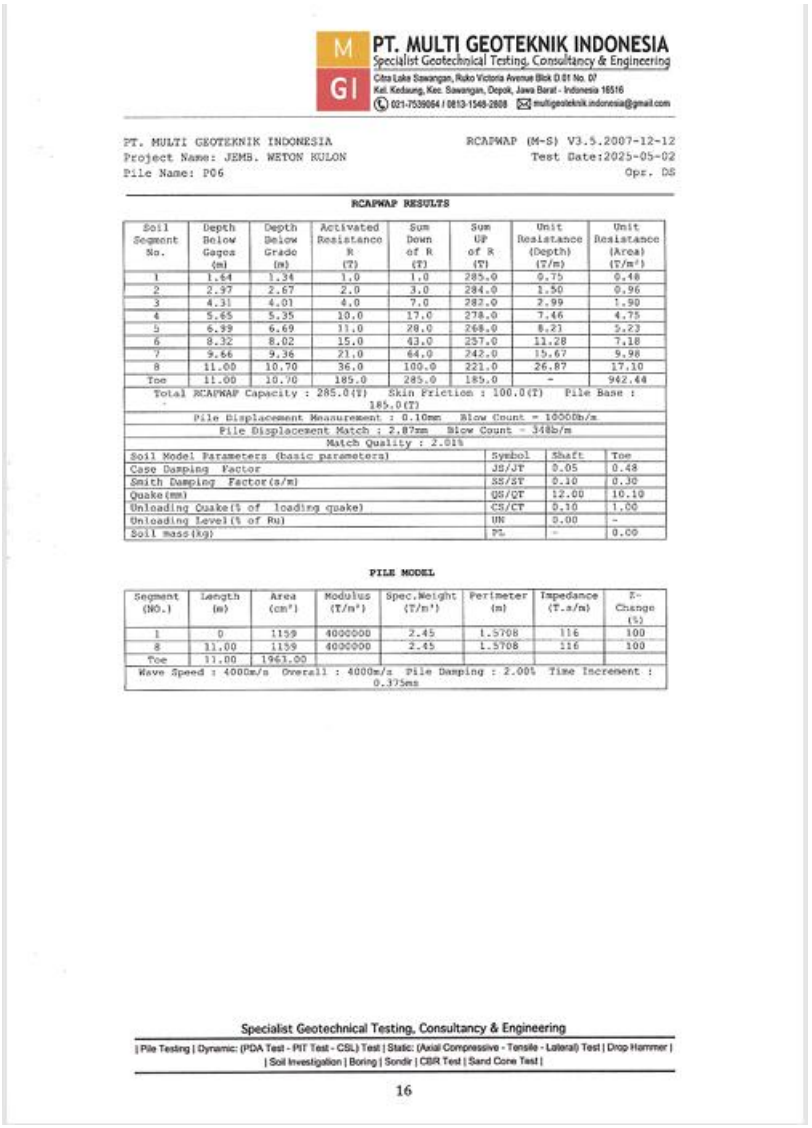
14

Gambar L-2.2 Hasil High-Strain Pile Dynamic Testing



Lampiran II-2b. Hasil Analisis 'CAPWAP', Tiang P06

Gambar L-2.3 Hasil CAPWAP



PT. MULTI GEOTEKNIK INDONESIA
Specialist Geotechnical Testing, Consultancy & Engineering
Citra Lake Sawangan, Ruko Victoria Avenue Blok D 01 No. 07
Kel. Kedaung, Kec. Sawangan, Depok, Jawa Barat - Indonesia 16516
021-7539064 / 0813-1548-2808 multigeoteknik.indonesia@gmail.com

