TUGAS AKHIR

ANALISIS KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG PANCANG DENGAN VARIASI DIMENSI

(BEARING CAPACITY AND SATTLEMENT ANALYSIS OF SPUN PILE FOUNDATION WITH VARIOUS DIMENTION)

(Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung *Dental Learning Center* (*DLC*)
Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Muslimah Muthmainnah

16511092

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021

TUGAS AKHIR

ANALISIS KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG PANCANG DENGAN VARIASI DIMENSI

(BEARING CAPACITY AND SATTLEMENT ANALYSIS OF SPUN PILE FOUNDATION WITH VARIOUS DIMENTION)

(Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung *Dental Learning Center (DLC)* Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta)

Disusun oleh

Muslimah Muthmainnah
16511092

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

Diuji pada tanggal 17 Maret 2021

Oleh Dosen Penguji

Pembimbing	Penguji 1	Penguji 2
Ir. Akhmad Marzuko, M.T.	**Hanindya Kusuma Artiati, S.T., M.T.**	**M. Rifqi Abdurrozak S.T., M.Eng.**
NIK: 885110107	**NIK: 045110407**	**NIK: 135111101**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 17 Maret 2021

Yang membuat pernyataan,



Muslıman Muthmaınnah

(16511092)

LEMBAR DEDIKASI

“Decide for yourself what it means to be happy. Everyday, take a step to grow up. But it’s okay to show weakness sometimes. It’s okay to be you. Don’t lie to yourself anymore.”

Lights - BTS

“Take your hands off what you can’t control and gets your hands on what you can change.”

MIN YOONGI

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang dengan Variasi Dimensi*. Proposal Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Ir. Akhmad Marzuko, M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang diberikan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir maupun selama masa perkuliahan.
2. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku dosen penguji 1 dan Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji 2.
3. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Orang tua tercinta Bapak Taufik Himawan dan Ibu Arnawaty Sufiatin dua orang terhebat dalam hidup saya yang tidak hentinya memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan di setiap langkah saya dalam menuntut ilmu.
5. Saudara Muthiah Muthmainnah, Musyarofah Muthmainnah, Muhammad Atiqqurrahman dan Mufidah Muthmainnah yang selalu mendukung dan memberi semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Sahabat – sahabat saya Chairina, Husnul dan Nindy yang selalu ada untuk memberi motivasi, semangat dan dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Kim Nam Joon, Kim Seok Jin, Min Yoon Gi, Jung Ho Seok, Park Ji Min, Kim Tae Hyung, dan Jeon Jung Kook yang eksistensi dan karya – karyanya menemani dan memberi saya semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga penelitian yang telah dilakukan dan disajikan dalam bentuk laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi dunia Teknik Sipil dan dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian – penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, 17 Maret 2021

Muslimah Muthmainnah

16511092

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
LEMBAR DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xix
ABSTACT	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Umum	6
2.2 Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang dengan Metode Statis	6
2.3 Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang dengan Metode Mayerhoff dan Janbu	7
2.4 Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang dengan Metode Mayerhoff dan Elemen Hingga	8
2.5 Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang dengan Metode Mayerhoff, Aoki De Alencar dan Luciano Decourt	9

2.6 Perbedaan dengan Penelitian yang Pernah Ada 10
BAB III LANDASAN TEORI 13
3.1 Tanah 13
3.1.1 Tinjauan Umum 13
3.1.2 Klasifikasi Tanah 13
3.2 Penyelidikan Tanah 16
3.2.1 *Cone Penetration Test* (CPT) 17
3.2.2 *Standart Penetration Test* (SPT) 18
3.3 Pondasi Tiang Pancang 18
3.4 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang 21
3.4.1 Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal 21
3.4.2 Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok 30
3.5 Penurunan Pondasi Tiang Pancang 33
3.5.1 Penurunan Pondasi Tiang Tunggal 34
3.5.2 Penurunan Pondasi Tiang Kelompok 38
3.6 SAP2000 38
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 40
4.1 Metode Penelitian 40
4.2 Studi Pustaka 40
4.3 Pengumpulan Data 40
4.4 Analisis Pembebanan 41
4.5 Analisis Pondasi Tiang Pancang 41
4.6 Bagan Alir 41
BAB V ANALISIS PONDASI TIANG PANCANG 44
5.1 Data Gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada 44
5.1.1 Data Umum Proyek 45
5.1.2 Spesifikasi Material 45
5.1.3 Denah Konstruksi 45
5.1.4 Data Struktur 47
5.2 Pembebanan Struktur 48

