

TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG UNTUK GEDUNG
PERKANTORAN BPKAD PROVINSI SULAWESI TENGAH**



**Diajukan untuk Menempuh Seminar Proposal pada Program Studi Strata satu
(S-1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako**

Disusun Oleh :

FADHILAH RAHMADANI

STB. F 111 21 041

JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG UNTUK GEDUNG
PERKANTORAN BPKAD PROVINSI SULAWESI TENGAH**



**Diajukan untuk Menempuh Seminar Proposal pada Program Studi Strata satu
(S-1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako**

Disusun Oleh :

FADHILAH RAHMADANI

STB. F 111 21 041

JURUSAN TEKNIK SIPIL

HALAMAN PENGESAHAN

**PERENCANAAN PONDASI TIANG PANCANG UNTUK GEDUNG
PERKANTORAN BPKAD PROVINSI SULAWESI TENGAH**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

FADHILAH RAHMADANI

F11121041

SKRIPSI

Telah dipertahankan didepan Majelis Penguji dan dinyatakan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Strata Satu (S1) Teknik Sipil

Pada tanggal 10 September 2025

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Tadulako,

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Tadulako,


Dr. Andi Arham Adam, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19740323 199903 1 002


Dr. Sriyati Ramadhani, S.T., M.T.
NIP. 19750925 200501 2 011

HALAMAN PERSETUJUAN

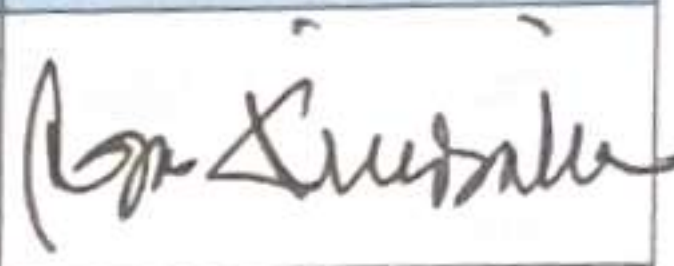
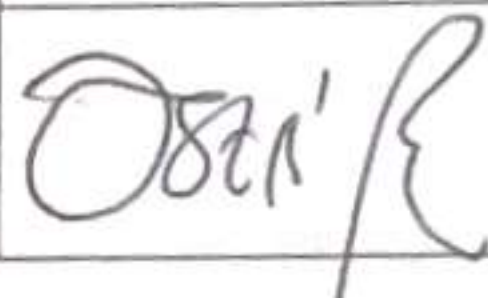
Panitia Ujian Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Tadulako yang ditetapkan berdasarkan SK Dekan Fakultas Teknik No.18356/UN.28.1.31//DK/2024 menyatakan menyetujui Tugas Akhir yang telah dipertanggungjawabkan di hadapan Majelis Penguji pada hari rabu oleh:

Nama : Fadhilah Rahmadani

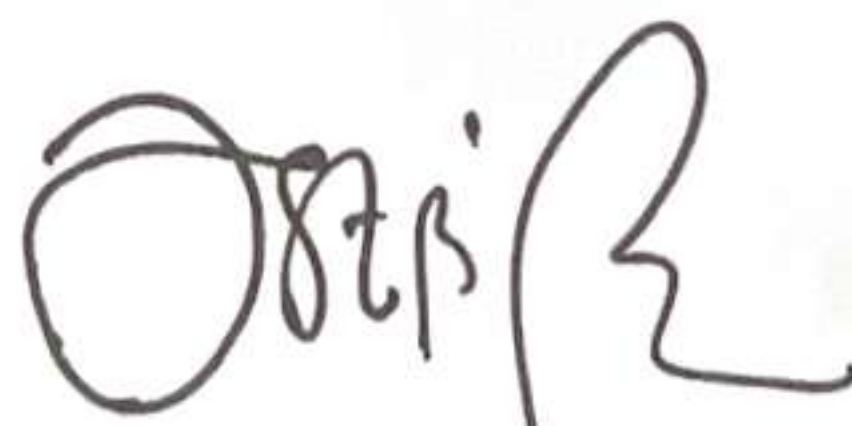
No. Stambuk : F11121041

Judul : PERENCANAAN PONDASI TIANG PANCANG UNTUK PERKANTORAN BPKAD PROVINSI SULAWESI TENGAH

Dosen Pembimbing:

No.	Nama/ NIP	Jabatan	Tanda Tangan
1.	Ir. Agus Dwijaka, S.T., M.T. NIP. 19660831 199903 1 002	Pembimbing 1	
2.	Dr. Astri Rahayu, S.T., M.T NIP. 19670705 199702 2 001	Pembimbing 2	

Palu, 2025
Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Tadulako



Dr. Astri Rahayu, S.T., MT
NIP. 19670705 199702 2 002

PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN TUGAS AKHIR

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG UNTUK GEDUNG

PERKANTORAN BPKAD PROVINSI SULAWESI TENGAH



**Diajukan untuk Menempuh Seminar Proposal pada Program Studi Strata satu
(S-1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako**

Disusun Oleh :

FADHILAH RAHMADANI

STB. F 111 21 041

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Fadhilah Rahmadani

No. Stambuk : F111 21 041

Fakutas/Jurusan : Teknik/Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa laporan tugas akhir ini adalah benar merupakan hasil karya sendiri dan bukan duplikat dari orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila dikemudian hari diketahui bahwa pernyataan ini tidak benar adanya, maka saya bersedia menerima sanksi yang diberikan dengan segala konsekuensinya. Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya

Palu, 20 Agustus 2025

Fadhilah Rahmadani
F 111 21 041

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada TUHAN YANG MAHA ESA karena atas berkat dan karuniaNya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul **Perencanaan Fondasi Tiang Pancang Untuk Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah.**

Penulis telah berusaha maksimal dalam penulisan Tugas Akhir ini, melewati berbagai kesulitan yang menghambat proses penyusunan Tugas Akhir. Namun atas izinnya melalui bantuan dari berbagai pihak akhirnya dapat selesai dengan baik. Oleh karena itu melalui kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih kepada bapak Agus Dwijaka, ST., M.T. dan ibu Dr. Astri Rahayu, ST., MT. dan selaku pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dan bimbingannya serta motivasi selama penyusunan Tugas Akhir ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir.Andi Arham Adam, ST, MSc., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
2. Ibu Dr. Sriyati Ramadhani, S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
3. Ibu Dr. Ir. Astri Rahayu, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, beserta sekretaris.
4. Tim dosen penguji bapak, Dr. Ir. Sukiman Nurdin, S.T., M.Sc., ibu Iffah Fadliah, S.T., M.T. dan ibu Dr. Sriyati Ramadhani, S.T., M.T yang telah memberikan arahan, dan saran demi perbaikan penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Tadulako atas segala ilmu pengetahuan yang telah diberikan.
6. Staf tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Tadulako yang telah membantu pengurusan administrasi selama penulisan menempuh Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
7. Bapak Ir. Ilham Suardi dan Ibu Erni Purnama selaku orang tua yang telah mendidik dan membesarkan saya tanpa kenal lelah serta selalu memberikan

segalanya untuk saya. Terima kasih atas semua doa, nasehat, fasilitas penunjang yang telah diberikan.

8. Terima Kasih kepada sahabat-sahabat saya yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan selalu bersama saling menguatkan khususnya, Hayfa Adra jusia, Ade Maulidina Gobel, Siti Aulia, Nur Fadila, dan Yuni Antari terutama dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
9. Terima Kasih kepada Moh. Risky Anugerah, S.H orang yang memiliki peran spesial yang telah membantu dan mendukung Penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
10. Terima Kasih kepada sahabat seperjuangan saya Muhammad Faisol, Handiwijaya, Sela Angraini, Maulana Malik Ibrahim, Laode Mohammad Dzuhrin yang memberikan semangat dan motivasi serta membantu saya selama masa perkuliahan.
11. Terima kasih kepada teman-teman seangkatan Teknik Sipil 21 lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu dari awal menemani perkuliahan sampai saat ini.

Sebagai Penulis saya menyadari keterbatasan dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak lepas dari kekurangan baik materi maupun padu padan bahasanya yang masih jauh dari kesempurnaan. Dengan demikian koreksi serta saran yang bersifat membangun sangat dibutuhkan dari semua pihak, agar ke depannya dapat disempurnakan.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada saya mendapat balasan yang setimpal dari Tuhan Yang Maha Esa dan semoga kita semua senantiasa diberikan kesehatan dan umur yang panjang.

Palu, Januari 2025

Penulis

Fadhilah Rahmadani

F 111 21 041

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH	xiii
ABSTRAK	xvii
I BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-2
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-2
1.4 Batasan Masalah	I-2
1.5 Manfaat Penelitian	I-3
1.6 Sistematika Penulisan.....	I-3
II BAB II GAMBARAN UMUM DAN DATA PERENCANAAN	II-1
2.1 Lokasi Perencanaan.....	II-1
2.2 Data Perencanaan	II-1
2.2.1 Data Penyelidikan Tanah	II-2
2.3 Data Pengujian Laboratorium Tanah.....	II-5
2.4 Data Struktur Bangunan	II-5
III BAB III TINJAUAN PUSTAKA	III-1
3.1 Tanah	III-1
3.1.1 Parameter Tanah.....	III-1
3.1.2 Modulus Young	III-3
3.1.3 <i>Possion Ratio</i>	III-4
3.1.4 Sudut Gesek Dalam.....	III-4
3.1.5 Kohesi.....	III-5
3.1.6 Uji Penetrasi Standar (SPT).....	III-5
3.2 Fondasi	III-8
3.2.1 Jenis Fondasi Tiang	III-9

3.2.2	Fondasi Tiang Pancang.....	III-10
3.2.3	Tipe-tipe Fondasi Pancang	III-10
3.2.4	Langkah-langkah dalam Perancangan Fondasi Tiang Pancang.....	III-13
3.3	Kapasitas Daya Dukung Fondasi	III-13
3.3.1	Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang dari Hasil <i>Standard Penetration Test</i> (SPT)	III-14
3.3.2	Faktor Aman Tiang Pancang.....	III-17
3.4	Tiang Dukung Ujung dan Tiang Dukung Gesek.....	III-18
3.4.1	Metode Pemasangan Tiang Pancang	III-20
3.5	Masa Penurunan pada Fondasi.....	III-21
3.5.1	Penurunan Fondasi Tiang Pancang	III-21
3.6	Pembebanan	III-24
3.7	Standar Pengujian Kapasitas.....	III-32
3.8	Basis Teori Perangkat Lunak Plaxis	III-33
3.8.1	Parameter PLAXIS.....	III-35
IV	BAB IV METODE PERENCANAAN	IV-1
4.1.	Studi Literatur	IV-1
4.2.	Tahapan Perencanaan	IV-3
4.2.1	Analisis Data.....	IV-3
4.3.	Pengoperasian PLAXIS.....	IV-8
V	BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	V-1
5.2	Data Tanah Dasar	V-11
5.3	Data <i>Standard Penetration Test</i> (SPT)	V-11
5.4	Korelasi Data Tanah	V-15
5.5	Kriteria Desain Tiang Pancang	V-16
5.6	Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Dari Uji Penetrasi Standar (SPT) V-18	
5.7	Penentuan Kedalaman dan Dimensi Tiang Pancang.....	V-25
5.8	Perhitungan Jumlah Tiang dan Daya Izin Fondasi Tiang Kelompok.....	V-25
5.9	Perhitungan Dimensi Pelat Penutup Tiang (<i>Pile Cap</i>).....	V-36
5.9.1	Perhitungan Penulangan Pelat Penutup Tiang (<i>Pile Cap</i>).....	V-36
5.10	Perhitungan Penurunan Fondasi	V-40
5.10.1	Perhitungan Fondasi Tiang Tunggal Metode Semi-Empiris	V-40

5.10.2	Perhitungan Penurunan pada Fondaasi Tiang Kelompok Metode Vesic (1969)	V-45
5.11	Metode Elemen Hingga PLAXIS 3D Versi 20.0	V-48
5.11.1	Desain Fondasi Tiang Pancang	V-48
5.11.2	Analisis Interaksi Fondasi Tiang Pancang dan Tanah dengan PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga)	V-50
5.11.3	Perbandingan Hasil Analisis PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga) dan Perhitungan data SPT	V-56
5.12	Pembahasan	V-58
VI	BAB VI PENUTUP	1
	DAFTAR PUSTAKA	3
	LAMPIRAN	6

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Rekap Hasil Uji Bor dan Nilai SPT pada BH.01 (CV. IKBATEK_04)	II-3
Tabel 2. 2 Hasil Pengujian Laboratorium BH.01 (CV. IKBATEK_04)	II-5
Tabel 2. 3 Parameter beban gempa desain sesuai SNI 1726-2019	II-6
Tabel 3. 1 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir	III-2
Tabel 3.2 Hubungan antara konsistensi tanah dengan tekanan konus	III-2
Tabel 3.3 Hubungan antara kepadatan, Relative Density, N, qc, dan Sudut Geser Dalam	III-3
Tabel 3.4 Nilai Modulus Young	III-3
Tabel 3.5 Nilai Ratio	III-4
Tabel 3.6 Hubungan Tingkat Kepadatan dan Sudut Gesek Tanah.....	III-5
Tabel 3. 7 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir	III-6
Tabel 3. 8 Hubungan antara parameter Tanah untuk Tanah Pasar	III-7
Tabel 3. 9 Korelasi antara CI, N, dan Cu (Szechy dan Vargaa, 1978)	III-7
Tabel 3. 10 Angka Poisson untuk beberapa jenis tanah	III-7
Tabel 3. 11 Koefisien Dasar Tiang α (Decourt & Quaresma, 1978; Decourt dkk, 1996).....	III-16
Tabel 3. 12 Koefisien Selimut Tiang β (Decourt & Quaresma, 1987; Decourt dkk, 1996).....	III-16
Tabel 3. 13 Faktor Adhesi Untuk Selimut Tiang Pada Tanah Lempung (Kilhawy dan Mayne, 1990)	III-17
Tabel 3. 14 Faktor Aman yang Disarankan Oleh Reese dan O'Neill (1989)	III-18
Tabel 3.15 <i>Derajat Konsolidasi</i>	III-21
Tabel 3. 16 Nilai Koefisien Empiris, C_p	III-23
Tabel 3. 17 Penurunan Izin Rata – rata untuk berbagai Bangunan.....	III-24
Tabel 3. 18 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa .	III-25
Tabel 3. 19 Faktor keutamaan gempa	III-26
Tabel 3. 20 Klasifikasi Situs.....	III-28
Tabel 3. 21 Koefisien situs, F_a	III-29
Tabel 3. 22 Koefisien situs, F_v	III-29
Tabel 3. 23 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	III-30
Tabel 3. 24 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik (SNI 1726:2019,2019).....	III-30
Tabel 5. 1 Perhitungan N-SPT _{rerata} Titik BH-01	V-4
Tabel 5. 2 Spektrum Respons Desain	V-7
Tabel 5. 3 Nilai Reaksi Maksimum Pada Kolom Struktur.....	V-10

Tabel 5. 4 Hasil Bor Inti dan SPT Titik 01 Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah.....	V-12
Tabel 5. 5 Data Hasil Pengujian Laboratorium Sampel Bor/Log Titik 01 Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah	V-13
Tabel 5. 6 Hubungan antara Parameter Tanah untuk Tanah Pasir (Teng, 1962)	V-15
Tabel 5. 7 Rangkuman Data Tanah Titik BH.01.....	V-16
Tabel 5. 8 Katalog Tiang Pancang WIKA Beton.....	V-17
Tabel 5. 9 Daya Dukung Izin Metode Perhitungan Mayerhoff dan Bazaara	V-21
Tabel 5. 10 Daya Dukung Izin Metode Perhitungan Luciano Decourt	V-24
Tabel 5. 11 Nilai-nilai N_h untuk tanah Granuler.....	V-26
Berdasarkan Tabel 5. 12 rentang umum nilai k_1 untuk tanah pasir berikut :	V-29
Tabel 5. 13 Jumlah Tiang Daya Dukung Iizin Kelompok Tiang Pada Setiap Kolom	V-33
Tabel 5. 14 Perhitungan Penurunan Segera Tiang Tunggal Untuk Tiap Kolom	V-43
Tabel 5. 15 Perhitungan Penurunan Segera Tiang Kelompok Untuk Tiap Kolom.....	V-46
Tabel 5. 16 Data Tanah Dalam Permodelan PLAXIS 3D V.20	V-49
Tabel 5. 17 Perbandingan Hasil Analisis PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga) dan Metode Analisis Matematis	V-57
Tabel 5. 18 Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Untuk Kedalaman 17 m dengan diameter 0,6 m.	V-59

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Lokasi Proyek Pembangunan Kantor BPKAD Sulawesi Tengah	II-1
Gambar 2. 2 Sketsa Lokasi Titik Bor Inti SPT Kantor BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah	II-2
Gambar 2. 3 Grafik Hasil Pengujian Standard Penetration Test (SPT) pada Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah	II-4
Gambar 2. 4 Layout Perencanaan Lantai Dasar Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah.....	II-7
Gambar 2. 5 Denah Perencanaan Fondasi Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah.....	II-8
Gambar 2. 6 Denah Perencanaan Fondasi Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah.....	II-8
Gambar 3. 1 Skema Urutan Uji Penetrasi Standar	III-6
Gambar 3. 2 Panjang dan Beban Maksimum untuk berbagai macam tipe yang umum dipakai dalam praktek.....	III-11
Gambar 3. 3 Tiang dukung ujung (Tomlison, 1977)	III-19
Gambar 3. 4 Tiang dukung gesek (Tomlinson, 1977).....	III-19
Gambar 3. 5 Respon percepatan gempa di batuan dasar untuk periode pendek (0,2 detik).....	III-27
Gambar 3. 6 Respon percepatan gempa di batuan dasar untuk periode pendek 1 detik	III-27
Gambar 3. 7 Skema Spektrum Desain	III-31
Gambar 3. 8 Penampilan PLAXIS 3D.....	III-34
Gambar 4. 1 Bagan alir (Flowchart) perencanaan fondasi tiang pancang	IV-1
Gambar 4. 2 Bagan alir (Flowchart) perencanaan fondasi tiang pancang (lanjutan)	IV-2
Gambar 4. 3 Project Properties.....	IV-8
Gambar 4. 4 Project Properties.....	IV-9
Gambar 4. 5 Kotak Dialog General Penginputan Parameter Tanah	IV-9
Gambar 4. 6 Kotak Dialog Parameter Penginputan Parameter Tanah	IV-10
Gambar 4. 7 Kotak Dialog Ground Water Penginputan Parameter Tanah.....	IV-11
Gambar 4. 8 Material Set	IV-11
Gambar 4. 9 Penginputan Bore Hole	IV-12
Gambar 4. 10 Letak Titik Fondasi	IV-13
Gambar 4. 11 Material Pile Cap	IV-14
Gambar 4. 12 Material Tiang Pancang.....	IV-15
Gambar 4. 13 Membuat Tiang Pancang.....	IV-15
Gambar 4. 14 Penginputan Beban	IV-16

Gambar 4. 15 Penginputan Beban Gempa	IV-16
Gambar 4. 16 Memasukan Material Pile Cap	IV-17
Gambar 4. 17 Memasukan Material Tiang Pancang.....	IV-17
Gambar 4. 18 Memasukan Node Meshing.....	IV-18
Gambar 4. 19 Fase Faktor Keamanan dan Penurunan	IV-19
Gambar 4. 20 Fase Load dan Beban Gempa	IV-19
Gambar 4. 21 Calculate.....	IV-20
Gambar 4. 22 Melihat Output Calculate	IV-21
Gambar 5. 1 Model 3D segmen A Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah (SAP2000 v.22)	V-1
Gambar 5. 2 Model 3D Segmen B Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah (SAP2000 v.22).....	V-2
Gambar 5. 3 Hasil Perhitungan Analisis Seismik Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah (PuSGeN).....	V-3
Gambar 5. 4 Peta MCE _R (Ss)	V-5
Gambar 5. 5 Peta MCE _R (S ₁).....	V-5
Gambar 5. 6 Grafik Spektrum Respons Desain.....	V-7
Gambar 5. 7 Letak Kolom Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah Segmen B	V-9
Gambar 5. 8 Letak Kolom Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah Segmen B.	V-10
Gambar 5. 9 Profil Tanah dan Elevasi (Google Earth, 2022).....	V-11
Gambar 5. 10 Sketsa Nilai Ncorection Fondasi Tiang Pancang	V-19
Gambar 5. 11 Sketsa Nilai Ncorection Fondasi Tiang Pancang	V-22
Gambar 5. 12 Denah Letak Titik Kolom dan Jumlah Tiang Pancang Per Kolom.....	V-35
Gambar 5. 13 Denah Letak Titik Kolom dan Jumlah Tiang Pancang Per Kolom.....	V-35
Gambar 5. 14 Permodelan Tanah Plaxis 3D.....	V-48
Gambar 5. 15 Tiang Pancang Prestressed Concrete Pretension Spun Pile.	V-49
Gambar 5. 16 Perpindahan Fondasi Arah Z (Displacement u_z) (Plaxis 3D, 2022) ...	V-51
Gambar 5. 17 Gaya Geser Fondasi (Q13)	V-52
Gambar 5. 18 Gaya Geser Fondasi (Q23)	V-52
Gambar 5. 19 Bending Momen Fondasi (M2)	V-53
Gambar 5. 20 Bending Momen Fondasi (M3)	V-54
Gambar 5. 21 Grafik Nilai Faktor Keamanan (FS)	V-55
Gambar 5. 22 Grafik Hubungan antara Beban yang Bekerja pada Fondasi Tiang Pancang Terhadap Penurunan	V-56

LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Hasil Bor Inti BH.01 SPT Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah	6
Lampiran 2 Tabel Hasil Analisis Perhitungan SAP2000 Beban Vertikal Masing-masing Perkolom.....	7
Lampiran 3 Tabel Analisis Perhitungan SAP2000 Beban Vertikal Masing-masing Perkolom.....	8
Lampiran 4 Tabel Hasil Analisis Perhitungan SAP2000 Beban Vertikal Masing-masing Perkolom.....	8
Lampiran 5 Rangkuman Hasil Data Tanah	9
Lampiran 6 Permodelan Tanah (PLAXIS 3D V.20)	11
Lampiran 7 Hasil Analisis Faktor Keamanan (PLAXIS 3D V.20).....	11

DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

Simbol / Singkatan	Arti / Keterangan
α	Koefisien dasar tiang
A_p	Luas penampang dasar tiang
A_s	Luas selimut
ASTM	American Society for Testing Material
β	Koefisien selimut tiang
Bor/Log	Borehole logging
c	Kohesi
C_d	Koefisien amplifikasi defleksi
CI	Indeks konsistensi
C_l	Hambatan geser selimut tiang
C_p	Koefisien empiris
C_u	Kohesi undrained
D, d	Diameter tiang
D_e	Beban mati
D_r	Kepadatan relatif
E	Modulus elastisitas
e	Angka pori
E_g	Efisiensi kelompok tiang
E_p	Modulus elastisitas tiang
E_{50ref}	Kekakuan sekan dari uji triaksial terdrainase
$E_{oed ref}$	Kekakuan tangensial untuk pembebanan primer
$E_{ur ref}$	Kekakuan untuk pengurangan/pembebanan kembali
E_x	Beban gempa arah-x
E_y	Beban gempa arah-y
f	Tahanan friksi
F_a	Percepatan pada getaran periode pendek

f_c'	Kuat tekan beton
FS	Faktor keamanan
F_v	Percepatan pada getaran periode 1 detik
γ	Berat volume tanah
γ_b	Berat volume basah
γ_d	Berat volume kering
Gs	Berat jenis tanah
γ_{sat}	Berat volume jenuh
γ_w	Berat volume air
Ie	Faktor keutamaan gedung
ϕ	Sudut gesek dalam
k	Nilai permeabilitas
K	Koefisien karakteristik tanah
K_o	Tekanan tanah dalam keadaan diam
K_{oNC}	Nilai K_o untuk tanah terkonsolidasi normal
L	Kedalaman fondasi
L	Beban hidup
LL	Batas cair
Lr	Beban hidup atap
m	Eksponen ketergantungan terhadap tegangan
n	Jumlah tiang dalam kelompok
N_c^*, N_q^*	Faktor daya dukung
N_{SPT}	Nilai SPT
p	Keliling penampang tiang
p_0	Tekanan overburden tanah
PI	Indeks plastis
PL	Batas plastis
p^{ref}	Tegangan referensi untuk modulus
q'	Tegangan vertikal efektif tanah
Qg	Beban maksimum kelompok tiang

Q_p	Daya dukung ujung tiang
Q_s	Daya dukung selimut tiang
Q_u	Daya dukung ultimit tiang
Q_{wp}	Beban yang didukung ujung tiang
Q_{ws}	Beban yang didukung selimut tiang
R	Koefisien modifikasi respons
R	Beban Hujan
R_d	Realtive density
R_f	Rasio keruntuhan
S	Penurunan elastis total
S	Jarak minimum sumbu tiang
σ	Tegangan tanah
S_1	Penurunan akibat deformasi
S_2	Penurunan dari ujung tiang
S_3	Penurunan akibat beban yang dialihkan
S_a	Spektrum respons desain
S_c	Penurunan konsolidasi
SD_1	Percepatan spektral desain periode 1 detik
$SDOF$	Derajat kebebasan tunggal
SDS	Percepatan spektral desain periode pendek
SF	Angka Keamanan (Safety factor)
S_g	Penurunan tiang kelompok
SL	Batas susut
SPT	Standard Penetration Test
σ_v'	Tegangan vertikal efektif tanah
T	Periode
$USCS$	<i>Unified Soil Calssification System</i>
ν	Angka Poisson
ν_{ur}	Angka Poisson untuk pengurangan / pembebanan kembali

V_s	<i>Shear Wave Velocity</i>
w	Kadar air
W	Beban angin
Ω_0	Faktor kuat lebih sistem
δ	Sudut gesek tanah – tanah
ξ	Koefisien dari skin friction
Ψ	Sudut dilatasi

PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG UNTUK GEDUNG PERKANTORAN BPKAD PROVINSI SULAWESI TENGAH

Fadhilah Rahmadani, Agus Dwijaka, Astri Rahayu

ABSTRAK

Pondasi tiang pancang merupakan salah satu elemen penting pada konstruksi bangunan, terutama pada kondisi tanah yang memiliki daya dukung rendah. Kegagalan pondasi dapat berdampak pada kestabilan dan keamanan struktur secara keseluruhan, sehingga diperlukan analisis yang akurat terhadap kapasitas daya dukung tiang. Pemodelan numerik dengan metode elemen hingga, seperti pada perangkat lunak Plaxis 3D, memungkinkan simulasi perilaku tiang pancang secara lebih detail dibandingkan perhitungan manual. Penelitian ini menganalisis kapasitas daya dukung *ultimate* (Q_u) tiang pancang *prestressed concrete pretension spun pile* berdiameter 0,6 m dan panjang 17 m yang digunakan pada gedung penting dengan beban aksial 1.979,80 kN. Parameter tanah diperoleh dari hasil uji laboratorium dan lapangan, kemudian diinput ke model sesuai ketentuan SNI. Analisis dilakukan terhadap kapasitas dukung *ultimate*, deformasi vertikal, serta distribusi gaya dalam tiang. Hasil simulasi menunjukkan adanya perbedaan kapasitas dukung *ultimate* antara hasil pemodelan Plaxis 3D dan perhitungan manual, yang disebabkan oleh pengaruh interaksi tanah–struktur serta perbedaan asumsi parameter masukan. Deformasi maksimum terjadi di kepala tiang, sedangkan tegangan terbesar terdapat pada lapisan tanah dengan nilai N-SPT tinggi. Pemodelan ini membuktikan bahwa Plaxis 3D dapat menjadi alat bantu yang efektif untuk memprediksi perilaku tiang pancang secara lebih akurat dan mendekati kondisi lapangan.

Kata Kunci : Tiang Pancang, PLAXIS 3D, Daya Dukung Ultimate, Deformasi.

DESIGN OF PILE FOUNDATIONS FOR THE BPKAD OFFICE BUILDING, CENTRAL SULAWESI PROVINCE

Fadhilah Rahmadani, Agus Dwijaka, Astri Rahayu

ABSTRACT

Pile foundations are a critical component in building construction, especially in areas with low soil bearing capacity. Foundation failure can compromise the overall stability and safety of a structure, making accurate analysis of pile bearing capacity essential. Numerical modeling using the finite element method, such as with Plaxis 3D software, allows for a more detailed simulation of pile behavior compared to manual calculations. This study analyzes the ultimate bearing capacity (Q_u) of a prestressed concrete pretension spun pile with a diameter of 0.6 m and a length of 17 m, used in a critical building subjected to an axial load of 1,979.80 kN. Soil parameters were obtained through laboratory and field testing, and input into the model in accordance with SNI standards. The analysis focused on ultimate bearing capacity, vertical deformation, and internal force distribution along the pile. The simulation results revealed a discrepancy in ultimate bearing capacity between Plaxis 3D modeling and manual calculation, attributed to soil–structure interaction effects and differences in input parameter assumptions. Maximum deformation occurred at the pile head, while the highest stress was observed in soil layers with high N-SPT values. This modeling confirms that Plaxis 3D is an effective tool for accurately predicting pile behavior in conditions close to those in the field.

Keywords: *Pile Foundation, PLAXIS 3D, Ultimate Bearing Capacity, Deformation.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Struktur fondasi adalah komponen penting yang mendukung kestabilan suatu bangunan, terutama untuk gedung bertingkat yang terletak di tanah dengan kondisi geoteknik yang tidak memungkinkan. Kota Palu memiliki karakteristik tanah yang didominasi oleh pasir lanau dan tingkat kerentanan yang tinggi terhadap likuifaksi, yang dibuktikan oleh kejadian gempa bumi yang terjadi pada tahun 2018. Oleh karena itu, pemilihan fondasi yang dapat meneruskan beban struktur ke lapisan tanah yang keras di dalam tanah pada kedalaman tertentu menjadi sangat penting (Braja M.Das, 2016).

Fondasi berperan sebagai unsur yang menahan beban dari struktur bangunan yang ada di atasnya dan meneruskannya ke tanah di bawah. Fungsi utamanya adalah untuk mendukung bangunan, sehingga tidak terjadi keruntuhan pada bagian bawah. Fondasi tiang (*pile foundation*) adalah tipe fondasi yang diterapkan ketika fondasi pada kedalaman biasa tidak dapat menahan beban yang diterima dan tanah yang stabil berada pada lapisan yang sangat dalam (Hardiyatno, 2011)

Dalam merancang fondasi di daerah rawan gempa seperti Kota Palu, sangat penting untuk mengikuti panduan terkini, yaitu SNI 1726:2019 mengenai metode perencanaan ketahanan terhadap gempa. (BSN, 2019). Serta mempertimbangkan faktor *settlement* agar tidak melampaui batas toleransi struktur hotel yang direncanakan. Dengan memperhatikan parameter geoteknik dari hasil analisis tanah, desain fondasi seharusnya mampu menampung beban vertikal, lateral, dan momen yang disebabkan oleh gempa, sehingga struktur bangunan tetap aman dan nyaman untuk digunakan (Bowles, 2020)

Gedung Badan Pengelola Keuangan dan Aset Daerah (BPKAD) Provinsi Sulawesi Tengah merupakan bangunan 2 lantai yang memiliki luas 706 m² dan Fondasi yang digunakan adalah fondasi dalam yaitu *Boredpile* yang dilaksanakan oleh CV. IKABATEK_04 untuk perencanaan fondasi pada gedung ini didasarkan pada penyelidikan tanah berupa bor inti dan SPT sebanyak 1 titik yang mana kedalaman tanah

keras didapatkan pada kedalaman rentang $L = 18-22$ meter Pada titik BH.01 yaitu berada pada lapisan tanah berupa pasir berlanau dengan tingkat kepadatan (D_r) padat sampai sangat padat dimana nilai N-SPT rata-rata dengan rentang $34s.d >60$.

Pada tugas akhir ini, penulis merancang ulang fondasi dengan menerapkan fondasi tiang pancang, mempertimbangkan kedalaman lapisan tanah keras dan besaran beban yang harus didukung oleh fondasi. Penulis memilih fondasi tiang pancang karena tanah keras berada cukup dalam dan jenis tanah di lokasi bervariasi. Fondasi ini masuk ke dalam tanah tanpa penggalian dan menyalurkan beban bangunan langsung ke lapisan tanah keras.

Berdasarkan hal tersebut, maka penulis mengambil judul tugas akhir

“PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG UNTUK GEDUNG PERKANTORAN BPKAD SULAWESI TENGAH”

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana memenuhi syarat nilai daya dukung fondasi yang terjadi untuk mendukung beban struktur ?
2. Bagaimana memenuhi syarat penurunan yang terjadi dengan merencanakan dimensi untuk mendukung beban struktur ?
3. Bagaimana tanah dengan fondasi tiang pancang berinteraksi di dasari oleh data SPT serta menggunakan aplikasi Plaxis 3D Foundation ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui daya dukung fondasi yang mendukung beban Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah.
2. Untuk merencanakan dimensi fondasi tiang pancang agar mengetahui penurunan yang mendukung beban Gedung BPKAD Sulawesi Tengah.
3. Sebagai bahan perencanaan alternatif fondasi di lapangan untuk Gedung bertingkat.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Tinjauan Permasalahan dalam penulisan Tugas Akhir ini memiliki Batasan sebagai parameter untuk Menyelesaikan masalah, meliputi:

1. Data tanah yang digunakan adalah hasil dari penelitian tanah yang diperoleh melalui Bor/Log dan SPT serta parameter tanah (c dan ϕ) diperoleh dari Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako.
2. Perencanaan dilakukan hanya fokus pada fondasi dalam yaitu tiang pancang, tanpa membahas jenis fondasi lainnya.
3. Melakukan analisis pembebanan struktur atas pada Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah.
4. Melakukan Perencanaan Fondasi berdasarkan nilai SPT secara manual berdasarkan teori Mayerhof.
5. Melakukan Perencanaan Fondasi berdasarkan nilai SPT secara manual berdasarkan teori Bazaara.
6. Tidak mencakup analisis likuifaksi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagi Universitas
 Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai rujukan untuk penelitian selanjutnya yang lebih komprehensif di masa mendatang.
2. Bagi Peneliti
 Untuk meningkatkan pemahaman mengenai perencanaan suatu fondasi melalui penggunaan metode pengujian.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar mempermudah penyusunan Tugas Akhir ini, maka penyusun membagi laporan dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, batasan masalah, sistematika penulisan.

BAB II. LOKASI DAN DATA PERANCANGAN SEBELUMNYA

Pada bab ini memuat lokasi, data perencanaan sebelumnya mengenai aspek yang ditinjau di proyek untuk sebagai bahan alternatif perencanaan.

BAB III. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas mengenai landasan teori yang berkaitan dengan perhitungan daya dukung, perhitungan penulangan, dan penurunan fondasi.

BAB IV. METODE PERANCANGAN

Pada bab ini menguraikan tahapan dan metode perancangan.

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan perencanaan yang dilakukan terdapat pada bab ini.

BAB VI. PENUTUP

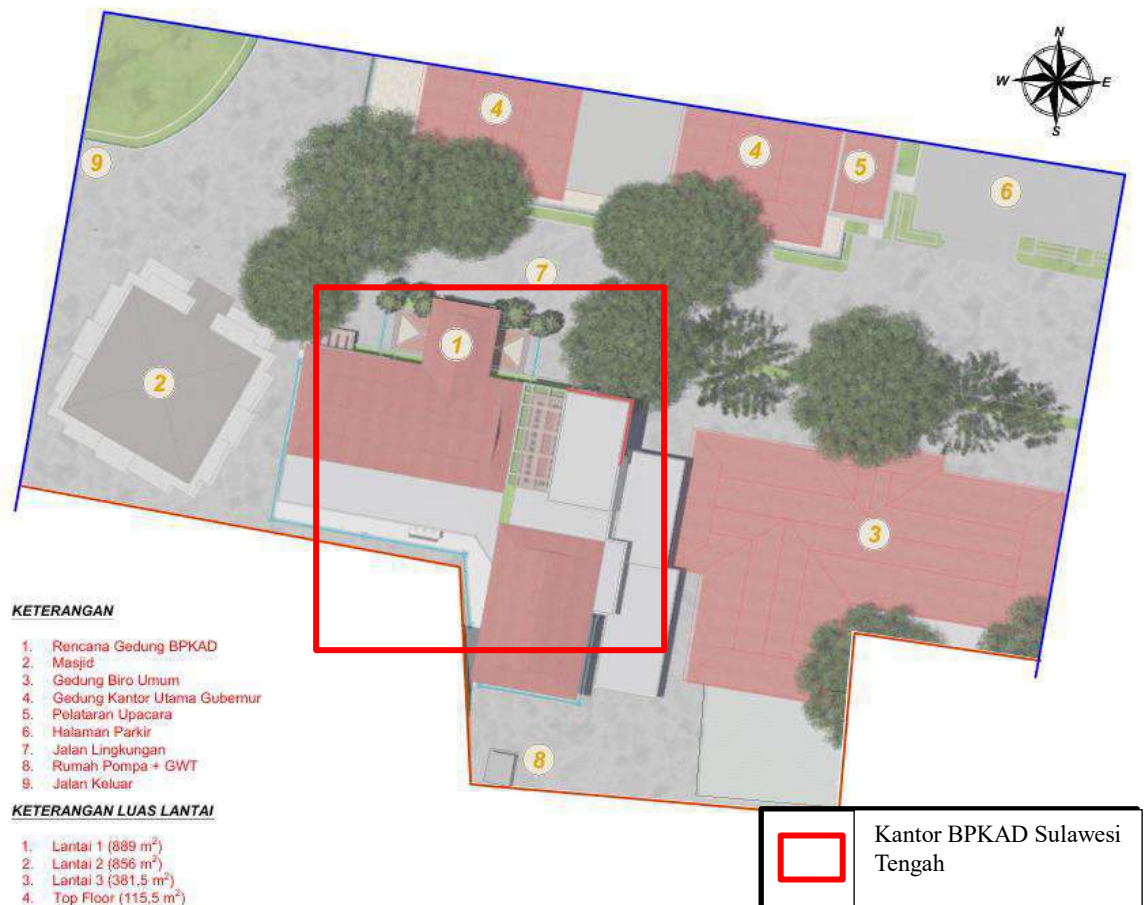
Berisi tentang kesimpulan atas saran dan hasil perencanaan yang berhubungan dengan perencanaan.

BAB II

GAMBARAN UMUM DAN DATA PERENCANAAN

2.1 Lokasi Perencanaan

Proyek pembangunan Kantor BPKAD Sulawesi Tengah berlokasi di Jalan Sam Ratulangi, Kota Palu, Sulawesi Tengah.



Gambar 2. 1 Lokasi Proyek Pembangunan Kantor BPKAD Sulawesi Tengah
Sumber : Google Earth Pro V.7.3.3, 2025

2.2 Data Perencanaan

Data yang digunakan untuk perencanaan adalah informasi yang didapat dari lembaga terkait, seperti data Boring, SPT, parameter tanah dari laboratorium, serta data struktur dari Kantor BPKAD Sulawesi Tengah.