PT. MULTI GEOTEKNIK INDONESIA
Project Name: JEMB. WETON KULON
Pile Name: P06

RCAPWAP (M-S) V3.5.2007-12-12
Test Date:2025-05-02
Opr. DS

RCAPWAP RESULTS

Soil Segment No.	Depth Below Gages (m)	Depth Below Grade (m)	Activated Resistance R (T)	Sum Down of R (T)	Sum UP of R (T)	Unit Resistance (Depth) (T/m)	Unit Resistance (Area) (T/m²)
1	1.64	1.34	1.0	1.0	285.0	0.75	0.48
2	2.97	2.67	2.0	3.0	284.0	1.50	0.96
3	4.31	4.01	4.0	7.0	282.0	2.99	1.90
4	5.65	5.35	10.0	17.0	278.0	7.46	4.75
5	6.99	6.69	11.0	28.0	268.0	8.21	5.23
6	8.32	8.02	15.0	43.0	257.0	11.28	7.18
7	9.66	9.36	21.0	64.0	242.0	15.67	9.98
8	11.00	10.70	36.0	100.0	221.0	26.87	17.10
Toe	11.00	10.70	185.0	285.0	185.0	-	962.44

Total RCAPWAP Capacity : 285.0(T) Skin Friction : 100.0(T) Pile Base : 185.0(T)
Pile Displacement Measurement : 0.10mm Blow Count = 10000b/m
Pile Displacement Match : 2.87mm Blow Count = 348b/m
Match Quality : 2.81%

Soil Model Parameters (basic parameters)	Symbol	Shaft	Toe
Case Damping Factor	JS/JT	0.05	0.48
Smith Damping Factor(s/m)	SS/ST	0.10	0.30
Quake(mm)	QS/QT	12.00	10.10
Unloading Quake(% of loading quake)	CS/CT	0.10	1.00
Unloading Level(% of Ru)	UN	0.00	-
Soil mass(kg)	PL	-	0.00

PILE MODEL

Segment (NO.)	Length (m)	Area (cm²)	Modulus (T/m²)	Spec.Weight (T/m³)	Perimeter (m)	Impedance (T.s/m)	E-Change (%)
1	0	1159	4000000	2.45	1.5708	116	100
8	11.00	1159	4000000	2.45	1.5708	116	100
Toe	11.00	1961.00					

Wave Speed : 4000m/s Overall : 4000m/s Pile Damping : 2.00% Time Increment : 0.375ms

Specialist Geotechnical Testing, Consultancy & Engineering
| Pile Testing | Dynamic: (PDA Test - PIT Test - CSL) Test | Static: (Axial Compressive - Tensile - Lateral) Test | Drop Hammer | | Soil Investigation | Boring | Sondir | CBR Test | Sand Cone Test |

16

Gambar L-2.4 RCAPWAP *Result*

LAMPIRAN 3 Pengujian Tanah



LEMBAGA PENGEMBANGAN TEKNIK (LPT)
FAKULTAS TEKNIK UNWIKU PURWOKERTO
Jalan Raya Beji Karangsalam Purwokerto Telp. (0281) 6439729
email : lptunwiku @yahoo.com

HASIL PENGUJIAN TANAH
NO: 005/LPT.SPT/UWK/IV/2025

A. Ruang Lingkup Pengujian

Pemohon	: PT. KARYA ADI KENCANA
Alamat	:
Jenis Pengujian	: Standar Penetration Test (SPT)
Tujuan Pengujian	: Untuk menentukan kekuatan tanah dengan menentukan nilai N yang merupakan jumlah pukulan per kaki (blow per foot) berat penumbuk 63,5 kg
Tanggal Pengujian	: 16 -17 April 2025
Jumlah titik uji	: 2 titik uji
Pekerjaan/lokasi	: Rekonstruksi Jembatan Weton Kulon Desa Weton Kulon Kab. Kebumen

B. Hasil Pengujian

Prinsip kerja Standar Penetration Test , lokasi di siapkan dulu lalu di bor kedalaman yang di inginkan kemudian di uji dengan memasukan split barrel kedalam lobang kemudian di pasang penumbuk yang menekan split barrel hingga kedalam tanah , pada kedalaman 15 cm pertama (N-1) 15 cm kedua (N-2) dan 15 cm N-3) Nilai N-SPT kekerasan tanah)merupakan N-2 dan N-3.

C. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan :

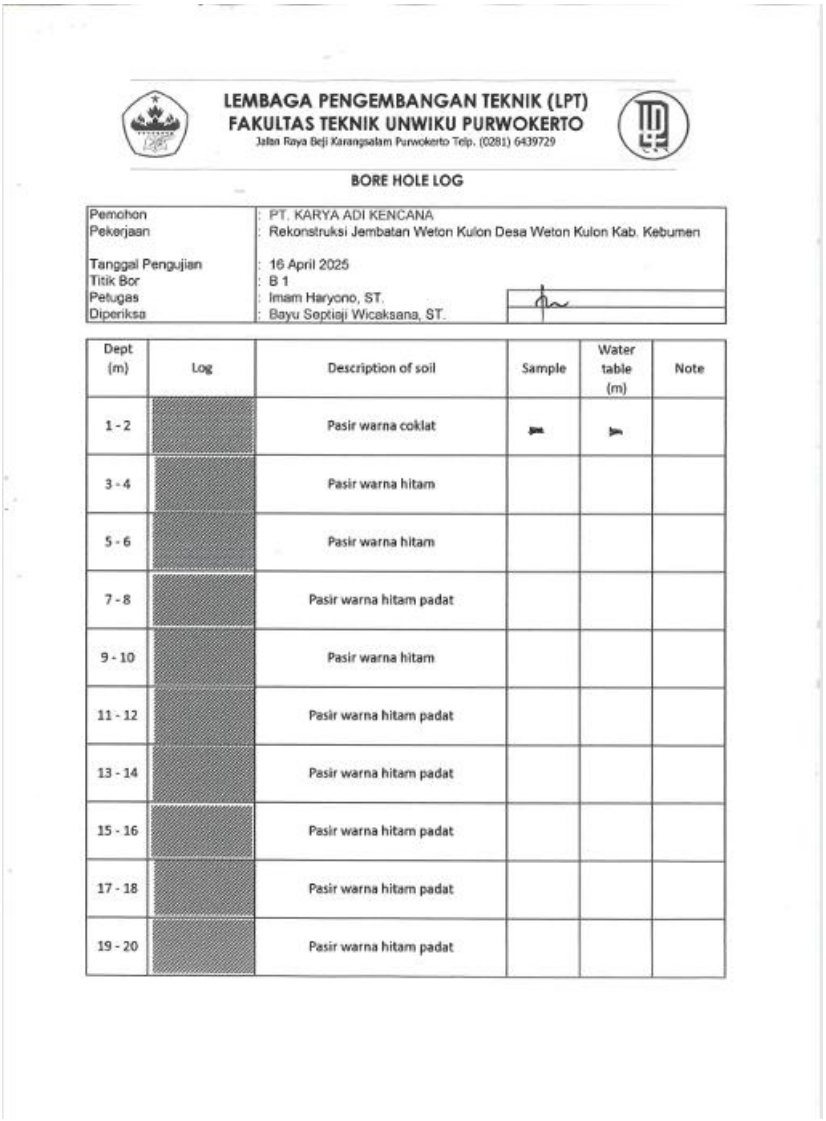
Untuk Lokasi Bor 1

Kedalaman 1 meter s/d 2 meter jenis tanahnya Pasir warna coklat
Nilai SPT (N-1) = , (N-2) = , (N-3) = ,
Kedalaman 3 meter s/d 4 meter jenis tanahnya Pasir warna hitam
Nilai SPT (N-1) = 12, (N-2) = 26, (N-3) = 34,
Kedalaman 5 meter s/d 6 meter jenis tanahnya Pasir warna hitam
Nilai SPT (N-1) = 28, (N-2) = 33, (N-3) = 52,
Kedalaman 7 meter s/d 8 meter jenis tanahnya Pasir warna hitam padat
Nilai SPT (N-1) = 33, (N-2) = 48, (N-3) = 60,
Kedalaman 9 meter s/d 10 meter jenis tanahnya Pasir warna hitam
Nilai SPT (N-1) = 50, (N-2) = 60,
Kedalaman 11 meter s/d 12 meter jenis tanahnya Pasir warna hitam padat
Nilai SPT (N-1) = 50, (N-2) = 60,