5.2.1 Peraturan Pembebanan 48
5.2.2 Kombinasi Pembebanan 48
5.2.3 Pembebanan 49
5.3 *INPUT* dan *OUTPUT* Program *SAP2000* 54
5.4 Data Karakteristik Tanah 59
5.5 Desain Pondasi Tiang Pancang 61
5.5.1 Kapasitas Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data Laboratorium 62
5.5.2 Kapasitas Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data Hasil Uji SPT 80
5.5.3 Kapasitas Dukung Tiang Bor Kondisi *Existing* 93
5.5.4 Analisis Penurunan Tiang Tunggal dan Kelompok 98
5.5.5 Analisis Distribusi Beban ke Tiap Tiang Pancang 109
5.5.6 Analisis Kekuatan Tiang Pancang 111
5.6 Pembahasan 111
5.6.1 Hasil Analisis Struktur Program *SAP2000* 112
5.6.2 Hasil Analisis Pondasi Tiang Pancang 113
5.6.3 Hasil Analisis Kapasitas Dukung Kelompok Tiang 114
5.6.4 Hasil Analisis Penurunan Pondasi Tiang Pancang 116
5.6.5 Hasil Analisis Kekuatan Tiang Pancang 117
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 119
6.1 Kesimpulan 119
6.2 Saran 120
DAFTAR PUSTAKA 121
LAMPIRAN 123

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang 11
Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan *USCS* 15
Tabel 3.2 Penentu Nilai K dan δ 24
Tabel 3.3 Tabel Koefisien Cp 36
Tabel 3.4 Perkiraan Nilai *Poisson's Ratio* 37
Tabel 3.5 Perkiraan Nilai Modulus Elastisitas Tanah 37
Tabel 5.1 Analisis Beban Mati pada Lantai 50
Tabel 5.2 Analisis Beban Mati pada Atap 50
Tabel 5.3 Respon Spektrum Percepatan Peride Pendek 54
Tabel 5.4 Parameter Percepatan Spektrum Desain 54
Tabel 5.5 Faktor Koreksi Kerentanan 55
Tabel 5.6 Pengecekan Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen 56
Tabel 5.7 *Resume* Hasil Pemboran di Titik Bor BH-06 59
Tabel 5.8 Hasil Penyelidikan Laboratorium di Titik Bor BH-06 60
Tabel 5.9 Data Hasil Pengujian *Standart Penetration Test (SPT)* 60
Tabel 5.10 Rekapitulasi Analisis Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Pondasi 113
Tabel 5.11 Rekapitulasi Analisis Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pondasi 115
Tabel 5.12 Rekapitulasi Analisis Penurunan Tiang Pancang Tunggal dan Kelompok 117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Alat Penetrasi Konus 17
Gambar 3.2 Skema Uji SPT 18
Gambar 3.3 Diagram Nilai Nc dan Nc dengan Sudut Geser Tanah 23
Gambar 3.4 N-SPT untuk Kapasitas Dukung Ujung Tiang 26
Gambar 3.5 Kelompok Tiang 30
Gambar 3.6 Susunan Baris dan Kolom Tiang Pancang 33
Gambar 4.1 Bagan Alir Analisis Struktur dengan Program SAP2000 42
Gambar 4.2 Bagan Alir Metode Penelitian Tugas Akhir 43
Gambar 5.1 Lokasi Proyek Gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi UGM 44
Gambar 5.2 Denah Lantai 1 46
Gambar 5.3 Denah *Section B* 46
Gambar 5.4 Peta Wilayah Percepatan Bantuan Dasar pada Perioda Pendek (Ss) 53
Gambar 5.5 Peta Wilayah Percepatan Bantuan Dasar pada Perioda Pendek (S1) 53
Gambar 5.6 Grafik Respon Spektrum 55
Gambar 5.7 Permodelan *SAP2000* 3 Dimensi 57
Gambar 5.8 Tampak Atas Permodelan *SAP2000* 58
Gambar 5.9 Sketsa Desain Pondasi Tiang Pancang 62
Gambar 5.10 Sketsa Susunan Lapisan Tanah 63
Gambar 5.11 Tegangan Vertikal pada Tiang Diameter 0,5 m 65
Gambar 5.12 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,5 m dengan Jumlah 5 Tiang 67
Gambar 5.13 Tegangan Vertikal pada Tiang Diameter 0,6 m 69
Gambar 5.14 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,6 m dengan Jumlah 4 Tiang 71
Gambar 5.15 Tegangan Vertikal pada Tiang Diameter 0,7 m 73
Gambar 5.16 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,7 m dengan Jumlah 3 Tiang 75