2.2.1 Data Penyelidikan Tanah

Penyelidikan yang terkait dengan tanah meliputi pengujian Bor Inti SPT yang dilakukan di 1 titik. Sketsa posisi titik bor untuk penyelidikan lapangan dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2. 2Sketsa Lokasi Titik Bor Inti SPT Kantor BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah

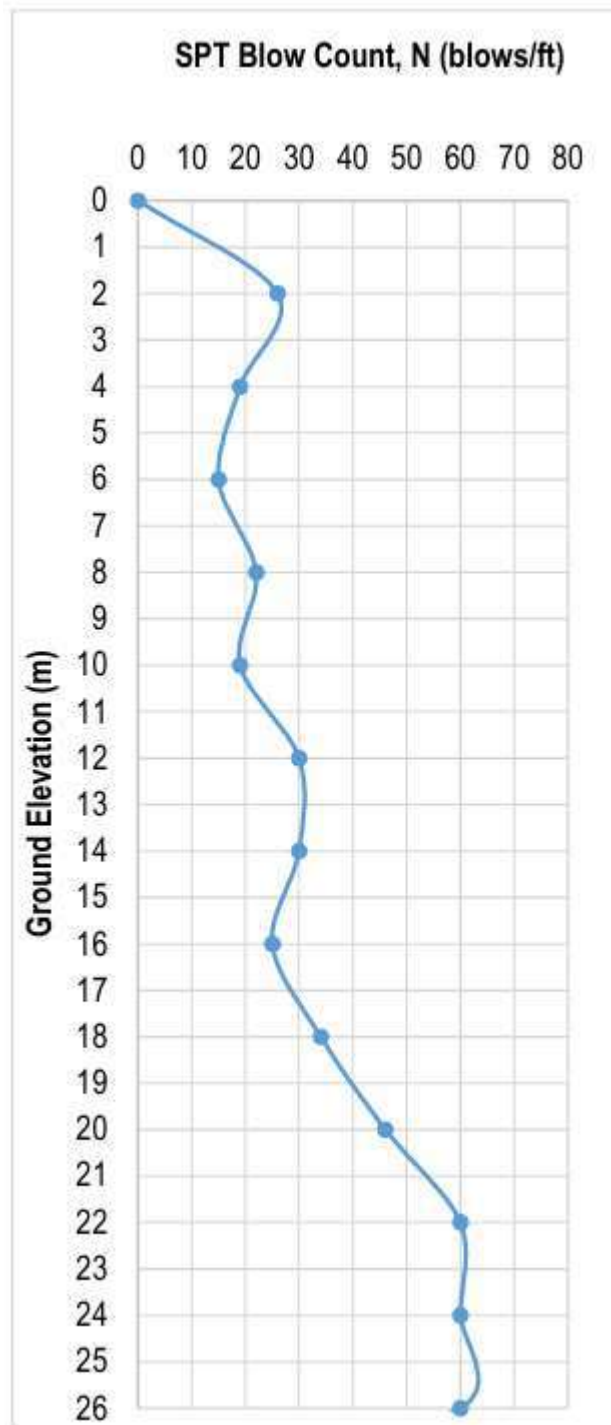
Sumber: (CV. IKBATEK_04)

Pengujian ini mengidentifikasi kedalaman lapisan tanah keras serta karakteristik daya dukung di setiap kedalaman, dan mengambil contoh sampel tanah yang tidak terganggu (Bor/Log). Berikut adalah ringkasan hasil dari penyelidikan Bor inti dan SPT.

Tabel 2. 1 Rekap Hasil Uji Bor dan Nilai SPT pada BH.01 (CV. IKBATEK_04)

Boring No.	Soil Unit Number (meter)		Description	SPT No	Sub Soil Unit Number (meter)	Consistency / Density	N-SPT (Blows/30 cm)
BH-01	1.0	0.00 - 1.00	Lempung Pasir dan Berbatu	0	0.00 - 1.00	-	-
	2.0	1.00 - 2.00	Lempung Pasir dan Berbatu	1	2.0	Kepadatan Sedang	26
	4.0	2.00 - 4.00	Lempung Berpasir	2	4.0	Kepadatan Sedang	19
	6.0	4.00 - 6.00	Pasir	3	6.0	Kepadatan Sedang	15
	8.0	6.00 - 8.00	Pasir	4	8.0	Kepadatan Sedang	22
	10.0	8.00 - 10.00	Pasir	5	10.0	Kepadatan Sedang	19
	12.0	10.00 - 12.00	Pasir	6	12.0	Kepadatan Sedang	30
	14.0	12.00 - 14.00	Pasir	7	14.0	Kepadatan Sedang	30
	16.0	14.00 - 16.00	Pasir	8	16.0	Padat	25
	18.0	16.00 - 18.00	Pasir	9	18.0	Padat	34
	20.0	18.00 - 20.00	Pasir	10	20.0	Padat	46
	22.0	20.00 - 22.00	Pasir	11	22.0	Sangat Padat	60
	24.0	22.00 - 24.00	Pasir	12	24.0	Sangat Padat	60
	26.0	24.00 - 26.00	Pasir	13	26.0	Sangat Padat	60

Sumber : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako



Gambar 2. 3 Grafik Hasil Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) pada Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah
Sumber : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako

2.3 Data Pengujian Laboratorium Tanah

Hasil dari pengujian yang dilakukan di laboratorium menunjukkan nilai-nilai parameter tanah, meliputi gradasi, berat isi (γ), berat jenis tanah (G_s), kadar air (w), angka pori (e), serta hasil uji geser langsung. Untuk sampel tanah yang diuji, terdapat satu titik yang diperiksa di lokasi Bor Inti SPT, dengan 13 sampel tanah yang diambil dari setiap lapisan tanah hingga kedalaman maksimum pengujian Bor Inti dan SPT sebesar 26 meter.

Tabel 2. 2 Hasil Pengujian Laboratorium BH.01 (CV. IKBATEK_04)

Pile Size	Effective Pile Length	Pile Bearing Capacity Base on N-SPT				Estimated Settlement
		Ultimate Base Resistance	Ultimate Friction Resistance	Ultimate Compression Bearing Capacity	Allowable Compression Bearing Capacity	
(cm)	(m)	Qs (kN)	Qb (kN)	P (kN)	(kN)	(mm)
□ 20 x 20	22.00	84.68	4646.40	4731.08	1577.03	23.13
	23.00	95.46	5078.40	5173.86	1724.62	26.45
□ 25 x 25	22.00	84.68	4646.40	4731.08	1577.03	14.81
	23.00	149.15	7935.00	8084.15	2694.72	26.45
□ 30 x 30	22.00	149.15	7260.00	7409.15	2469.72	16.10
	23.00	214.78	11426.40	11641.18	3880.39	26.45
ø 30	22.00	168.60	8206.70	8375.31	2791.77	18.20
	23.00	168.60	8969.72	9138.33	3046.11	20.76
ø 40	22.00	168.60	8206.70	8375.31	2791.77	10.24
	23.00	299.74	15946.18	16245.92	5415.31	20.76
ø 50	22.00	299.74	14589.70	14889.44	4963.15	11.65
	23.00	468.34	24915.90	25384.24	8461.41	20.76

Sumber : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadolako

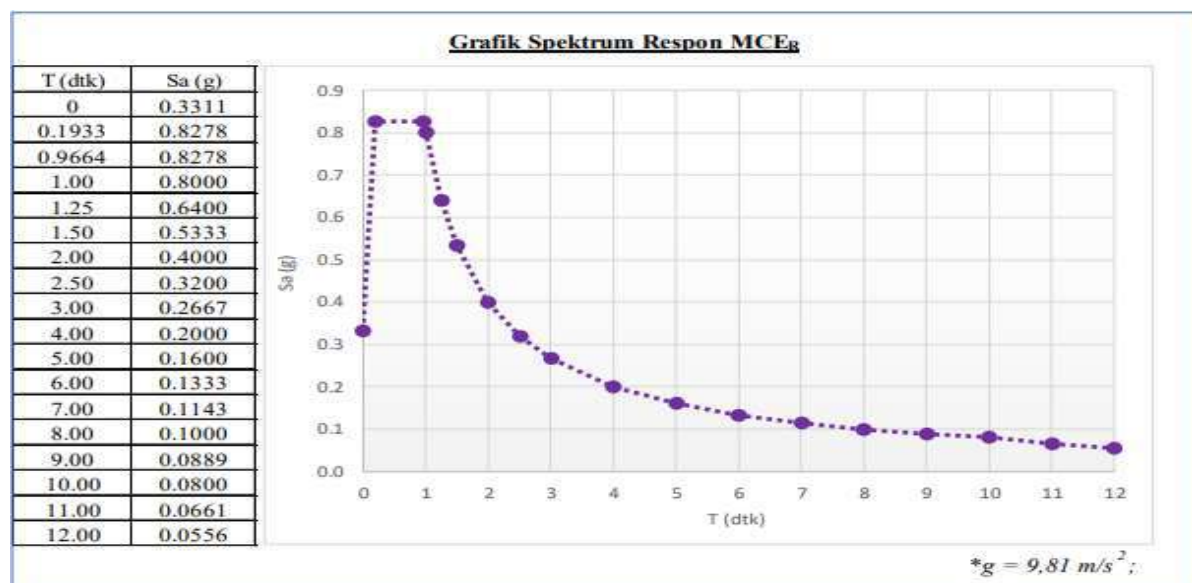
2.4 Data Struktur Bangunan

Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah Memiliki Bangunan yang Terdiri dari 2 segmen, yaitu Gedung A dan Gedung B. Gedung A memiliki beban mati

sebesar 5,40 kN/m² (termasuk *finishing*), beban hidup sebesar 23,41 kN/m², dan beban gempa terlihat pada Tabel 2.3 dan Grafik 2.1. Berikut adalah ilustrasi denah desain Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah pada Gambar 2.4 dan rancangan fondasi Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah terlihat pada Gambar 2.5

Tabel 2. 3 Parameter beban gempa desain sesuai SNI 1726-2019

Peruntukan gedung	Kantor
Koordinat gedung	-0.89118, 119.87103
Jenis tanah	Tanah Lunak
Kategori resiko gedung	III
Faktor keutamaan gedung, <i>I</i>	1.25
<i>Peak ground acceleration</i>	PGA -0.611254 g
Spektral percepatan terpetakan	$S_s = 1.55 \text{ g}$
	$S_1 = 0.6 \text{ g}$
Kelas situs	Tanah Lunak (SE)
Koefisien kelas situs	$F_a = 0.8$
	$F_s = 2.0$
Soektral respon percepatan desain	$S_{DS} = 0.8978 \text{ g}$
	$S_{D1} = 0.80 \text{ g}$
Kategori desain seismmik (KDS)	D (berdasarkan nilai $S_{DS} > 0.50 \text{ g}$)

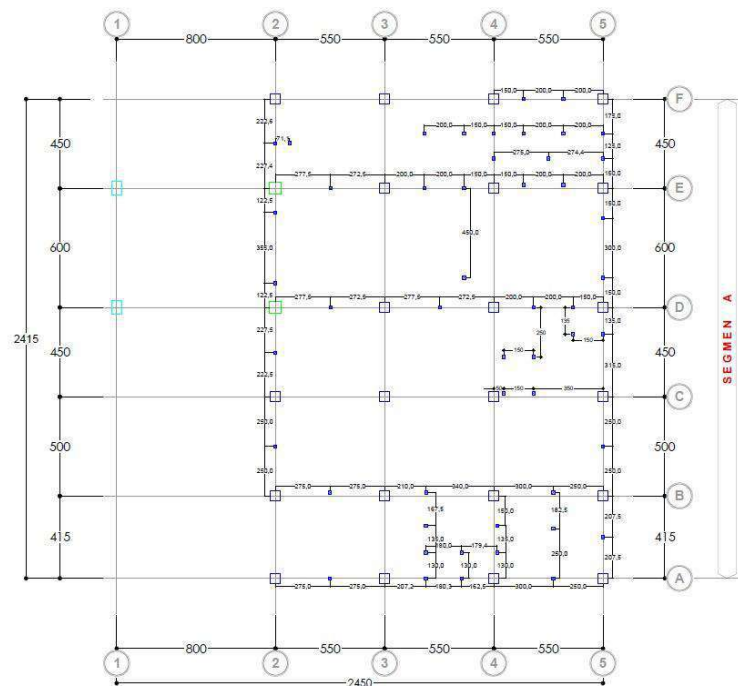


(Sumber: CV. IKBATEK_04)



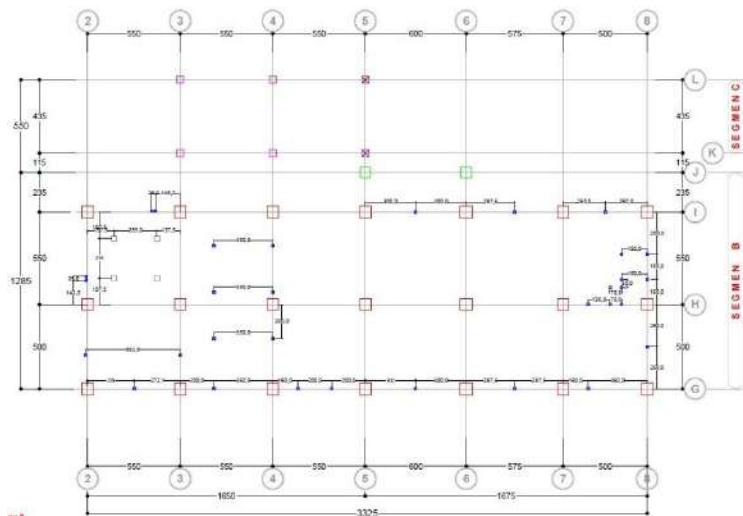
Gambar 2. 4 Layout Perencanaan Lantai Dasar Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah

Sumber : (CV.IKBATEK_04)



Gambar 2. 5 Denah Perencanaan Fondasi Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah

Sumber : (CV.IKBATEK_04)



Gambar 2. 6 Denah Perencanaan Fondasi Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah

Sumber: (CV.IKBATEK_04)

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Tanah

Tanah merupakan bagian paling atas dari bumi. Mutu tanah berbeda-beda tergantung lokasi asalnya. Menurut Dokuchaev dalam (Fauziek dan Suhendra 2018), tanah merupakan lapisan permukaan yang terbentuk dari material yang telah mengalami proses lebih lanjut akibat perubahan yang terjadi di alam dikarenakan elemen atmosfer, lingkungan, serta organisme hidup atau mati. Tingkat perubahan dapat diamati dari susunan, formasi, dan warna hasil pelapukan.

Secara umum, tanah dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu tanah kohesif dan tanah nonkohesif. Tanah juga dapat dibedakan berdasarkan ukuran partikel, yaitu berbutir halus dan berbutir kasar. Tanah yang memiliki butiran lebih besar dari 2 mm, tersebut dikenal sebagai pasir. Pasir akan disebut pasir kasar jika diameter butirannya berada dalam rentang 2 hingga 0,6 mm, disebut pasir sedang apabila ukuran butirannya berkisar antara 0,6 hingga 0,2 mm, dan diidentifikasi sebagai pasir halus ketika diameter butirannya antara 0,2 hingga 0,06 mm (Hardiyatmo, 2006).

3.1.1 Parameter Tanah

Pada suatu wilayah, tanah biasanya terdiri dari berbagai lapisan yang masing-masing mempunyai sifat yang berbeda-beda, yang dapat memengaruhi sejumlah parameter tanah yang dapat menggambarkan keadaan tanah di lokasi tersebut.

Untuk mengidentifikasi jenis tanah, kita dapat memanfaatkan informasi dari hasil uji sondir berupa tekanan konus (q_c) dan hambatan pelekatan (f_s) seperti yang tertera dalam tabel berikut:

Tabel 3. 1 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

Hasil Sondir		Klasifikasi
Qc	fs	
6,0	0,15 – 0,40	Humus, lempung sangat lunak
6,0 – 10,00	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,20 – 0,60	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek
10,0 – 30,0	0,10	Kerikil lepas
	0,10 – 0,40	Pasir lepas
	0,40 – 0,80	Lempung atau lempung kelanauan
	0,80 – 2,00	Lempung agak kenyal
30 - 60	1,50	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
	1,0 – 3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
60 - 150	1,0	Kerikil kepasiran lepas
	1,0 – 3,0	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
	3,0	Lempung kekirikilan kenyal
150 - 300	1,0 – 2,0	Pasir padat, pasir kekirikilan, pasir kasar pasir, pasir kelanauan sangat padat

(Sumber : Das, 2011)

Dari nilai qc dapat dikorelasikan terhadap konsistensi tanah ekspansif pada suatu lapisan tanah.

Tabel 3.2 Hubungan antara konsistensi tanah dengan tekanan konus

Konsistensi	Tekanan konus qc (kg/cm ²)	<i>Undrained Cohesion</i> (T/m ²)
<i>Very soft</i>	< 2.5	< 1.25
<i>Soft</i>	2.5-5.0	1.25-2.50
<i>Medium stiff</i>	5.0-10.0	2.50-5.00
<i>Stiff</i>	10.0-20.0	5.00-10.00
<i>Very stiff</i>	20.0-40.0	10.00-20.00
<i>Hard</i>	> 40.0	> 20.00

(Sumber : Begemann, 1965)

Tabel 3.3 Hubungan antara kepadatan, *Relative Density*, N, qc, dan Sudut Geser Dalam

Kepadatan	<i>Relative Density</i> (Dr)	Nilai N	Tekanan konus qc (kg/cm ²)	Sudut geser dalam (O°)
<i>Very loose</i>	< 0.2	< 4	< 20	< 30
<i>Loose</i>	0.2-0.4	4-10	20-40	30-35
<i>Medium dense</i>	0.4-0.6	10-30	40-120	35-40
<i>Dense</i>	0.6-0.8	30-50	120-200	40-45
<i>Very dense</i>	0.8-1.0	> 50	> 200	> 45

(Sumber : Meyerhof, 1965)

3.1.2 Modulus Young

Modulus Young atau modulus elastisitas tanah merupakan indikator dari kekuatan tanah yang diartikan sebagai rasio antara tegangan dan regangan. Modulus Young adalah *variable* yang berkaitan dengan kemampuan tanah untuk mengalami deformasi dan berhubungan dengan perilaku elastis linier geomaterial. Untuk menentukan nilai Modulus Young tanah digunakan pengujian *Triaxial Test*. (Das,2011) merekomendasikan penggunaan korelasi dari pengujian N-SPT dan CPT untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas pada pasir, yang dapat diterapkan menggunakan rumus dari (schmertmaan,1970) sebagai berikut:

$$E_s = 766 \times N\text{-SPT (kN/m}^2 \text{)} \quad (3.1)$$

$$E_s = 2 \times q_c \text{ (kN/m}^2 \text{)} \quad (3.2)$$

Tabel 3.4 Nilai Modulus Young

Jenis Tanah	E (Kg/cm ²)
LEMPUNG	
· Sangat lunak	3 – 30
· Lunak	20 – 40
· Sedang	45- 90
· Berpasir	300-425
PASIR	
· Berlanau	50-200
· Tidak padat	100-250
· Padat	500-1000
PASIRDAN KERIKIL	
· Padat	800-2000
· Tidak padat	500-1400
LANAU	20-200
LOSES	150-600
CADAS	1400-14000

(Sumber: Bowles, 1997)

3.1.3 Possion Ratio

Passion Ratio diukur sebagai tekanan aksial dibandingkan dengan tegangan permukaan *transversal*. Nilai *Passion Ratio* dapat ditetapkan berdasarkan jenis tanah seperti tabel 3.5 berikut:

Tabel 3.5 Nilai Ratio

Jenis Tanah	Poisson Ratio (μ)
Lempung Jenuh	0,4-0,5
Lempung Jenuh	0,1-0,3
Lempung Jenuh	0,2-0,3
Lanau	0,3-0,35
Pasir	0,1-1,0
Batuan	0,1-0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3-0,4

(Sumber : Das 2011)

Pada tanah kondisi *drained poison ratio* berkisar 0.3-0.4. Sedangkan pada tanah *undrained* bernilai 0.5, namun menurut (Bowles, 1987). pada kondisi *undrained* nilai *Poisson ratio* yang disarankan memakai nilai $\nu = 0.495$.

3.1.4 Sudut Gesek Dalam

Sudut gesek dalam adalah sudut yang terbentuk dari interaksi antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam zat tanah atau batuan. Sudut geser dalam merupakan sudut yang timbul ketika suatu material terpapar tekanan atau gaya yang melebihi tegangan gesernya. Ketika sudut gesek dalam suatu material semakin besar, maka material tersebut akan lebih mampu menahan beban eksternal yang diterapkan padanya.

Tabel 3.6 Hubungan Tingkat Kepadatan dan Sudut Gesek Tanah

Tingkat Kepadatan	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Sangat lepas	< 30
Lepas	30 – 35
Agak padat	35 – 40
Padat	40 – 45
Sangat padat	> 45

(Sumber : Bowles, 1987)

3.1.5 Kohesi

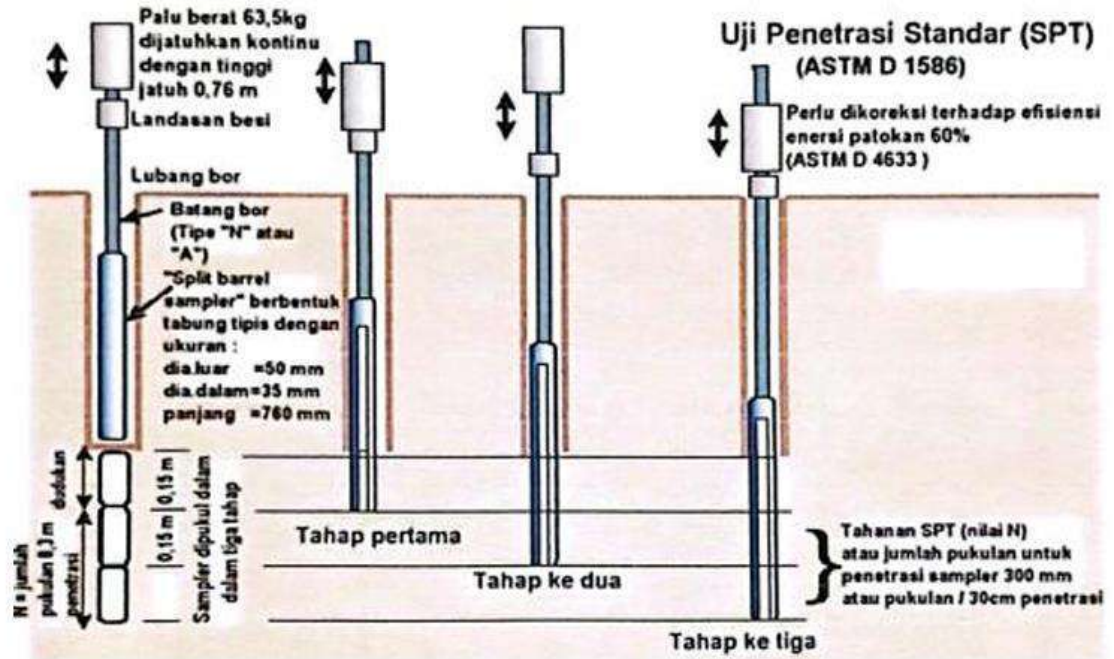
Kohesi merujuk pada daya tarik antara partikelnya didalam tanah, diukur dalam berat per luas. Ketika kekuatan geser meningkat, kohesi tanah juga akan meningkat. Nilai kohesi (c) diperoleh melalui pengujian dilaboratorium seperti uji kuat geser langsung dan *triaxial* tes. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kohesi ialah kerapatan serta jarak antar molekul yang ada dalam sebuah material. Kohesi memiliki hubungan langsung dengan kerapatan, sehingga semakin besar kerapatan, semakin besar pula kohesinya. Dalam konteks ini, material padat menunjukkan tingkat kohesi yang tinggi, sedangkan cairan memiliki kohesi terendah. Secara empiris, nilai kohesi dapat ditentukan menggunakan data sondir (qc).

3.1.6 Uji Penetrasi Standar (SPT)

Uji Penetrasi Standar (SPT) merupakan salah satu cara pengujian tanah di lapangan yang paling umum digunakan dalam penelitian geoteknik. Tujuan dari uji ini adalah untuk menentukan karakteristik tanah berdasarkan nilai ketahanan penetrasi yang diukur secara langsung di lokasi. Hasil dari SPT digunakan untuk memperkirakan parameter teknis tanah seperti kepadatan pasir, konsistensi lempung, daya dukung, dan potensi likuifaksi. Dalam merancang fondasi, nilai N bisa dipakai sebagai indikator tentang kemungkinan jenis keruntuhan fondasi yang dapat terjadi (Terzaghi dan Peek, 1948).

Data yang diambil dari SPT merupakan informasi awal yang akan diolah menjadi gambaran tipe tanah, yang pada gilirannya akan memengaruhi nilai kepadatan Relatif (Dr), Modulus Elastisitas (E) untuk tanah berpasir, serta Indeks Konsistensi (CI) untuk

tanah lempung melalui pemanfaatan grafik dan tabel yang telah dikumpulkan penulis dari studi literatur.



Gambar 3. 1 Skema Urutan Uji Penetrasi Standar

(Sumber : SNI 4153, 2018)

- 1) Korelasi N-SPT dengan Kepadatan Relatif (D_r) Tanah Pasir
(Terzaghi, K, & Peck, 1948) memberikan penjelasan kualitatif mengenai keterkaitan antara nilai N-SPT dan kepadatan relatif pada tanah pasir dalam Tabel 3.7. Bowles, 1996 juga menyarankan nilai empiris yang menghubungkan nilai N-SPT yang sudah dikoreksi dengan kepadatan relatif, sudut geser dalam, serta berat jenis Tabel 3.8.

Tabel 3. 7 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

N-SPT	Kepadatan Relatif, D_r
0 – 4	Sangat lepas
4 – 10	Lepas
10 – 30	Menengah
30 – 50	Padat
Over 50	Sangat padat

(Sumber : Warman, 2019)

Tabel 3. 8 Hubungan antara parameter Tanah untuk Tanah Pasar

Kondisi	Kerapatan Relatif	Nilai SPT (N)	Nilai tahanan kerucut statis, sondir, (CPT), q_c (kg/cm ²)	Sudut gesek dalam (ϕ)
Sangat tidak padat	< 0.2	< 4	< 20	< 30°
Tidak padat	0.2-0.4	4-10	20-40	30°-35°
Agak padat	0.4-0.6	10-30	40-120	35°-40°
Padat	0.6-0.8	30-50	120-200	40°-45°
Sangat padat	> 0.8	> 50	> 200	> 45°

(Sumber : Hakam, 2010)

2) Korelasi N-SPT dengan kohesi undrained (C_u) untuk tanah lempung

Szechy dan Varga (1978) memberikan korelasi antara Indeks Konsistensi (CI), N dan C_u pada Tabel 3.9.

Korelasi antara CI, N, dan C_u (Szechy dan Vargaa, 1978)

Tabel 3. 9 Korelasi antara CI, N, dan C_u (Szechy dan Vargaa, 1978)

N	CI	Konsistensi	C_u (kN/m ²)
< 2	< 0.5	Sangat lunak	< 12.5
2-8	0.5-0.75	Lunak ke sedang	12.5-40
8-15	0.75-1.0	Kaku	40-75
15-30	1.0-1.5	Sangat kaku	75-200
> 30	> 1.5	Keras	> 200

(Sumber : Warman, 2019)

3) Korelasi Terhadap Angka *Poisson*

Tabel 3. 10 Angka *Poisson* untuk beberapa jenis tanah

Soil type	Short-term loading	Long-term loading
<i>Gravel</i>	0.30	0.30
<i>Sand</i>	0.35	0.30
<i>Silt, silty clay</i>	0.45	0.35
<i>Stiff clay</i>	0.45	0.25
<i>Soft clay</i>	0.50	0.40
<i>Compacted clay</i>	0.45	0.30

(Sumber : Australia, 1999)

4) Korelasi Terhadap Modulus Elastisitas

Type	Strength of soil	Elastic modulus, E (MPa)	
		Short term	Long term
Gravel	Loose	25–50	
	Medium	50–100	
	Dense	100–200	
Medium to coarse sand	Very loose	<5	
	Loose	3–10	
	Medium dense	8–30	
	Dense	25–50	
	Very dense	40–100	
Fine sand	Loose	5–10	
	Medium	10–25	
	Dense	25–50	
Silt	Soft	< 10	< 8
	Stiff	10–20	8–15
	Hard	> 20	> 15
Clay	Very soft	< 3	< 2
	Soft	2–7	1–5
	Firm	5–12	4–8
	Stiff	10–25	7–20
	Very stiff	20–50	15–35
	Hard	40–80	30–60

(Sumber : Look, 2014)

3.2 Fondasi

Fondasi merupakan elemen dasar dari suatu bangunan yang bersentuhan langsung dengan tanah, atau elemen bangunan yang berada di bawah permukaan tanah yang memiliki peran sebagai penopang untuk beban dari bagian bangunan di atasnya. Perhitungan fondasi harus dilakukan agar dapat memastikan stabilitas bangunan terhadap berat yang dimilikinya, beban dari struktur bangunan itu sendiri, serta gaya-gaya eksternal seperti tekanan dari angin, gempa, dan faktor lainnya.

Fondasi suatu bangunan adalah elemen yang krusial dalam proses pembangunan. Fondasi berfungsi sebagai komponen yang bersentuhan langsung dengan lapisan tanah padat di bawahnya. Karena struktur tanah dasar tidak bisa dimodifikasi, pemilihan tipe dan desain fondasi harus disesuaikan dengan kondisi serta karakteristik jenis tanah yang ada di dasarnya.

Pengertian fondasi adalah elemen dasar dari konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai tempat meletakkan struktur bangunan dan mengalirkan beban bangunan ke lapisan tanah di bawah fondasi tanpa menyebabkan keruntuhan karena geseran atau

penurunan yang berlebihan pada fondasi maupun tanah. Tugas utama fondasi adalah untuk menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah yang terletak di bawahnya. Perencanaan fondasi dianggap akurat jika beban yang diteruskan oleh fondasi ke tanah tidak melebihi batas kekuatan tanah yang diperbolehkan. Jika kekuatan tanah terlampaui, maka akan terjadi penurunan berlebih atau keruntuhan dari tanah akan terjadi (Das, 1998).

3.2.1 Jenis Fondasi Tiang

Fondasi tiang berfungsi untuk mendistribusikan beban dari struktur ke lapisan tanah yang lebih dalam dan lebih kokoh, terutama ketika tanah di permukaan tidak mampu menahan berat dari bangunan. Ada berbagai macam jenis fondasi tiang yang biasa dipakai dalam dunia konstruksi, sebagai berikut :

1. Fondasi Tiang Pancang (*Driven Pile*)

Fondasi tiang pancang merupakan elemen dari fondasi yang berbentuk tiang. Tiang ini ditempatkan pada lapisan tanah yang mendukung dan berfungsi untuk menampung serta meneruskan beban dari struktur atas ke tanah yang terletak pada kedalaman tertentu. Fondasi tiang pancang diaplikasikan dalam konstruksi bangunan ketika tanah di bawah alas bangunan tidak memiliki daya dukung yang memadai untuk menahan berat dari bangunan di atasnya (Sardjono, 1988).

Pemasangan tiang pancang dilakukan dengan menggunakan alat pancang yang dipandu untuk menancapkan tiang ke dalam tanah. Proses ini dapat dilakukan dengan menggunakan *hammer* pancang (pancang godam) atau dengan alat hidrolik.

2. Fondasi Tiang Bor (*Boredpile*)

Fondasi *boredpile* merupakan jenis fondasi tiang yang dipasang melalui proses pengeboran tanah terlebih dahulu (Hardiyatmo, 2010). Prosedur penancapan fondasi *boredpile* ke dalam tanah dilakukan dengan cara member tanah lebih dulu, setelah itu diisi dengan rangka tulangan dan dituangkan beton. Jika kondisi tanah mengandung air, diperlukan pipa besi

atau yang dikenal sebagai *temporary casing* untuk mendukung dinding lubang agar tidak runtuh, dan pipa ini akan dikeluarkan saat pengecoran beton berlangsung.

3. Fondasi Tiang Kayu

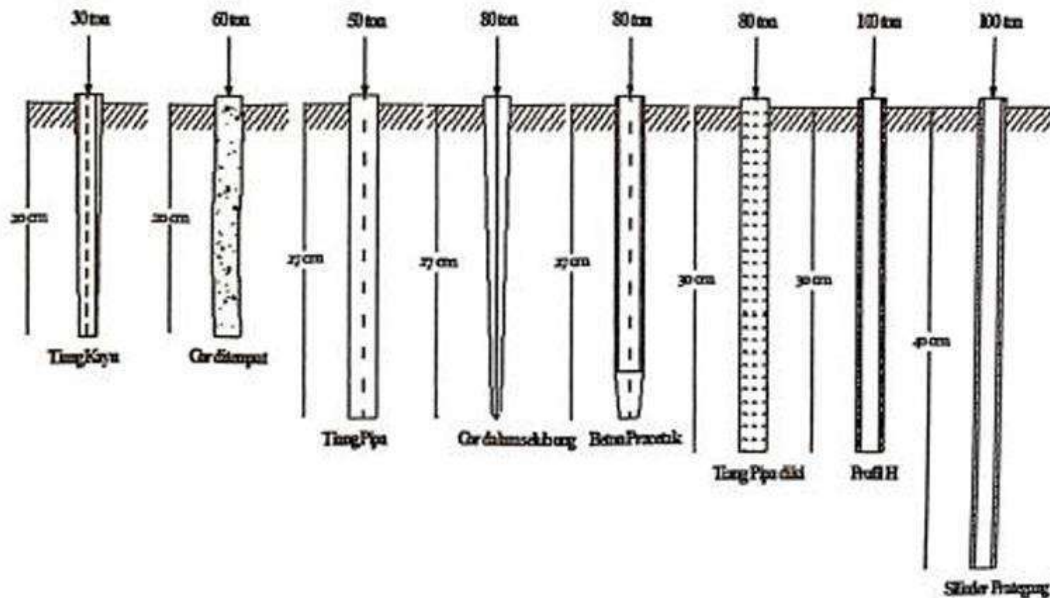
Fondasi berbasis tiang kayu merupakan salah satu tipe fondasi yang memanfaatkan kayu sebagai bahan tiang untuk meneruskan beban ke lapisan tanah yang lebih solid. Tiang yang terbuat dari kayu (*timber pile*) dipakukan ke dalam tanah secara manual atau melalui lubang yang dibuat dan kemudian diisi dengan pasir dan batu. Fondasi tiang pancang kayu digunakan pada lokasi dengan tanah yang lunak, lahan basah, keadaan daya dukung tanah (σ tanah) yang rendah, tingkat air tanah yang tinggi, dan tanah keras yang berada di kedalaman yang sangat dalam.

3.2.2 Fondasi Tiang Pancang

Tiang pancang adalah komponen bangunan yang memiliki bentuk silindris dan dimasukkan ke dalam tanah melalui metode pemukulan, penekanan, atau pengeboran untuk menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah yang kuat dan stabil pada kedalaman yang telah ditentukan (Das, 2016).

3.2.3 Tipe-tipe Fondasi Pancang

Pelaksanaan fondasi tiang pancang di lapangan sendiri memiliki berbagai macam tipe tergantung bagaimana individu.



Gambar 3. 2 Panjang dan Beban Maksimum untuk berbagai macam tipe yang umum dipakai dalam praktek

(Sumber : Hardiyatmo, 2011)

Berdasarkan Material :

1. Tiang Kayu

Tiang ini terbuat dari kayu, pada umumnya berdiameter antara 10-25 cm.

2. Tiang Beton Pracetak

Tiang yang terbuat dari beton dicetak disatu tempat sebelum dipindahkan ke lokasi yang telah direncanakan untuk pembangunan.

3. Tiang Beton Cetak di Tempat

Tiang beton pracetak dibagi menjadi dua kategori, yaitu:

- Tiang yang dilapisi pipa
- Tiang yang tidak dilapisi pipa

4. Tiang Bor

Tiang ini ditanam ke dalam bumi dengan cara terlebih dahulu melakukan pengeboran pada tanah, kemudian memasukkan rangka tulangan yang telah disusun dan menuangkan beton.

5. Tiang Baja Profil

Tiang ini masih tergolong dalam kategori tiang pancang yang terbuat dari material baja profil.

6. Tiang Komposit

Berbagai jenis gabungan antara tiang pancang atau tiang bor bersama dengan tiang pancang bisa dimanfaatkan untuk mengatasi masalah-masalah di situasi tertentu.

Berdasarkan Penampang (Bentuk Fisik) :

1. Tiang Pancang Persegi (*Square*)

- Penampang berbentuk bujur sangkar
- Umum digunakan untuk tiang pancang beton pracetak.
- Ukuran umum: 20x20 cm, 30x30 cm, 40x40 cm

2. Tiang Pancang Segitiga (*Triangle*)

Bentuk tiang pancang segitiga atau *Triangle* sangat jarang digunakan , biasanya digunakan dalam bentuk khusus atau inovatif.

3. Tiang Pancang Segi Enam (*Hexagonal*)

Bentuk tiang segi enam atau *hexagonal* biasanya digunakan di beberapa aplikasi, bentuk ini lebih jarang digunakan dibandingkan dengan bentuk persegi.

4. Tiang Pancang Bulat (*Round*)

Bentuk bulat pada umumnya digunakan pada tiang pancang dari beton pratekan (*spun pile*) atau pipa baja. Tiang Pancang bulat atau *round* dapat memiliki diameter bervariasi yaitu, 30 cm, 50 cm, dan 60 cm.

5. Tiang Pancang H (*H-Pile*)

Tiang ini memiliki penampang seperti huruf H, umumnya digunakan untuk tiang baja dan cocok digunakan untuk tanah keras serta sebagai tiang pancang structural.

6. Tiang Pancang Pipa (*Pipe Pile*)

Tiang ini berbentuk tabung atau silinder yang berlubang, pada umumnya digunakan untuk tiang baja, baik terbuka maupun tertutup pada bagian ujungnya.

3.2.4 Langkah-langkah dalam Perancangan Fondasi Tiang Pancang

Pada Prinsipnya, dalam perancangan fondasi tiang pancang secara umum dapat dilakukan dengan cara berikut :

- 1) Menghitung kemampuan tanah didasar bangunan serta menghitung beban yang berpengaruh dari struktur bangunan ke dasar fondasi.
- 2) Menghitung kemampuan dukungan izin fondasi (q_u) untuk satu kolom, yang berfungsi pada arah gaya tekan atau tarik kolom secara vertikal atau horizontal.
- 3) Setelah memperoleh izin untuk satu tiang, semua tiang lainnya perlu diuji daya dukungnya. Gaya gesek yang terjadi pada permukaan tiang merupakan kapasitas dukung yang diperoleh untuk fondasi tiang.
- 4) Berdasarkan susunan dan jumlah tiang, beban yang dikenakan pada tiap tiang dapat dihitung. Selanjutnya, perlu diperiksa apakah beban ini masih dalam batas kapasitas dukung yang diperbolehkan. Apabila melebihi kapasitas dukung yang diijinkan, maka perlu dilakukan revisi terhadap diameter, jumlah, serta pengaturan tiang.
- 5) Jika rincian perencanaan struktur tiang telah diselesaikan, maka tumpuan wajib diperiksa berdasar reaksi yang terjadi pada bagian atas tiang.
- 6) Hal-hal yang berkaitan dengan struktur tertentu, seperti proses (perlakuan) pada kepala tiang atau penggunaan alat penghubung (*coupling*) dapat ditentukan kemudian.

3.3 Kapasitas Daya Dukung Fondasi

Kapasitas daya dukung fondasi merujuk pada kemampuan tanah untuk menahan beban daari struktur yang berada di atasnya, dan ini diukur melalui tahanan geser tanah yang berfungsi untuk mencegah penurunan yang disebabkan oleh beban. Penilaian kapasitas dukungan fondasi dilakukan melalui pendekatan yang bertujuan untuk menyederhanakan proses perhitungan. Perhitungan daya dukung dapat dilakukan menggunakan informasi laboratorium, yang mencakup teori Terzaghi, teori Mayerhoff, serta teori-teori lain yang relevan, dan juga dapat didasarkan pada data lapangan seperti SPT atau CPT/Sondir.

3.3.1 Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang dari Hasil *Standard Penetration Test* (SPT)

SPT merupakan eksperimen di lapangan yang melibatkan penempatan sebuah alat yang disebut *split spoon* ke dalam tanah. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengukur kepadatan relatif (D_r), sudut geser dalam tanah (ϕ) serta jumlah pukulan nilai N dari tanah tersebut (Hardiyatmo, 2011).

Perhitungan daya dukung tiang pancang dari hasil SPT Memiliki 2 metode, yaitu:

1. Mayerhoff (1976) dan Bazaara (1967)

Nilai N -SPT yang diperoleh dari lapangan tidak dapat langsung diterapkan dalam rancangan fondasi. Angka tersebut perlu disesuaikan terlebih dahulu dengan permukaan air tanah dan tekanan *overburden* yang ada.

Koreksi terhadap muka air tanah dilakukan khusus untuk pasir halus, pasir berlanau dan pasir berlempung yang berada di bawah muka air tanah dan hanya bila $N > 15$.

$$(\text{Terzaghi \& Peek, 1960}) N_1 = 15 + \frac{1}{2} (N - 15) \dots \dots \dots (3.3)$$

$$(\text{Baazara, 19967}) N_1 = 0,6 N \dots \dots \dots (3.4)$$

Jenis tanah lempung, lanau dan pasir kasar serta tanah yang memiliki nilai $N \leq 15$ tidak ada koreksi. Jadi nilai $N_1 = N$.