Kedalaman 13 meter s/d 14 meter jenis tanahnya Pasir warna hitam padat
Nilai SPT (N-1) = 50, (N-2) = 60,
Kedalaman 15 meter s/d 16 meter jenis tanahnya Pasir warna hitam padat
Nilai SPT (N-1) = 50, (N-2) = 60,
Kedalaman 17 meter s/d 18 meter jenis tanahnya Pasir warna hitam padat
Nilai SPT (N-1) = 50, (N-2) = 60,
Kedalaman 19 meter s/d 20 meter jenis tanahnya Pasir warna hitam padat
Nilai SPT (N-1) = 50, (N-2) = 60,

Purwokerto, 21 April 2025
Ketua Lembaga Pengembangan Teknik (LPT),
Fakultas Teknik Unwiku

Eddy Purwadhardjo, ST.,MT.
NIS 6100743042

Gambar L-3.1 Hasil Pengujian Tanah



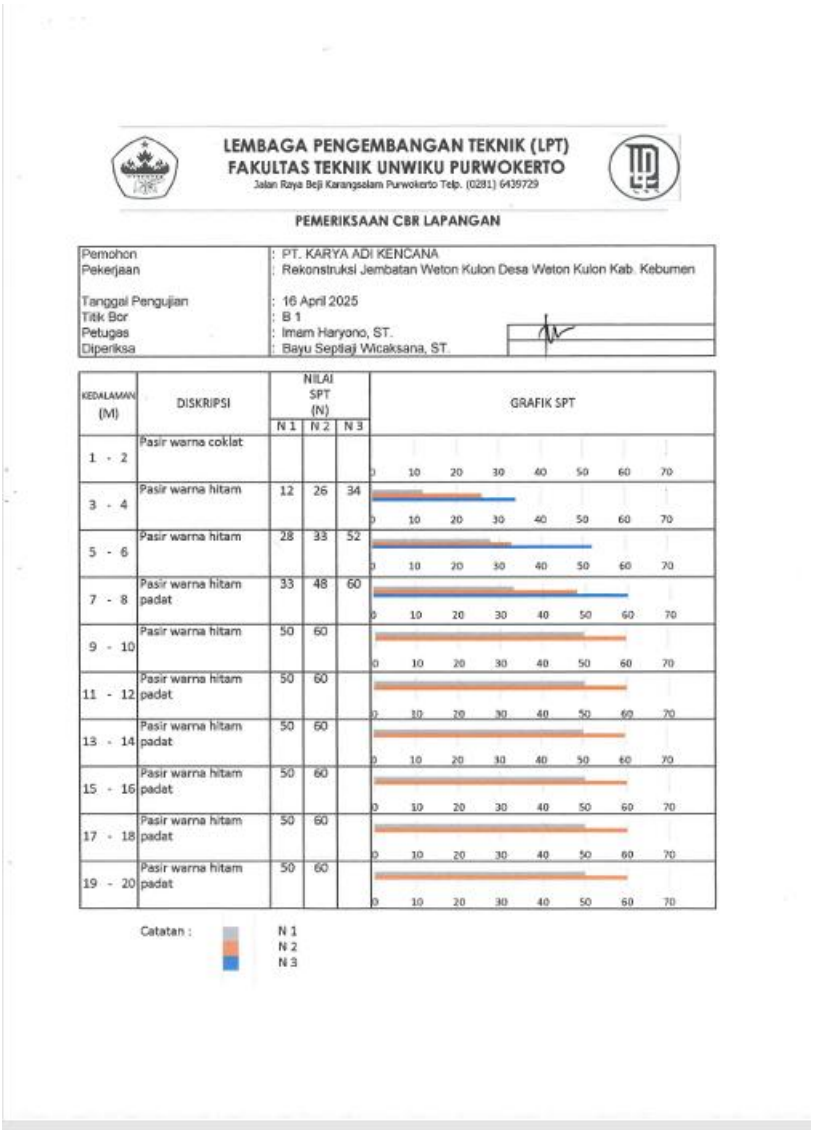
LEMBAGA PENGEMBANGAN TEKNIK (LPT)
FAKULTAS TEKNIK UNWIKU PURWOKERTO
Jalan Raya Beji Karangsalam Purwokerto Telp. (0281) 6439729