Gambar 5.17 Tegangan Vertikal pada Tiang Diameter 0,8 m 77
Gambar 5.18 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,8 m dengan Jumlah 2 Tiang 79
Gambar 5.19 Letak N1 dan N2 pada Tiang Diameter 0,5 m 81
Gambar 5.20 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,5 m dengan Jumlah 3 Tiang 83
Gambar 5.21 Letak N1 dan N2 pada Tiang Diameter 0,6 m 84
Gambar 5.22 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,6 m dengan Jumlah 2 Tiang 86
Gambar 5.23 Letak N1 dan N2 pada Tiang Diameter 0,7 m 87
Gambar 5.24 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,7 m dengan Jumlah 2 Tiang 89
Gambar 5.25 Letak N1 dan N2 pada Tiang Diameter 0,8 m 90
Gambar 5.26 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,8 m dengan Jumlah 2 Tiang 92
Gambar 5.27 Letak N1 dan N2 pada Tiang Bor *Existing* Diameter 0,8 m 93
Gambar 5.28 Tegangan Vertikal pada Tiang Bor *Existing* Diameter 0,8 m 96
Gambar 5.29 Absis Tiang Terhadap Pusat *Pile Cap* Diameter 0,8 m 110
Gambar 5.30 Perbandingan Kapasitas Dukung Ultimit Pondasi Tiang Tunggal 114
Gambar 5.31 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang 115

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Tanah 124

Lampiran 2 Hasil Analisis Program *SAP2000* 137

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ΔL	= panjang tiang
A_p	= luas penampang ujung tiang
A_s	= luas selimut tiang pancang
B_g	= lebar kelompok tiang
D	= diameter tiang
e	= angka pori
E_g	= efisiensi kelompok tiang
E_P	= modulus elastis tiang
E_S	= modulus elastisitas tanah
f_s	= unit tahanan geser
I_{WS}	= faktor pengaruh
K	= koefisien tegangan tanah lateral
L	= kedalaman penetrasi tiang
L	= beban hidup
L_b	= kedalaman penetrasi tiang
m	= jumlah tiang dalam 1 kolom
Mx	= momen arah x
My	= momen arah y
n	= jumlah tiang dalam 1 baris
n	= jumlah tiang dalam kelompok
N	= NSPT rata-rata dari 10D di atas dan 4D di bawah dasar pondasi
N_b	= nilai N-SPT rata – rata pada elevasi dasar tiang pancang ($\frac{N1+N2}{2}$)
Nq^*	= faktor daya dukung ujung
N-SPT	= nilai rata – rata SPT sepanjang tiang
N1	= nilai SPT pada kedalaman 3D pada ujung tiang ke bawah
N2	= nilai SPT pada kedalaman 8D pada ujung tiang ke bawah
P	= keliling tiang
q	= tekanan efektif tanah

Q_{all} = kapasitas daya dukung ultimit tiang yang diizinkan

q_b = unit tahanan ujung tiang

Q_g = beban maksimum kelompok tiang

ql = daya dukung batas

q_p = unit daya dukung ujung (tekanan konus)

Q_p = kapasitas dukung ujung tiang (*end bearing*)

q_s = unit tahanan gesek

Q_s = kapasitas dukung gesek tiang (*friction resistance*)

Q_{ult} = kapasitas daya dukung ultimit tiang

Rsx = Beban gempa dinamik arah x

Rsy = Beban gempa dinamik arah y

s = jarak antar tiang (as ke as)