Hasil dari koreksi 1 (N_1) dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan vertikal efektif (*overburden pressure*) pada lapisan tanah dimana nilai N tersebut didapatkan. Nilai N_2 harus $\leq 2N_1$. Bila dari koreksi didapatkan $N_2 > 2N_1$.

Setelah melakukan revisi pada nilai N -SPT, langkah berikutnya adalah menghitung kapasitas dukung tanah untuk tiang pancang dengan menerapkan rumus Mayerhoff seperti di bawah ini:

$$Q_{ultimate} = Q_{ujung} + Q_{selimut} \dots \dots \dots (3.5)$$

$$Q_{ultimate} = C_n \cdot A_p + \sum C_{li} \cdot A_{si} \dots \dots \dots (3.6)$$

Dimana:

C_{li} = Hambatan geser selimut tiang pada segmen I (fsi)

= fsi, dimana:

- N/2 ton/m² untuk tanah lempung atau lanau

- N/5 ton/m² untuk tanah pasir

A_{si} = Luas Selimut Tiang pada segmen ke I = $O_i \times h_i$

O_i = Keliling tiang

C_n = 40 N

A_p = Luas penampang dasar tiang (t/m²)

2. Luciano Decourt

$$Q_{ult} = \alpha (q_p \cdot A_p) + \beta (q_s \cdot A_s) \dots \dots \dots (3.7)$$

$$Q_p + Q_s = [\cdot (N_p \cdot K) \cdot A_p] + [\beta \cdot \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \cdot A_s] \dots \dots \dots (3.8)$$

Dimana :

Q = Daya dukung ultimate (ton)

q_p = Daya dukung ujung tiang (*end bearing capacity*) (ton)

q_s = Daya dukung selimut tiang (*skin friction bearing*) (ton)

N_p = Harga rata-rata SPT sekitar 4D diatas hingga 4D dibawah dasar tiang fondasi (d = diameter fondasi)

K = Koefisien karakteristik tanah (kPa) :

12 t/m² (117,7 kPa), untuk lempung

20 t/m² (196 kPa), untuk lanau berlempung

25 t/m² (245 kPa), untuk lanau berpasir

40 t/m² (392 kPa), untuk pasir

A_p = Luas penampang dasar tiang (m²)

q_p = Tegangan di ujung tiang (t/m²)

q_s = Tegangan akibat lekatan lateral (t/m²)

A_s = Luas selimut tiang (keliling . Panjang tiang yang terbenam) (m²)

N_s = Harga rata-rata sepanjang tiang yang tertanam dengan Batasan

$$3 < N < 50$$

α = Koefisien dasar tiang (pada Tabel 3.11)

β = Koefisien selimut tiang (pada Tabel 3.12)

Tabel 3. 11 Koefisien Dasar Tiang α (Decourt & Quaresma, 1978; Decourt dkk, 1996)

Soil/ Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (Bentonite)	Continuous Hollow Auger	Root Piles	Injected Piles (High Pressure)
Clay	1,00	0,85	0,85	0,30	0,85	1,00
Intermediate Soils	1,00	0,60	0,60	0,30	0,60	1,00
Sand	1,00	0,50	0,50	0,30	0,50	1,00

Tabel 3. 12 Koefisien Selimut Tiang β (Decourt & Quaresma, 1987; Decourt dkk, 1996)

Soil/ Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (Bentonite)	Continuous Hollow Auger	Root Piles	Injected Piles (High Pressure)
Clay	1,00	0,80	0,90	1,00	1,50	3,00
Intermediate Soils	1,00	0,65	0,75	1,00	1,50	3,00
Sand	1,00	0,50	0,65	1,00	1,50	3,00

Tabel 3. 13 Faktor Adhesi Untuk Selimut Tiang Pada Tanah Lempung (Kilhawy dan Mayne, 1990)

Adhesion Faktor, α (dimensinless)	Undrained Shear Strenght, C_u (tsf)	Undrained Shear Strength, $C_u(t/m^2)$
0,55	< 0,2	< 21,5
0,49	2,0 – 3,0	21,5 – 32,25
0,42	3,0 – 4,0	32,25 – 43,0
0,38	4,0 – 5,0	32,25 – 43,0
0,35	5,0 – 6,0	53,75 – 64,5
0,33	6,0 – 7,0	64,5 – 72,25
0,32	7,0 – 8,0	72,25 – 86,0
0,31	8,0 – 9,0	86,0 – 96,75
Treat as Rock	> 9	> 96,75

3.3.2 Faktor Aman Tiang Pancang

Menurut Hardiyatmo (2018), Untuk mendapatkan kapasitas izin tiang, kapasitas ultimate tiang perlu dibagi dengan faktor keamanan tertentu. Berbagai nilai dari faktor keamanan yang telah sering diterapkan dalam perancangan tiang pancang:

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \dots \dots \dots (3.9)$$

Beberapa peneliti mengemukakan bahwa terdapat faktor keamanan yang berbeda untuk tahanan gesekan dinding dan tahanan ujung kapasitas yang diizinkan dinyatakan dalam rumus berikut:

$$Q_a = \frac{Q_p}{3} + \frac{Q_s}{1,5} \dots \dots \dots (3.10)$$

Penggunaan faktor keamanan $F = 1,5$ untuk tahanan gesek dinding (Q_s) yang lebih rendah dibandingkan faktor keamanan untuk tahanan ujung tiang (yaitu 3) disebabkan oleh fakta bahwa nilai maksimum dari resistansi gesek sisi tiang terjadi saat tiang mengalami penurunan antara 2-7 mm. Sementara itu, tahanan ujung (Q_b) memerlukan penurunan yang lebih signifikan agar kekuatan tahanan ujung dapat berfungsi dengan optimal. Dengan demikian, tujuan dari penerapan faktor – faktor keamanan ini adalah untuk memastikan bahwa tiang tetap aman dari risiko keruntuhan dengan memperhitungkan penurunan tiang yang timbul akibat beban kerja yang dikerahkan. Tomlison merekomendasikan agar nilai Q_a dalam persamaan.

Nilai-nilai faktor keselamatan yang direkomendasikan oleh Reese dan O'Neill (1989) dapat dilihat dalam Tabel 3.14. Rentang faktor keselamatan hasil analisis statis yang biasa digunakan berada di antara 2 – 4, dengan angka merupakan yang paling umum diterapkan.

Tabel 3. 14 Faktor Aman yang Disarankan Oleh Reese dan O'Neill (1989)

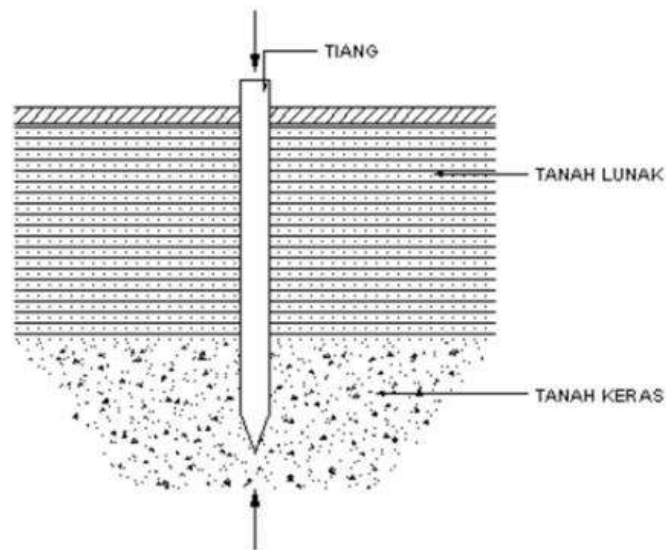
Klasifikasi Struktur	Faktor Aman (F)			
	Kontrol Baik	Kontrol Aman	Kontrol Jelek	Kontrol Sangat Jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2,0	2,3	2,8

Sumber: Hardiyatmo, 2018

3.4 Tiang Dukung Ujung dan Tiang Dukung Gesek

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang pancang dibagi menjadi 2 macam (Hardiyatmo,2010), yaitu :

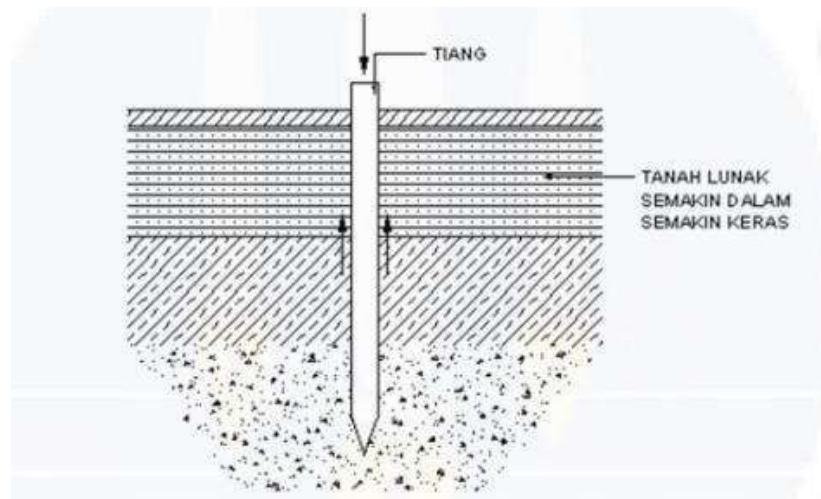
Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) merupakan tiang pancang yang kemampuannya dalam menahan beban ditentukan oleh tahanan dari bagian ujung tiang tersebut. Biasanya, tiang dukung ujung memiliki karakteristik yang berada di area tanah lunak yang terletak di atas lapisan tanah yang lebih padat. Tiang pancang akan terus turun sampai mencapai batuan dasar atau *layer* keras lain yang mampu memberikan dukungan terhadap beban yang diperkirakan tanpa menimbulkan penurunan yang berlebihan. Kemampuan tiang ini sepenuhnya diukur berdasarkan tahanan dari lapisan keras yang terdapat di bawah ujung tiang.



Gambar 3. 3 Tiang dukung ujung (Tomlison, 1977)

Sumber: *Hardiyatmo, 2010*

Tiang dukung gesek merupakan tiang yang kemampuan penyanggahnya lebih ditentukan oleh gesekan antara dinding tiang dan lapisan tanah di sekelilingnya. Faktor gesekan serta efek konsolidasi dari lapisan tanah yang ada di bawahnya diperhitungkan dalam perhitungan kapasitas tiang.



Gambar 3. 4 Tiang dukung gesek (Tomlinson, 1977)

Sumber : *Hardiyatmo, 2010*

3.4.1 Metode Pemasangan Tiang Pancang

Tujuan Pemasangan tiang pancang adalah menanamkan tiang ke dalam tanah sampai mencapai lapisan tanah keras atau lapisan dengan daya dukung yang cukup. Metode pemasangan dipilih berdasarkan jenis tanah, jenis tiang, lokasi proyek, dan dampak lingkungan.

Adapun beberapa metode pemasangan tiang pancang sebagai berikut.

1. *Drop Hammer* (Palu Jatuh)

Alat pancang sederhana yang digunakan untuk memasang tiang pancang dengan cara menjatuhkan palu berat secara vertikal dari ketinggian tertentu pada kepala tiang. Energi tumbukan dari palu yang jatuh digunakan untuk mendorong tiang ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman atau daya dukung yang diinginkan.

2. *Hydraulic Hammer*

Alat pancang yang menggunakan tenaga hidrolik untuk menghasilkan energi tumbukan yang konsisten dan terkontrol dalam memasang tiang pancang ke dalam tanah. Berbeda dengan *Drop Hammer* yang mengandalkan gaya gravitasi, *Hydraulic hammer* mengandalkan tekanan fluida (minyak hidrolik) untuk memukul kepala tiang secara mekanis.

3. *Vibro Hammer* (Getaran)

Alat pemasangan pancang yang menggunakan getaran frekuensi tinggi untuk mengurangi tahanan gesek tanah di sekitar tiang, sehingga mempermudah penancapan tiang ke dalam tanah tanpa menggunakan pukulan keras seperti pada *Drop Hammer* atau *Hydraulic Hammer*.

4. *Press-in* (*Hydrolic Jacking/Silent Piler*)

Metode pemasangan tiang pancang dengan cara menekan tiang secara perlahan ke dalam tanah menggunakan tenaga hidrolik tanpa menyebabkan getaran atau kebisingan yang signifikan. Metode ini sering disebut sebagai *Hydraulic Jacking* atau *Silent Piling* karena prosesnya yang sunyi dan minim gangguan lingkungan.

3.5 Masa Penurunan pada Fondasi

Durasi yang diperlukan untuk terjadinya penurunan tanah perlu dipahami agar struktur menjadi lebih aman tanpa mengalami penurunan tambahan. *Vertical drain* adalah metode untuk mempercepat proses penurunan. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung penurunan atau *settlement* :

$$T = \frac{T_v \times H^2}{C_v} \quad (3.9)$$

Dimana :

T = Waktu penurunan

T_v = faktor waktu (derajat konsolidasi rata-rata), pada **tabel 3.11**

H² = seluruh Panjang lintasan fondasi (m)

C_v = derajat konsolidasi (0,0045 m²/dtk)

Tabel 3.15 Derajat Konsolidasi

U _{av} (%)	T _v
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,403
70	0,197
80	0,657
90	0,0848
100	∞

(Sumber: Mardani, 2014)

3.5.1 Penurunan Fondasi Tiang Pancang

Besar penurunan fondasi dipengaruhi oleh karakteristik tanah serta cara tekanan fondasi dialirkan ke tanah yang ada di bawahnya. Untuk menentukan estimasi

penurunan elastis pada fondasi tiang tunggal, digunakan pendekatan semi empiris, sedangkan untuk fondasi tiang kelompok, diterapkan metode Mayerhoff.

1. Penurunan Tiang Tunggal

Penurunan jangka pancang untuk dasar tiang tunggal tidak perlu dievaluasi kembali karena penurunan yang terjadi pada tiang akibat pemadatan tanah tergolong rendah. Ini disebabkan oleh fakta bahwa fondasi tiang dirumuskan berdasarkan daya dukung ujung dan daya dukung fraksinya atau total dari keduanya. (Hardiyatmo, 2002)

Metode semi empiris diterapkan untuk mengukur penurunan tiang tunggal. Penurunan elastis dari fondasi tiang tunggal yang disebabkan oleh beban vertikal dapat dihitung dengan cara berikut:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \dots\dots\dots(3.10)$$

Dengan :

S = Penurunan elastis total fondasi tiang Tunggal (mm)

S_1 = penurunan akibat deformasi aksial tiang Tunggal (mm)

S_2 = Penurunan dari ujung tiang (MM)

$$S_1 = \frac{Q_{wp} + \xi Q_{ws} L}{A_p \cdot E_p} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dengan:

Q_{wp} = beban yang didukung ujung tiang (kg)

Q_{ws} = beban yang didukung selimut tiang (kg)

E_p = modulus elastisitas tiang (kg/cm²)

L = panjang tiang (cm)

A_p = luas penampang (cm²)

ξ = Koefisien dari *skin friction*

Vesic (1977) merekomendasikan nilai $\xi = 0,5$ untuk distribusi gesekan yang bersifat seragam dan parabolik, sementara untuk distribusi gesekan berbentuk segitiga, disarankan $\xi = 0,67$.

$$S_2 = \frac{Q_{wp} \cdot C_p}{D \cdot q_p} \dots\dots\dots(3.12)$$

Dengan:

C_p = koefisien empiris (lihat Tabel 3.15)

Q_{wp} = beban yang didukung ujung tiang (kg)

q_p = tahanan ujung tiang (kg/cm²)

D = diameter tiang (cm)

Nilai koefisien empiris, (C_p) diberikan pada tabel berikut:

Tabel 3. 16 Nilai Koefisien Empiris, C_p

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir (Padat hingga lepas)	0,02 – 0,04	0,09 – 0,18
Lempung (Padat hingga lunak)	0,02 – 0,03	0,03 – 0,06
Lanau (padat hingga lepas)	0,03 – 0,05	0,09 – 0,12

Sumber : Das (1995)

$$S_3 = \frac{Q_{wa}.C_s}{L.q_p} \dots\dots\dots(3.13)$$

Dengan:

C_s = konstanta empiris

$$= (0,93 + 0,16\sqrt{L/D}) C_p \dots\dots\dots(3.14)$$

L = panjang tiang (cm)

2. Penurunan Tiang Kelompok

Penurunan dari kelompok tiang umum lebih signifikan dibandingkan penurunan fondasi tiang tunggal disebabkan oleh dampak tegangan yang terjadi di area yang lebih luas. Vesic pada tahun 1969 mengemukakan sebuah rumus empiris yang mudah untuk memperkirakan penurunan pada kelompok tiang, yaitu sebagai berikut :

$$S_g = s \sqrt{\frac{B_g}{D}} \dots\dots\dots(3.15)$$

S_g = penurunan tiang kelompok (m)

s = penurunan tiang tunggal (m)

B_g = lebar kelompok tiang (m)

D = diameter tiang (m)

3. Penurunan yang Diizinkan

Penurunan yang diizinkan dari suatu bangunan bergantung pada beberapa faktor. Faktor – faktor tersebut meliputi jenis, tinggi, kekakuan, dan fungsi bangunan, serta besar dan kecepatan penurunan dan sebarannya. Apabila penurunan terjadi secara

perlahan, kemungkinan struktur dapat beradaptasi terhadap penurunan yang terjadi tanpa mengalami kerusakan akibat pengaruh rangkai sangat tinggi. Penurunan yang diperkenankan untuk berbagai macam bangunan bisa ditemukan pada tabel dibawah ini:

Tabel 3. 17 Penurunan Izin Rata – rata untuk berbagai Bangunan

Jenis Bangunan	Penurunan izin rata – rata (mm)
Bangunan dengan dinding bata sederhana	
$L/H \geq 2,5$	80
$L/H \geq 1,5$	100
Bangunan dengan dinding bata yang diperkuat dengan beton bertulang	150
Bangunan rangka	100
Fondasi beton bertulang kokoh, menara atau cerobong asap	300

Sumber : Das, 2011

3.6 Pembebanan

1. Beban Mati

Beban mati merupakan beban yang berasal dari seluruh elemen tetap dalam suatu struktur, meliputi elemen tambahan, *finishing*, mesin dan peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari bangunan itu.

2. Beban Hidup

Beban hidup merujuk pada semua tekanan yang timbul sebagai akibat dari penghuni atau aktivitas di dalam sebuah bangunan, meliputi beban yang terdapat pada lantai akibat adanya barang yang dapat dipindah, peralatan dan mesin yang bukan merupakan bagian permanen dari struktur bangunan yang bisa diganti selama periode penggunaan bangunan, yang mengakibatkan perubahan dalam beban yang diterima oleh lantai dan atap tersebut.

3. Beban Gempa

Gempa bumi terjadi akibat pergerakan lapisan – lapisan tanah dalam arah horizontal dan vertikal, dengan biasanya pergerakan vertikal yang lebih minor, sehingga dampak dari komponen vertikal dalam gerakan gempa bumi sering

kali dapat diabaikan. Efek dari beban gempa diatur dalam SNI 1726:2019. Proses tahap demi tahap dalam Analisis Respon Spektrum yang merujuk pada konsep SNI Gempa 1726:2019 adalah sebagai berikut:

1. Tentukan kategori risiko bangunan gedung

Menentukan kategori bangunan gedung sesuai jenis pemanfaatan bangunan berdasarkan Tabel 3.18.

Tabel 3. 18 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

(Sumber : BSN, 2019)

2. Tentukan faktor keutamaan gempa (pada Tabel 3.19)

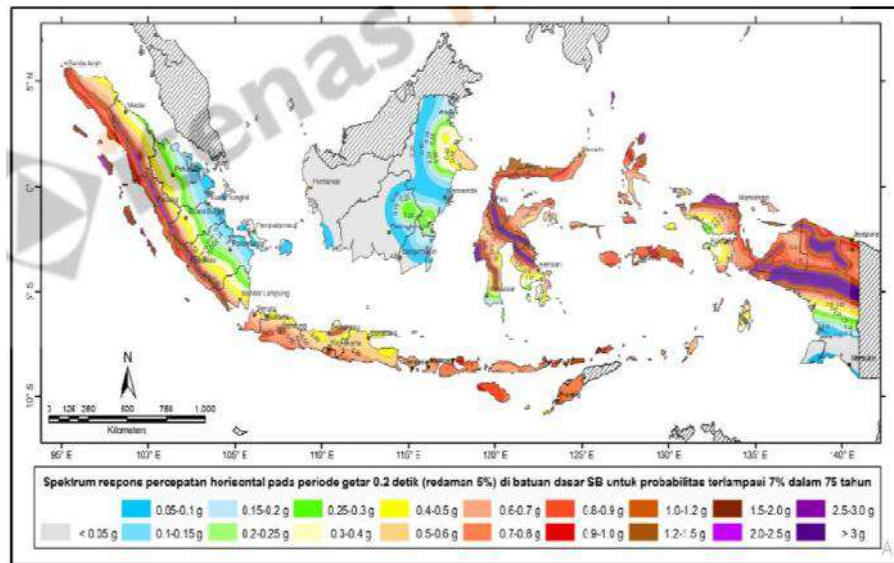
Tabel 3. 19 Faktor keutamaan gempa

Kategori Resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : BSN, 2019)

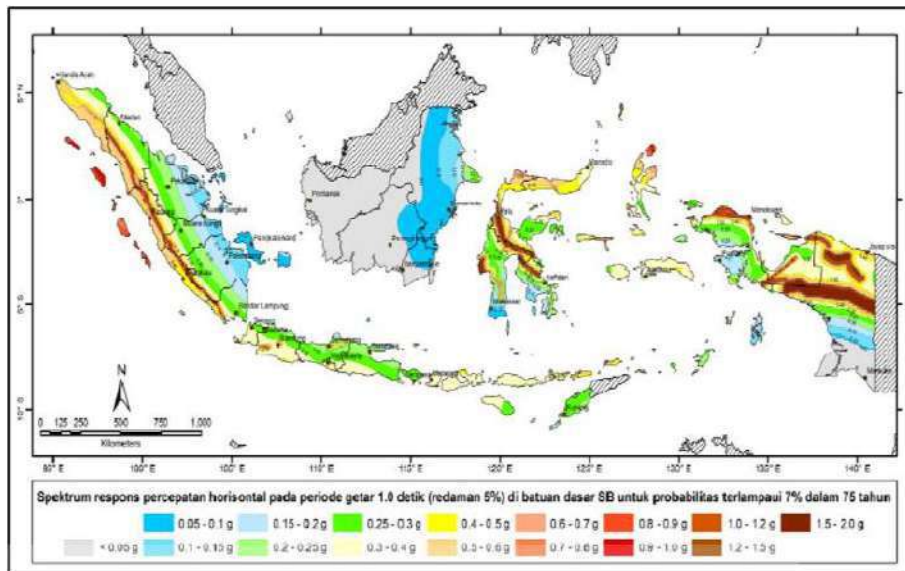
3. Tentukan parameter percepatan tanah (S_s dan S_I)

Peta Respon Sprektum dengan periode 0,2 detik (S_s) dan periode 1 detik (S_I) dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.



Gambar 3. 5 Respon percepatan gempa di batuan dasar untuk periode pendek (0,2 detik)

Sumber : (SNI 2833-2016)



Gambar 3. 6 Respon percepatan gempa di batuan dasar untuk periode pendek 1 detik

Sumber : (SNI 2833-2016)

4. Tentukan Klasifikasi Situs (SA – SF)

Menurut standar SNI 1726-2019, untuk mencapai percepatan maksimum dan mengukur respon spektrum di permukaan tanah suatu lokasi analisis, klasifikasi *site* (jenis tanah) harus dilakukan terlebih dahulu. Penentuan klasifikasi *site* harus berfokus pada lapisan sejauh 30 m yang didasarkan pada hubungan hasil pengujian tanah di lapangan dan di laboratorium. Disarankan untuk menggunakan setidaknya dua jenis pengujian tanah yang berbeda dalam proses klasifikasi *site* ini. Nilai untuk klasifikasi situs dapat ditemukan dalam Tabel 3.20.

Tabel 3. 20 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralis $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

Sumber : SNI 1726:2019, 2019

5. Tentukan faktor Koefisien situs (F_a , F_v)

Sesui dengan SNI 1726:2019, dalam menentukan respons spectral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan sebuah faktor amplifikasi seismic untuk periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi tersebut mencakup faktor amplifikasi getaran yang berhubungan dengan percepatan pada getaran dengan periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi yang berhubungan dengan percepatan yang mewakili getaran pada periode 1 detik (F_v). Koefisien situs F_a dapat ditemukan dalam Tabel 3.21.

Tabel 3. 21 Koefisien situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1	1
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber : SNI 1726:2019, 2019

Faktor peningkatan yang berhubungan dengan percepatan yang mempresentasikan getaran dengan periode 1 detik (F_v) dapat dilihat dalam Tabel 3.22.

Tabel 3. 22 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber : SNI 1726:2019, 2019

6. Hitung Parameter percepatan desain (S_{DS} , S_{DI})

Berdasarkan SNI 1726:2019, nilai percepatan spectral desain untuk periode singkat, SDS dan untuk periode 1 detik, SDI perlu ditetapkan melalui rumusan berikut ini :

$$SMS = F_a \cdot S_s \dots \dots \dots (3.16)$$

$$SM I = F_v \cdot S I \dots \dots \dots (3.17)$$

$$SDS = \frac{2}{3} SMS \dots \dots \dots (3.18)$$

$$SDI = \frac{2}{3} SM I \dots \dots \dots (3.19)$$

7. Menentukan kategori desain seismic

Berdasarkan SNI 1726:2019, bangunan wajib memiliki kategori desain seismic yang ditentukan berdasarkan kategori risikonya serta parameter *respons* spektral percepatan desain yaitu SDS dan SDI . Nilai kategori desain seismic yang didasarkan pada parameter respon percepatan untuk periode pendek dapat ditemukan dalam Tabel 3.23.

Tabel 3. 23 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber : SNI 1726:2019, 2019

Selain berdasarkan S_{DS} struktur juga ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismic yang ditetapkan berdasarkan S_{DI} . Berikut ini nilai kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik dapat dilihat pada Tabel 3.24.

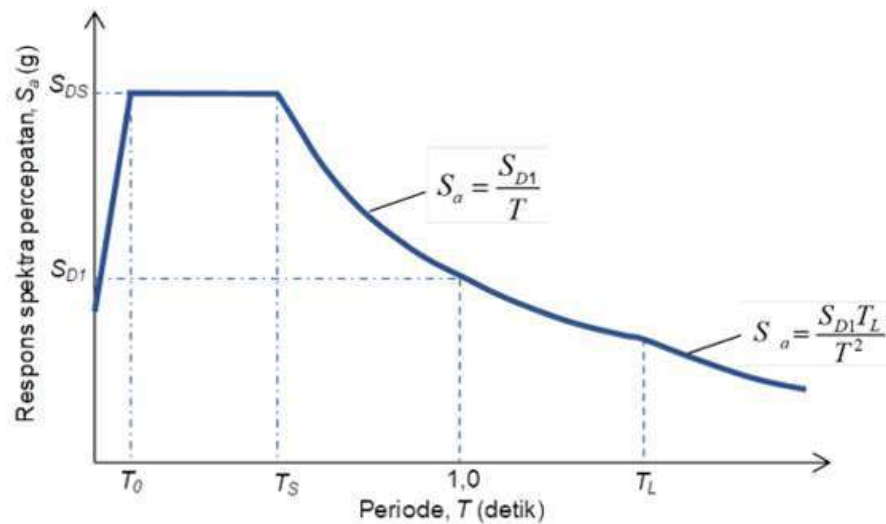
Tabel 3. 24 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik (SNI 1726:2019,2019)

Nilai S_{DI}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019, 2019.

8. Membuat spectrum respons desain

Respon spectrum mengacu pada nilai yang menunjukkan reaksi maksimum dari sistem derajat kebebasan tunggal pada berbagai frekuensi alami yang teredam akibat adanya getaran tanah. Untuk aplikasi praktis, respon spektrum percepatan disusun dalam format yang telah disederhanakan.



Gambar 3. 7 Skema Spektrum Desain
Sumber : SNI 1726:2019, 2019

- a. Untuk periode lebih kecil dari T_0 , respon spectra percepatan, S_a didapatkan dari persamaan berikut:

$$S_a = SDS \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots \dots \dots (3.20)$$

- b. Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , respon spectra percepatan, S_a adalah sama dengan SDS .

- c. Untuk periode lebih besar dari T_s respon spectra, S_a didapat dari persamaan berikut:

$$S_a = \frac{SD1}{T} \dots \dots \dots (3.21)$$

Dengan:

$$T_0 = 0,2 T_s \dots \dots \dots (3.22)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \dots \dots \dots (3.23)$$

9. Pemilihan sistem struktur

Berdasarkan SNI 1729:2019, sistem yang mengendalikan gaya gempa vertikal dasar perlu memenuhi salah satu tipe yang tertera di Tabel 3.18. klasifikasi masing masing tipe didasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya lateral gempa. Dalam penentuan geser dasar, gaya desain untuk elemen, dan simpangan antar lantai Tingkat desain, koefisien modifikasi respons yang sesuai,

R, faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan koefisien amplifikasi defleksi, C_d , harus diterapkan.

4. Beban Angin

Beban angin adalah gaya lateral yang dikenakan pada suatu bangunan akibat tekanan angin yang mengenai permukaan struktur. Dalam hal ini, angin menghasilkan gaya horizontal serta momen yang harus ditanggung oleh sistem fondasi, terutama pada gedung yang memiliki ketinggian.

3.7 Standar Pengujian Kapasitas

Dalam perencanaan fondasi, Standar pengujian Kapasitas Fondasi adalah acuan teknis yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar beban yang dapat ditahan oleh fondasi secara aman, baik fondasi tiang maupun fondasi dangkal.

Kapasitas fondasi harus diverifikasi melalui pengujian di lapangan tidak boleh hanya berdasarkan teori agar dapat menjamin keselamatan struktur, mengetahui faktor keamanan aktual, mengetahui perilaku deformasi (*settlement*) dan menyesuaikan desai akhir jika kapasitas aktual < rencana.

Adapun syarat Pengujian Kapasitas Fondasi sebagai berikut :

1. Pemasangan atau Pengecoran telah selesai.
Tiang harus sudah mencapai umur minimal ≥ 7 hari untuk beton sebelum diuji.
2. Peralatan uji harus terkalibrasi.
3. Beban uji minimum harus lebih besar dari beban rencana sesuai dengan SNI 8460:2017 (untuk tiang pancang) dan SNI 2834:2013 (untuk fondasi dangkal).
4. Tanah sekitar tidak terganggu atau tergenang.
5. Data hasil uji harus dicatat secara lengkap.

Melaksanakan Pengujian Standar Kapasitas dilakukan sesuai dengan jenis tiang yang akan diuji, Pengujian kapasitas memiliki beberapa jenis yaitu, *Static Load Test* (SLT), *Pile Driving Analyzer* (PDA), *Plate Load Test* (PLT), dan *Integrity Test* (PIT/Low Strain).

3.8 Basis Teori Perangkat Lunak Plaxis

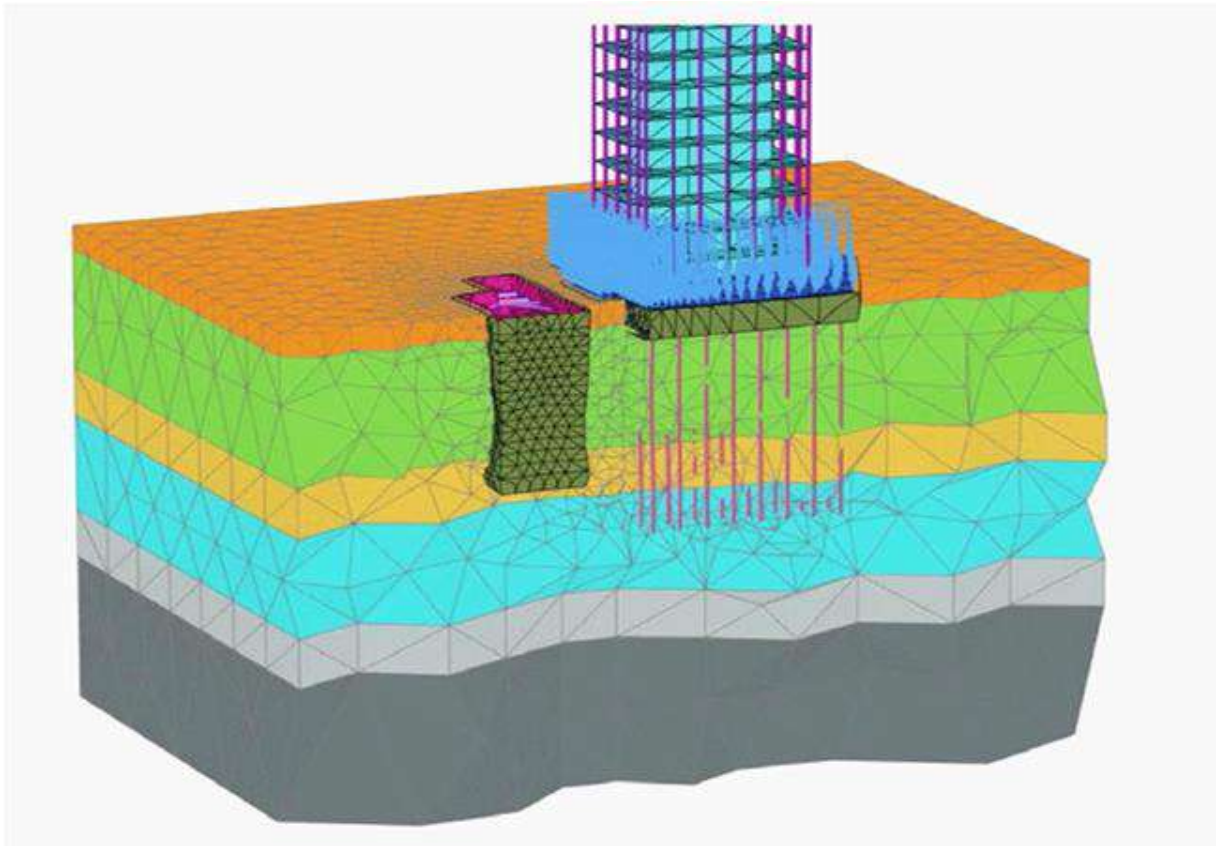
Plaxis 3D adalah perangkat lunak yang dibuat khusus untuk membantu pekerjaan para ahli di sector geoteknik. Tugas-tugas yang dipermudah tersebut berhubungan dengan menganalisis respons tanah dan struktur di bawah beban. Program ini memungkinkan perencanaan yang lebih tepat, benar dan aman dalam setiap proyek teknik sipil yang mereka jalankan. Contoh penggunaannya mencakup fondasi bangunan, dinding penahan, terowongan, ruang dibawah tanah, dan lain-lain.

Plaxis 3D dikembangkan untuk menguasai pemodelan tanah dan struktur dalam tiga dimensi. Kemampuan ini dapat menghasilkan hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan pemodelan dua dimensi yang dianggap sederhana. Keterampilan dalam menggambar bentuk tiga dimensi memungkinkan identifikasi secara menyeluruh terhadap potensi masalah geoteknik yang bisa muncul dan diselesaikan dengan cepat.

Model Mohr-Coulomb merupakan suatu pendekatan elastis-plastis yang dibangun dari lima parameter, yang meliputi E dan ν dan untuk mempresentasikan elastisitas tanah; ϕ dan c untuk mencerminkan plastisitas tanah; serta ψ sebagai sudut dilatasi.

Model Mohr-Coulomb merupakan metode “Ordo Pertama” dalam menganalisis perilaku tanah atau batu. Pendekatan ini disarankan untuk digunakan dalam analisis awal terhadap tantangan yang ada. Setiap lapisan diwakili dengan satu nilai kekakuan rata-rata yang konstan (Brinkgreve, 2007)

Selain model Mohr-Coulomb, Plaxis menawarkan berbagai jenis pemodelan tanah yang lebih berkembang. Ada satu model yang termasuk dalam kategori ordo kedua yang sering digunakan, yaitu model elastoplastis dari model hiperbolik, yang disebut dengan ‘model *Hardening Soil*’.



Gambar 3. 8 Penampilan PLAXIS 3D

(Sumber : PLAXIS 3D Bantley.com, 2020)

3.8.1 Parameter PLAXIS

Permodelan tanah dalam Plaxis menggunakan model *Hardening soil* (HS). Model *Hardening soil* memerlukan sejumlah parameter tanah yang terdiri dari lima parameter, yaitu E , ν , ϕ , c dan ψ , selain parameter tersebut ada juga parameter lain yang dimasukkan yaitu sebagai berikut:

1. Parameter Kekakuan Tanah

Parameter kekakuan untuk tanah elastis linear digunakan Model *Hardening soil*.

2. *Intial Stesses*

Dalam suatu analisis dengan PLAXIS, tegangan awal ini perlu dihitung terlebih dahulu oleh pengguna. Terdapat dua buah kemungkinan untuk menentukan tegangan:

a. Prosedur – K_0

Penyesuaian atau kalkulasi dari tegangan awal selama proses input diperlukan agar bisa memperoleh koefisien tekanan tanah lateral, K_0 . Dalam aplikasi nyata, nilai K_0 untuk tanah yang mengalami konsolidasi normal biasanya diasumsikan terkait langsung dengan sudut geser melalui persamaan empiris ini:

$$K_0 = 1 - \sin \phi \dots \dots \dots (3.24)$$

Pada tanah yang terkonsolidasi berlebih (*over – consolidation*), K_0 umumnya lebih tinggi dari nilai yang diberikan oleh persamaan ini.

b. *Gravity Loading*

Jika metode pembebanan gravitasi diterapkan, maka stress awal (yaitu stress yang terbentuk pada fase awal) adalah nol. Stress awal kemudian dihitung dengan menerapkan berat tanah itu sendiri dalam perhitungan pertama. Ketika memanfaatkan tanah yang plastis – sempurna seperti dalam model Mohr-Coulomb, nilai akhir dari K_0 sangat bergantung pada asumsi dari nilai *Poisson*.

3. Pemodelan *Undrained*

Dalam kondisi *undrained*, tidak terjadi ada pergerakan air sehingga menimbulkan tekanan air pori berlebih terbentuk. Analisis *undrained* adalah sesuai jika:

- a. Permeabilitas rendah atau laju pembebanan tinggi.
- b. Perilaku jangka pendek harus dihitung.

Skema pemodelan yang berbeda dimungkinkan dalam Plaxis untuk memodelkan perilaku tanah *undrained*.