BORE HOLE LOG

Pemohon	: PT. KARYA ADI KENCANA
Pekerjaan	: Rekonstruksi Jembatan Weton Kulon Desa Weton Kulon Kab. Kebumen
Tanggal Pengujian	: 16 April 2025
Titik Bor	: B 1
Petugas	: Imam Haryono, ST.
Diperiksa	: Bayu Septioji Wicaksana, ST.

Dept (m)	Log	Description of soil	Sample	Water table (m)	Note
1 - 2		Pasir warna coklat			
3 - 4		Pasir warna hitam			
5 - 6		Pasir warna hitam			
7 - 8		Pasir warna hitam padat			
9 - 10		Pasir warna hitam			
11 - 12		Pasir warna hitam padat			
13 - 14		Pasir warna hitam padat			
15 - 16		Pasir warna hitam padat			
17 - 18		Pasir warna hitam padat			
19 - 20		Pasir warna hitam padat			

Gambar L-3.2 Bore Hole Log



LEMBAGA PENGEMBANGAN TEKNIK (LPT)
FAKULTAS TEKNIK UNWIKU PURWOKERTO
Jalan Raya Beji Karangsalam Purwokerto Telp. (0281) 6439729

PEMERIKSAAN CBR LAPANGAN

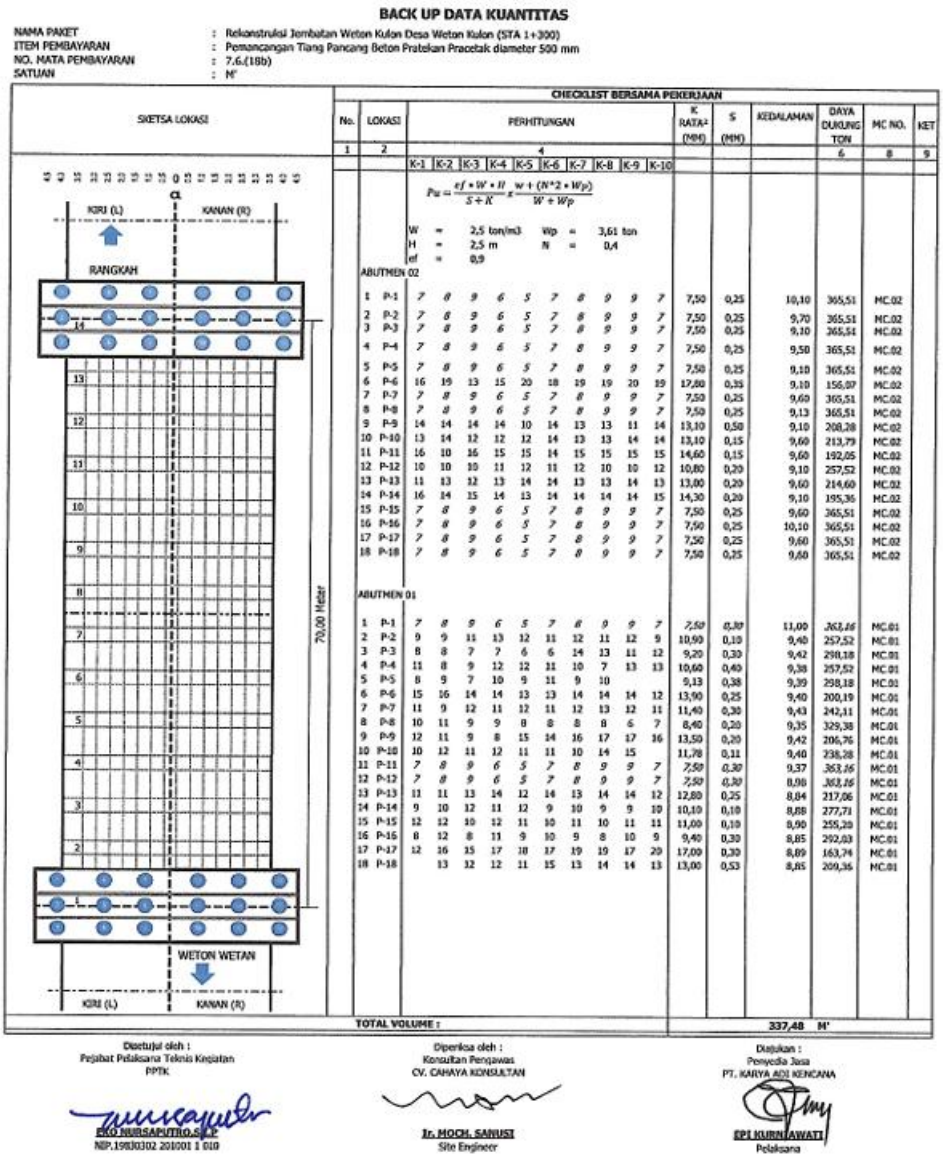
Pemohon	: PT. KARYA ADI KENCANA
Pekerjaan	: Rekonstruksi Jembatan Weton Kulon Desa Weton Kulon Kab. Kebumen
Tanggal Pengujian	: 16 April 2025
Titik Bor	: B 1
Petugas	: Imam Haryono, ST.
Diperiksa	: Bayu Septiaji Wicaksana, ST.