S = jarak pusat ke pusat tiang

S = penurunan total pondasi tiang tunggal

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

SF = angka keamanan

Sg = penurunan pondasi kelompok tiang

S_P = penurunan dari ujung tiang

S_{PS} = penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang

S_s = penurunan akibat deformasi axial tiang tunggal

V_S = *Poisson's ratio* tanah

φ = sudut geser dalam

σ' = tegangan vertical efektif tanah, dianggap konstan setelah kedalaman 15D (*Mayerhoff*) atau 10D (*Schmertmann*)

δ = sudut gesek permukaan

θ = arc tg (D/s)

α = koefisien yang bergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang pondasi tiang. *Vesic* (1977) menyarankan harga α = 0,5 untuk distribusi yang seragam sepanjang tiang

ABSTRAK

Pondasi merupakan salah satu unsur yang paling penting dalam sebuah bangunan. Pondasi berfungsi untuk meneruskan beban struktur yang ada di atasnya ke lapisan tanah yang ada di bawahnya. Pada pembangunan Gedung *Dental Learning Center* Fakultas Kedokteran Gigi UGM yang dibangun pada tanah berpasir akan digunakan jenis pondasi tiang bor dengan diameter 0,8 meter dengan kedalaman 15 meter. Peneliti ingin melakukan perencanaan ulang pondasi tiang bor di lapangan dengan menggunakan jenis pondasi tiang pancang. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung dan penurunan tiang pancang dalam menahan struktur di atasnya.

Pondasi tiang pancang direncanakan dengan 4 alternatif dimensi, yaitu diameter 50 cm, 60 cm, 70 cm, dan 80 cm. Panjang tiang yang digunakan adalah sebesar 15 m. Perhitungan kapasitas dukung tiang pancang menggunakan metode statis yaitu berdasarkan data laboratorium dan data N-SPT.

Hasil analisis kapasitas dukung kelompok tiang dengan berdasarkan data laboratorium diameter 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m diperoleh masing – masing sebesar 607,48 Ton, 664,152 Ton, 641,576 Ton, dan 526,473 Ton. Hasil analisis kapasitas dukung kelompok tiang pancang dengan data N-SPT dengan diameter 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m diperoleh masing – masing sebesar 675,045 Ton, 602,192 Ton, 785,562 Ton, dan 992,036 Ton. Hasil analisis penurunan kelompok tiang pancang dengan data hasil laboratorium didapatkan penurunan pada diameter 0,5 m sebesar 0,056 m, diameter 0,6 m sebesar 0,038 m, diameter 0,7 m sebesar 0,032 m dan diameter 0,8 m sebesar 0,024 m. Hasil analisis penurunan kelompok tiang pancang dengan data N-SPT didapatkan penurunan pada diameter 0,5 m sebesar 0,043 m, diameter 0,6 m sebesar 0,029 m, diameter 0,7 m sebesar 0,026 m dan diameter 0,8 m sebesar 0,024 m. Berdasarkan data tersebut diambil alternatif tiang diameter 0,8 m dengan metode perhitungan dengan data N-SPT dengan jumlah 2 tiang dalam satu kelompok tiang. Pemilihan alternatif ini didasarkan dengan nilai kapasitas dukung terbesar dan nilai penurunan terkecil sehingga pondasi lebih aman digunakan.

Kata kunci : pondasi tiang pancang, kapasitas dukung, penurunan,

ABSTRACT

Foundation is one of the most important elements in a building. The foundation serves to pass the load of the structure on it to the layer of soil underneath. In the construction of the Dental Learning Center Building of the Faculty of Dentistry UGM which is built on sandy soil will be used a type of boredpile foundation with a diameter of 0.8 meters and depth of 15 meters. Researchers want to re-design the foundation in the field using the type of pile foundation. It aims to know the bearing capacity and the settlement of pile foundation in holding the structure on it.

The pile foundation is planned with 4 variety dimensions,ie 50 cm, 60 cm, 70 cm, and 80 cm with the depth of 15 meters. The calculation of bearing capacity and the settlement using static method based on laboratory data and N-SPT data.