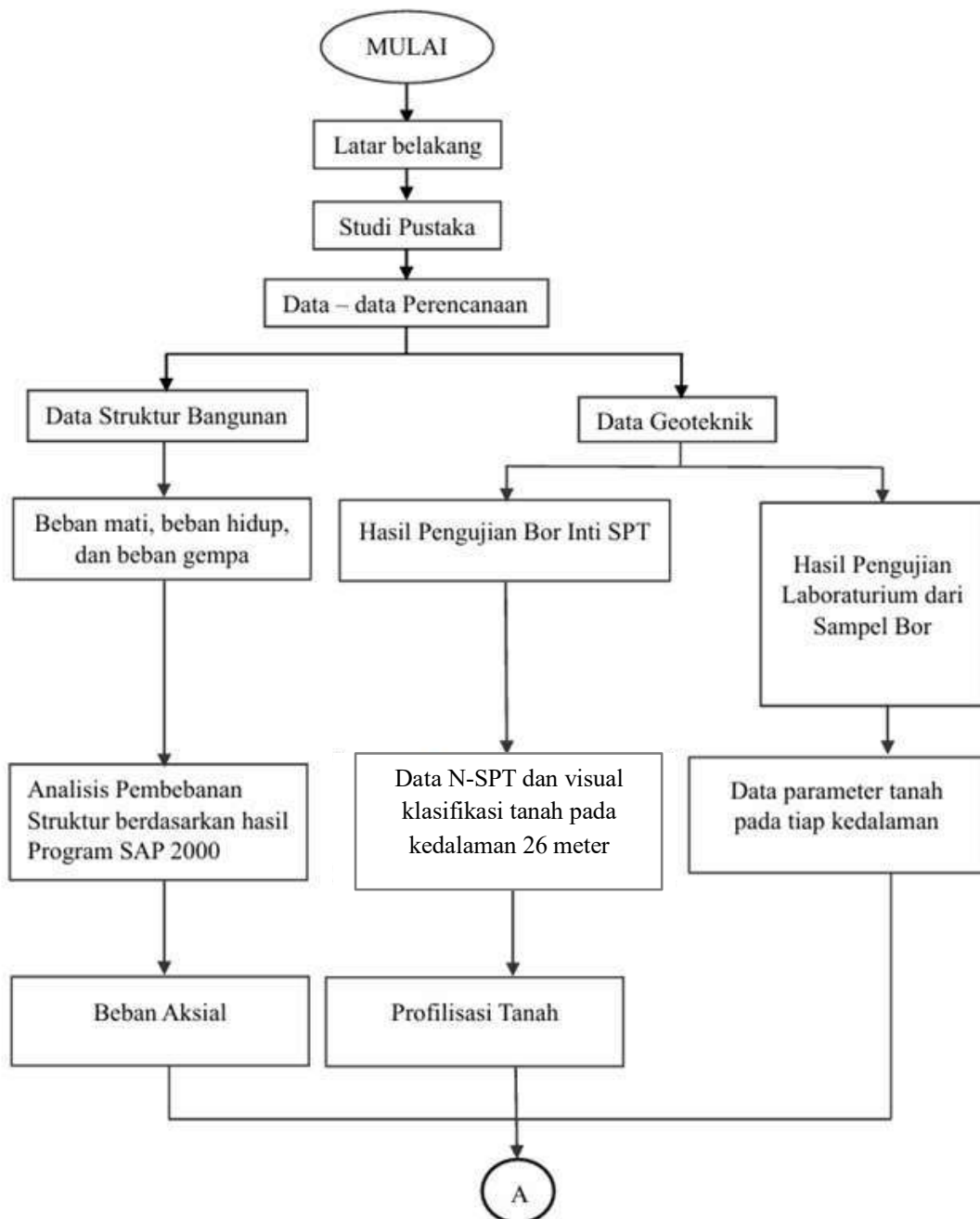
Harus diperhatikan bahwa dalam evaluasi kondisi tak-terdrainasi menggunakan perangkat lunak PLAXIS, nilai *Poisson* yang dimasukkan bersifat permanen, yakni nilai *Poisson* untuk analisis jangka panjang. Ini terjadi karena perangkat lunak PLAXIS sendiri akan menyesuaikan sehingga cocok dengan analisis tak-terdrainasi. Untuk jenis tanah lempung dengan kondisi tak-terdrainasi, nilai tanah *Poisson* yang diterapkan dalam PLAXIS harus kurang dari atau sama dengan 0,35. Jika nilai *Poisson* yang lebih dari 0,35 diinput, maka akan muncul kondisi dimana air tidak memiliki kekakuan yang cukup dibandingkan dengan struktur tanah. Sama halnya dengan nilai *Poisson*, penting juga untuk mengingat bahwa dalam analisis tak-terdrainasi pada *software* PLAXIS, nilai modulus elastisitas yang dimasukkan adalah modulus elastisitas untuk analisis jangka panjang.

BAB IV

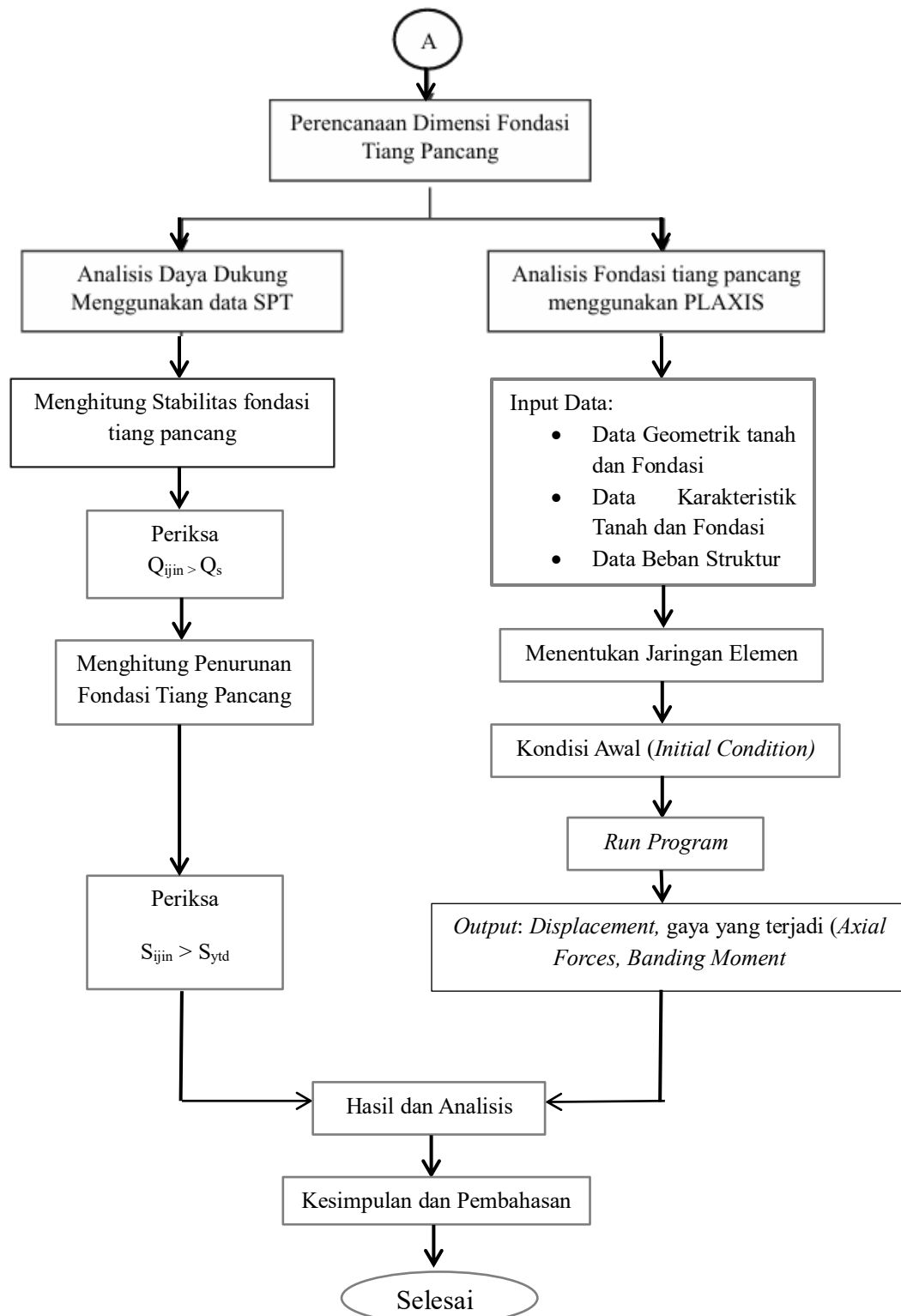
METODE PERENCANAAN

4.1. Studi Literatur

Adapun tahap – tahap perencanaan dapat dilihat pada bagian alir berikut :



Gambar 4. 1 Bagan alir (*Flowchart*) perencanaan fondasi tiang pancang



Gambar 4. 2 Bagan alir (*Flowchart*) perencanaan fondasi tiang pancang (lanjutan)

4.2. Tahapan Perencanaan

Data yang dimanfaatkan dalam perencanaan untuk tugas akhir ini merupakan data sekunder yang diperoleh secara tidak langsung melalui proyek pembangunan gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah oleh CV. IKBATEK_04 atau dengan mencari informasi dari berbagai referensi dan data teknis yang dikumpulkan dari instansi tersebut. Data yang digunakan mencakup data-data sebagai berikut :

1. Data proyek yang diperoleh adalah data perencanaan beban hidup, beban mati, beban gempa, dan gambar perencanaan struktur gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah.

2. Data Geoteknis Tanah

Data geoteknis tanah yang diiperoleh dari pihak CV.IKBATEK_04 adalah laporan penyelidikan tanah berupa data hasil pengujian lapangan yaitu bor inti SPT dan data hasil pengujian laboratorium dari sampel hasil bor yaitu berat isi, kerapatan kering, kadar air, kerapatan basah, angka pori, porositas, derajat kejenuhan, kohesi, dan sudut gesek dalam.

4.2.1 Analisis Data

Dari penelitian literatur pada fase awal perencanaan tentang Fondasi Tiang Pancang, berdasarkan buku-buku, jurnal, serta laporan dengan identifikasi masalah yang serupa dan pegumpulan data perencanaan, langkah selanjutnya adalah pengolahan data mencakup:

1. Pembebanan

Berdasarkan skema desain gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah, telah dilakukan evaluasi terhadap beban pada struktur untuk memperoleh reaksi minimal dengan menggunakan perangkat lunak SAP 2000 yang berfokus pada beban aksial. Beban yang diterima oleh fondasi tiang pancang dianggap sebagai beban titik atau beban aksial (Q_v).

Untuk melakukan analisis dengan SAP2000, diterapkan data beban dari struktur bangunan yang meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa sesuai dengan SNI 1726-2019.

2. Beban Pada Struktur

Menurut Dewobroto (2007), Tanpa adanya beban, tidak akan ada gaya internal yang tercipta. Dengan demikian, analisis struktur menjadi tidak diperlukan. Apa yang dimaksud dengan beban adalah:

- b. Gaya, yang merupakan beban yang umum dijumpai, meliputi gaya terpusat atau momen di titik-titik atau elemen, serta beban yang tersebar merata di sepanjang batang.
- c. Deformasi, yaitu perubahan bentuk yang ditentukan yang dapat diterapkan pada lokasi nodal dukungan. Sebagai contoh efek dari penurunan fondasi dapat memengaruhi struktur yang memiliki sifat yang terus menerus atau statis yang tidak pasti.
- d. Suhu, Sebagai dampak dari suhu tinggi, elemen akan mengalami perubahan bentuk, meskipun hal ini krusial untuk struktur statis yang tidak pasti.
- e. Prategang, untuk meniru dampak dari kabel prategang dan hanya diterapkan pada elemen dan bukan pada nodal. Sebuah struktur kadang perlu mengevaluasi berbagai kondisi beban.

Hal ini sering terlihat dalam tahapan perancangan profil untuk menentukan keadaan yang paling menantang. Dalam keadaan ini, perlu dikelompokkan beban yang memiliki karakteristik sama. Contohnya adalah kelompok beban mati (berat dari struktur, dinding), beban hidup (beban dari orang, kendaraan), dan beban lateral (angina, getaran tanah).

3. Data Tanah

Data tanah yang digunakan untuk perancangan bersumber dari hasil uji bor SPT yang dilakukan di lokasi. Informasi yang terkumpul mencakup nilai N-SPT yang berfungsi untuk menentukan tingkat kekerasan tanah, klasifikasi tanah secara visual melalui hubungan empiris, serta kedalaman strata tanah yang keras. Untuk parameter tanah seperti (ϕ dan c), data didapatkan melalui pengujian laboratorium yang diambil dari hasil uji bor inti SPT di lapangan.

4. Perhitungan

Setelah semua data-data yang dibutuhkan telah lengkap maka ke proses perhitungan fondasi tiang pancang.

- a. Merencanakan dimensi fondasi tiang pancang
 - b. Menghitung daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan hasil uji SPT.
1. Berdasarkan data SPT

- a. *Mayerhoff* dan *Bazara* (**Persamaan 3.3**)

$$Q_{ultimate} = C_n \cdot A_p + \sum C_{li} \cdot A_{si}$$

Dimana:

C_{li} = Hambatan geser selimut tiang pada segmen I (fsi)
= fsi, dimana:

- N/2 ton/m² untuk tanah lempung atau lanau
- N/5 ton/m² untuk tanah pasir

A_{si} = Luas selimut tiang pada segmen ke I = $O_i \times h_i$

O_i = Keliling tiang

C_n = 40N

A_p = Luas penampang dasar tiang (t/m²)

- b. *Bowless* 1968 (**Persamaan 3.4 dan 3.5**)

$$q_a = \frac{q_c}{33} \times \left[\frac{B+0,3}{B} \right] \times K_d$$

$$K_d = 1 + 0,33 \frac{D_f}{B}$$

Dimana:

q_c = tekanan konus rata-rata pada dasar fondasi (kg/cm²)

B = Lebar fondasi (m)

K_d = Faktor kedalaman, besarnya maksimum adalah 1,33

D_f = Kedalaman fondasi (m)

- c. Dari analisis kapasitas fondasi Tunggal, akan didapatkan kekuatan ultimate, Q_u dari tiang pancang yang direncanakan

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

- d. Untuk memperoleh daya dukung ijin tiang Q_a , maka daya dukung ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. (**Persamaan 3.9**)

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5}$$

Lebih tinggi daripada beban aksial yang muncul pada kolom, Q_v , sehingga perhitungan dapat diteruskan pada analisis penurunan tiang Tunggal, S.

Apabila kapasitas dukung tiang izin, Q_a , lebih rendah dibandingkan dengan beban aksial yang terjadi pada kolom tiang, Q_v , maka langkah selanjutnya adalah merancang fondasi untuk kelompok tiang.

- e. Merencanakan jumlah kolom fondasi kelompok dengan mengevaluasi beban maksimum kolom kelompok yang berfungsi dibandingi dengan angka Q_a .
- f. Menghitung jumlah tiang kelompok, Q_g pada tanah kohesif (**Persamaan 3.10**) lalu menghitung daya dukung ijin tiang kelompok kemudian dibagi dengan faktor aman tertentu dan dibandingkan terhadap nilai Q_v .

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_u$$

$$\text{Dengan, } E_g = 1 - \theta \frac{n_1 - 1}{90} \frac{n_2 + n_2 - 1}{n_1 n_2}$$

$$Q_{ag} = Q_g / SF$$

- g. Menghitung penurunan tiang Tunggal, S (**Persamaan 3.10**)

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

$$S_1 = \frac{Q_{wp} + \xi Q_{ws} L}{A_p \cdot E_p}$$

$$S_2 = \frac{Q_{wp} \cdot C_p}{D \cdot q_p}$$

$$S_3 = \frac{Q_{ws} \cdot C_s}{L \cdot q_p}$$

- h. Menghitung penurunan tiang kelompok, S_g (**Persamaan 3.15**)

$$S_g = s \sqrt{\frac{Bg}{D}}$$

- i. Menghitung nilai penurunan yang terjadi terhadap penurunan ijin pada Tabel 3.14 (Padat **BAB III**)
- j. Merencanakan pelat penutup tiang (pile cap) dan jarak tiang (Pada **BAB III**)
- k. Menyimpulkan hasil perhitungan dan memberikan saran terhadap perencanaan selanjutnya.

4.3. Pengoperasian PLAXIS

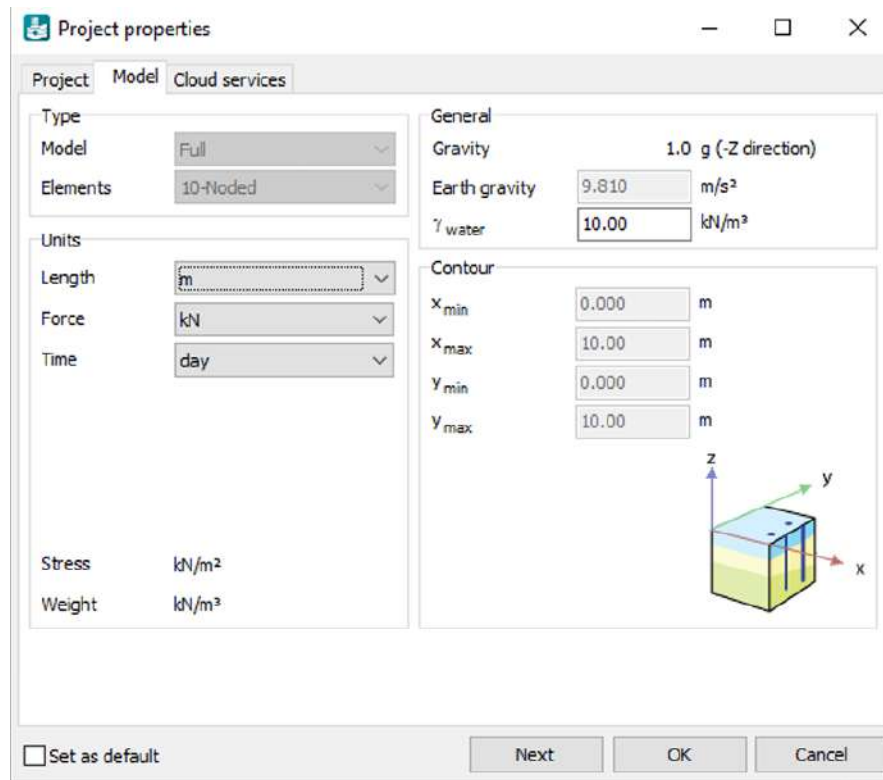
Secara umum, pada analisis yang dilakukan untuk penelitian ini, tanah akan dimodelkan dalam bentuk *Hardening Soil*. Model *Hardening Soil* merupakan pemodelan tanah yang lebih maju yaitu model elastoplastis dari model hiperbolik. Adapun Langkah-langkah dalam menjalankan Plaxis sebagai berikut:

a. Membuat Project

Open > Start a New Project > Project > Model



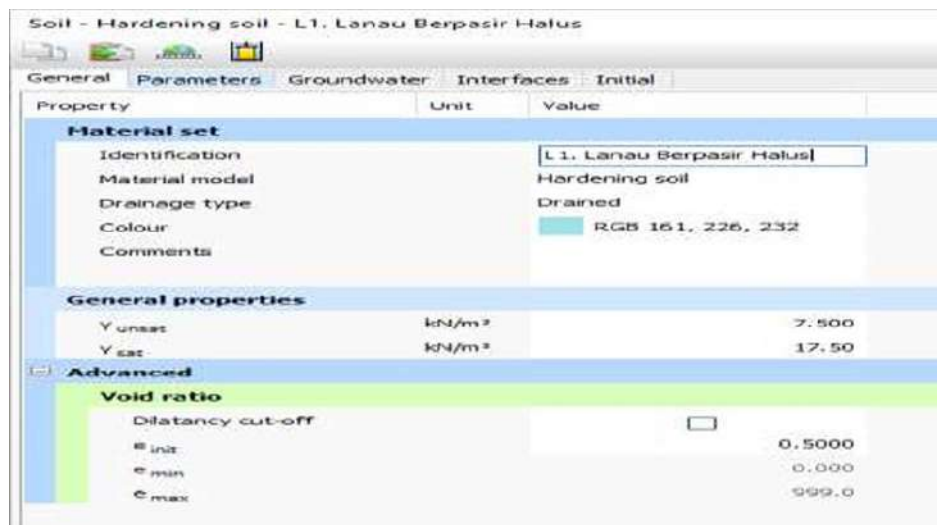
Gambar 4. 3 Project Properties



Gambar 4. 4 Project Properties

b. Penginputan Parameter Tanah (*Soil*)

Soil > Show Material > Soil and Interfaces > New > General > Parameters > Ground water



Gambar 4. 5 Kotak Dialog General Penginputan Parameter Tanah

Soil - Hardening soil - L1. Lanau Berpasir Halus

Property	Unit	Value
Stiffness		
E_{50}^{ref}	kN/m ²	15.00E3
E_{oed}^{ref}	kN/m ²	15.00E3
E_{ur}^{ref}	kN/m ²	30.00E3
power (m)		0.5000
Alternatives		
Use alternatives		☐
C_c		0.02300
C_s		8.543E-3
e_{init}		0.5000
Strength		
c'_{ref}	kN/m ²	0.1900E-3
ϕ' (phi)	°	29.46
ψ (psi)	°	0.000
Advanced		
Set to default values		☐
Stiffness		
V_{ur}		0.3000
p_{ref}	kN/m ²	100.0
$K_{0\ nc}$		0.5082
Strength		
c'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
z_{ref}	m	0.000
R_f		0.9000
Tension cut-off		☒
Tensile strength	kN/m ²	0.000
Undrained behaviour		
Undrained behaviour	Standard	
Skempton-B		0.9783
v_u		0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	1.125E6

Gambar 4. 6 Kotak Dialog Parameter Penginputan Parameter Tanah

Soil - Hardening soil - L1. Lanau Berpasir Halus

General Parameters Groundwater Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Model		
Data set		Standard
Soil		
Type		Coarse
< 2 μm	%	10.00
2 μm - 50 μm	%	13.00
50 μm - 2 mm	%	77.00
Flow parameters		
Use defaults		None
k_x	m/day	0.000
k_y	m/day	0.000
k_z	m/day	0.000
$-V_{\text{unsat}}$	m	10.00E3
e_{init}		0.5000
S_s	1/m	8.889E-6
Change of permeability		
c_k		1000E12

Gambar 4. 7 Kotak Dialog Ground Water Penginputan Parameter Tanah

Material sets

Project materials

Set type: Soil and interfaces

Group order: None

- L1. Lanau Berpasir Halus
- L2. Pasir Berlanau
- L3. Lanau Berpasir Kasar Lunak
- L4. Pasir Halus Padat
- L5. Lanau Berpasir Padat
- L6. Lanau Berpasir Lunak
- L7. Pasir Kasar Belanau
- L8. Pasir Halus Lanau Berlempung

New... Edit... SoilTest

Copy Delete

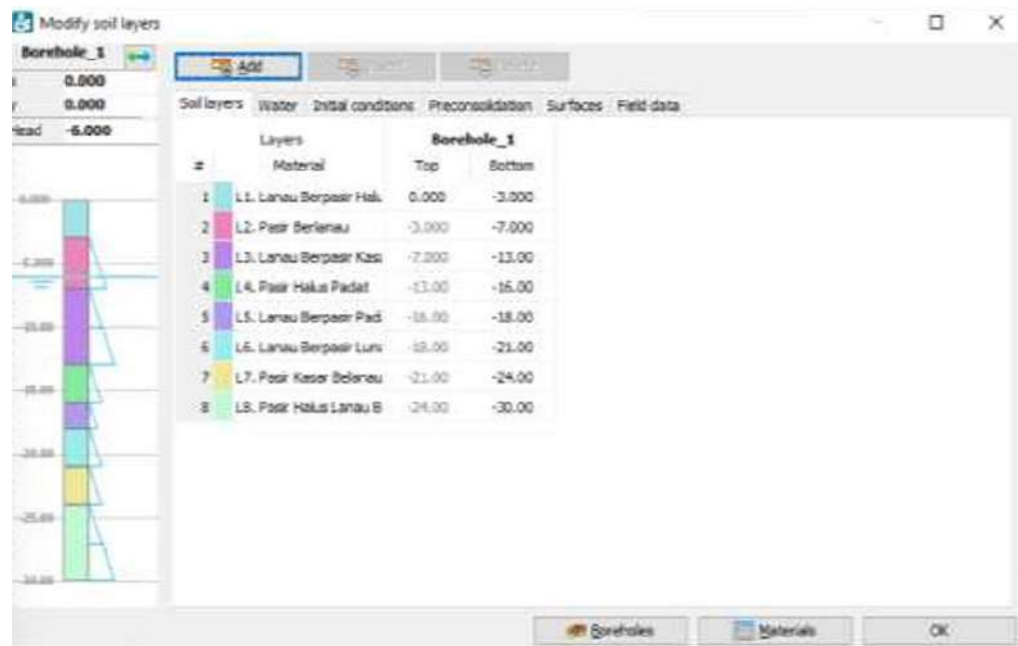
OK

Gambar 4. 8 Material Set

c. Membuat Borehole

Penginputan bore hole di sesuaikan berdasarkan hasil dari material dan penginputan parameter data tanah seperti muka air tanah dan lain-lain.

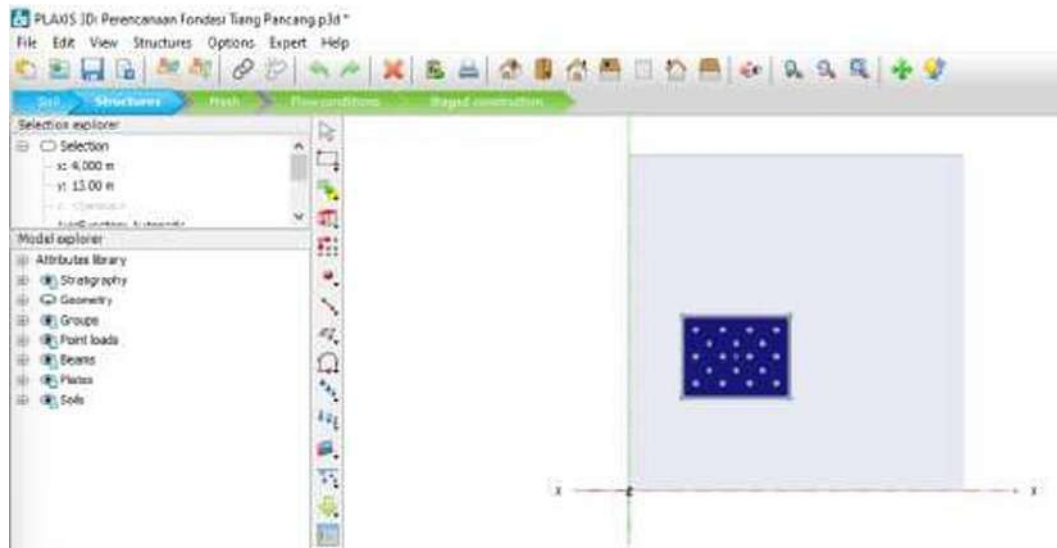
Soil > Create Borehole > Soil Layers > Water > Initial Conditions > Preconsolidation > Surface



Gambar 4. 9 Penginputan Bore Hole

- d. Membuat Permukaan Pile Cap dan Titik Letak Fondasi

Struktur > Create Surface > Create Point



Gambar 4. 10 Letak Titik Fondasi

- e. Membuat material Pile Cap

Show Material > Beams > New

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Pile Cap
Comments		
Colour		RGB 25, 25, 128
Material type		Elastic
Properties		
d	m	0.5000
γ	kN/m ³	24.00
Isotropic		☒
E ₁	kN/m ²	23.50E6
E ₂	kN/m ²	23.50E6
ν_{12}		0.2000
G ₁₂	kN/m ²	9.792E6
G ₁₃	kN/m ²	9.792E6
G ₂₃	kN/m ²	9.792E6
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000
Prevent punching		☐

Gambar 4. 11 Material Pile Cap

f. Membuat Material Tiang Pancang

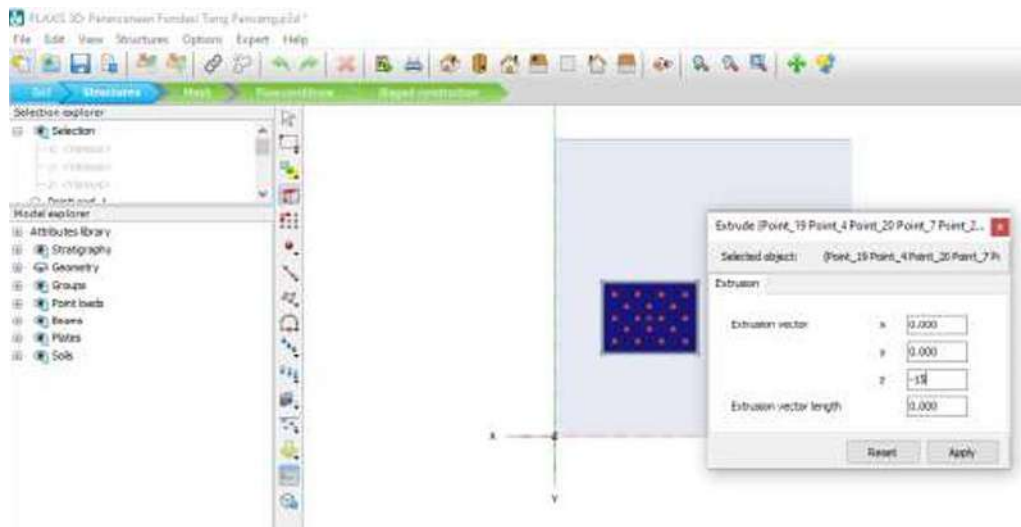
Show Material > Beams > New

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Tiang Pancang
Comments		
Colour		RGB 255, 247, 0
Material type		Elastic
Properties		
E	kN/m ²	33.89E6
γ	kN/m ³	24.00
Beam type		Predefined
Predefined beam type		Circular tube
Diameter	m	0.6000
Thickness	m	0.1000
A	m ²	0.1571
I_2	m ⁴	5.105E-3
I_3	m ⁴	5.105E-3
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000

Gambar 4. 12 Material Tiang Pancang

g. Membuat Tiang Pancang

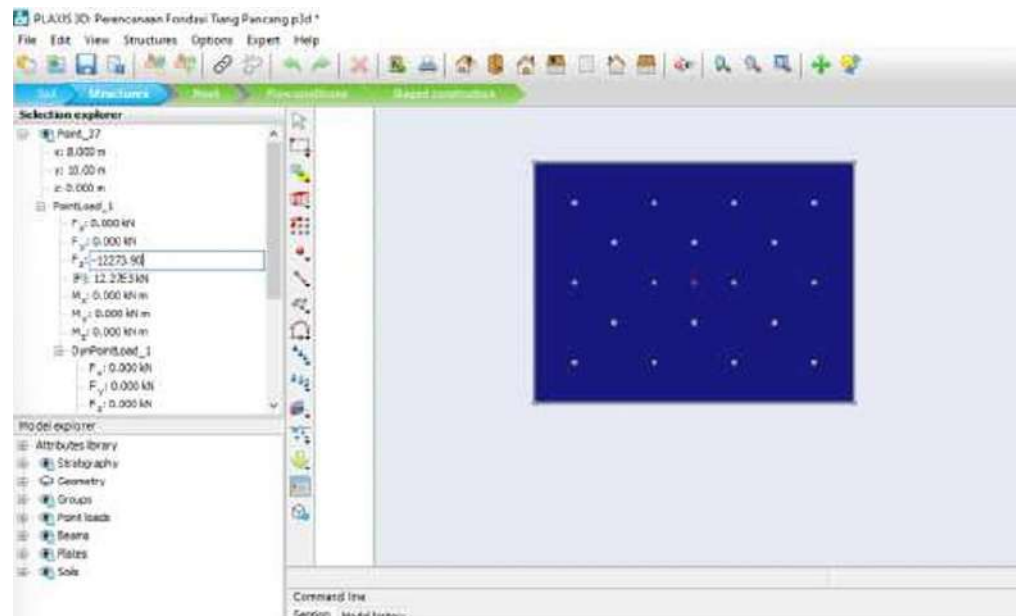
Struktur > Select Point > Klik Semua Titik Fondasi > Extrude Object



Gambar 4. 13 Membuat Tiang Pancang

h. Penginputan Beban

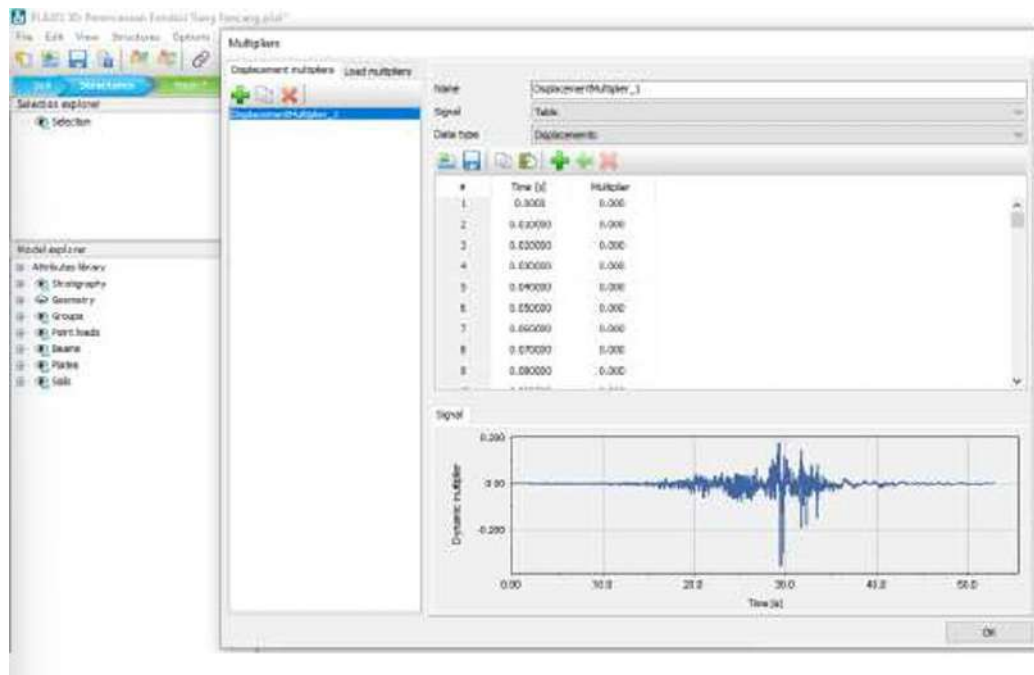
Struktur > Create Poin Load



Gambar 4. 14 Penginputan Beban

i. Penginputan Beban Gempa

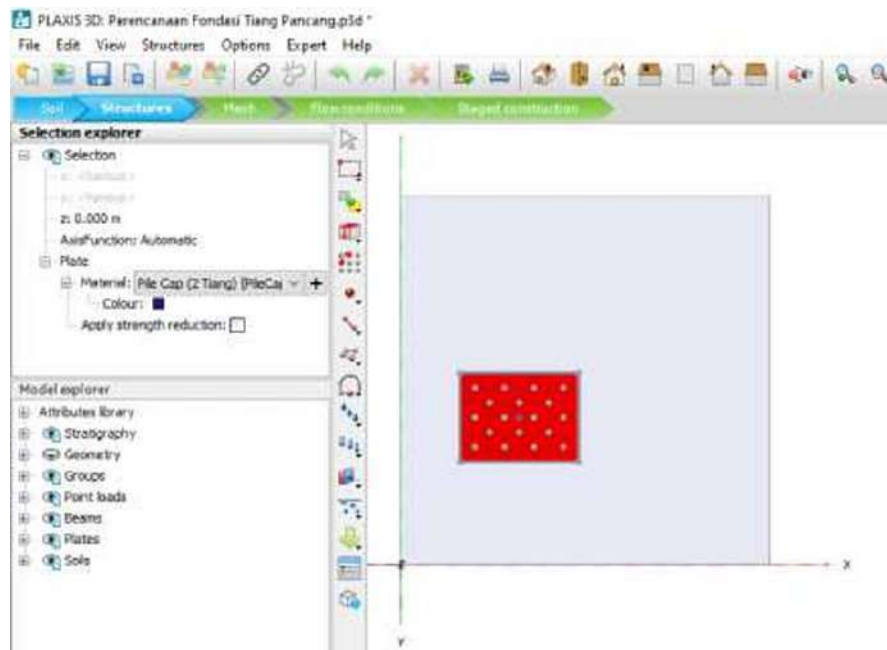
Structures > Show Dynamic Multipliers



Gambar 4. 15 Penginputan Beban Gempa

j. Memasukkan Material Pile Cap

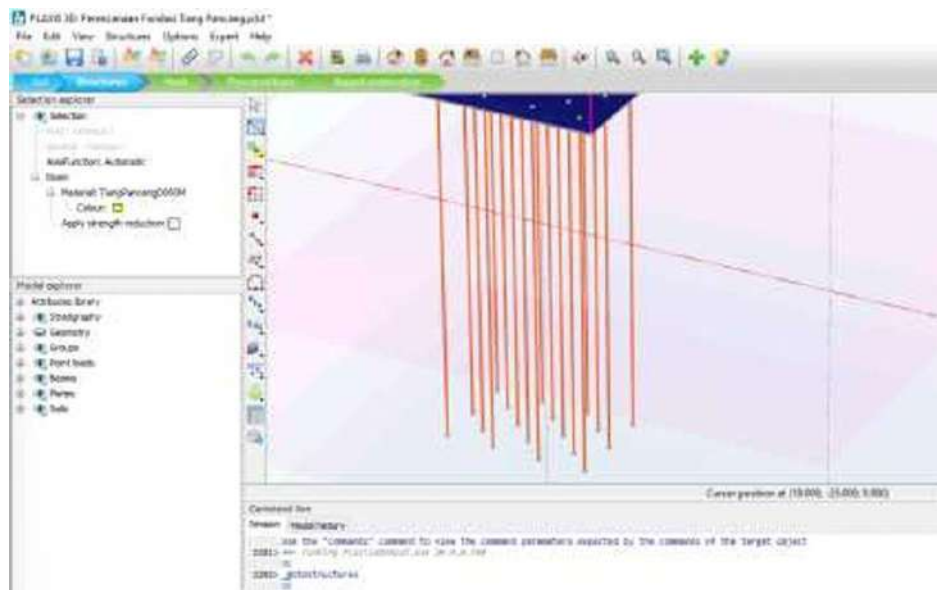
Klik Bidang Pada Pelat > Material > Pile Cap



Gambar 4. 16 Memasukan Material Pile Cap

k. Memasukan Material Tiang Pancang

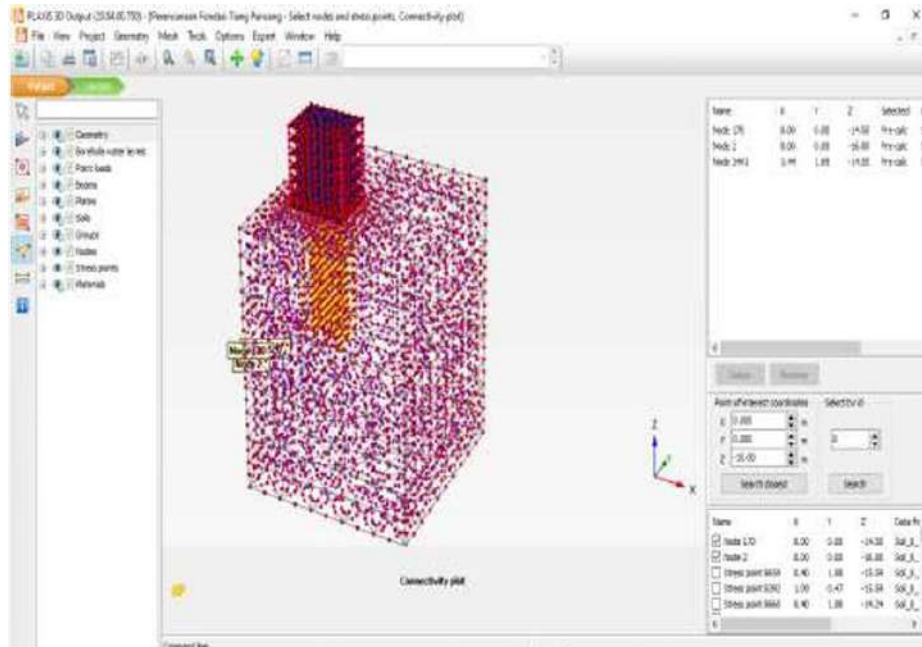
Struktur > Perspective View > Select Lines + Klik Semua Tiang Pancang
Menjadi Warna Merah > Create Beam > Material > Tiang Pancang



Gambar 4. 17 Memasukan Material Tiang Pancang

1. Membuat Meshing

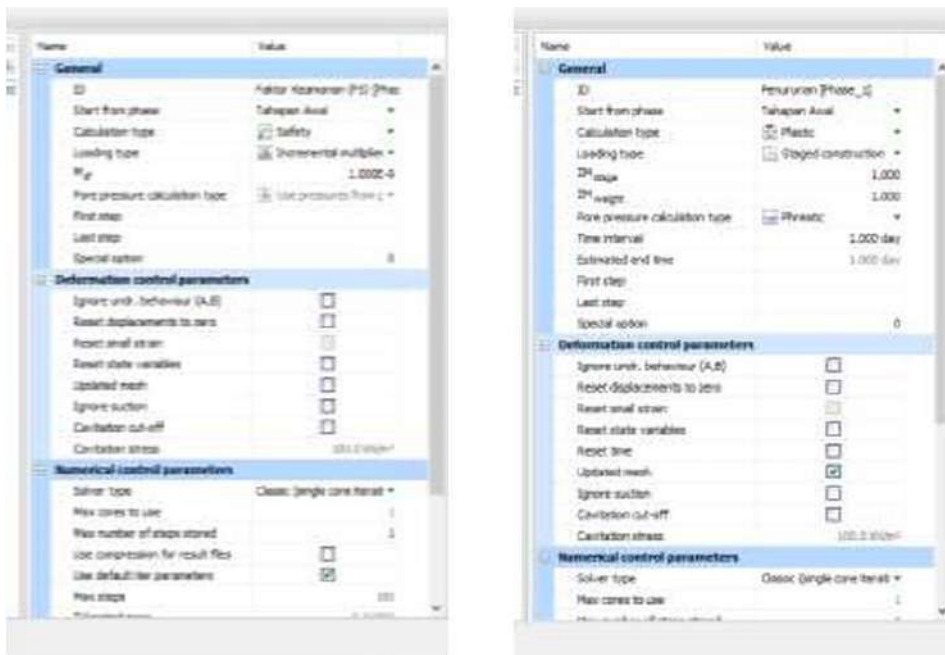
Mesh > Generate Mesh > View Mesh > Select Point For Curves > Search
Closets + Centang yang bertuliskan Node > Update



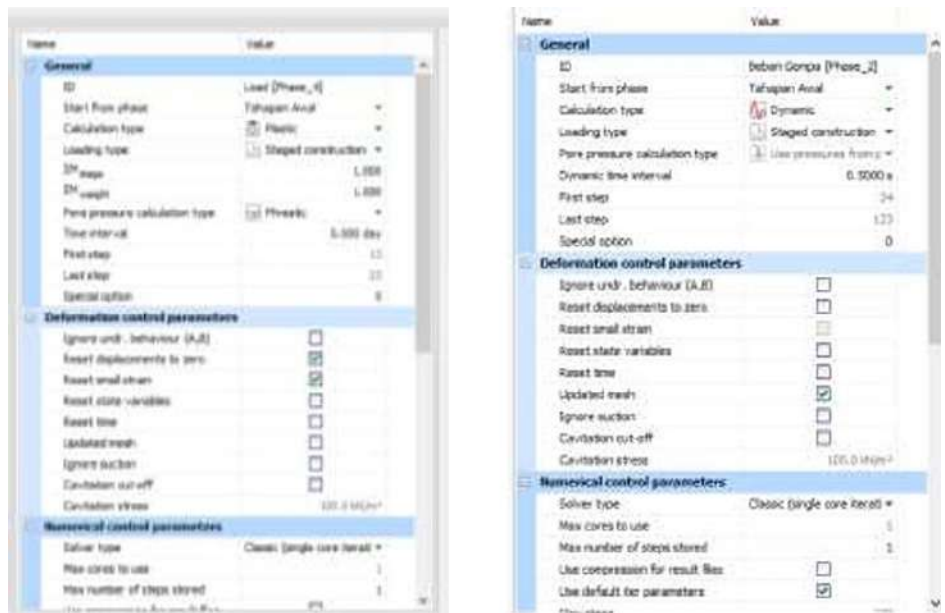
Gambar 4. 18 Memasukan Node Meshing

m. Membuat Fase

1. Stage Construction > Add > Tahapan Awal
2. Stage Construction > Add > Faktor Keamanan
3. Stage Construction > Add > Tahapan Awal



Gambar 4. 19 Fase Faktor Keamanan dan Penurunan



Gambar 4. 20 Fase Load dan Beban Gempa

n. Menghitung

Staged Construction > Calculate



Gambar 4. 21 Calculate

o. Melihat Hasil Perhitungan

Staged Contruction > View Calculation Result



Gambar 4. 22 Melihat *Output Calculate*

- a) *Output* program yang bisa diperoleh adalah deformasi *Mesh*, Faktor keamanan, perkembangan profil penurunan, besarnya tegangan di dalam lapisan tanah, serta gaya-gaya dalam yang diderita oleh struktur yang dimodelkan.
- b) Menyimpulkan hasil analisis program dan memberikan saran terhadap perencanaan selanjutnya.