KEDALAMAN (M)	DISKRIPSI	NILAI SPT (N)			GRAFIK SPT
		N 1	N 2	N 3	
1 - 2	Pasir warna coklat				
3 - 4	Pasir warna hitam	12	26	34	
5 - 6	Pasir warna hitam	28	33	52	
7 - 8	Pasir warna hitam padat	33	48	60	
9 - 10	Pasir warna hitam	50	60		
11 - 12	Pasir warna hitam padat	50	60		
13 - 14	Pasir warna hitam padat	50	60		
15 - 16	Pasir warna hitam padat	50	60		
17 - 18	Pasir warna hitam padat	50	60		
19 - 20	Pasir warna hitam padat	50	60		

Catatan : N 1, N 2, N 3

Gambar L-3.3 Hasil Pemeriksaan CBR Lapangan

LAMPIRAN 4 Hasil Monitoring *Existing*



BACK UP DATA KUANTITAS

NAMA PAKET : Rekonstruksi Jembatan Weton Kulon Desa Weton Kulon (STA 1+300)
ITEM PEMBAYARAN : Pemancangan Tiang Pancang Beton Pratekan Precetak diameter 500 mm
NO. MATA PEMBAYARAN : 7.6.(18b)
SATUAN : M'

SKETSA LOKASI

KIRI (L) KANAN (R)
RANGKAH
70,00 Meter
WETON WETAN
KIRI (L) KANAN (R)