The results of the capacity analysis of pile group support based on laboratory data diameter 0.5 m, 0.6 m, 0.7 m, and 0.8 m obtained by 607,48 Tons, 664,152 Tons, 641,576 Tons, and 526,473 Tons. The results of the capacity analysis of pile group support based on N-SPT data with diameters of 0.5 m, 0.6 m, 0.7 m, and 0.8 m were obtained by 675,045 Tons, 602,192 Tons, 785,562 Tons, and 992,036 Tons.. The results of the settlement of the stake group with laboratory data based on the various diameter obtained by 0.056 m, 0.038 m, 0.032 m, and 0.024 m. The results of the settlement of the stake group with N-SPT data based on various diameter obtained by 0.043 m, 0.029 m, 0.026 m, and 0.024 m. Based on the data taken alternative pile diameter of 0.8 m with calculation method with N-SPT data with the number of 2 poles in one group. This alternative selection is based on the largest support capacity and the smallest settlement so that the foundation is safer to use.

Kata kunci : *pile foundation, bearing capacity, settlement*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perencanaan bangunan konstruksi terbagi menjadi perencanaan struktur atas *(upper structure)* dan struktur bawah *(lower structure).* Struktur atas adalah struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah seperti balok, kolom, plat, tangga, dan lain - lain. Struktur bawah adalah bangunan yang berada di bawah permukaan tanah dalam hal ini yang dimaksud adalah pondasi.

Pondasi merupakan salah satu unsur yang paling penting dalam sebuah bangunan. Pondasi berfungsi untuk meneruskan beban struktur yang ada di atasnya ke lapisan tanah yang ada di bawahnya. Ada beberapa jenis pondasi yang digunakan di dunia konstruksi. Berdasarkan penggunaannya, pondasi terbagi menjadi pondasi dangkal (*shallow foundation)* dan pondasi dalam (*deep foundation).* Pada penelitian kali ini yang akan dibahas adalah pondasi dalam.

Pondasi dalam biasa digunakan untuk struktur bangunan yang memiliki beban yang besar seperti gedung – gedung bertingkat. Pondasi dalam juga digunakan ketika kondisi tanah tidak memiliki daya dukung yang cukup untuk menahan berat struktur yang ada di atasnya. Pondasi ini juga digunakan ketika tanah keras berada pada posisi yang sangat dalam.

Perencanaan pondasi merupakan hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan suatu bangunan konstruksi. Perencanaan pondasi diawali dengan menentukan beban efektif yang akan bekerja di atasnya. Kemudian menentukan kapasitas dukung dari pondasi tersebut yang diawali dengan mengetahui karakteristik dari tanah yang akan dibangun pondasi. Untuk mengetahui karakteristik tanah maka diperlukan penyelidikan tanah. Penyelidikan tanah dapat dilakukan di lapangan maupun di laboratorium dengan menggunakan sampel tanah

yang sudah diambil sebelumnya. Berdasarkan hasil dari penyelidikan tanah dapat ditentukan jenis, kedalaman, dan dimensi dari pondasi yang akan digunakan.

Gedung *Dental Learning Center (DLC)* Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada merupakan gedung baru yang berada di Kabupaten Sleman Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Daerah tersebut memiliki karakteristik tanah pasir. Pada pembangunan gedung tersebut, berdasarkan penyelidikan dan karakteristik tanah yang sudah dilakukan didapatkan jenis pondasi yang digunakan adalah jenis pondasi dalam dengan *bored pile.*

Pada penelitian ini, penulis akan melakukan perhitungan kapasitas dukung dan penurunan dari struktur bawah Gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada dengan menggunakan pondasi tiang pancang *(pile foundation).* Alasan peneliti merencanakan dengan menggunakan pondasi tiang pancang adalah untuk mengetahui perbandingan kapasitas dukung pondasi tiang pancang dengan pondasi tiang bor *existing,* kualitas yang lebih baik karena digunakan tiang pancang *precast* yang dibuat dengan standar pabrik sehingga kontrol kualitas dapat dilakukan sebelum tiang pancang digunakan, serta biaya yang dibutuhkan dalam pemasangan lebih murah dari pondasi tiang bor karena pada pemasangan pondasi tiang bor membutuhkan lebih banyak alat bantu. Selain itu, dalam hal metode pelaksanaan dengan menggunakan tiang pancang lebih mudah dan cepat. Pelaksanaan pemasangan tiang pancang tidak dipengaruhi oleh muka air tanah dan cuaca. Metode pelaksanaan pemasangan tiang pancang dengan menggunakan *Hydrolic Static Pile Driver (HSPD)* lebih ramah lingkungan karena tidak menimbulkan suara bising dan getaran. Hal ini dikarenakan pemasangan dilakukan dengan cara ditekan bukan dipukul. Kapasitas dukung tiang pancang juga dapat langsung diketahui pada saat pemasangan dengan dial pembebanan yang menunjukkan tekanan hidrolik untuk menekan tiang sampai pada tanah keras.