BAB V

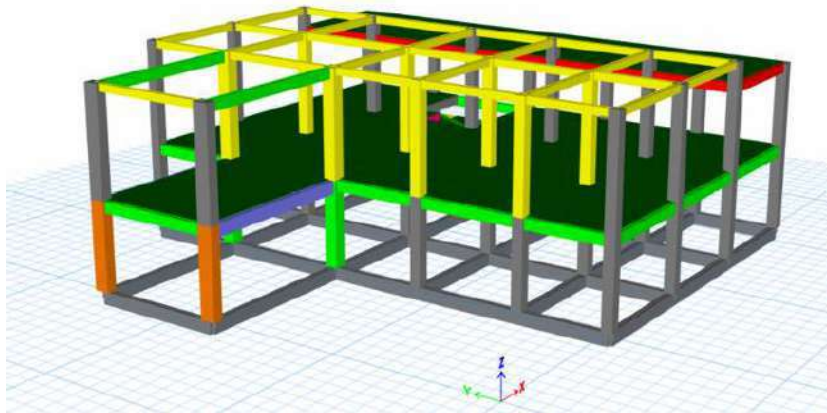
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Pembebanan

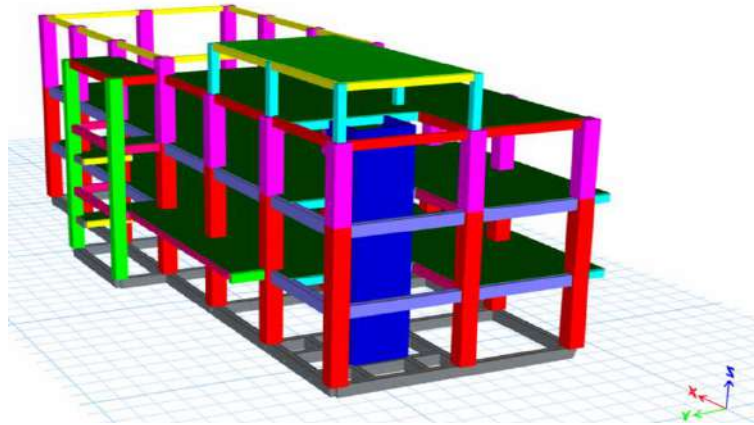
Perhitungan pembebanan struktur untuk SNI 1727-2020 dan perhitungan gaya gempa untuk SNI 1726-2019 menggunakan metode Respon Spektrum, dan analisis dilakukan dengan menggunakan Program SAP2000 v.22 memperhitungkan beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

Beban yang bekerja pada fondasi diasumsikan sebagai titik (P). Beban titik yang bekerja pada fondasi tiang pancang merupakan beban dari atap, pelat lantai dan balok yang kemudian disalurkan ke kolom lalu ke fondasi.

Analisis struktur yang dilakukan pada Tugas Akhir dibagi menjadi dua bagian yaitu segmen A dan segmen B karena bangunan memiliki dilatasi. Bangunan ini dianalisis menggunakan Program SAP2000 v.22. Struktur bangunan 3 dimensi seperti yang terlihat pada Gambar 5.1 dan 5.2



Gambar 5. 1 Model 3D segmen A Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah (SAP2000 v.22)



Gambar 5. 2 Model 3D Segmen B Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah (SAP2000 v.22)

Analisis yang digunakan dalam perhitungan beban rencana fondasi, analisis pembebanan dilakukan dengan menghitung nilai maksimum dari masing-masing zona dari hasil perhitungan yang ditampilkan pada kolom. Model geometri Gedung Perkantoran BPKAD dibuat pada SAP2000 v.22, yang membutuhkan berbagai input pembebanan. Menurut SNI 1727-2020, input pembebanan struktur untuk beban mati dan beban hidup berikut ini.

1. Mutu Beton :

- a. Kolom = K300 = 24,90 MPa
- b. Balok = K300 = 24,90 MPa
- c. Pelat Lantai = K300 = 24,90 MPa

2. Beban Mati :

- d. Beban Mati Pelat Lantai, $qD_{\text{Floor}} = 1.40 \text{ kN/m}^2$ (termasuk *finishing*)
- e. Beban Mati Pelat Atap, $qD_{\text{Roof}} = 1.50 \text{ kN/m}^2$ (termasuk *finishing*)
- f. Beban Mati Dinding, $qD_{\text{wall}} = 2.50 \text{ kN/m}^2$ (termasuk *finishing*)

3. Beban Hidup :

(Mengacu ke SNI 1727-2020; SNI 8900-2020)

- g. Lantai akses ruang kantor = 2.50 kN/m^2
- h. Lantai akses ruang komputer = 4.79 kN/m^2
- i. Aula pertemuan & koridor lt.1 = 4.79 kN/m^2
- j. Gudang = 5.00 kN/m^2

k. Koridor di atas lantai 1 & lobby = 3.83 kN/m^2

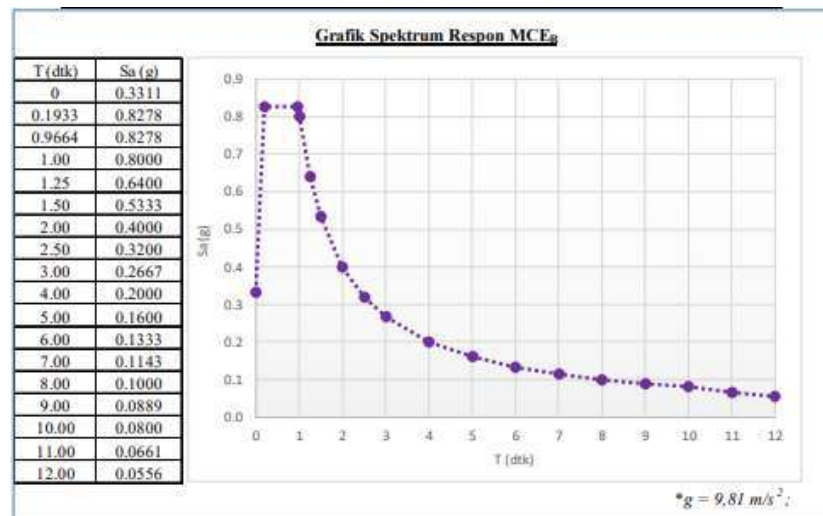
l. Beban hidup atap fungsional = 2.50 kN/m^2

4. Beban Gempa Sesuai SNI 1726-2019

Lokasi Objek : Jl. Dr. Sam Ratulangi kecamatan Mantikulore Kelurahan Besusu Tengah Kota Palu Provinsi Sulawesi Tengah dengan lokasi titik koordinat GPS (*Global Positioning System*) yaitu 199,870796 B, - 0,897581 L.

Klasifikasi Situs : Jenis Tanah Lunak (untuk nilai *site class* diambil kelas situs SE (tanah lunak) diperoleh dari pengujian SPT pada Lokasi Proyek Pembangunan Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah (kedalaman ± 26 meter), dihitung nilai $N\text{-SPT}_{\text{rerata}}$ seperti pada Tabel 5.1 kemudian dikorelasikan dengan Tabel 5.7.

Analisis seismik : Untuk mengetahui analisis seismik dilakukan dengan memasukan data koordinat Lokasi Pembangunan Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah Kota Palu di aplikasi Spektrum Respon Desain Indonesia 2021 PuSGeN, dbtpp, Dinjen Cipta Karya, Kementrian PUPR. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.3



Gambar 5. 3 Hasil Perhitungan Analisis Seismik Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah (PuSGeN).

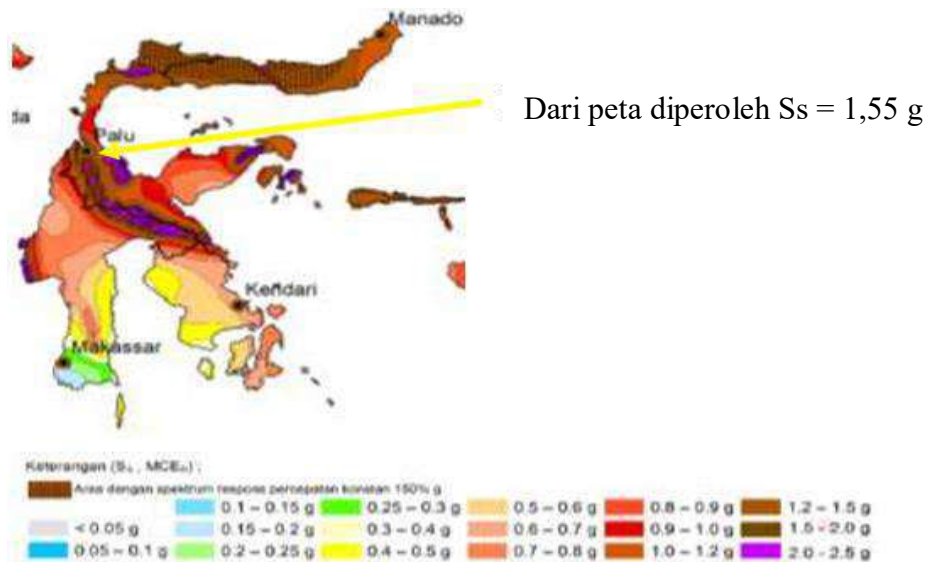
Tabel 5. 1 Perhitungan N-SPT_{rerata} Titik BH-01

Boring No.	Soil Unit Number (meter)		Description	N ₁₆₀	Sub Soil Unit Number (meter)	Consistency / Density	N-SPT (Blows/30 cm)
BH-01	1.0	0.00 - 1.00	Lempung Pasir dan Berbatu	0	0.00 - 1.00	-	-
	2.0	1.00 - 2.00	Lempung Pasir dan Berbatu	1	2.0	Kepadatan Sedang	26
	4.0	2.00 - 4.00	Lempung Berpasir	2	4.0	Kepadatan Sedang	19
	6.0	4.00 - 6.00	Pasir	3	6.0	Kepadatan Sedang	15
	8.0	6.00 - 8.00	Pasir	4	8.0	Kepadatan Sedang	22
	10.0	8.00 - 10.00	Pasir	5	10.0	Kepadatan Sedang	19
	12.0	10.00 - 12.00	Pasir	6	12.0	Kepadatan Sedang	30
	14.0	12.00 - 14.00	Pasir	7	14.0	Kepadatan Sedang	30
	16.0	14.00 - 16.00	Pasir	8	16.0	Padat	25
	18.0	16.00 - 18.00	Pasir	9	18.0	Padat	34
	20.0	18.00 - 20.00	Pasir	10	20.0	Padat	46
	22.0	20.00 - 22.00	Pasir	11	22.0	Sangat Padat	60
	24.0	22.00 - 24.00	Pasir	12	24.0	Sangat Padat	60
	26.0	24.00 - 26.00	Pasir	13	26.0	Sangat Padat	60

a. Faktor keutamaan Gedung:

Berdasarkan jenis pemanfaatannya sebagai Gedung Kantor, bangunan ini masuk dalam kategori risiko II sebagaimana tercantum pada Tabel 3.15, dengan faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,0 yang dapat dilihat pada Tabel 3.16.

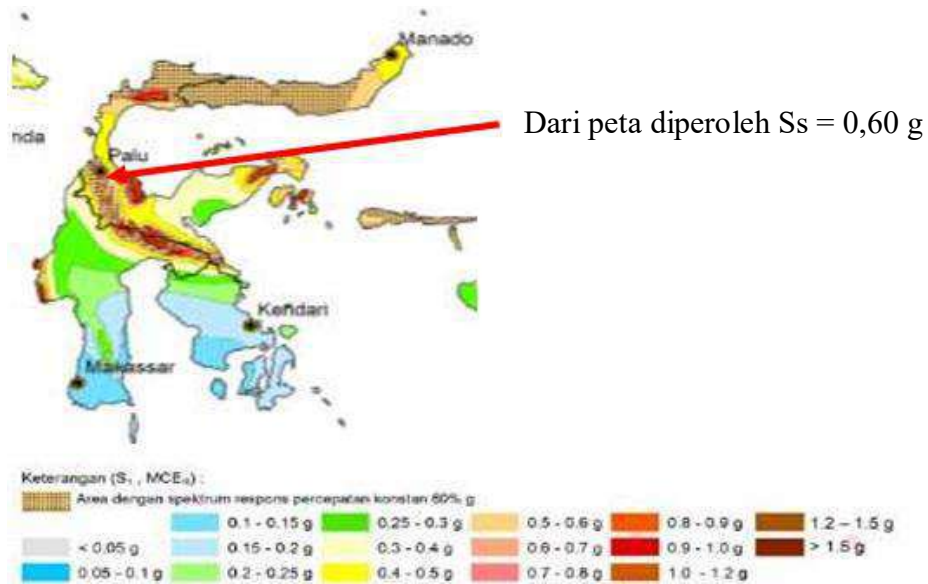
- b. Menentukan Respons Spektrum Percepatan 0,2 detik (S_s)



Gambar 5. 4 Peta MCE_R (S_s)

Sumber: Desain Spektra Indonesia, 2019.

- c. Menentukan Respons Spektrum percepatan 1,0 detik (S_1)



Gambar 5. 5 Peta MCE_R (S_1)

Sumber: Desain Spektra Indonesia, 2019.

d. Menentukan Koefisien Situs, F_a dan F_v

Dari Tabel 3.18 dan Tabel 3.19 Koefisien di atas nilai F_a dan F_v untuk jenis Tanah Lunak (SE) yaitu F_a adalah 0,8 dan F_v adalah 2,0.

e. Menentukan Spektral Respons Percepatan S_{DS} dan S_{D1}

Dari koefisien di atas, untuk nilai F_a dan F_v dengan jenis Tanah Lunak (SE) adalah 0,8 dan 2,0. Maka nilai S_{DS} dan S_{D1} dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{DS} = 2/3 (F_a \times S_s) = 2/3 (0,8 \times 1,55) = 0,8278$$

$$S_{D1} = 2/3 (F_v \times S_1) = 2/3 (2,0 \times 0,6) = 0,80$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh nilai S_{DS} sebesar 0,8278 dan S_{D1} sebesar 0,80. Setelah nilai S_{DS} dan S_{D1} diketahui, langkah selanjutnya adalah menentukan kategori desain seismik untuk periode pendek dan periode 1 detik.

Berdasarkan Tabel 3.20 dan Tabel 3.21, kategori desain seismik ditentukan dari parameter respons percepatan pada periode pendek dan periode 1 detik. Dengan menggunakan nilai S_{DS} dan S_{D1} , diperoleh kategori risiko D. Nilai-nilai tersebut kemudian digunakan dalam perencanaan Spektrum Respons Desain, yang disajikan sebagai berikut:

I_e	$= 1,25$	F_a	$= 0,8$	S_{DS}	$= 0,8278$
S_s	$= 0,1,55 \text{ g}$	F_v	$= 2,0$	S_{D1}	$= 0,80$
S_1	$= 0,6 \text{ g}$	Kategori Risiko (D)			

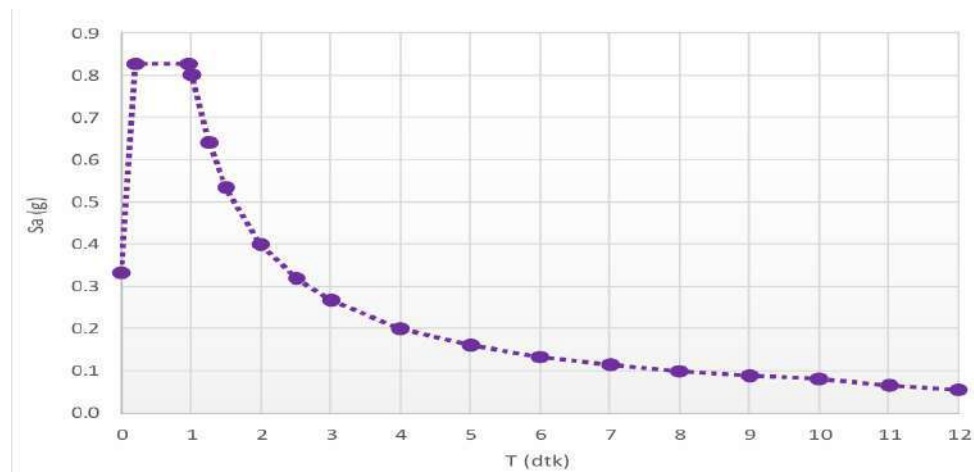
Setelah menentukan kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek dan periode 1 detik menggunakan nilai S_{DS} dan S_{D1} , Spektrum Respons Desain dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Spektrum Respons Desain

T (dtk)	Sa (g)
0	0.3311
0.1933	0.8278
0.9664	0.8278
1.00	0.8000
1.25	0.6400
1.50	0.5333
2.00	0.4000
2.50	0.3200
3.00	0.2667
4.00	0.2000
5.00	0.1600
6.00	0.1333
7.00	0.1143
8.00	0.1000
9.00	0.0889
10.00	0.0800
11.00	0.0661
12.00	0.0556

f. Gambar Spektrum Respons Desain

Setelah menghitung nilai periode (T) dan percepatan respons spektral (Sa) pada Tabel 5.2, langkah selanjutnya adalah menggambar grafik hubungan antara periode (T) dan percepatan respon spektral (Sa). Grafik Spektrum Respons Desain tersebut ditampilkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5. 6 Grafik Spektrum Respons Desain

g. Kombinasi Pembebanan

Setelah menginput nilai pembebanan dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis menggunakan aplikasi SAP2000 dengan memasukkan nilai kombinasi pembebanan terfaktor sesuai SNI 2847:2019 Pasal 9.2.1, yang disajikan sebagai berikut:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5(Lr+R)$
3. $1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + 1,0L \text{ atau } 0,5W$
4. $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0E + 1,0L$
6. $0,9D + 1,0W$
7. $0,9D + 1,0E$

Untuk nomor 5 dan 7, beban gempa diatur berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 4.2. Faktor dan kombinasi beban yang digunakan mencakup beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal, dengan rincian sebagai berikut:

1. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0L \pm 0,3EX \pm 1,0EY$
2. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0L \pm 1,0EX \pm 0,3EY$
3. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D \pm 0,3EX \pm 1,0EY$
4. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D \pm 1,0EX \pm 0,3EY$

Dimana,

D = Beban Mati, termasuk beban mati tambahan

L = Beban Hidup

Lr = Beban Hidup Atap

R = Beban Hujan

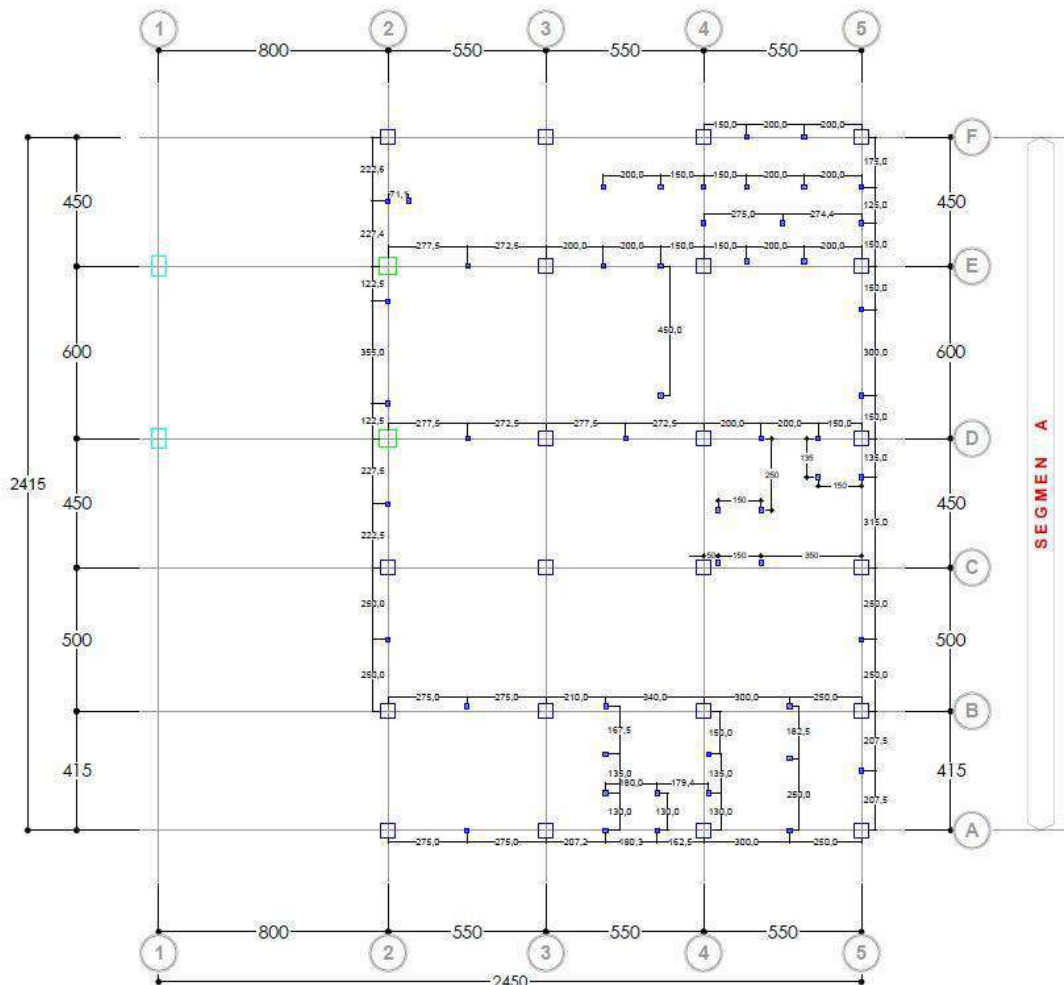
W = Beban Angin

EX = Beban Gempa Arah-x

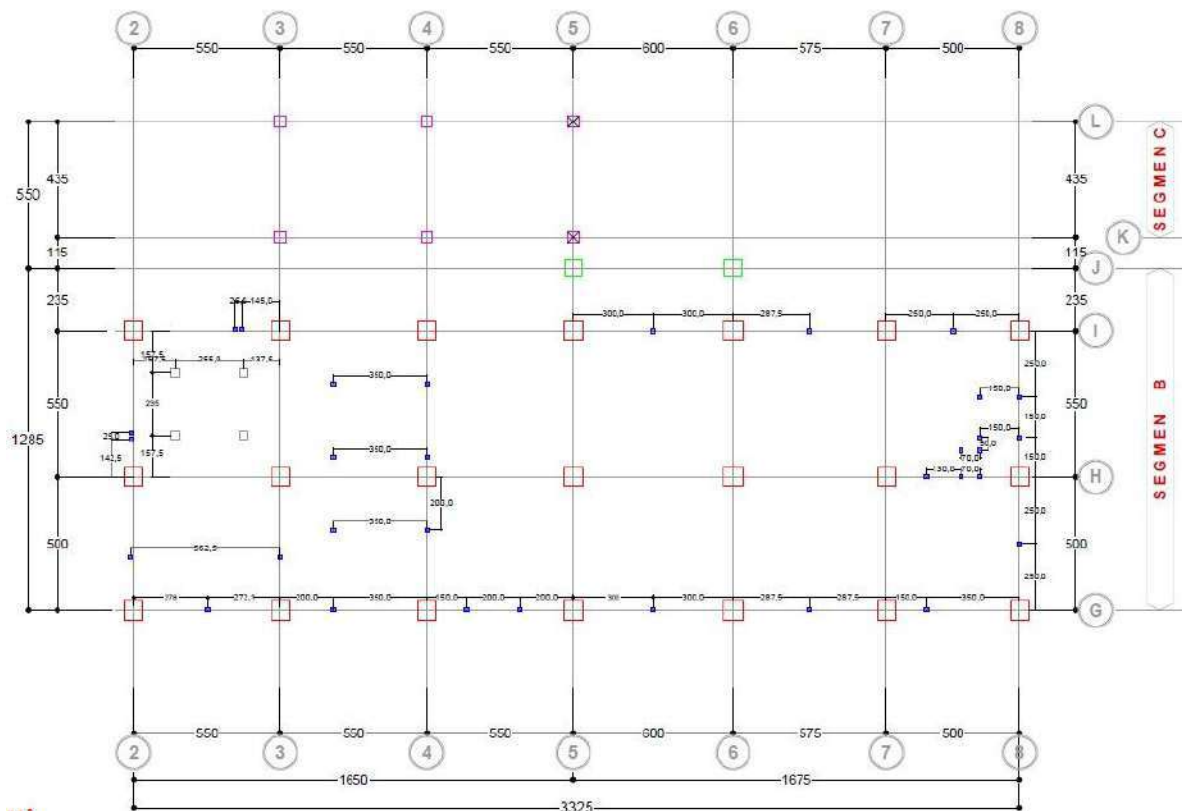
EY = Beban Gempa Arah-y

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek

Letak kolom sesuai analisis SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan Tabel 5.8



Gambar 5. 7 Letak Kolom Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah Segmen B



Gambar 5. 8 Letak Kolom Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah Segmen B

Berikut adalah beban maksimum dari seluruh kombinasi berada pada segmen B dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5. 3 Nilai Reaksi Maksimum Pada Kolom Struktur

P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)
1473.150	329.071	389.632	155.660	134.665

5.2 Data Tanah Dasar

Data tanah yang digunakan berasal dari hasil penyelidikan tanah oleh CV.IKBATEK_04 pada tahun 2022, yang mencakup uji *Standard Penetration Test* (SPT) dan pengujian laboratorium. Penyelidikan dilakukan di lokasi proyek pembangunan Gedung Perkantoran BPKAD Sulteng, yang beralamat di JL. Dr. Samratulangi No. 101, Kecamatan Mantikulore, Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah.

5.3 Data *Standard Penetration Test* (SPT)

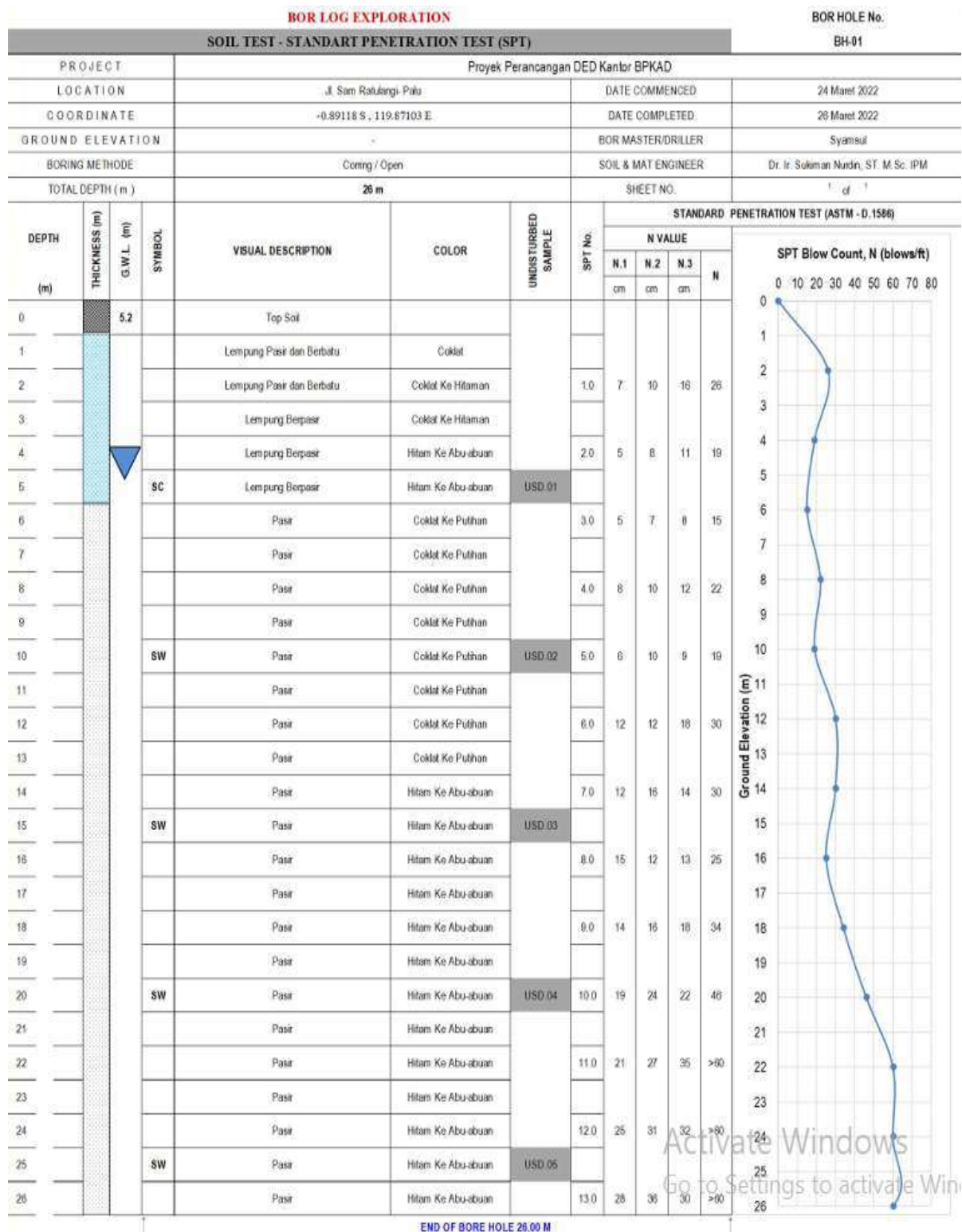
Berdasarkan Hasil bor inti SPT yang telah dilakukan, terdapat 1 titik pengujian SPT dapat di lihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5. 9 Profill Tanah dan Elevasi (Google Earth, 2022)

Adapun hasil pengujian dapat di lihat pada tabel lampiran-BH.01. Adapun rangkuman dari data N-SPT dan deskripsi tanah seperti dalam Tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Hasil Bor Inti dan SPT Titik 01 Gedung Perkantoran BPKAD Provinsi Sulawesi Tengah



Data hasil pengujian laboratorium dapat dilihat pada lampiran-5 sampai. Adapun rangkuman hasil pengujian laboratorium dapat di lihat pada Tabel 5.5 berikut:

Tabel 5. 5 Data Hasil Pengujian Laboratorium Sampel Bor/Log Titik 01 Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah

No	Jenis Pengujian	Parameter/ Simbol	Satuan	Hasil	Kedalaman Sampel (m)	Kode Sampel
1	Borehole HB1				: - 4,45 m - 5,00 m	BH 1- 01
	1. Kadar Air	w	%	7.736		
	2. Berat Isi					
	- Berat isi Basah	γ_b	g/cm^3	1.600		
	- Berat isi Kering	γ_d	g/cm^3	1.485		
	3. Berat Jenis	Gs	-	2.520		
	4. Analisa Saringan					
	- Persentase Tertahan	#200	%	82.30		
	- Persentase Lolos	#200	%	17.70		
	5. Batas Batas Atterberg					
	- Batas Cair	LL	%	-----		
	- Batas Plastis	PL	%	-----		
	- Indeks Plastis	IP	%	-----		
	6. Geser Langsung					
	- Kohesi	c	kg/cm^2	0.013		
	- Sudut Geser	ϕ	$^\circ$	21.306		
	7. Kuat Tekan Bebas	qu maks	kg/cm^2	-----		
	8. Konsolidasi					
	- Pc	Pc	kg/cm^2	-----		
	- Indeks Kompresibilitas	Cc	-	-----		
	- Koefisien Permeabilitas	K	cm/det	-----		
2	Borehole HB1				: - 9,00 m - 9,55 m	BH 1- 02
	1. Kadar Air	w	%	9.251		
	2. Berat Isi					
	- Berat isi Basah	γ_b	g/cm^3	1.604		
	- Berat isi Kering	γ_d	g/cm^3	1.468		
	3. Berat Jenis	Gs	-	2.541		
	4. Analisa Saringan					
	- Persentase Tertahan	#200	%	84.74		
	- Persentase Lolos	#200	%	15.26		
	5. Batas Batas Atterberg					
	- Batas Cair	LL	%	-----		
	- Batas Plastis	PL	%	-----		
	- Indeks Plastis	IP	%	-----		
	6. Geser Langsung					
	- Kohesi	c	kg/cm^2	0.017		
	- Sudut Geser	ϕ	$^\circ$	22.626		
	7. Kuat Tekan Bebas	qu maks	kg/cm^2	-----		
	8. Konsolidasi					
	- Pc	Pc	kg/cm^2	-----		
	- Indeks Kompresibilitas	Cc	-	-----		
	- Koefisien Permeabilitas	K	cm/det	-----		
3	Borehole HB1				: - 14,50 m - 15,00 m	BH 1- 03
	1. Kadar Air	w	%	10.821		
	2. Berat Isi					
	- Berat isi Basah	γ_b	g/cm^3	1.628		
	- Berat isi Kering	γ_d	g/cm^3	1.469		
	3. Berat Jenis	Gs	-	2.635		
	4. Analisa Saringan					
	- Persentase Tertahan	#200	%	90.19		
	- Persentase Lolos	#200	%	9.81		
	5. Batas Batas Atterberg					
	- Batas Cair	LL	%	-----		
	- Batas Plastis	PL	%	-----		
	- Indeks Plastis	IP	%	-----		
	6. Geser Langsung					
	- Kohesi	c	kg/cm^2	0.0161		
	- Sudut Geser	ϕ	$^\circ$	23.927		
	7. Kuat Tekan Bebas	qu maks	kg/cm^2	-----		
	8. Konsolidasi					
	- Pc	Pc	kg/cm^2	-----		
	- Indeks Kompresibilitas	Cc	-	-----		
	- Koefisien Permeabilitas	K	cm/det	-----		

4	Borehole HB1				: - 19,00 m - 19,55 m	BH 1 - 04
	1. Kadar Air	w	%	11.594		
	2. Berat Isi					
	- Berat isi Basah	γ_b	g/cm ³	1.628		
	- Berat isi Kering	γ_d	g/cm ³	1.459		
	3. Berat Jenis	Gs	-	2.646		
	4. Analisa Saringan					
	- Persentase Tertahan	#200	%	91.52		
	- Persentase Lolos	#200	%	8.48		
	5. Batas Batas Atterberg					
	- Batas Cair	LL	%	-----		
	- Batas Plastis	PL	%	-----		
	- Indeks Plastis	IP	%	-----		
	6. Geser Langsung					
	- Kohesi	c	kg/cm ²	0.013		
	- Sudut Geser	ϕ	°	25.202		
	7. Kuat Tekan Bebas	qu maks	kg/cm ²	-----		
	8. Konsolidasi					
	- Pc	Pc	kg/cm ²	-----		
	- Indeks Kompresibilitas	Cc	-	-----		
	- Koefisien Permeabilitas	K	cm/det	-----		
5	Borehole HB1				: - 24,45 m - 25,00 m	BH 1- 05
	1. Kadar Air	w	%	12.341		
	2. Berat Isi					
	- Berat isi Basah	γ_b	g/cm ³	1.590		
	- Berat isi Kering	γ_d	g/cm ³	1.416		
	3. Berat Jenis	Gs	-	2.535		
	4. Analisa Saringan					
	- Persentase Tertahan	#200	%	81.42		
	- Persentase Lolos	#200	%	18.58		
	5. Batas Batas Atterberg					
	- Batas Cair	LL	%	-----		
	- Batas Plastis	PL	%	-----		
	- Indeks Plastis	IP	%	-----		
	6. Geser Langsung					
	- Kohesi	c	kg/cm ²	0.0179		
	- Sudut Geser	ϕ	°	22.626		
	7. Kuat Tekan Bebas	qu maks	kg/cm ²	-----		
	8. Konsolidasi					
	- Pc	Pc	kg/cm ²	-----		
	- Indeks Kompresibilitas	Cc	-	-----		
	- Koefisien Permeabilitas	K	cm/det	-----		

Sumber: CV.IKBATEK_04

Dari data hasil pengujian bor inti (SPT), titik BH.01 merupakan hasil pengujian tanah yang bervariasi. Pada perhitungan daya dukung diperlukan nilai N-SPT dan beberapa parameter data tanah lain berupa berat volume jenuh (γ_{sat}) dan kuat geser tanah *undrained* (C_u). Data tanah yang digunakan seharusnya tersedia pada setiap kedalaman dengan interval 0,5 meter. Namun, karena parameter data tersebut belum lengkap, maka diperlukan korelasi tambahan berdasarkan teori yang relevan.

5.4 Korelasi Data Tanah

Korelasi ini dilakukan untuk memperoleh nilai pendekatan terhadap karakteristik tanah yang belum diperoleh saat pengujian dan pengambilan sampel di lapangan. Proses korelasi dilakukan menggunakan nilai N-SPT, yang kemudian dihubungkan dengan teori-teori yang relevan.

Parameter tanah yang diperlukan diantaranya N-SPT, berat volume jenuh (γ_{sat}).