CHECKLIST BERSAMA PEKERJAAN

No.	LOKASI	PERHITUNGAN	K RATA² (MPa)	S (MM)	KEDALAMAN	DAYA DUKUNG TON	MC NO.	KET
1	2	4				6	8	9
		K-1 K-2 K-3 K-4 K-5 K-6 K-7 K-8 K-9 K-10						
		$Pu = \frac{ef * W * H}{S + K} x \frac{w + (N^2 * Wp)}{W + Wp}$						
		W = 2,5 ton/m3 Wp = 3,61 ton H = 2,5 m N = 0,4 ef = 0,9						
		ABUTMEN 02						
1	P-1	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,25	10,10	365,51	MC.02	
2	P-2	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,25	9,70	365,51	MC.02	
3	P-3	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,25	9,10	365,51	MC.02	
4	P-4	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,25	9,50	365,51	MC.02	
5	P-5	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,25	9,10	365,51	MC.02	
6	P-6	16 19 13 15 20 18 19 19 20 19	17,80	0,35	9,10	156,07	MC.02	
7	P-7	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,25	9,60	365,51	MC.02	
8	P-8	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,25	9,13	365,51	MC.02	
9	P-9	14 14 14 14 10 14 13 13 11 14	13,10	0,50	9,10	208,28	MC.02	
10	P-10	13 14 12 12 12 14 13 13 14 14	13,10	0,15	9,60	213,79	MC.02	
11	P-11	16 10 16 15 15 14 15 15 15 15	14,60	0,15	9,60	192,05	MC.02	
12	P-12	10 10 10 11 12 11 12 10 10 12	10,80	0,20	9,10	257,52	MC.02	
13	P-13	11 13 12 13 14 14 13 13 14 13	13,00	0,20	9,60	214,60	MC.02	
14	P-14	16 14 15 14 13 14 14 14 14 15	14,30	0,20	9,10	195,36	MC.02	
15	P-15	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,25	9,60	365,51	MC.02	
16	P-16	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,25	10,10	365,51	MC.02	
17	P-17	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,25	9,60	365,51	MC.02	
18	P-18	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,25	9,60	365,51	MC.02	
		ABUTMEN 01						
1	P-1	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,30	11,00	303,16	MC.01	
2	P-2	9 9 11 13 12 11 12 11 12 9	10,90	0,10	9,40	257,52	MC.01	
3	P-3	8 8 7 7 6 6 14 13 11 12	9,20	0,30	9,42	298,18	MC.01	
4	P-4	11 8 9 12 12 11 10 7 13 13	10,60	0,40	9,38	257,52	MC.01	
5	P-5	8 9 7 10 9 11 9 10	9,13	0,38	9,39	298,18	MC.01	
6	P-6	15 16 14 14 13 13 14 14 14 12	13,90	0,25	9,40	200,19	MC.01	
7	P-7	11 9 12 11 12 11 12 13 12 11	11,40	0,30	9,43	242,11	MC.01	
8	P-8	10 11 9 9 8 8 8 8 6 7	8,40	0,20	9,35	329,38	MC.01	
9	P-9	12 11 9 8 15 14 16 17 17 16	13,50	0,20	9,42	206,76	MC.01	
10	P-10	10 12 11 12 11 11 10 14 15	11,78	0,11	9,40	238,28	MC.01	
11	P-11	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,30	9,37	303,16	MC.01	
12	P-12	7 8 9 6 5 7 8 9 9 7	7,50	0,30	8,98	303,16	MC.01	
13	P-13	11 11 13 14 12 14 13 14 14 12	12,80	0,25	8,84	217,06	MC.01	
14	P-14	9 10 12 11 12 9 10 9 9 10	10,10	0,10	8,88	277,71	MC.01	
15	P-15	12 12 10 12 11 10 11 10 11 11	11,00	0,10	8,90	255,20	MC.01	
16	P-16	8 12 8 11 9 10 9 8 10 9	9,40	0,30	8,85	292,03	MC.01	
17	P-17	12 16 15 17 18 17 19 19 17 20	17,00	0,30	8,89	163,74	MC.01	
18	P-18	13 12 12 11 15 13 14 14 13	13,00	0,53	8,85	209,36	MC.01	
		TOTAL VOLUME :			337,48	M'		

Disetujui oleh :
Pejabat Pelaksana Teknis Kegiatan
PPTK

RIKO NURSAPUTRO,S.ST
NIP.19830302 201001 1 010

Diperiksa oleh :
Konsultan Pengawas
CV. CAHAYA KONSULTAN

Ir. MOCH. SANUSI
Site Engineer

Diajukan :
Penyedia Jasa
PT. KARYA ADI KENCANA

EPI KURNIAWATI
Pelaksana

Gambar L-4.1 Hasil monitorin *Existing*