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan maka penulis akan mengambil judul dalam Tugas Akhir ini adalah “ANALISIS KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG PANCANG DENGAN

VARIASI DIMENSI (Studi Kasus Gedung *Dental Learning Center (DLC)* Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut.

1. Berapa besar kapasitas dukung dari alternatif desain pondasi tiang pancang pada proyek pembangunan Gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi UGM?
2. Berapa besar nilai penurunan pada alternatif desain pondasi tiang pancang pada proyek pembangunan Gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi UGM?
3. Bagaimana perbandingan kapasitas dukung dan penurunan dari pondasi di lapangan dengan desain pondasi tiang pancang?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kapasitas dukung dari alternatif desain pondasi tiang pancang pada proyek pembangunan Gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi UGM.
2. Mengetahui penurunan dari alternatif desain pondasi tiang pancang pada proyek pembangunan Gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi UGM.
3. Mengetahui perbandingan kapasitas dukung dan penurunan dari pondasi di lapangan (*bored pile)* dengan desain pondasi tiang pancang.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan penelitian dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. data yang digunakan adalah data yang berkaitan dengan proyek pembangunan Gedung *Dental Learning Center (DLC)* Fakultas Kedokteran Gigi UGM,

2. data geoteknik yang digunakan adalah hasil penyelidikan tanah proyek pembangunan Gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi UGM yang dilakukan oleh PT PP (Persero),
3. penyelidikan tanah dilakukan dengan menggunakan *rotary drilling machine* dengan metode pengeboran *continuous coring* pada titik BH-06,
4. struktur bawah pada kondisi *existing* adalah pondasi *bored pile* dengan diameter 0,8 m dengan kedalaman 15 m,
5. struktur bawah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah pondasi tiang pancang,
6. variasi dimensi pondasi tiang pancang yang digunakan 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m dan 0,8 m dengan kedalaman 15 m,
7. titik yang ditinjau untuk analisis pada penelitian ini adalah pada frame nomer 1897,
8. analisis kekuatan daya dukung pondasi dengan menggunakan metode statis berdasarkan data hasil laboratorium dan hasil uji SPT,
9. beban gempa yang digunakan adalah wilayah Yogyakarta,
10. perhitungan struktur bangunan gedung berdasarkan peraturan SNI 03-2847-2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung,
11. perencanaan tahan gempa sesuai dengan peraturan SNI 03-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung,
12. program yang digunakan untuk analisis pembebanan Gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi UGM adalah SAP2000, dan
13. angka aman (*safety factor)* yang digunakan adalah 3.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan pengetahuan kepada pembaca mengenai daya dukung pada pondasi tiang pancang dengan variasi dimensi.
2. Memberikan pengetahuan kepada pembaca mengenai penurunan yang terjadi pada pondasi tiang pancang dengan variasi dimensi.

3. Dapat dijadikan dasar dalam perencanaan pondasi tiang pancang.
4. Dapat dijadikan refrensi dan sumber bacaan bagi pembacanya.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pondasi tiang pancang merupakan salah satu jenis pondasi dalam (*deep foundation).* Pondasi tiang pancang berfungsi untuk meneruskan beban bangunan yang ada di atasnya ke tanah keras yang ada di bawahnya. Tiang pancang dibedakan berdasarkan bahan yang digunakan berupa kayu, baja, dan beton. Sedangkan berdasarkan bentuk penambangnya dibedakan menjadi penampang lingkaran, penampang H dan penampang segiempat. Pemasangan tiang pancang dapat dilakukan dengan cara dipukul, dibor, maupun didongkrak. Tiang pancang pada umumnya dipasang secara vertikal ke dalam tanah kemudian dihubungkan dengan pile cap.

Pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu pondasi untuk suatu bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity)*, yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya terletak sangat dalam (Sardjono,1988). Fondasi tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas terutama pada bangunan – bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya – gaya penggunlingan akibat beban angin (Hardiyatmo, 2010).