Contoh perhitungan korelasi data tanah adalah sebagai berikut. Di ambil tanah BH.01 pada kedalaman 18 m sebagai contoh perhitungan dengan nilai N-SPT = 34, digunakan Tabel 5.7

Tabel 5. 6 Hubungan antara Parameter Tanah untuk Tanah Pasir (Teng, 1962)

Kondisi Kepadatan	Relative Density (Kepadatan Relatif) R_d	Perkiraan Harga N_{SPT}	Perkiraan Harga ϕ ($^\circ$)	Perkiraan Berat Volume Jenuh, γ_{sat} (ton/m ³)
Very Loose (Sangat Renggang)	0%-15%	0-4	0-28	< 1,60
Loose (Renggang)	15%-35%	4-10	28-30	1,50-2,0
Medium (Menengah)	35%-65%	10-30	30-36	1,75-2,10
Dense (Rapat)	65%-85%	30-50	36-41	1,75-2,25
Very Dense (Sangat Rapat)	85%-100%	> 50	41*	

Sumber: Perkiraan oleh Mochtar (2009)

$$\frac{x-x_1}{x^2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1}$$

$$\frac{34-30}{50-30} = \frac{y-1,75}{2,25-1,75}$$

$$20y = -34 - 2,5$$

$$y = 1,83$$

Tabel 5. 7 Rangkuman Data Tanah Titik BH.01

Boring NO	Soil Unit Number (m)	N-spt (Blows/30cm)	γ_{sat}
BH.01	1	26	2,03
	2	26	2,03
	3	19	1,91
	4	19	1,91
	5	15	1,84
	6	15	1,84
	7	22	1,96
	8	22	1,96
	9	19	1,91
	10	19	1,91
	11	30	2,25
	12	30	2,25
	13	30	2,25
	14	30	2,25
	15	25	2,01
	16	25	2,01
	17	34	1,83
	18	34	1,83
	19	46	2,15
	20	46	2,15

5.5 Kriteria Desain Tiang Pancang

Fondasi gedung ini direncanakan menggunakan tiang pancang jenis *Spun Pile* yang diproduksi oleh PT Wijaya Karya (WIKA) Beton.

- Tiang pancang beton pracetak (*precast concrete pile*) dengan bentuk penampang bulat.
- Mutu beton tiang pancang $f_c' = 52 \text{ MPa}$ (Cube 600 kg/cm^2)

Tabel 5. 8 Katalog Tiang Pancang WIKA Beton

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm ²)	Section Inertia (cm ⁴)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack *	Break			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17
					C	12.50	25.00	134.90	100.45	6 - 18
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17
					B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18
					C	17.00	34.00	169.00	122.04	6 - 19
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17
					A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19
					C	29.00	58.00	229.50	163.67	6 - 20
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20
					A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23
					C	65.00	130.00	368.17	290.82	6 - 24
1000 ***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24
					C	120.00	240.00	555.23	385.70	6 - 24
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24
					B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24
					C	200.00	400.00	721.50	522.20	6 - 24

Sumber: <https://www.wika-beton.co.id/uploads/2-PC-PILES.pdf>, 2020

Berikut ini, spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan (**Tabel 5.9**).

- Diameter Luar (D) = 600 mm
- Tebal Dinding = 100 mm
- Kedalaman Tiang = 17 – 20 meter

5.6 Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Dari Uji Penetrasi Standar (SPT)

Daya dukung tanah dihitung berdasarkan data N-SPT. Hasil perhitungannya berdasarkan data tersebut disajikan sebagai berikut:

5.11.1 Daya Dukung Tiang dari Uji Penetrasi Standar (SPT)

Contoh perhitungan mengacu pada kolom K42 pada Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah beban axial maksimum yang di dapatkan dari analisis SAP2000. Adapun data-data perencanaan tiang pancang adalah sebagai berikut:

- ✓ Diameter tiang pancang = 600 mm = 0,60 m
- ✓ Faktor keamanan diambil, $F_s = 2,5$
- ✓ Nilai kapasitas dukung ijin, $Q_v = 1473,150 \text{ kN}$
= 147,31 ton

1. Metode Perhitungan Mayerhoff dan Bazaara

Analisis fondasi tiang pancang menggunakan *Single Pile* misal perhitungan fondasi tiang pancang pada kedalaman 17 meter.

- Digunakan tiang pancang dengan diameter = 0,60 m
- Nilai N-SPT = 34 (Pasir)
- Koreksi nilai N_{spt} terhadap pengaruh muka air tanah dan jenis tanah (N_1)

$$N_1 = 17 + 0,5 (N - 17) = 17 + 0,5 (34 - 17) = 25,5$$

$$N_1 = N \times 0,60 = 34 \times 0,60 = 20,4$$

Karena tanah pasit kasar maka ada koreksi terhadap muka air tanah. Diambil nilai paling kecil yaitu 20,4

- Berat Jenuh Tanah (γ_{sat})

$$\gamma_{sat} = 1,83 \text{ t/m}^3 \text{ (Korelasi)}$$

- $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 1,83 - 1 = 0,83 \text{ t/m}^3$

- Tekanan vertikal efektif lapisan tanah (P_0)

$$P_0 = \sum P_0 \text{ (di atasnya)} + (\gamma' \cdot h) = 16,32 + (0,83 \cdot 1) \\ = 17,15 \text{ t/m}^3 (> 7,5 \text{ t/m}^2)$$

- Koreksi nilai N terhadap pengaruh tekanan vertikal efektif tanah (N_2)

$$N_2 = \frac{4N_1}{3,25 + 0,1 \cdot Po} = \frac{4 \cdot 20,4}{3,25 + 0,1 \cdot 17,15} = 16,44$$

- $2N_1 = 2 \times 16,44 = 32,88$

- Nilai N Koreksi

$$N_{\text{corr}} = 16,44 \text{ (Dipakai } N_2, \text{ karena } N_2 < 2N_1)$$

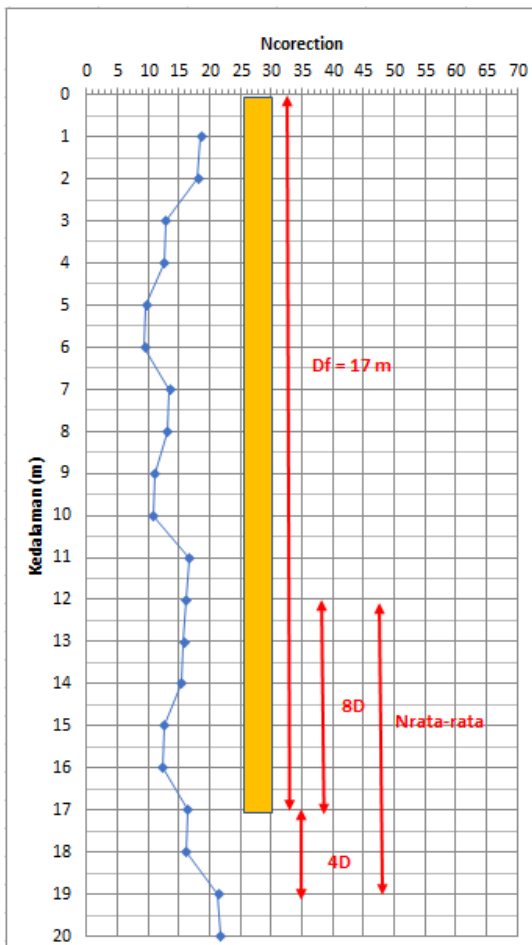
- $N = \text{Rata-rata nilai } N \text{ 4D di bawah sampai 8D di atas}$

Ujung tiang

$$\checkmark 4D = 4 \cdot 0,60 = 2,4 \text{ m (17 + 2 = 19 m)}$$

$$\checkmark 8D = 8 \cdot 0,60 = 4,8 \text{ m (17 - 5 = 12 m)}$$

$$N_{\text{Rata-Rata}} = (16 + 16 + 15 + 13 + 12 + 16 + 16 + 21) / 8 = 15,78 \approx 16$$



Gambar 5. 10 Sketsa Nilai N correction Fondasi Tiang Pancang

- Luas penampang dasar tiang (A_p)

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \cdot 0,60^2 = 0,28 \text{ m}^2$$
- Hambatan geser selimut tiang pada segmen I (f_{si})

$$f_{si} = N/5 \text{ (Tanah Berpasir Padat)} = 16/5 = 3,2 \text{ t/m}^2$$
- Luas selimut tiang pada segmen I (A_s)

$$A_s = \pi \cdot d \cdot h = 3,14 \cdot 0,60 \cdot 1 = 1,88 \text{ m}^2$$
- Tahanan Selimut, Q_s

$$R_{si} = f_{si} \cdot A_s = 3,2 \cdot 1,88 = 6,029 \text{ t}$$

$$\sum R_{si} = \sum R_{si} \text{ (Di atasnya)} + R_{si} = 80,287 + 6,029 = 86,287 \text{ t}$$
- Daya Dukung Ultimit Tiang (Q_{ult})

$$Q_{ult} = Q_{ujung} + Q_{selimut}$$

$$= 40 N \cdot A_p + \sum R_{si} \cdot A_s$$

$$= 40 \cdot 16 \cdot 0,28 + 162,565 = 343,429 \text{ t}$$
- Daya Dukung Izin Tiang (Q_a)

$$Q_a = Q_{ult} / F_s = 343,429 / 2,2$$

$$= 137,372 \text{ ton} > 147,31 \text{ ton} \quad \textbf{.BELUM MEMENUHI}$$

Hasil perhitungan daya dukung izin fondasi tiang pancang dengan beban maksimum kolom K42 Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah menggunakan analisis *Single Pile* dapat dilihat pada Tabel 5.9.

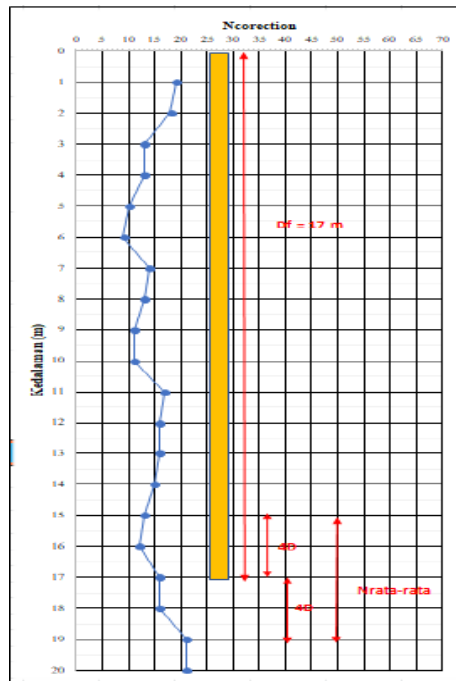
Tabel 5. 9 Daya Dukung Izin Metode Perhitungan Mayerhoff dan Bazaara

Kedalaman	Diameter Tiang Pancang	N-SPT	Jenis Tanah	P ^o	N _{corr}	N diujung tiang (m)		Nrata-rata	Daya Dukung Ujung, Q _p	Daya Dukung Selimut, Q _s	Daya Dukung Ultimit, Q _u	Daya Dukung Izin, Q _a (Q _u /FS)	Beban Yang Bekerja, Q _v	Kontrol
(meter)	(cm)			t/m ²		Dibawah 4D	Diatas 8D		t	t	t	t	t	Q _a > Q _v
1	60	26	Lempung Pasir dan Berbatu	1.03	19	3	0	17	192.168	12.068	204.236	81.694	147.310	BELUM MEMENUHI
2	60	26	Lempung Pasir dan Berbatu	2.06	18	4	0	16	180.864	23.426	204.290	81.716	147.310	BELUM MEMENUHI
3	60	19	Lempung Berpasir	2.97	13	5	0	14	158.256	33.365	191.621	76.648	147.310	BELUM MEMENUHI
4	60	19	Lempung Berpasir	3.88	13	6	0	13	146.952	42.593	189.545	75.818	147.310	BELUM MEMENUHI
5	60	15	Pasir	4.72	10	7	0	10	113.040	49.692	162.732	65.093	147.310	BELUM MEMENUHI
6	60	15	Pasir	5.56	9	8	1	9	101.736	56.081	157.817	63.127	147.310	BELUM MEMENUHI
7	60	22	Pasir	6.52	14	9	2	14	158.256	66.020	224.276	89.710	147.310	BELUM MEMENUHI
8	60	22	Pasir	7.48	13	10	3	13	146.952	75.248	222.200	88.880	147.310	BELUM MEMENUHI
9	60	19	Pasir	8.39	11	11	4	12	135.648	83.767	219.415	87.766	147.310	BELUM MEMENUHI
10	60	19	Pasir	9.30	11	12	5	12	135.648	92.286	227.934	91.174	147.310	BELUM MEMENUHI
11	60	30	Pasir	10.55	17	13	6	13	146.952	101.514	248.466	99.387	147.310	BELUM MEMENUHI
12	60	30	Pasir	11.80	16	14	7	13	146.952	110.743	257.695	103.078	147.310	BELUM MEMENUHI
13	60	30	Pasir	13.05	16	15	8	14	158.256	120.682	278.938	111.575	147.310	BELUM MEMENUHI
14	60	30	Pasir	14.30	15	16	9	14	158.256	130.620	288.876	115.550	147.310	BELUM MEMENUHI
15	60	25	Pasir	15.31	13	17	10	14	158.256	140.558	298.814	119.526	147.310	BELUM MEMENUHI
16	60	25	Pasir	16.32	12	18	11	15	169.560	151.207	320.767	128.307	147.310	BELUM MEMENUHI
17	60	34	Pasir	17.15	16	19	12	16	180.864	162.565	343.429	137.372	147.310	BELUM MEMENUHI
18	60	34	Pasir	17.98	16	20	13	16	180.864	173.923	354.787	141.915	147.310	BELUM MEMENUHI
19	60	46	Pasir	19.13	21	21	14	17	133.450	185.991	319.441	127.777	147.31	BELUM MEMENUHI
20	60	46	Pasir	18.13	22	22	15	17	192.168	198.060	390.228	156.091	147.310	Memenuhi

2. Metode Perhitungan Luciano Decourt

Analisis fondasi tiang pancang menggunakan *Single Pile* misal perhitungan fondasi tiang pancang pada kedalaman 17 meter.

- Digunakan tiang pancang dengan diameter = 0,6 m
- Nilai N-SPT = 34 (Pasir)
- $N_1 = D \times N\text{-SPT} = 0,60 \times 34 = 20,4$
- $N_{\text{Corr}} = 16$
- $N_p = \text{Rata-rata nilai } N \text{ 4D di bawah sampai 4D di atas ujung tiang}$
 - ✓ $4D = 4 \cdot 0,6 = 2 \text{ m } (17 + 2 = 19 \text{ m})$
 - ✓ $4D = 4 \cdot 0,6 = 2 \text{ m } (17 - 2 = 15 \text{ m})$
- $N_p = (13 + 12 + 16 + 16 + 21) / 5 = 16$
- Koefisien karakteristik tanah (K)
 $K = 40 \text{ t/m}^2 \text{ (Pasir)}$
- $A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,6^2 = 0,28 \text{ m}^2$
- $N_s = \text{Nilai } N_{\text{spt}} \text{ rata-rata sepanjang tiang } (0 - 17 \text{ m})$
 $= 14$



Gambar 5. 11 Sketsa Nilai Ncorection Fondasi Tiang Pancang

- $A_s = (\pi \cdot d) \cdot \text{Panjang tiang}$
 $= (3,14 \cdot 0,6) \cdot 17 = 32,028 \text{ m}^2$
- $\alpha = 1$ (**Tabel 3.11** Koefisien Dasar Tiang, α)
- $\beta = 1$ (**Tabel 3.12** Koefisien Dasar Tiang, β)
- $Q_{ult} = Q_{ujung} + Q_{selimut}$
 $= [\alpha \cdot (N_p \cdot K) \cdot A_p] + [\beta \cdot (\frac{N_s}{3} + 1) \cdot A_s]$
 $= [1 \cdot (16 \cdot 40) \cdot 0,28] + [1 \cdot (\frac{14}{3} + 1) \cdot 32,028]$
 $= 361,100 \text{ t}$
- $Q_a = Q_{ult} / F_s$
 $= 361,100 / 2,5$
 $= 144,440 \text{ ton} > 147,3 \text{ ton} \quad \textbf{.BELUM MEMENUHI}$

Hasil perhitungan daya dukung izin fondasi tiang pancang dengan beban maksimum kolom K57 Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah menggunakan analisis *Single Pile* dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5. 10 Daya Dukung Izin Metode Perhitungan Luciano Decourt

Kedalaman	Diameter Tiang Pancang	N-SPT	Jenis Tanah	N1	N2	2N1	N _{corr}	N diujung tiang (m)		Np	Ns	Daya Dukung Ujung, Qp	Daya Dukung Selimut, Qs	Daya Dukung Ultimit, Qu	Daya Dukung Izin, Qa (Qu/FS)	Beban Yang Bekerja, Qv	Kontrol
(meter)	(cm)							Dibawah 4D	Diatas 4D			t	t	t	t	t	Qa > Qv
1	60	26	Lempung Pasir dan Berbatu	16	19	31.2	19	3	0	17	19	192.168	13.816	205.984	82.394	147.315	BELUM MEMENUHI
2	60	26	Lempung Pasir dan Berbatu	16	18	31.2	18	4	0	16	19	180.864	27.004	207.868	83.147	147.315	BELUM MEMENUHI
3	60	19	Lempung Berpasir	11	13	22.8	13	5	1	15	17	169.560	37.052	206.612	82.645	147.315	BELUM MEMENUHI
4	60	19	Lempung Berpasir	11	13	22.8	13	6	2	13	16	146.952	47.100	194.052	77.621	147.315	BELUM MEMENUHI
5	60	15	Pasir	9	10	18	10	7	3	12	15	135.648	55.264	190.912	76.365	147.315	BELUM MEMENUHI
6	60	15	Pasir	9	9	18	9	8	4	12	14	135.648	62.800	198.448	79.379	147.315	BELUM MEMENUHI
7	60	22	Pasir	13	14	26.4	14	9	5	11	14	124.344	73.476	197.820	79.128	147.315	BELUM MEMENUHI
8	60	22	Pasir	13	13	26.4	13	10	6	12	14	135.648	83.524	219.172	87.669	147.315	BELUM MEMENUHI
9	60	19	Pasir	11	11	22.8	11	11	7	13	13	146.952	92.316	239.268	95.707	147.315	BELUM MEMENUHI
10	60	19	Pasir	11	11	22.8	11	12	8	14	13	158.256	101.108	259.364	103.746	147.315	BELUM MEMENUHI
11	60	30	Pasir	18	17	36	17	13	9	14	13	158.256	113.668	271.924	108.770	147.315	BELUM MEMENUHI
12	60	30	Pasir	18	16	36	16	14	10	15	14	169.560	125.600	295.160	118.064	147.315	BELUM MEMENUHI
13	60	30	Pasir	18	16	36	16	15	11	15	14	169.560	137.532	307.092	122.837	147.315	BELUM MEMENUHI
14	60	30	Pasir	18	15	36	15	16	12	14	14	158.256	148.836	307.092	122.837	147.315	BELUM MEMENUHI
15	60	25	Pasir	15	13	30	13	17	13	14	14	158.256	158.884	317.140	126.856	147.315	BELUM MEMENUHI
16	60	25	Pasir	15	12	30	12	18	14	14	14	158.256	168.304	326.560	130.624	147.315	BELUM MEMENUHI
17	60	34	Pasir	20	16	40.8	16	19	15	16	14	180.864	180.236	361.100	144.440	147.315	BELUM MEMENUHI
18	60	34	Pasir	20	16	40.8	16	20	16	17	14	192.168	192.168	384.336	153.734	147.315	Memenuhi
19	60	46	Pasir	28	21	55.2	21	21	17	19	14	149.150	207.240	356.390	142.556	147.315	BELUM MEMENUHI
20	60	46	Pasir	28	21	55.2	21	22	18	19	15	214.776	222.312	437.088	174.835	147.315	MEMENUHI

5.7 Penentuan Kedalaman dan Dimensi Tiang Pancang

Berdasarkan perhitungan daya dukung tiang dari Uji Penetrasi Standar (SPT) diambil nilai daya dukung dengan kedalaman maksimum tiang pancang yaitu 17 meter dan diameter 0,6 m. (Sesuai Tabel 5.8)

Untuk tiang tunggal nilai daya dukung izin berdasarkan data SPT diperoleh hasil dengan:

$$Q_a = 137,372 \text{ ton untuk Mayerhoff dan Bazaara}$$

$$Q_a = 144,440 \text{ ton untuk Luciano Decourt}$$

Hasil perhitungan daya dukung izin menunjukkan dari kedua metode hanya kolom 4, 8, 25, 35, 41, 42, 56, 57 dan 58 yang belum memenuhi bila menggunakan tiang tunggal di kedalaman 17 meter, selebihnya menggunakan tiang tunggal.

5.8 Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Pancang

1. Berdasarkan data property fondasi tiang pancang, tinggi *casing* terhadap muka tanah sebesar 40 cm (0,4 m). Oleh karena itu, Fondasi tiang pancang dikategorikan sebagai tiang dengan kepala bebas (*free end pile*).
2. Menetapkan Kriteria Tiang Panjang atau Tiang Pendek
 - a. Menentukan modulus elastisitas tiang (EP)

$$\begin{aligned} E_p &= 4700 \times \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \times \sqrt{50} \\ &= 33892,182 \text{ MPa} \\ &= 33892181,9 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- b. Menentukan momen inersia fondasi tiang pancang

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{64} \times \pi D^4 \\ &= \frac{1}{64} \times 3,14 \times 0,6^4 \\ &= 0,006362 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

3. Menentukan kriteria tiang panjang atau pendek menggunakan faktor kekakuan
 - a. Menentukan Nilai Koefisien variasi modulus (n_h)

Berdasarkan Tabel 5.11

Tabel 5. 11 Nilai-nilai N_h untuk tanah Granuler

Kerapatan Relatif (Dr)	Tak Padat	Sedang	Padat
Interval nilai A	100-300	300-1000	1000-2000
Nilai A dipakai	200	600	1500
N_h , pasir kering atau lembab (kN/m^3), Terzaghi	2425	7275	19400
N_h , pasir terendam air (kN/m^3) Terzaghi Reese et al	1386 5300	4850 16300	11779 34000

Sumber : Hardiyatmo, 2013

Nilai N_h yang digunakan = 300 : Tak Padat (interval nilai A)

b. Menentukan Faktor Kekakuan

$$\begin{aligned}
 T &= \sqrt[5]{\frac{E_p \times I_p}{N_h}} \\
 &= \sqrt[5]{\frac{33892181,9 \times 0,06362}{300}} \\
 &= 3,727 \text{ m}
 \end{aligned}$$

c. Menentukan Tiang Ujung Bebas Panjang atau Pendek

Tipe Tiang	Modulus tanah (K) bertambah dengan kedalaman	Modulus tanah (K) konstan
Kaku (Ujung bebas)	$L \leq 2T$	$L \leq 2R$
Tidak Kaku (Ujung bebas)	$L \geq 4T$	$L \leq 3,5R$

- Tiang Pendek

$$L \leq 2T = 17 \leq 2 \times 3,73 = 7,453 \text{ m}$$

$$17 \leq 7,453 \quad \text{Tidak Memenuhi syarat}$$

- Tiang Panjang

$$L \geq 4T = 17 \geq 4 \times 3,73 = 14,906 \text{ m}$$

$$17 \geq 14,906 \text{ m} \quad \text{Memenuhi syarat}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa panjang tiang L (17 m) lebih besar atau sama dengan empat kali nilai T (14,906 m), sehingga tiang fondasi dikategorikan sebagai tiang panjang yang bersifat elastis atau tidak kaku.

4. Menetapkan koefisien tegangan tanah lateral aktif (K_p)

Diketahui nilai sudut geser pada kedalaman 17 m yaitu $23,93^\circ$

$$\begin{aligned}
 K_p &= \tan^2\left(45^\circ + \frac{\theta}{2}\right) \\
 &= \tan^2\left(45^\circ + \frac{23.93}{2}\right) \\
 &= 1,538
 \end{aligned}$$

5. Menghitung Daya dukung Lateral fondasi tiang pancang

Digunakan persamaan tiang ujung bebas (*free end pile*) dengan jenis tiang panjang (elastic atau tidak kaku)

Diketahui :

- Diameter, D = 0,6 m
- Beban Horizontal (Qh) = 155,660 kN
- Panjang Tiang , L = 17 m
- e = 0,4 m
- γ = 1469 kg/m³ = 14,69 kN/m³

- Menghitung momen tahanan tiang (My)

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{Ip}{D/2} \\
 &= \frac{0,006362}{6/2} \\
 &= 0,0212 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_b &= 0,4 \times f'_c \\
 &= 0,4 \times 52 \\
 &= 20,8 \text{ MPa} \\
 &= 20800 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

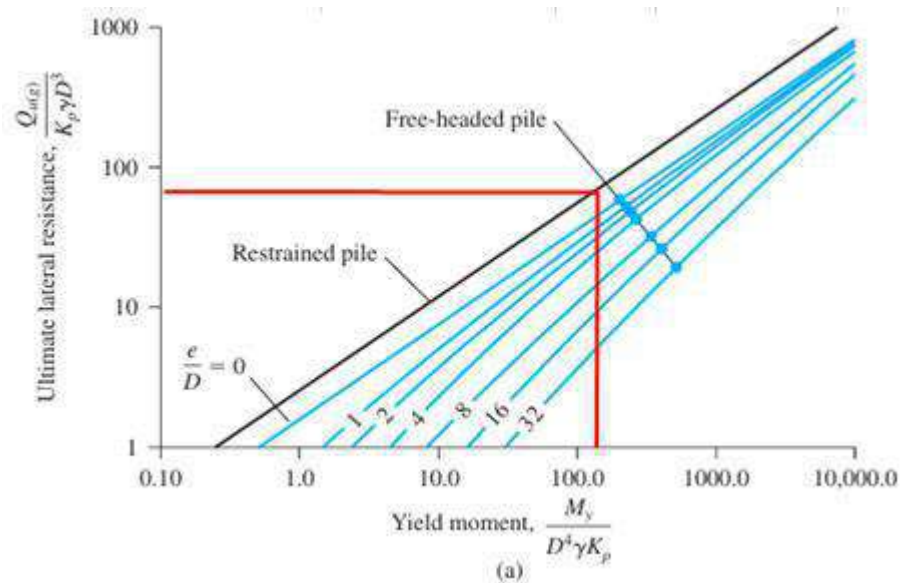
$$\begin{aligned}
 M_y &= f_b \times W \\
 &= 20800 \times 0,02120 \\
 &= 441,080 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Menghitung Daya Dukung Lateral

$$\begin{aligned}
 H &= \frac{M_y}{D^4 \times \gamma \times K_p} \\
 &= \frac{441,080}{0,6^4 \times 14,69 \times 1,538}
 \end{aligned}$$

$$= 150,657 \text{ kN}$$

- Nilai dari hasil H diplot ke grafik



Sehingga nilai *Ultimate lateral resistance* $\frac{Qu(g)}{Kp \gamma D^3} = 85 \text{ kN}$

$$\frac{Qu(g)}{Kp \gamma D^3} = \frac{Hu}{Kp \gamma D^3}$$

$$\begin{aligned} Hu &= \frac{Qu(g)}{Kp \gamma D^3} \times Kp \times \gamma \times D^3 \\ &= 85 \times 1,538 \times 14,7 \times 0,22 \\ &= 414,760 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ha &= \frac{414,760}{2,5} \\ &= 165,904 \end{aligned}$$

Cek keruntuhan tiang

Ha	>	Qh	
165,904 kN	>	155,660 kN	Memenuhi syarat

6. Menghitung Defleksi Tiang

Diketahui :

- Modulus elastisitas tiang, $E_p = 33892182 \text{ kN/m}^2$

- Momen inersia penampang tiang, $I_p = 0,006362 \text{ m}^4$
- Nilai sudut Geser, $\varphi = 23,078^\circ$
- Diameter tiang, $D = 0,6 \text{ m}$
- Panjang Tiang, $L = 17 \text{ m}$

Menghitung modulus tanah lateral, K

Untuk nilai $\varphi = 23,078^\circ$

Berdasarkan **Tabel 5. 12** rentang umum nilai k_1 untuk tanah pasir berikut :

Konsistensi	Sangat lepas	Lepas	Lepas-medium	Medium
Sudut Geser, $\varphi(^\circ)$	18-22	23-26	27-29	30-33
k_1 (MN/m ³)	3-12	5-20	10-35	25-60
k_1 direkomendasi (MN/m ³)	6	10	20	40

Sumber : Bowles, J.E. (1997)

Sehingga nilai $K_1 = 10 \text{ MN/m}^3 = 1000 \text{ kN/m}^3$

Dimana modulus tanah lateral, K

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{k_1}{1,5} \\
 &= \frac{1000}{1,5} \\
 &= 666,7 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$

Menghitung gaya horizontal maksimum didasarkan defleksi toleransi, β

$$\begin{aligned}
 \beta &= \sqrt[4]{\frac{K \times D}{4 \times E_p \times I_p}} \\
 &= \sqrt[4]{\frac{6666,7 \times 0,6}{4 \times 33892181,9 \times 0,006362}} \\
 &= 0,261
 \end{aligned}$$

- Menghitung Defleksi tiang, y_o

$$\begin{aligned}
 y_o &= \frac{H a \times \beta}{K \times D} \\
 &= \frac{165,904 \times 0,261}{6666,7 \times 0,6}
 \end{aligned}$$

$$= 0,0108 \text{ m}$$

$$= 10,8 \text{ mm}$$

Syarat :

Defleksi tiang izin 25,4 mm

$$y_o < 25,4 \text{ mm}$$

$$10,8 \text{ mm} < 25,4 \text{ mm} \quad \textbf{Memenuhi syarat}$$

5.9 Perhitungan Jumlah Tiang dan Daya Izin Fondasi Tiang Kelompok

Dalam menghitung jumlah tiang fondasi kelompok, digunakan nilai daya dukung terkecil yaitu berdasarkan metode Mayerhoff dan Bazaara. Jumlah tiang fondasi tersebut dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Jumlah tiang } (n) = \frac{Q_v}{Q_a}$$

Dengan:

Q_v = Beban yang bekerja pada kolom (ton)

Q_a = Daya dukung izin (ton)

Jumlah tiang yang digunakan ditentukan berdasarkan beban yang bekerja pada masing-masing kolom. Dalam perhitungan jumlah tiang fondasi, nilai daya dukung izin (Q_a) yang digunakan adalah nilai terkecil, dengan acuan perencanaan fondasi tiang berdiameter 0,6 dan kedalaman 17 m. Nilai Q_a sebesar 137,372 ton diperoleh dari hasil perhitungan daya dukung tiang menggunakan data Uji Penetrasi Standar (SPT).

Maka, jumlah tiang untuk beban maksimum (beban *axial max*) yang bekerja adalah kolom K42 adalah sebagai berikut:

$$Q_a = 137,372 \text{ ton}$$

$$Q_{v \text{ K57}} = 1473,150 \text{ kN} = 147,315 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah Tiang } (n) = \frac{Q_v}{Q_a} = \frac{147,315}{137,372} = 1,072 \approx 2 \text{ Tiang}$$

Setelah jumlah tiang pada masing-masing kolom di hitung, tahap selanjutnya adalah menghitung daya dukung izin tiang kelompok untuk mengetahui apakah jumlah

tiang tersebut mampu menahan beban yang bekerja. Hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan faktor pengali dari efisiensi kelompok tiang (E_g).

Contoh perhitungan efisiensi kelompok tiang (E_g) untuk 2 tiang pada kolom K57:

- Jumlah baris tiang, m $= 1$
- Jumlah tiang dalam satu baris, n' $= 2$
- Kedalaman $= 17 \text{ m}$
- Diameter tiang, D $= 0.6 \text{ m}$
- Jarak antara pusat tiang, s $= 2,5 \cdot d$
 $= 2,5 \cdot 0,6$
 $= 1,5 \text{ m}$
- ϕ $= \arctan D/s$
 $= \arctan (0,6/1,5)$
 $= 21,80^\circ$
- Efisiensi kelompok tiang, E_g $= 1 - \frac{\theta}{90} \left(\frac{(n'-1)m + (m-1).n'}{mn'} \right)$
 $= 1 - \frac{21,80}{90} \left(\frac{(2-1)1 + (1-1).2}{1.2} \right)$
 $= 0,88$
- Beban ultimit tiang tunggal, Q_u $= 343,429 \text{ ton}$
- Beban yang bekerja, Q_v (K42) $= 147,315 \text{ ton}$
- Daya dukung kelompok tiang (Q_g) untuk 2 tiang:
 $Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_u$
 $= 0,88 \cdot 2 \cdot 343,429$
 $= 604,435 \text{ ton}$

- Daya dukung izin kelompok tiang (Qag):

$$Q_{ag} = \frac{604,435}{2,5}$$
$$= 241,774 \text{ ton}$$

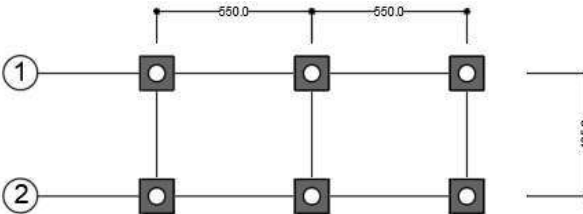
Kontrol:	Qag	>	Qv	
	241,774	>	147,315	(MEMENUHI)

Untuk perhitungan jumlah tiang masing-masing kolom dan daya dukung izin fondasi tiang pancang group dapat dilihat pada Tabel 5.11

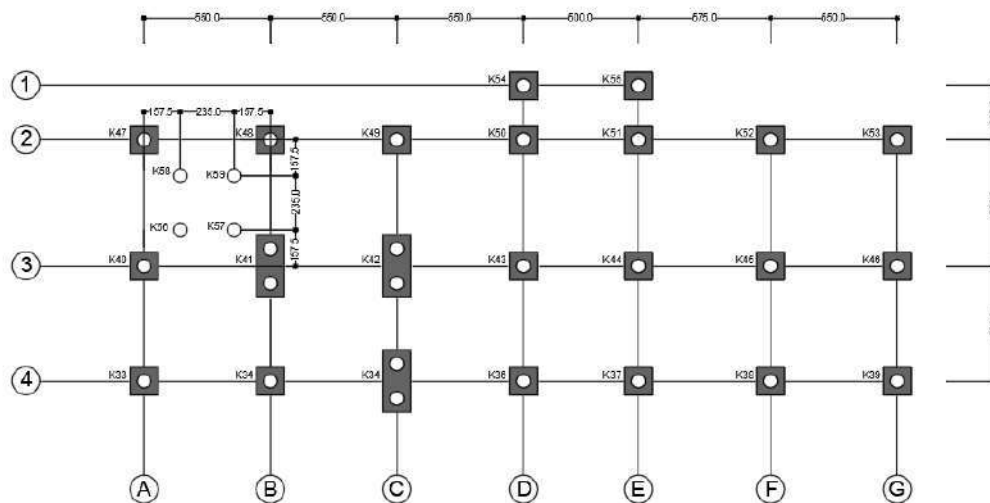
Tabel 5. 13 Jumlah Tiang Daya Dukung Iizin Kelompok Tiang Pada Setiap Kolom

Nomor Kolom	Kedalaman	Diameter Tiang Pancang	Jumlah Baris Tiang, m	Jumlah Tiang Dalam Satu Baris, n'	θ	Efisiensi Kelompok Tiang, Eg	Jumlah Tiang Perkolom	Beban Ultimit Tiang Tunggal, Qu	Daya Dukung Kelompok Tiang, Qg	Daya Dukung Iizin Kelompok Tiang (Qag)	Beban Yang Bekerja, Qv	KONTROL	Karena Qa < Qv (Tidak Aman) Maka Ditambahkan Jumlah Tiang	Jumlah Baris Tiang, m	Jumlah Tiang Dalam Satu Baris, n'	Efisiensi Kelompok Tiang, Eg	Daya Dukung Iizin Kelompok Tiang (Qa)	KONTROL
(m)	(m)	(m)			o			ton	ton		ton	Qa>Qv					ton	Qg>Qv
K1	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	83.51	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K2	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	95.44	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K3	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	67.33	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K4	17.00	0.60	1	2	21.80	0.88	2	343.429	604.435	241.774	141.19	MEMENUHI	2	1	2	0.88	241.774	MEMENUHI
K5	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	97.53	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K6	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	115.27	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K7	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	88.24	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K8	17.00	0.60	1	2	21.80	0.88	2	343.429	604.435	241.774	143.62	MEMENUHI	2	1	2	0.88	241.774	MEMENUHI
K9	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	88.32	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K10	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	112.66	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K11	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	89.27	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K12	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	95.87	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K13	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	82.67	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K14	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	96.18	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K15	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	61.95	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K16	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	79.85	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K17	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	77.19	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K18	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	92.87	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K19	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	63.60	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K20	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	105.70	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K21	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	132.44	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K22	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	94.68	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K23	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	66.64	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K24	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	107.97	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K25	17.00	0.60	1	2	21.80	0.88	2	343.429	604.435	241.774	140.80	MEMENUHI	2	1	2	0.88	241.774	MEMENUHI
K26	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	105.44	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K27	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	27.73	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K28	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	49.34	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K29	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	36.14	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K30	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	44.33	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI

Nomor Kolom	Kedalaman	Diameter Tiang Pancang	Jumlah Baris Tiang, m	Jumlah Tiang Dalam Satu Baris, n'	θ	Efisiensi Kelompok Tiang, Eg	Jumlah Tiang Perkolom	Beban Ultimit Tiang Tunggal, Qu	Daya Dukung Kelompok Tiang, Qg	Daya Dukung Izin Kelompok Tiang (Qag)	Beban Yang Bekerja, Qv	KONTROL	Karena Qa < Qv (Tidak Aman) Maka Ditambahkan Jumlah Tiang	Jumlah Baris Tiang, m	Jumlah Tiang Dalam Satu Baris, n'	Efisiensi Kelompok Tiang, Eg	Daya Dukung Izin Kelompok Tiang (Qa)	KONTROL
(m)	(m)	(m)			o			ton	ton		ton	Qa>Qv					ton	Qg>Qv
K31	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	40.49	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K32	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	31.15	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K33	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	71.75	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K34	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	109.34	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K35	17.00	0.60	1	2	21.80	0.88	2	343.429	604.435	241.774	144.85	MEMENUHI	2	1	2	0.88	241.774	MEMENUHI
K36	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	121.89	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K37	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	86.57	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K38	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	78.13	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K39	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	66.61	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K40	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	84.26	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K41	17.00	0.60	1	2	21.80	0.88	2	343.429	604.435	241.774	137.61	MEMENUHI	2	1	2	0.88	241.774	MEMENUHI
K42	17.00	0.60	1	2	21.80	0.88	2	343.429	604.435	241.774	147.31	MEMENUHI	2	1	2	0.88	241.774	MEMENUHI
K43	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	124.13	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K44	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	91.71	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K45	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	75.72	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K46	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	71.78	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K47	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	103.17	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K48	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	108.42	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K49	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	134.70	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K50	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	122.80	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K51	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	106.05	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K52	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	77.73	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K53	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	65.97	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K54	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	48.32	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K55	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	48.32	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI
K56	17.00	0.60	1	2	21.80	0.88	2	343.429	604.435	241.774	166.97	MEMENUHI	2	1	2	0.88	241.774	MEMENUHI
K57	17.00	0.60	1	2	21.80	0.88	2	343.429	604.435	241.774	197.99	MEMENUHI	2	1	2	0.88	241.774	MEMENUHI
K58	17.00	0.60	1	2	21.80	0.88	2	343.429	604.435	241.774	176.00	MEMENUHI	2	1	2	0.88	241.774	MEMENUHI
K59	17.00	0.60	1	1	21.80	1.00	1	343.429	343.429	137.372	120.17	MEMENUHI	1	1	1	1.00	137.372	MEMENUHI



Gambar 5. 12 Denah Letak Titik Kolom dan Jumlah Tiang Pancang Per Kolom



Gambar 5. 13 Denah Letak Titik Kolom dan Jumlah Tiang Pancang Per Kolom

5.10 Perhitungan Dimensi Pelat Penutup Tiang (*Pile Cap*)

- Diameter tiang pancang ,d = 0,45
- Jumlah baris tiang,m = 1
- Jumlah baris tiang, n = 2
- Jarak antara tiang (as ke as), s = 2,5 . d
= 1,5 m
- Lebar *pile cap*, Bg = (m – 1) d + (4.D)/2
= (1 – 1) . 1,5 + (4 . 0,60)/2 = 1,2 m
- Panjang *pile cap*, Ig = (n – 1) d + (4.D)/2
= (2 – 1) . 1,5 + (4.0,60)/2
= 2,7 m
- Jarak pusat ke tepi *pile cap* = $\frac{Bg-(m-1).s}{2}$
= $\frac{1,2-(1-1).1,5}{2}$
= 0,6 m
- Tebal *pile cap* rencana, h = 1 m = 100 cm
- Mutu beton *pile cap*, k = 250 kg/m²
- Tegang izin *pile cap*, t_{izin} = 0,65√k
= 0,65√250
= 10,28 kg/cm²

$$t = \frac{p}{4.h(h+d.3)} = \frac{147315,0}{4.100(100+60.3)} = 1,315 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{array}{rclcl} \text{Kontrol:} & t & < & t_{\text{izin}} & \\ & 1,315 \text{ kg/cm}^2 & < & 10,28 \text{ kg/cm}^2 & \end{array}$$

Jadi, tebal pile cap digunakan adalah 100 cm = 1 m

5.10.1 Perhitungan Penulangan Pelat Penutup Tiang (*Pile Cap*)

Diketahui:

- Mutu Beton, F_c	=	30	MPa
- Mutu Baja, F_y	=	400	MPa
- Beban Aksial Pada Kolom, P	=	147,315	ton
- Diameter Tiang, d	=	600	mm
- Jumlah Tiang, n'	=	2	
- Jarak antar tiang pancang	=	1500	mm
- Jarak tiang pancang ke tepi	=	600	mm
- Diameter Tulangan longitudinal	=	25	mm
- Tebal Selimut Beton, s	=	75	mm
- Dimensi Kolom	=	600	mm
- Panjang <i>Pile Cap</i> , b_l	=	2700	mm
- Lebar <i>Pile Cap</i> , l_l	=	1200	mm
- Tebal <i>Pile Cap</i> , h	=	600	mm

1. Menghitung luas *Pile Cap* (A)

$$\begin{aligned}
 A &= P \times L \\
 &= 2,7 \times 1,2 \\
 &= 3,24 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

2. Menghitung tegangan yang terjadi pada *pile cap*

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{147,315}{3,24} = 45,47 \text{ t/m}^2$$

3. Menghitung tinggi efektif penampang

$$\begin{aligned}
 d' &= h - s - d \\
 &= 600 - 75 - 25 \\
 &= 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4. Daerah pembebanan yang diperhitungkan untuk geser 1 arah

$$\begin{aligned}
 G' &= L - (L/2 + D/2 + d') \\
 &= 2700 - (1350 + 300 + 500) \\
 &= 550 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

5. Menghitung gaya geser yang bekerja pada penampang kritis

$$V_u = \sigma \times L \times G'$$

$$= 45,47 \cdot 2,7 \cdot 0,55$$

$$= 67,523 \text{ ton}$$

6. Kuat geser satu arah

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$= 0,75 \cdot \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 2700 \times 500$$

$$= 924281,81 \text{ N}$$

$$= 92,428 \text{ ton}$$

$$\begin{array}{llll} \text{Syarat: } \phi V_c & > & V_u & \\ 92,428 \text{ ton} & > & 67,523 \text{ ton} & \text{Memenuhi Syarat} \end{array}$$

7. Menghitung momen lentur pada *pile cap*

Nilai momen lentur pada *pile cap* didapatkan dari reaksi tiang fondasi terhadap muka kolom

$$M_u = n_x \times V_u \times \left(\text{tebal} - \frac{c}{2} \right)$$

$$= 1 \times 675229,5 \times \left(600 - \frac{600}{2} \right)$$

$$= 202568850 \text{ N.m}$$

8. Menghitung tulangan lentur pada *pile cap*

a. Menentukan faktor β_1

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f_c - 28}{7} \right)$$

$$= 0,85 - 0,05 \left(\frac{30 - 28}{7} \right)$$

$$= 0,8357$$

b. Koefisien tahanan, R_n

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{202568850}{0,9 \times 2700 \times 500^2}$$

$$= 0,38$$

c. Menentukan rasio tulangan lentur, ρ

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,38}{0,85 \times 30}}\right)$$

$$= 0,0009$$

d. Rasio tulangan perlu di atas tidak boleh kurang dari:

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400}$$

$$= 0,0035$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 \cdot f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 400}$$

$$= 0,0034$$

Digunakan $\rho_{\min} = 0,0035$

Serta tidak boleh lebih besar dari:

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,0320$$

$$= 0,0240$$

Dimana:

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 0,836}{f_y} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$= 0,0320$$

Cek rasio penulangan :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0009 < 0,0240$$

Sehingga rasio yang digunakan (ρ) = 0,0035

e. Menghitung luas tulangan yang diperlukan, $A_{s\text{perlu}}$

$$A_{s\text{perlu}} = p \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 2700 \times 500$$

$$= 4725 \text{ mm}^2$$

f. Menghitung jumlah tulangan lentur yang diperlukan, n

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{Asperlu}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2} \\
 &= \frac{4725}{490,67} \\
 &= 9,626 \text{ buah} \approx \mathbf{10 \text{ jumlah tulangan}} \\
 &\quad \mathbf{minimum yang wajib digunakan}
 \end{aligned}$$

g. Menghitung spasi tulangan lentur s untuk tinjauan pe meter

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b}{n-1} = \frac{2700}{10-1} \\
 &= 300 \text{ mm} \\
 &\approx 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

5.11 Perhitungan Penurunan Fondasi

5.11.1 Perhitungan Fondasi Tiang Tunggal Metode Semi-Empiris

1. Penurunan Segera Tiang Tunggal

Penurunan segera fondasi tiang tunggal menggunakan data perhitungan daya dukung tiang dari Uji Penetrasi Standar (SPT) metode Mayerhoff Bazaara sebagai berikut:

- Dimensi Tiang Pancang, D = 60 cm
- Kedalaman, L = 17 m = 1700 cm
- Daya Dukung Ujung, Qp = 180864,00 kg
- Daya Dukung Selimut, Qs = 162565,08 kg
- Beban yang bekerja, Qv = 147,31 ton = 1473,10 kg
- Koefisien dari skin Friction, ξ = 0,5 (Untuk distribusi gesekan yang berbentuk seragam atau parabolik)
- Luas Penampang Tiang = $\frac{1}{4} \pi D^2$
= $\frac{1}{4} \pi 60^2$ = 2826 cm²
- Kuat tekan beton, f_c' = 52 MPa
- Modulus Elastisitas tiang, Ep = $4700\sqrt{f_c}$

$$\begin{aligned}
&= 4700\sqrt{52} \\
&= 33892,182 \text{ n/mm}^2 \\
&= 338921,82 \text{ kg/cm}^2
\end{aligned}$$

- Beban yang didukung ujung tiang (Q_{wp})

$$\begin{aligned}
Q_{wp} &= \frac{Q_p}{Q_p + Q_s} Q_v \\
&= \frac{180864,00}{180864,00 + 162565,08} \cdot 147310,00 \\
&= 77579,556 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Beban yang didukung selimut tiang (Q_{ws})

$$\begin{aligned}
Q_{ws} &= \frac{Q_s}{Q_s + Q_p} Q_v \\
&= \frac{162565,08}{162565,08 + 180864,00} \cdot 147310,00 \\
&= 69730,444 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Penurunan akibat deformasi aksial tiang (S_1)

$$\begin{aligned}
S_1 &= \frac{Q_{wp} + \xi \cdot Q_{ws} \cdot L}{A_p \cdot E_p} \\
&= \frac{77579,556 + 0,5 \cdot 69730,444 \cdot 1700}{2826 \cdot 338921,82} \\
&= 0,06 \text{ cm}
\end{aligned}$$

- Penurunan dari ujung tiang (S_2)

$$q_p = \frac{Q_{wp}}{A_p} = \frac{77579,556}{2826} = 27,45 \text{ kg/cm}^2$$

$C_p = 0,02 \Rightarrow$ Tiang Pancang (**Tabel 3.13** Nilai koefisien Empiris, C_p)

$$S_2 = \frac{Q_{wp} \cdot C_p}{D \cdot q_p} = \frac{77579,556 \cdot 0,02}{60 \cdot 27,45} = 0,94 \text{ cm}$$

- Penurunan akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang (S_3)

$$C_s = (0,35 + 0,12 \sqrt{L/D}) C_p$$

$$= (0,35 + 0,12 \sqrt{1700/60}) 0,02 = 0,02$$

$$S_3 = \frac{Q_{ws} + C_s}{L \cdot q_p} = \frac{69730,444 \cdot 0,02}{1700 \cdot 27,45} = 0,03 \text{ cm}$$

- Penurunan izin tiang = 150 mm = 15 cm (untuk bangunan dengan dinding bata yang diperkuat dengan beton bertulang) (**Tabel 3.14**)

- Penurunan segera total (S)

$$S_i = S_1 + S_2 + S_3$$

$$= 0,6 + 0,94 + 0,03$$

$$= 1,03 \text{ cm} = 10,3 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \dots \text{AMAN}$$

Dari perhitungan penurunan segera fondasi tiang tunggal diperoleh penurunan sebesar 10,3 mm. Penurunan ini masih dalam batas penurunan yang diizinkan yaitu < 150 mm. Untuk perhitungan total penurunan segera tiang tunggal untuk tiap kolom dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 14 Perhitungan Penurunan Segera Tiang Tunggal Untuk Tiap Kolom

Nomor Kolom	Kedalaman	Diameter Tiang Pancang	Luas Penampang Tiang, Ap	Daya Dukung Ujung, Qp	Daya Dukung Selimut, Qs	Beban Yang Bekerja, Qv	Beban Yang Di Dukung Ujung Tiang, Qwp	Beban Yang Di Dukung Selimut Tiang, Qws	Modulus Elastisitas Tiang, EP	Penurunan Akibat Deformasi Aksial Tiang, S1	Penurunan Dari Ujung Tiang, S2	Penurunan Akibat Beban Yang di Alihkan Sepanjang Tiang, S3	Penurunan Total, S	Syarat Penurunan S < 15 cm
	(cm)	(cm)	(cm ²)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	kg/cm ²	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
K1	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	835146.20	439822.627	395323.573	338921.82	0.35	0.94	0.03	1.32	AMAN
K2	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	954366.60	502609.035	451757.565	338921.82	0.40	0.94	0.03	1.37	AMAN
K3	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	673298.90	354587.126	318711.774	338921.82	0.28	0.94	0.03	1.25	AMAN
K4	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	1411858.00	743542.981	668315.019	338921.82	0.59	0.94	0.03	1.57	AMAN
K5	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	975251.10	513607.678	461643.422	338921.82	0.41	0.94	0.03	1.38	AMAN
K6	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	1152686.40	607052.467	545633.933	338921.82	0.48	0.94	0.03	1.46	AMAN
K7	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	882418.30	464718.076	417700.224	338921.82	0.37	0.94	0.03	1.34	AMAN
K8	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	1436212.50	756369.070	679843.430	338921.82	0.60	0.94	0.03	1.58	AMAN
K9	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	883249.20	465155.662	418093.538	338921.82	0.37	0.94	0.03	1.34	AMAN
K10	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	1126551.20	593288.586	533262.614	338921.82	0.47	0.94	0.03	1.45	AMAN
K11	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	892747.80	470158.019	422589.781	338921.82	0.38	0.94	0.03	1.35	AMAN
K12	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	958702.60	504892.552	453810.048	338921.82	0.40	0.94	0.03	1.37	AMAN
K13	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	826738.90	435394.994	391343.906	338921.82	0.35	0.94	0.03	1.32	AMAN
K14	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	961830.40	506539.781	455290.619	338921.82	0.40	0.94	0.03	1.38	AMAN
K15	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	619526.60	326268.403	293258.197	338921.82	0.26	0.94	0.03	1.23	AMAN
K16	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	798534.50	420541.387	377993.113	338921.82	0.34	0.94	0.03	1.31	AMAN
K17	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	771860.80	406493.911	365366.889	338921.82	0.32	0.94	0.03	1.30	AMAN
K18	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	928705.00	489094.572	439610.428	338921.82	0.39	0.94	0.03	1.36	AMAN
K19	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	636041.80	334965.992	301075.808	338921.82	0.27	0.94	0.03	1.24	AMAN
K20	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	1057012.70	556666.728	500345.972	338921.82	0.44	0.94	0.03	1.42	AMAN
K21	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	1324397.60	697482.706	626914.894	338921.82	0.56	0.94	0.03	1.53	AMAN
K22	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	946813.70	498631.364	448182.336	338921.82	0.40	0.94	0.03	1.37	AMAN
K23	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	666420.20	350964.518	315455.682	338921.82	0.28	0.94	0.03	1.25	AMAN
K24	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	1079688.30	568608.640	511079.660	338921.82	0.45	0.94	0.03	1.43	AMAN
K25	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	1408002.80	741512.672	666490.128	338921.82	0.59	0.94	0.03	1.56	AMAN
K26	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	1054394.60	555287.928	499106.672	338921.82	0.44	0.94	0.03	1.42	AMAN
K27	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	277319.20	146047.793	131271.407	338921.82	0.12	0.94	0.03	1.09	AMAN
Nomor Kolom	Kedalaman	Diameter Tiang Pancang	Luas Penampang Tiang, Ap	Daya Dukung Ujung, Qp	Daya Dukung Selimut, Qs	Beban Yang Bekerja, Qv	Beban Yang Di Dukung Ujung Tiang, Qwp	Beban Yang Di Dukung Selimut Tiang, Qws	Modulus Elastisitas Tiang, EP	Penurunan Akibat Deformasi Aksial Tiang, S1	Penurunan Dari Ujung Tiang, S2	Penurunan Akibat Beban Yang di Alihkan Sepanjang Tiang, S3	Penurunan Total, S	Syarat Penurunan S < 15 cm
	(cm)	(cm)	(cm ²)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	kg/cm ²	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
K28	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	493364.60	259826.261	233538.339	338921.82	0.21	0.94	0.03	1.18	AMAN
K29	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	361428.60	190343.291	171085.309	338921.82	0.15	0.94	0.03	1.12	AMAN
K30	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	443260.90	233439.574	209821.326	338921.82	0.19	0.94	0.03	1.16	AMAN
K31	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	404857.00	213214.488	191642.512	338921.82	0.17	0.94	0.03	1.14	AMAN
K32	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	311503.00	164050.400	147452.600	338921.82	0.13	0.94	0.03	1.10	AMAN
K33	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	71750.00	37786.526	33963.474	338921.82	0.03	0.94	0.03	1.00	AMAN
K34	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	109340.00	57582.979	51757.021	338921.82	0.05	0.94	0.03	1.02	AMAN
K35	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	144850.00	76284.018	68565.982	338921.82	0.06	0.94	0.03	1.03	AMAN
K36	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	121890.00	64192.329	57697.671	338921.82	0.05	0.94	0.03	1.02	AMAN
K37	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	86570.00	45591.353	40978.647	338921.82	0.04	0.94	0.03	1.01	AMAN
K38	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	78130.00	41146.498	36983.502	338921.82	0.03	0.94	0.03	1.00	AMAN
K39	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	66610.00	35079.589	31530.411	338921.82	0.03	0.94	0.03	1.00	AMAN
K40	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	84260.00	44374.811	39885.189	338921.82	0.04	0.94	0.03	1.01	AMAN
K41	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	137610.00	72471.133	65138.867	338921.82	0.06	0.94	0.03	1.03	AMAN
K42	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	147310.00	77579.556	69730.444	338921.82	0.06	0.94	0.03	1.03	AMAN

Nomor Kolom	Kedalaman	Diameter Tiang Pancang	Luas Penampang Tiang, Ap	Daya Dukung Ujung, Qp	Daya Dukung Selimut, Qs	Beban Yang Bekerja, Qv	Beban Yang Di Dukung Ujung Tiang, Qwp	Beban Yang Di Dukung Selimut Tiang, Qws	Modulus Elastisitas Tiang, EP	Penurunan Akibat Deformasi Aksial Tiang, S1	Penurunan Dari Ujung Tiang, S2	Penurunan Akibat Beban Yang di Alihkan Sepanjang Tiang, S3	Penurunan Total, S	Syarat Penurunan S < 15 cm
	(cm)	(cm)	(cm ²)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	kg/cm ²	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
K43	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	124130.00	65372.006	58757.994	338921.82	0.05	0.94	0.03	1.02	AMAN
K44	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	91710.00	48298.290	43411.710	338921.82	0.04	0.94	0.03	1.01	AMAN
K45	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	75720.00	39877.293	35842.707	338921.82	0.03	0.94	0.03	1.00	AMAN
K46	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	71780.00	37802.325	33977.675	338921.82	0.03	0.94	0.03	1.00	AMAN
K47	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	103170.00	54333.601	48836.399	338921.82	0.04	0.94	0.03	1.01	AMAN
K48	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	108420.00	57098.469	51321.531	338921.82	0.05	0.94	0.03	1.02	AMAN
K49	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	134700.00	70938.607	63761.393	338921.82	0.06	0.94	0.03	1.03	AMAN
K50	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	122800.00	64671.573	58128.427	338921.82	0.05	0.94	0.03	1.02	AMAN
K51	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	106050.00	55850.328	50199.672	338921.82	0.04	0.94	0.03	1.02	AMAN
K52	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	77730.00	40935.842	36794.158	338921.82	0.03	0.94	0.03	1.00	AMAN
K53	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	65970.00	34742.538	31227.462	338921.82	0.03	0.94	0.03	1.00	AMAN
K54	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	48320.00	25447.316	22872.684	338921.82	0.02	0.94	0.03	0.99	AMAN
K55	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	48320.00	25447.316	22872.684	338921.82	0.02	0.94	0.03	0.99	AMAN
K56	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	166970.00	87933.327	79036.673	338921.82	0.07	0.94	0.03	1.04	AMAN
K57	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	197990.00	104269.746	93720.254	338921.82	0.08	0.94	0.03	1.05	AMAN
K58	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	176000.00	92688.900	83311.100	338921.82	0.07	0.94	0.03	1.05	AMAN
K59	1700	60	2826.00	180864.00	162565.08	120170.00	63286.506	56883.494	338921.82	0.05	0.94	0.03	1.02	AMAN

5.11.2 Perhitungan Penurunan pada Fondaasi Tiang Kelompok Metode Vesic (1969)

1. Penurunan Segera Tiang Kelompok

Contoh perhitungan tiang kelompok dengan jumlah tiang 2 buah pada kolom K57.

- Diameter tiang pancang, D = 60 cm = 0,60 m
- Penurunan tiang tunggal, s = 10,3 mm = 0,0103 m
(penurunan pada kolom K57)
- Jumlah baris tiang, m = 1
- Jarak antara tiang (as ke as), d = 2,5. D
= 1,5 m
- Lebar kelompok tiang, B_g = 1,2 m

Maka, penurunan tiang kelompok (S_g):

$$\begin{aligned} S_g &= s \sqrt{\frac{B_g}{D}} = 0,0103 \sqrt{\frac{1,2}{0,6}} = 0,01 \text{ m} \\ &= 10 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \dots \text{AMAN} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan penurunan segera pada tiang kelompok menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi sebesar 10 mm. Besarnya penurunan ini masi berada dalam batas yang diizinkan, yaitu kurang dari 150 mm. Selanjutnya, perhitungan penurunan segera untuk variasi dimensi tiang dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5. 15 Perhitungan Penurunan Segera Tiang Kelompok Untuk Tiap Kolom

Nomor Kolom	Diameter Tiang Pancang (m)	Penurunan Tiang Tunggal Total, S (m)	Jumlah Baris Tiang, m'	Jarak Antar Pusat Tiang, d (m)	Lebar Kelompok Tiang, Bg (m)	Penurunan Tiang Kelompok, Sg (m)	Syarat Penurunan, $S < 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$
K1	0.60	0.0132	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K2	0.60	0.0137	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K3	0.60	0.0125	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K4	0.60	0.0157	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K5	0.60	0.0138	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K6	0.60	0.0146	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K7	0.60	0.0134	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K8	0.60	0.0158	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K9	0.60	0.0134	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K10	0.60	0.0145	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K11	0.60	0.0135	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K12	0.60	0.0137	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K13	0.60	0.0132	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K14	0.60	0.0138	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K15	0.60	0.0123	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K16	0.60	0.0131	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K17	0.60	0.0130	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K18	0.60	0.0136	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K19	0.60	0.0124	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K20	0.60	0.0142	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K21	0.60	0.0153	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K22	0.60	0.0137	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K23	0.60	0.0125	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K24	0.60	0.0143	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K25	0.60	0.0156	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K26	0.60	0.0142	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K27	0.60	0.0109	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K28	0.60	0.0118	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K29	0.60	0.0112	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K30	0.60	0.0116	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN

Nomor Kolom	Diameter Tiang Pancang (m)	Penurunan Tiang Tunggal Total, S (m)	Jumlah Baris Tiang, m'	Jarak Antar Pusat Tiang, d (m)	Lebar Kelompok Tiang, Bg (m)	Penurunan Tiang Kelompok, Sg (m)	Syarat Penurunan, $S < 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$
K31	0.60	0.0114	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K32	0.60	0.0110	1.00	1.50	1.20	0.02	AMAN
K33	0.60	0.0100	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K34	0.60	0.0102	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K35	0.60	0.0103	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K36	0.60	0.0102	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K37	0.60	0.0101	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K38	0.60	0.0100	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K39	0.60	0.0100	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K40	0.60	0.0101	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K41	0.60	0.0103	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K42	0.60	0.0103	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K43	0.60	0.0102	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K44	0.60	0.0101	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K45	0.60	0.0100	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K46	0.60	0.0100	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K47	0.60	0.0101	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K48	0.60	0.0102	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K49	0.60	0.0103	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K50	0.60	0.0102	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K51	0.60	0.0102	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K52	0.60	0.0100	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K53	0.60	0.0100	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K54	0.60	0.0099	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K55	0.60	0.0099	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K56	0.60	0.0104	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K57	0.60	0.0105	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K58	0.60	0.0105	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN
K59	0.60	0.0102	1.00	1.50	1.20	0.01	AMAN

5.12 Metode Elemen Hingga PLAXIS 3D Versi 20.0

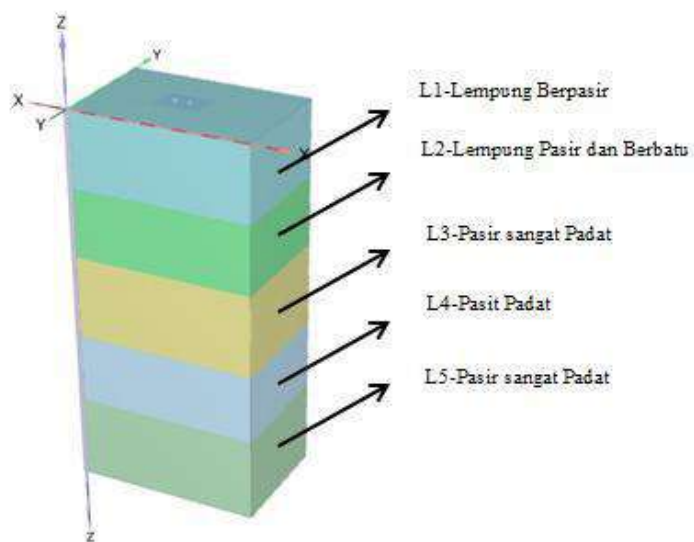
Analisis menggunakan PLAXIS 3D versi 20.0 bertujuan untuk mengetahui posisi tiang yang menghasilkan desain fondasi paling optimal, yang dinilai berdasarkan besarnya deformasi, penurunan, dan faktor keamanan (F_s).

5.12.1 Desain Fondasi Tiang Pancang

Desain fondasi tiang pancang akan dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi menggunakan elemen dengan sepuluh nodal. Pembebanan diasumsikan sebagai beban titil (*Point Load*) yang terletak pada satu garis sejajar sepanjang sumbu z. Beban ini dianggap sebagai beban dari kolom yang diteruskan ke fondasi, dan nilainya diperoleh dari hasil analisis menggunakan *Software* SAP2000.

1. Permodelan Tanah

Semua jenis tanah dimodelkan menggunakan model Hardening soil (MC). Analisis model Hardening soil dilakukan berdasarkan perilaku drainase, yaitu terdrainase untuk tanah berpasir dan berkerikil, serta tak terdrainase untuk tanah lempung. Perilaku terdrainase yang menghasilkan tekanan air pori berlebih tidak dimodelkan. Permodelan tanah tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.12



Gambar 5. 14 Permodelan Tanah Plaxis 3D

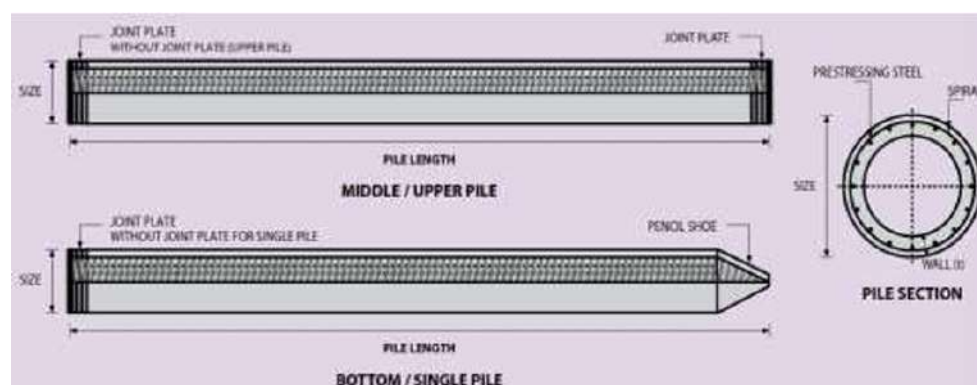
Data parameter tanah, fondasi tiang pacing yang digunakan dalam permodelan PLAXIS 3D Versi 20.0 mempunyai parameter dapat dilihat pada Tabel 5.14

Tabel 5. 16 Data Tanah Dalam Permodelan PLAXIS 3D V.20

Tebal Lapisan m	Kedalaman Lapisan m	Jenis Tanah	Jenis Perlakuan Material	Berat Isi Jenuh, γ_{sat} KN/m ³	Berat Isi Tak Jenuh, γ_{unsat} KN/m ³	Angka Poisson, ν'	Sudut Geser Dalam, ϕ o	Kohesi, c KN/m ²	E (Kpa)
5	5	Lempung Berpasir	Drained	16.40	14.68	0.49	22.63	1.7	24000
4.55	9.55	Lempung Pasir dan Berbatu	Drained	16.00	14.85	0.49	21.31	1.3	45000
5.45	15	Pasir sangat padat	Drained	16.28	14.59	0.49	25.2	1.3	66000
4.55	19.55	pasir padat	Drained	16.28	14.69	0.49	23.93	1.61	60000
5.45	25	pasir sangat padat	Drainase	15.90	14.16	0.49	22.63	1.79	120000

2. Permodelan Tiang Pancang

Tiang pancang yang digunakan tipe *Prestressed Concrete Pretension Spun Piles*.



Gambar 5. 15 Tiang Pancang *Prestressed Concrete Pretension Spun Pile*.

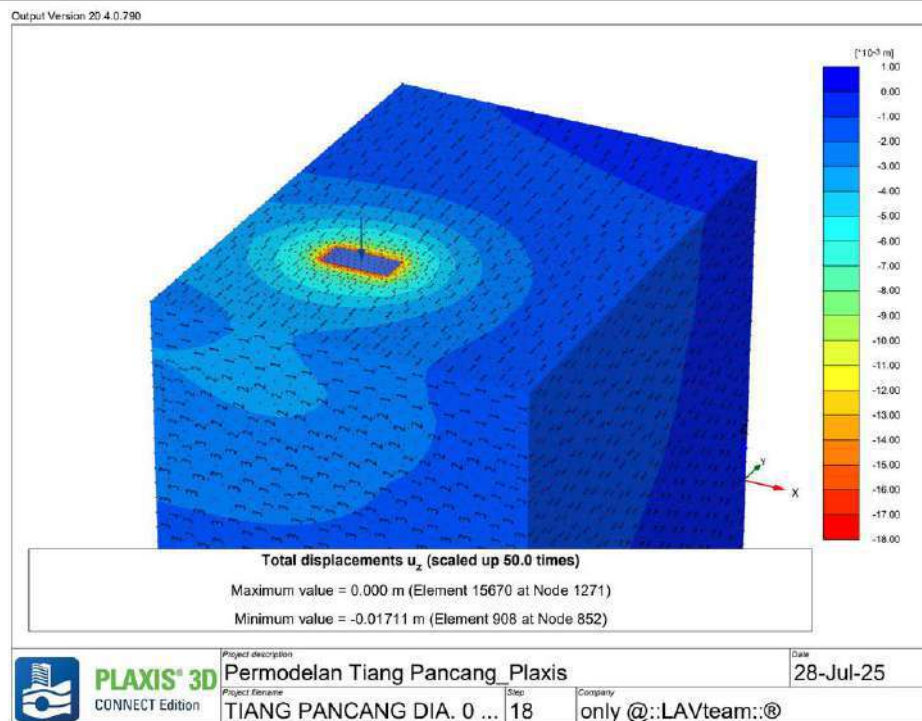
Sumber: <https://www.wika-beton.co.id/uploads/2-PC-PILES.pdf>, 2020

- Diameter, D = 600 mm = 0,60 m
- Panjang, P = 17 m
- Berat, w = 393 kg/m
- Tebal Dinding, t = 100 mm = 0,1 m
- Luas Tiang, A_p

$$= \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right) - \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (D-t)^2 \right)$$

$$= \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,6^2 \right) - \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0,6 - 0,1)^2 \right)$$

$$= 0,09 \text{ m}^2$$



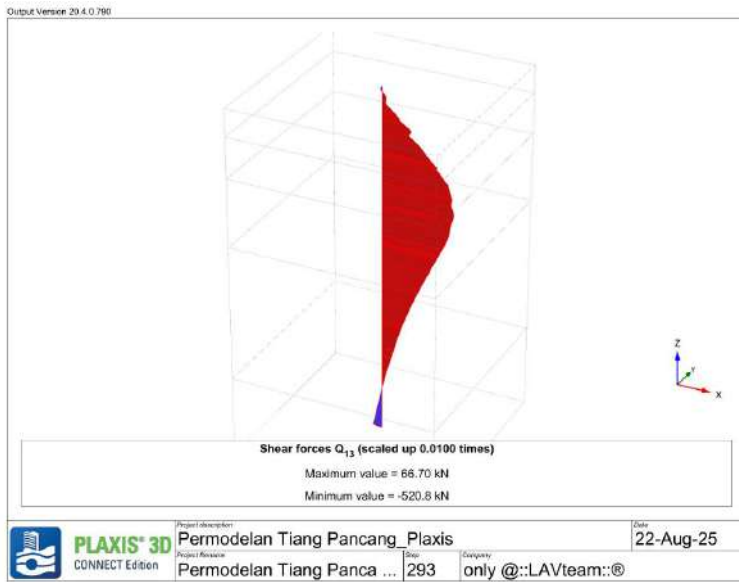
Gambar 5. 16 Perpindahan Fondasi Arah Z (*Displacement u_z*) (Plaxis 3D, 2022)

Titik yang diamati pada *Displacement* arah z adalah titik dengan perpindahan terbesar, yaitu sebesar 0,017 m (1,7 cm), yang ditunjukkan dengan warna dominan merah. Deformasi maksimum akibat perpindahan beban arah z ini terutama terjadi pada kedalaman 3 meter. Dari hasil analisis PLAXIS 3D, nilai *displacement* arah z sebesar 0,017 m (17 mm) dianggap sebagai nilai penurunan maksimum dan dominan terjadi pada kedalaman tersebut.

b) Hasil analisis interaksi tiang dan tanah di akibatkan beban gempa nilai input beban gempa menggunakan *time histori recording staion* TCU045

1. Gaya Geser (Q13)

Gaya geser atau gaya lateral adalah gaya tegak lurus dari fondasi yang biasa dilambangkan dengan huruf V.

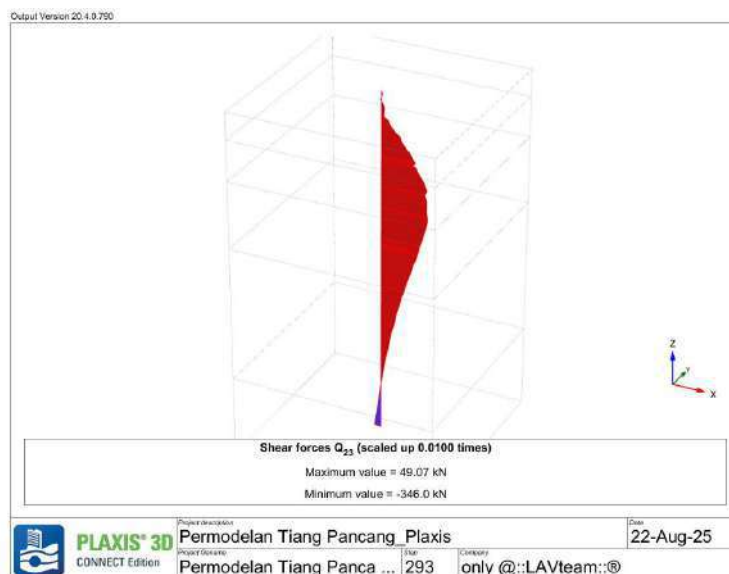


Gambar 5. 17 Gaya Geser Fondasi (Q13)

Nilai gaya geser (Q_{13}) merupakan nilai yang ditinjau pada arah x merupakan nilai yang terbesar yang terjadi dengan nilai maksimum 66,70 kN.

2. Gaya Geser (Q_{23})

Gaya geser atau gaya lateral adalah gaya tegak lurus dari fondasi yang biasa di lambangkan dengan huruf V.

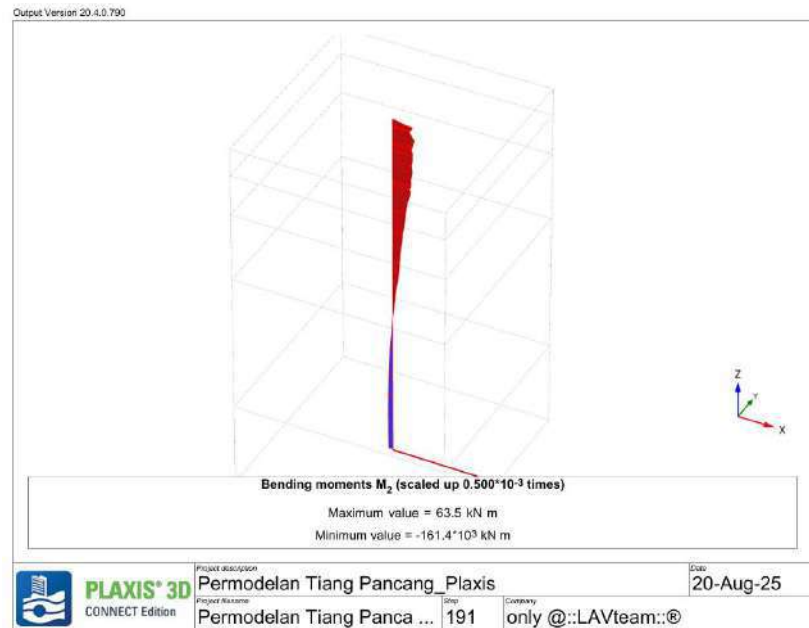


Gambar 5. 18 Gaya Geser Fondasi (Q_{23})

Nilai Gaya geser (Q23) merupakan nilai yang ditinjau pada arah y merupakan nilai terbesar yang terjadi dengan nilai maksimum 49,07 kN.

3. Bending Momen (M2)

Bending Momen adalah tekukan yang terjadi karena suatu fondasi menerima gaya.

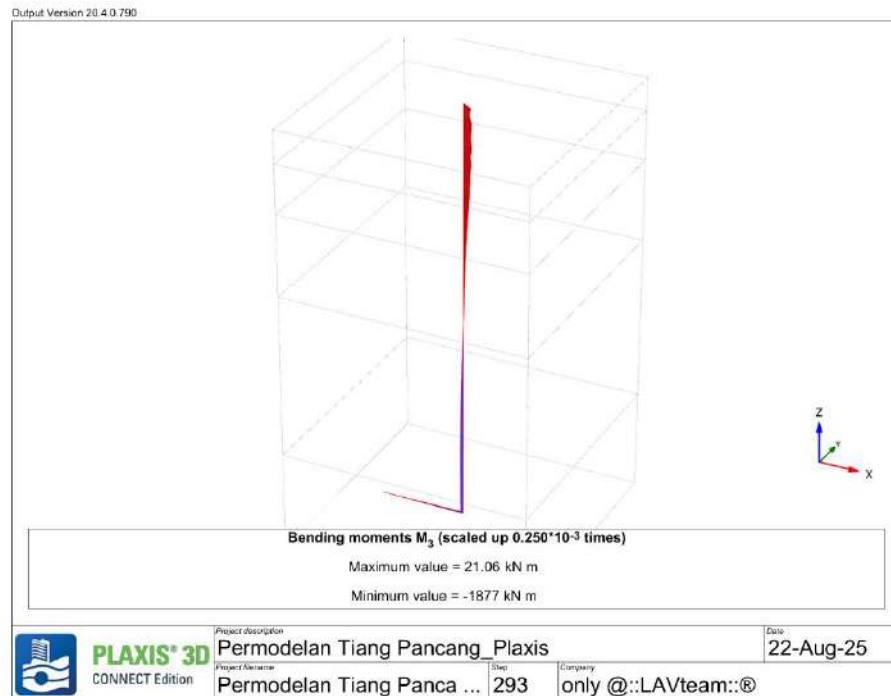


Gambar 5. 19 Bending Momen Fondasi (M2)

Nilai yang diamati pada diagram momen lentur (M2) adalah momen pada arah x, karena menunjukkan nilai terbesar yang terjadi pada fondasi, yaitu sebesar 6,35 ton.m. Nilai ini aman karena berada di bawah batas momen lentur retak (*Crack*) sebesar 19 ton.m dan momen lentur patah (*Break*) sebesar 28,5 ton.m sesuai dengan Tabel 5.8.

4. Bending Momen (M3)

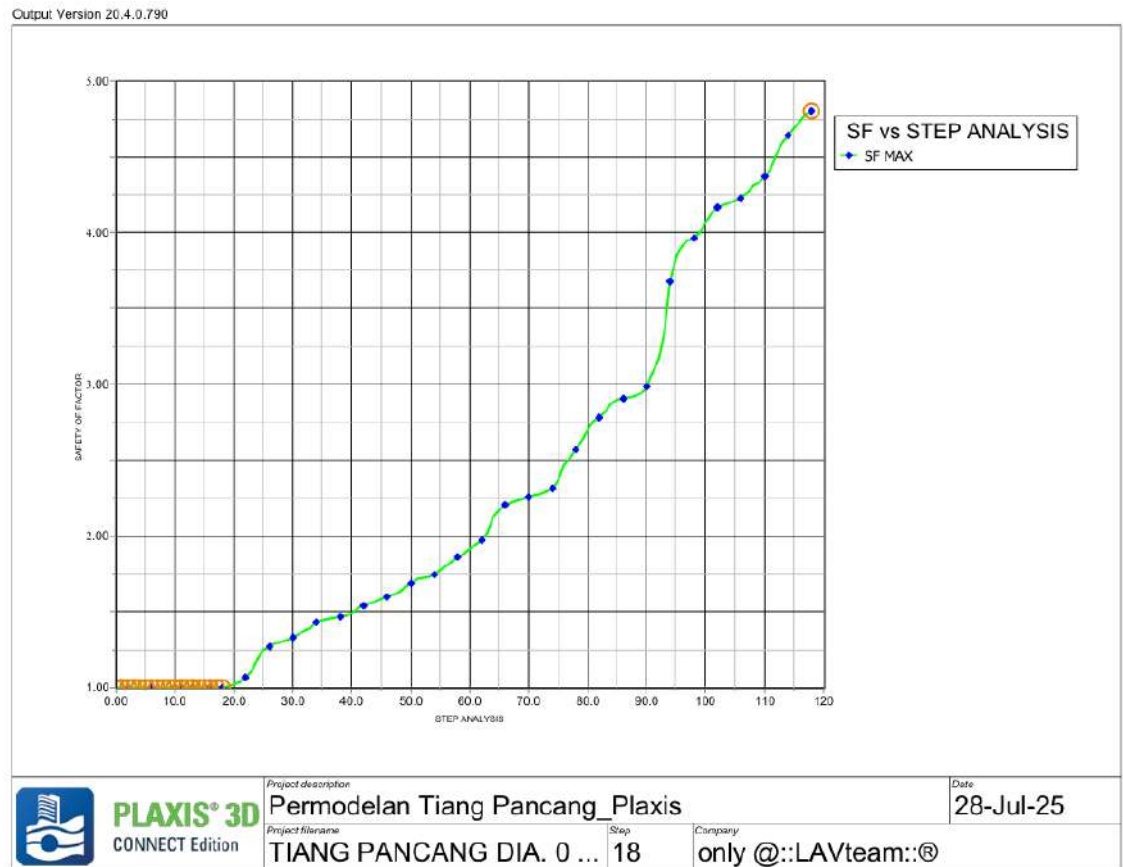
Bending momen adalah tekukan yang terjadi karena suatu fondasi menerima gaya.



Gambar 5. 20 Bending Momen Fondasi (M_3)

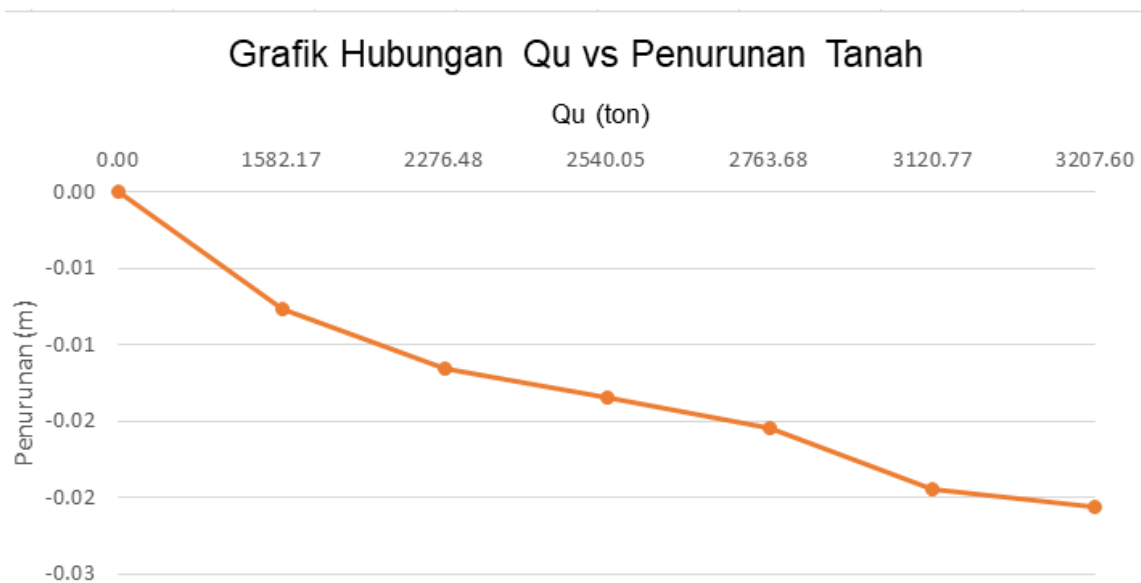
Nilai yang diamati pada diagram momen lentur (M_2) adalah momen pada arah y, karena menunjukkan nilai terbesar yang terjadi pada fondasi, yaitu sebesar 2,10 ton.m. Nilai ini aman karena berada di bawah batas momen lentur retak (*Crack*) sebesar 19 ton.m dan momen lentur patah (*Break*) sebesar 28,5 ton.m sesuai dengan Tabel 5.8.

Selanjutnya nilai faktor keamanan (FS) didapatkan sebesar 4,75 dengan jumlah 18 kali tahapan (*Step*) analisis. Hasil analisis faktor aman dapat dilihat pada grafik seperti pada Gambar 5.19.



Gambar 5. 21 Grafik Nilai Faktor Keamanan (FS)

Untuk mencari nilai daya dukung ultimit (Q_u) dari hasil analisis PLAXIS 3D dapat dilakukan dengan menggunakan nilai hubungan antara beban dan penurunan. Dapat dilihat pada grafik seperti pada Gambar 5.20.



Gambar 5. 22 Grafik Hubungan antara Beban yang Bekerja pada Fondasi Tiang Pancang Terhadap Penurunan

$$Q_{izin} = \frac{Q_u}{\sum M_{sf}}$$

$$\sum M_{sf} = 4,75 \text{ (hasil analisis faktor keamanan PLAXIS 3D)}$$

Maka,

$$Q_{izin} = \frac{3207}{4,75}$$

$$= 675,28 \text{ ton}$$

$$Q_{ijin} > Q_v$$

$$675,28 > 197,98 \text{ AMAN}$$

5.12.3 Perbandingan Hasil Analisis PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga) dan Perhitungan data SPT

Dimensi tiang pancang digunakan dalam perhitungan berdasarkan data SPT maupun analisis PLAXIS 3D adalah berdiamater 60 cm dengan kedalaman 17 meter.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan data SPT, diperoleh nilai daya dukung ultimit (Q_u) dengan metode Mayerhoff-Bazara sebesar 604,435

ton. Nilai penurunan yang digunakan adalah penurunan maksimum yang terjadi pada kolom K57, yaitu sebesar 10 mm, berdasarkan perhitungan penurunan segera pada kelompok tiang. Faktor keamanan (FS) yang digunakan dalam perhitungan ini adalah sebesar 2,5.

Perbandingan dari hasil PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga) dan metode perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.15

Tabel 5. 17 Perbandingan Hasil Analisis PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga) dan Metode Analisis Matematis

Metode	Daya Dukung Ultimit, Qult (ton)	Penurunan Total (mm)	Faktor Aman (FS)	Daya Dukung Izin, Qag (ton)
PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga)	3207,60	17	4,75	675,28
Perhitungan data SPT	604,435	10	2,5	241,774

5.12 Pembahasan

Fondasi pada gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah direncanakan menggunakan tiang pancang dengan penampang berbentuk lingkaran, yang didesain berdasarkan hasil penyelidikan tanah melalui N-SPT. Nilai N-SPT yang diperoleh dari pengujian tersebut kemudian digunakan untuk menentukan berat volume jenuh tanah (γ_{sat}) melalui data hasil laboratorium tanah dengan cara dikorelasi.

Lapisan tanah pada titik bor BH.01 didominasi oleh lempung pasir berbatu dan lempung berpasir berwarna coklat hingga abu-abu pada bagian atas. Nilai rata-rata N-SPT pada lapisan ini berkisar antara 15 hingga 26, yang menunjukkan karakteristik tanah dengan kepadatan sedang. Pada lapisan tengah, tanah didominasi oleh material pasir dan lempung berwarna coklat keabu-abuan, dengan nilai N-SPT antar 22 hingga 36, tergolong dalam kategori tanah berkepadatan padat. Sementara itu, lapisan tanah bagian bawah umumnya terdiri atas pasir sangat padat dengan nilai N-SPT 46 hingga 60, yang tergolong kondisi tanah sangat padat. Pengujian bor SPT dilakukan hingga kedalaman 26 meter. Pada kedalaman 5,2 meter, teridentifikasi posisi M.A.T. (muka air tanah) berdasarkan hasil pengujian SPT di titik BH.01.

Perencanaan fondasi pada gedung perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah dirancang menggunakan fondasi tiang pancang. Fondasi yang digunakan memiliki diameter 0,6 meter dengan kedalaman pemancangan sepanjang 17 meter. Pemilihan kedalaman ini didasarkan pada pertimbangan bahwa kedalaman lebih dari 4D (yaitu >19 meter) menghasilkan nilai daya dukung yang lebih kecil, sehingga dianggap kurang efektif secara teknis. Perhitungan daya dukung fondasi dilakukan berdasarkan data hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT).

Pembebanan pada struktur dihitung berdasarkan data perencanaan bangunan gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah yang diperoleh dari proyek. Analisis reaksi maksimum dilakukan menggunakan *Software* SAP2000 v.20. *Output* dari program ini berupa beban aksial, gaya geser, dan momen lentur.

Beban yang bekerja pada fondasi tiang pancang diasumsikan sebagai beban titik atau beban aksial (Q_v)

Pada perhitungan daya dukung lateral mendapatkan nilai sebesar 150,657 kN serta nilai maksimum yang didapatkan dari PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga) sebesar 66,70 kN untuk arah x dan 49,07 kN untuk arah y. Maka dari itu, gaya geser atau lateral yang terjadi dikatakan aman. Nilai F_s dari perhitungan gaya lateral sebesar 2,5.

Tabel 5. 18 Hasil Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Pancang

PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga)	Nilai Maksimum Gaya Geser	Daya Dukung Lateral atau Geser
Arah X	60,70 kN	150,657 kN
Arah Y	49,07 kN	

Analisis struktur menggunakan program SAP2000 diawali penginputan data pembebanan yang meliputi beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), dan beban gempa (*earthquake load*) dengan total 7 kombinasi pembebanan. Klasifikasi situs yang digunakan adalah kelas SE (tanah sedang), yang ditentukan berdasarkan hasil uji SPT pada titik BH.01 hingga kedalaman 26 meter. Dari seluruh kombinasi pembebanan yang dianalisis, nilai reaksi terkecil digunakan sebagai dasar dalam perencanaan fondasi.

Contoh hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT (*standard penetration test*) dan analisis PLAXIS 3D dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5. 19 Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Untuk Kedalaman 17 m dengan diameter 0,6 m.

Jenis Data	Qult <i>single pile</i> (ton)	Qult <i>pile group</i> (ton)
SPT		
Mayerhoff dan Bazaara	343,429	604,435
Luciano Decourt	361,100	635,536
Analisis PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga)	-	3207,60

Berdasarkan Tabel 5.16 dapat diketahui bahwa nilai dimensi dan kedalaman fondasi yang sama dari hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT (*standard penetration test*), dan Analisis PLAXIS 3D (Metode Elemen

Hingga), maka dari itu dengan alasan faktor keamanan dipilih nilai terkecil Mayerhoff dan Bazaara yaitu hasil perhitungan data SPT sebagai hasil yang akan digunakan dalam perencanaan.

Penentuan jumlah tiang fondasi pada perbandingan antara beban aksial yang bekerja pada setiap kolom (Q_v) dengan nilai daya dukung izin fondasi (Q_a). Berdasarkan hasil perhitungan, fondasi yang digunakan adalah fondasi kelompok dengan diameter tiang 0,6 meter dan kedalaman 17 meter. Jumlah tiang ditentukan sesuai dengan besar beban yang diterima oleh masing-masing kolom.

Penurunan dianalisis pada kolom K57 karena kolom tersebut menerima beban maksimum. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penurunan segera pada fondasi tiang tunggal sebesar $0,105 \text{ m} = 10,5 \text{ mm}$. Penurunan konsolidasi tidak dihitung karena kondisi tanah pada lokasi tersebut berupa pasit (non-plastis), yang umumnya tidak mengalami penurunan konsolidasi yang signifikan. Jika dibandingkan dengan batas penurunan yang diizinkan, yaitu 150 mm, maka baik penurunan pada tiang tunggal maupun tiang kelompok masi berada dalam batas yang diperbolehkan.

Perbandingan antara hasil analisis menggunakan PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga) dan metode perhitungan berdasarkan data SPT menunjukkan perbedaan yang signifikan. Nilai daya dukung ultimit (Q_{ult}) yang diperoleh dari analisis PLAXIS 3D sebesar 3207,60 ton, sedangkan hasil perhitungan dengan metode Mayerhoff dan Bazaara hanya sebesar 604,435 ton. Untuk nilai penurunan, analisis PLAXIS 3D menghasilkan penurunan maksimum sebesar 17 mm, sementara metode Mayerhoff dan Bazaara menunjukkan penurunan maksimum sebesar 10,5 mm. adapapun faktor keamanan (FS) dari hasil analisis PLAXIS 3D adalah 4,75 jauh lebih tinggi dibandingkan hasil dari metode perhitungan berbasis data SPT, yang hanya sebesar 2,5.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Peneliti mengambil kesimpulan berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, yaitu sebagai berikut:

1. a. Dimensi fondasi tiang pancang yang direncanakan telah memenuhi syarat keamanan, berdasarkan hasil perhitungan daya dukung tanah dan penurunan menggunakan data *Standart Penetration Test* (SPT). Tiang pancang memiliki diameter sebesar 0,6 m dan kedalaman 17 m. Nilai daya dukung yang digunakan dalam perhitungan mengacu pada metode Mayerhoff dan Bazaara, yaitu sebesar 604,435 ton.
b. Penurunan yang terjadi pada fondasi tiang pancang telah memenuhi syarat keamanan, karena nilainya kurang dari 150 mm. Perhitungan penurunan difokuskan pada kolom K57, mengingat beban maksimum bekerja pada kolom tersebut. Hasil penurunan segera untuk fondasi tiang tunggal sebesar 10,5 mm, sedangkan untuk fondasi tiang kelompok sebesar 10 mm. Penurunan konsolidasi tidak terjadi karena hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa tanah dilokasi proyek pembangunan Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah Bersifat non-plastis.
2. Berdasarkan hasil SAP2000 didapatkan beban aksial (Q_v) sebesar 1473,150 kN sehingga digunakan sebagai acuan beban aksial (Q_v) pada perencanaan fondasi tiang pancang yaitu 1473,150 kN (147,315ton).
3. a. Dari analisis interaksi fondasi tiang pancang dan tanah dengan PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga) didapatkan nilai maksimum perpindahan beban (*displacement*) yaitu sebesar 0,017 m (1,7 cm) = 17 mm. Selain itu, didapatkan juga nilai faktor keamanan 4,75 dan daya dukung ultimit 3207,60 ton dari analisis PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga).
b. Perbandingan nilai analisis PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga) terhadap perhitungan data SPT pada nilai daya dukung ultimit (Q_u) untuk analisis

PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga) sebesar 3207,60 ton sedangkan dari perhitungan nilai Mayerhoff Bazaara sebesar 604,435 ton. Pada nilai penurunan untuk PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga) $0,017 \text{ m} (1,7 \text{ cm}) = 17 \text{ mm}$, sedangkan dari perhitungan nilai Mayerhoff dan Bazaara didapatkan penurunan yaitu $0,01 \text{ m} = 1,0 \text{ cm} = 10 \text{ mm}$. Faktor keamanan (FS) dari analisis PLAXIS 3D (Metode Elemen Hingga) didapatkan sebesar 4,75 sedangkan faktor keamanan (FS) dari perhitungan Mayerhoff dan Bazaara adalah 2,5.

6.2 Saran

Dalam merencanakan suatu fondasi, apapun jenisnya, perencana sebaiknya memiliki data yang lengkap. Setelah itu, data yang dimiliki perlu dikaji kembali untuk meminimalkan kesalahan akibat kemungkinan kekeliruan dalam data tersebut. Data yang dibutuhkan meliputi data tanah dan data bangunan, agar perencana dapat menentukan jenis fondasi yang tepat dan aman.

Selain itu, dalam penggunaan aplikasi untuk perencanaan gedung, pengetahuan mengenai aplikasi yang digunakan perlu diperdalam agar tidak terjadi kesalahan dalam proses input dan analisis data.

DAFTAR PUSTAKA

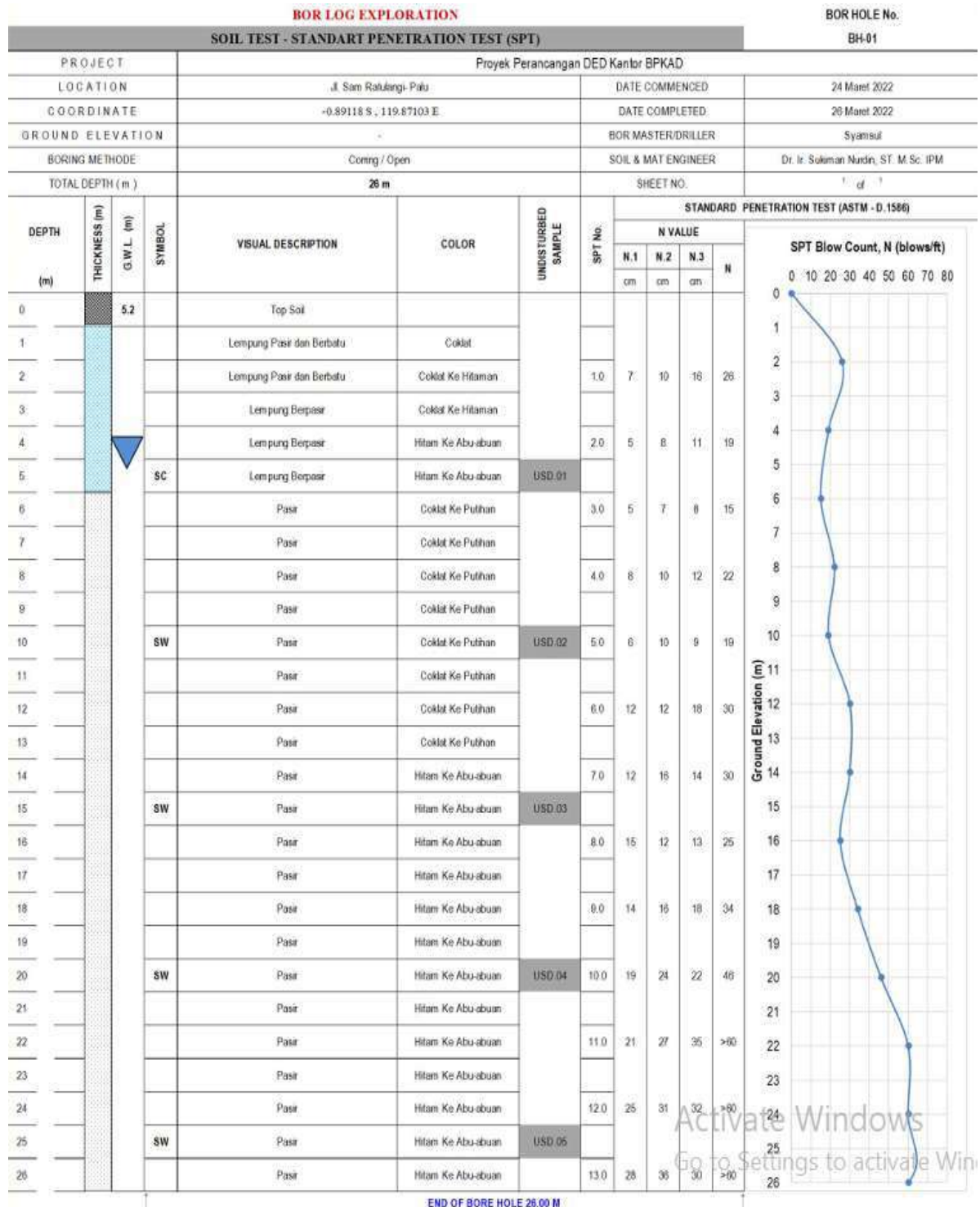
- Ahmad, L. (t.t.). *Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dangkal Tipe Menerus Pengaruh Kedalaman Tanah Keras*.
- Ahmad, L. G., & Surahman, M. (2016). *ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG MENGGUNAKAN DATA INSITU TEST, PARAMETER LABORATORIUM TERHADAP LOADING TEST KANTLEDGE*. 7.
- Andhika, F., Priadi, E., & Faisal, A. (2008). *KAJIAN TRANSFER BEBAN AKSIAL TIANG PANCANG PADA TANAH LUNAK*. *Jurnal Untan*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, SNI 1727:2013.
- Bowles, J. E. (1987). *Elastic Foundation Settlement on sand deposits*. *Journal Of Geotechnical Engineering*.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5. ed., internat. ed). McGraw-Hill.
- Bowles, J. E. (1997). *Analisa Pondasi Jilid 2*. Jakarta Erlangga.
- Braja M. Das. (1995). *Mekanika Tanah (prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Indonesia : Erlangga.
- Braja M. Das. (2011). *Principles Of Foundation Engineering*.
- Braja M. Das. (2016). *Geotechnical Properties of Qoz Soils*. In *Geotechnical for Developing Africa*, 45.
- BSN. (2019). *Penerapan Standar Nasional Indonesia*. 8.
- Cement, & Australia, C. A. of. (1999). *Industrial Floors and Pavements: Guidelines for Design, Construction and Specification*. The Association.
<https://books.google.co.id/books?id=g29-AAAACAAJ>
- Fajarsari, E. J., & Sukirman, E. (2022). *PERBANDINGAN DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG BERDASARKAN BENTUK DENGAN VARIASI DIMENSI*.

- Gunanta, E. V., Dwisa, C. B. P., & Heryanto, B. (2024). *Redesain Dimensi Tiang Pancang Baja di Dermaga 02 Terminal Petikemas Pelabuhan Patimban*. 3(1).
- Hakam, A., Yuliet, R., & Donal, R. (2010). *STUDI PENGARUH PENAMBAHAN TANAH LEMPUNG PADA TANAH PASIR PANTAI TERHADAP KEKUATAN GESER TANAH*. 12.
- Handayani, E., & Maknun, J. (2018). *Efektifitas Penggunaan Alat Hydraulic Static Pile Driver (HSPD) pada Pemancangan*. *Jurnal Civronlit Unbari*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.33087/civronlit.v3i1.26>
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Analisi & Perancangan Fondasi II*.
- Hardiyatmo, H. C. (2011). *ANALISIS & PERANCANGAN FONDASI Edisi I. Sustainability* (Switzerland). <http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484>
- Ifrikhar, A. A. (t.t.). *PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA 2024*.
- Inaku, R., Achmad, F., & Patuti, I. M. (2022). *MIKRO ZONASI RESPON SPEKTRUM GEMPA DI KABUPATEN GORONTALO UTARA UNTUK KEBUTUHAN DESAIN BANGUNAN TAHAN GEMPA*. 2.
- Jamil, N. A., & Siregar, C. A. (2023). *Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Bor (Bored Pile) Berdasarkan Data Penetrasi Standar (SPT) dan Data Sondir (CPT)*. *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, 3(2), 233. <https://doi.org/10.32897/simteks.v3i2.1068>
- Kurniawan Tanjung, D., & Zaki, M. (2025). *Analisis Tiang Pancang dengan Uji Dinamis dan Statis terhadap Kapasitas Ijin Manufaktur*. *Journal of Comprehensive Science (JCS)*, 4(2), 501–516. <https://doi.org/10.59188/jcs.v4i2.3025>
- Look, B. G. (2014). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables: Second Edition*. Taylor & Francis}. <https://books.google.co.id/books?id=I4-lAgAAQBAJ>

- Mardani, A. (2014). *PENGARUH PERBEDAAN MATERIAL TANAH TERHADAP CEPAT LAMBAT REMBESAN PADA DASAR BENDUNGAN. (Doctoral dissertation, Universitas Pendidikan Indonesia).*
- Masri, A. Rifai, M. S. (2015). *ANALISA DAYA DUKUNG TIANG PANCANG HOTEL SANTIKA PREMIERE PALEMBANG (STUDI KASUS : KEL. TALANG JAMBE, KEC. SUKARAME). 4.*
- nuranto, A. (2020). *ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG MINI PILE (STUDI KASUS PROYEK GEDUNG GOR KEC. TANAH ABANG). Universitas Tama Jagakarsa, 12.*
- Prosiding, A. (2022). *Seminar Nasional Keinsinyuran. 2.*
- Randyanto. (t.t.). *Analisis Daya Dukung Tiag Pancang Dengan Menggunakan Metode Statis Dan Calendering.*
- Sardjono, H. S. (1988). *Pondasi Tiang Pancang, Jilid I. Surabaya: Sinar Jaya Wijaya.*
- Teguh, R., & Novita, D. (2022). *Penerapan Aplikasi Plaxis Pada Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tridinanti Palembang. JURNAL PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT, 1(2).*
- Terzaghi, K, & Peck, RB. (1948). *Soil mechanics. Engineering Practice. John Wiley and Sons, Inc. New ...*
- Triastuti, N. S. (2019). *Analisis Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Perhitungan dan Loading Test. 02(2).*
- Warman, R. S. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik Dan Pondasi. 116.*
- Yusup, A., & Walujodjati, E. (2020). *Analisis Pondasi Tiang Pancang Theematic Mall dan Hotel Majalaya Bandung. Jurnal Konstruksi, 17(2), 57–65.*
<https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.17-2.633>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Hasil Bor Inti BH.01 SPT Gedung Perkantoran BPKAD Sulawesi Tengah



Lampiran 2 Tabel Hasil Analisis Perhitungan SAP2000 Beban Vertikal Masing-masing Perkolom

SEGMENT A	
Kode Kolom	Kombinasi ASD
	F3
	kN
K1	835.146
K2	954.367
K3	673.299
K4	1411.858
K5	975.251
K6	1152.686
K7	882.418
K8	1436.213
K9	883.249
K10	1126.551
K11	892.748
K12	958.703
K13	826.739
K14	961.830
K15	619.527
K16	798.535
K17	771.861
K18	928.705
K19	636.042
K20	1057.013
K21	1324.398
K22	946.814
K23	666.420
K24	1079.688
K25	1408.003
K26	1054.395

Lampiran 3 Tabel Analisis Perhitungan SAP2000 Beban Vertikal Masing-masing Perkolom

SEGMENT A	
Kode Kolom	
	Kombinasi ASD
	F _x kN
K27	26.829
K28	46.138
K29	58.673
K30	24.250
K31	42.993
K32	55.942

Lampiran 4 Tabel Hasil Analisis Perhitungan SAP2000 Beban Vertikal Masing-masing Perkolom

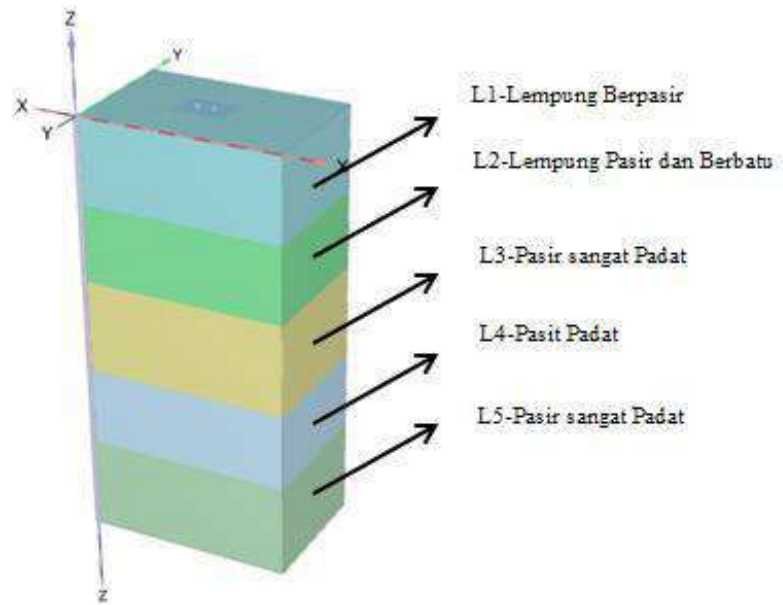
SEGMENT B	
Kode Kolom	
	Kombinasi ASD
	F ₃ kN
K33	44.340
K34	38.862
K35	43.420
K36	37.989
K37	36.556
K38	40.410
K39	37.492
K40	25.908
K41	42.747
K42	32.544
K43	31.542
K44	24.357
K45	26.252
K46	31.484
K47	27.941
K48	44.433
K49	36.469
K50	33.995
K51	34.012
K52	36.064
K53	33.780
K54	13.903
K55	183.826
K56	318.948
K57	331.120
K58	287.954
K59	274.038

Lampiran 5 Rangkuman Hasil Data Tanah

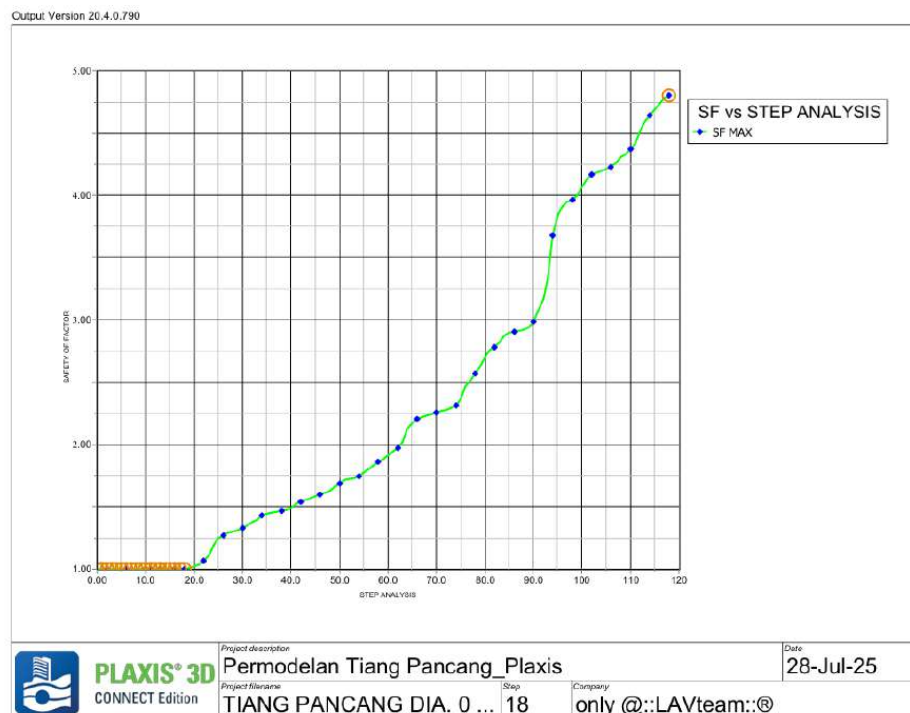
No	Jenis Pengujian	Parameter/ Simbol	Satuan	Hasil	Kedalaman Sampel (m)	Kode Sampel
1	Borehole HBI				: - 4,45 m - 5,00 m	BH 1- 01
	1. Kadar Air	w	%	7.736		
	2. Berat Isi					
	- Berat isi Basah	γ_b	g/cm^3	1.600		
	- Berat isi Kering	γ_d	g/cm^3	1.485		
	3. Berat Jenis	Gs	-	2.520		
	4. Analisa Saringan					
	- Persentase Tertahan	#200	%	82.30		
	- Persentase Lolos	#200	%	17.70		
	5. Batas Batas Atterberg					
	- Batas Cair	LL	%	-----		
	- Batas Plastis	PL	%	-----		
	- Indeks Plastis	IP	%	-----		
	6. Geser Langsung					
	- Kohesi	c	kg/cm^2	0.013		
	- Sudut Geser	ϕ	$^\circ$	21.306		
2	7. Kuat Tekan Bebas	qu maks	kg/cm^2	-----		
	8. Konsolidasi					
	- Pc	Pc	kg/cm^2	-----		
	- Indeks Kompresibilitas	Cc	-	-----		
	- Koefisien Permeabilitas	K	cm/det	-----		
	Borehole HBI				: - 9,00 m - 9,55 m	BH 1- 02
	1. Kadar Air	w	%	9.251		
	2. Berat Isi					
	- Berat isi Basah	γ_b	g/cm^3	1.604		
	- Berat isi Kering	γ_d	g/cm^3	1.468		
	3. Berat Jenis	Gs	-	2.541		
	4. Analisa Saringan					
	- Persentase Tertahan	#200	%	84.74		
	- Persentase Lolos	#200	%	15.26		
	5. Batas Batas Atterberg					
	- Batas Cair	LL	%	-----		
	- Batas Plastis	PL	%	-----		
	- Indeks Plastis	IP	%	-----		
	6. Geser Langsung					
	- Kohesi	c	kg/cm^2	0.017		
	- Sudut Geser	ϕ	$^\circ$	22.626		
	7. Kuat Tekan Bebas	qu maks	kg/cm^2	-----		
	8. Konsolidasi					
	- Pc	Pc	kg/cm^2	-----		
	- Indeks Kompresibilitas	Cc	-	-----		
	- Koefisien Permeabilitas	K	cm/det	-----		
3	Borehole HBI				: - 14,50 m - 15,00 m	BH 1- 03
	1. Kadar Air	w	%	10.821		
	2. Berat Isi					
	- Berat isi Basah	γ_b	g/cm^3	1.628		
	- Berat isi Kering	γ_d	g/cm^3	1.469		
	3. Berat Jenis	Gs	-	2.635		
	4. Analisa Saringan					
	- Persentase Tertahan	#200	%	90.19		
	- Persentase Lolos	#200	%	9.81		
	5. Batas Batas Atterberg					
	- Batas Cair	LL	%	-----		
	- Batas Plastis	PL	%	-----		
	- Indeks Plastis	IP	%	-----		
	6. Geser Langsung					
	- Kohesi	c	kg/cm^2	0.0161		
	- Sudut Geser	ϕ	$^\circ$	23.927		
	7. Kuat Tekan Bebas	qu maks	kg/cm^2	-----		
	8. Konsolidasi					
	- Pc	Pc	kg/cm^2	-----		
	- Indeks Kompresibilitas	Cc	-	-----		
	- Koefisien Permeabilitas	K	cm/det	-----		

4	Borehole HB1				: - 19,00 m - 19,55 m	BH 1- 04
	1. Kadar Air	w	%	11.594		
	2. Berat Isi					
	- Berat isi Basah	γ_b	g/cm ³	1.628		
	- Berat isi Kering	γ_d	g/cm ³	1.459		
	3. Berat Jenis	Gs	-	2.646		
	4. Analisa Saringan					
	- Persentase Tertahan	#200	%	91.52		
	- Persentase Lolos	#200	%	8.48		
	5. Batas Batas Atterberg					
	- Batas Cair	LL	%	-----		
	- Batas Plastis	PL	%	-----		
	- Indeks Plastis	IP	%	-----		
	6. Geser Langsung					
	- Kohesi	c	kg/cm ²	0.013		
	- Sudut Geser	ϕ	°	25.202		
	7. Kuat Tekan Bebas	qu maks	kg/cm ²	-----		
	8. Konsolidasi					
	- Pc	Pc	kg/cm ²	-----		
	- Indeks Kompresibilitas	Cc	-	-----		
	- Koefisien Permeabilitas	K	cm/det	-----		
5	Borehole HB1				: - 24,45 m - 25,00 m	BH 1- 05
	1. Kadar Air	w	%	12.341		
	2. Berat Isi					
	- Berat isi Basah	γ_b	g/cm ³	1.590		
	- Berat isi Kering	γ_d	g/cm ³	1.416		
	3. Berat Jenis	Gs	-	2.535		
	4. Analisa Saringan					
	- Persentase Tertahan	#200	%	81.42		
	- Persentase Lolos	#200	%	18.58		
	5. Batas Batas Atterberg					
	- Batas Cair	LL	%	-----		
	- Batas Plastis	PL	%	-----		
	- Indeks Plastis	IP	%	-----		
	6. Geser Langsung					
	- Kohesi	c	kg/cm ²	0.0179		
	- Sudut Geser	ϕ	°	22.626		
	7. Kuat Tekan Bebas	qu maks	kg/cm ²	-----		
	8. Konsolidasi					
	- Pc	Pc	kg/cm ²	-----		
	- Indeks Kompresibilitas	Cc	-	-----		
	- Koefisien Permeabilitas	K	cm/det	-----		

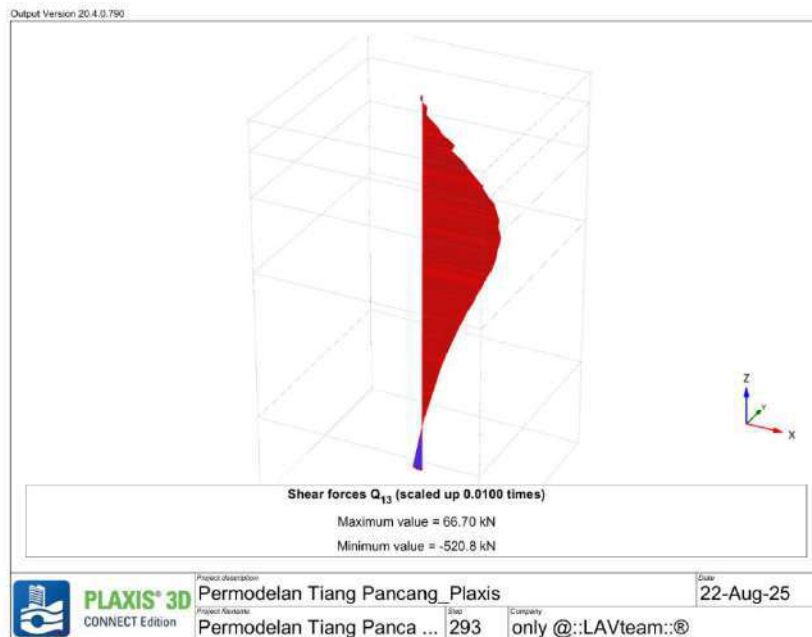
Lampiran 6 Permodelan Tanah (PLAXIS 3D V.20)



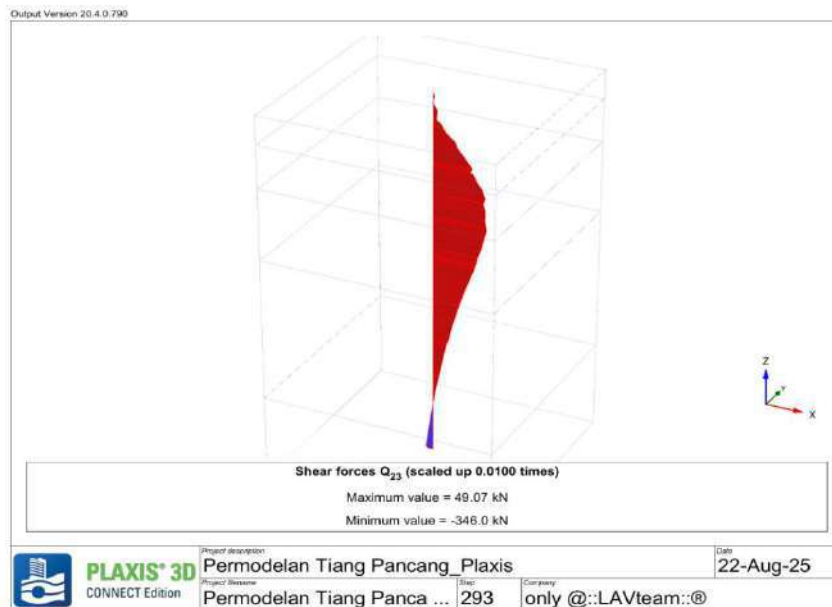
Lampiran 7 Hasil Analisis Faktor Keamanan (PLAXIS 3D V.20)



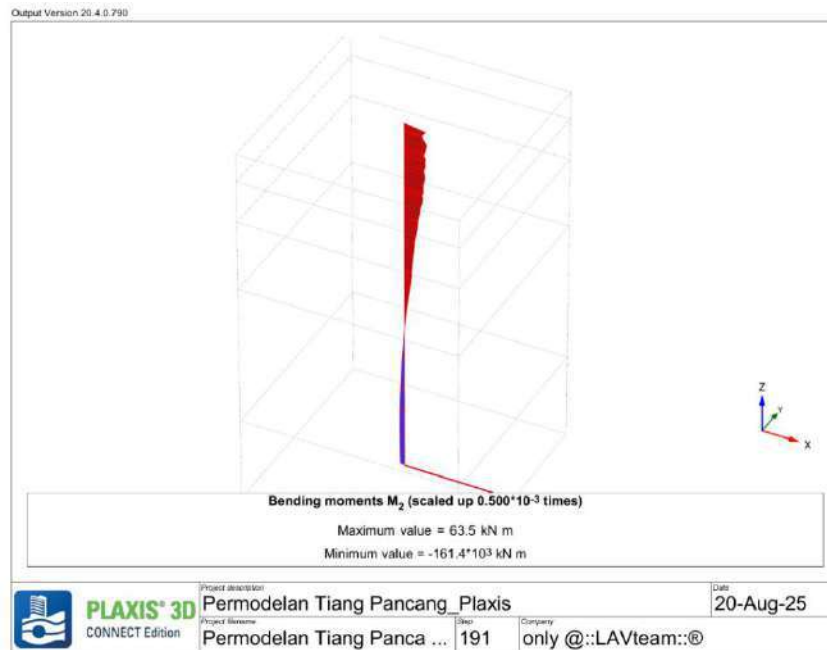
Lampiran 8 Hasil Analisa Gaya Geser Maksimum Arah X (PLAXIS 3D V.20)



Lampiran 9 Hasil Analisa Gaya Geser Maksimum Arah X (PLAXIS 3D V.20)



Lampiran 10 Hasil Analisa Momen Lentur Arah X (PLAXIS 3D V.20)



Lampiran 11 Hasil Analisa Momen Lentur Arah X (PLAXIS 3D V.20)