2.2 Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Tiang Pancang dengan Metode Statis

Pririanto dan Widodo (2002) melakukan penelitian dengan judul "Analisis Pengaruh Diameter, Panjang dan Formasi Tiang Terhadap Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang". Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh diameter, panjang dan formasi tiang terhadap kapasitas

dukung dan penurunan pondasi tiang pancang dengan menggunakan metode statis. Penelitian ini menggunakan variasi diameter 300, 350, 400, 450, 500, dan 600 mm, sedangkan untuk panjang tiang digunakan variasi kedalaman 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, dan 16 m. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa semakin besar diameter dan panjang tiang yang digunakan maka semakin besar pula kapasitas dukung tiang. Formasi tiang berpengaruh terhadap kapasitas dukung tiang, semakin besar lebar formasi tiang maka semakin besar kapasitas dukung kelompok tiang yang akan terjadi. Penurunan tiang dipengaruhi oleh diameter, panjang dan formasi tiang. Semakin besar diameter tiang maka semakin kecil penurunan ujung tiang. Semakin besar panjang dan formasi tiang maka semakin besar penurunan yang akan terjadi.

Penelitian lain dilakukan oleh Rakit P.N (2007) dengan judul "Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang pada Jembatan Bantar III". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh diameter, panjang, dan formasi tiang pada pondasi tiang pancang terhadap kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang pancang sehingga didapatkan kapasitas dukung kelompok yang paling optimal. Diameter tiang yang digunakan pada penelitian ini adalah 600, 700, dan 800 mm, sedangkan untuk panjang tiang adalah 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, dan 17 m. Penelitian ini menggunakan metode statis dalam perhitungannya. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa semakin besar diameter tiang maka semakin besar pula daya dukungnya, namun besarnya diameter tiang tidak berpengaruh pada penurunan tiang. Panjang tiang dipengaruhi oleh nilai N-SPT. Semakin besar nilai N-SPT maka semakin panjang tiang tersebut sehingga daya dukungnya semakin besar. Formasi tiang juga berpengaruh terhadap daya dukung kelompok tiang. Semakin lebar formasi tiang, semakin besar penurunan kelompok tiang yang akan terjadi.

2.3 Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Tiang Pancang dengan Metode Mayerhoff dan Janbu

Erni (2009) melakukan penelitian tentang daya dukung dan penurunan pondasi tiang pancang yang berjudul "Perencanaan Pondasi Tiang Pancang dalam Berbagai Bentuk pada Gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Depok". Penelitian tersebut bertujuan untuk menghitung pembebanan pada gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Depok, menentukan dimensi dan kedalaman pondasi, menghitung daya dukung dan penurunan pondasi, dan menghitung biaya pondasi tiang pancang dengan variasi bentuk dan diameter 30 cm, 40 cm, 50 cm dan 60 cm. Perhitungan daya dukung tiang dengan menggunakan metode Mayerhoff dan Janbu sedangkan untuk analisis strukturnya dengan menggunakan *software SAP2000.*

Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan variasi bentuk tiang pancang yaitu tiang bulat, segitiga dan persegi didapatkan pondasi tiang pancang bentuk tiang bulat dengan diameter yang paling efektif dan efisien adalah 60 cm dengan daya dukung ultimate sebesar 2476,283 kN dan nilai penurunan sebesar 0,0226 m. Penurunan ini masih dalam batas aman meskipun lebih besar daripada penurunan pada diameter lainnya, hal ini disebabkan oleh besarnya dimensi yang digunakan.

2.4 Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang dengan Metode Mayerhoff dan Elemen Hingga

Dwitasari (2018) melakukan penelitian mengenai perancangan ulang tiang pancang dalam pembangunan PPKS Kabile di Kalimantan. Penelitian dengan judul "Kajian Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Pancang pada Tangki Timbun dengan Metode Elemen Hingga dan Mayerhof" bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung dan penurunan dari fondasi tiang pancang dengan *software PLAXIS* dan metode Mayerhoff dengan hasil akhir berupa usulan desain yang paling efektif dan efisien yang akan digunakan. Penelitian ini menggunakan 3 alternatif desain tiang pancang yaitu dimensi 0,25 m, 0,3 m, dan 0,35 m. Desain pondasi direncanakan

dengan permodelan dengan program *Plaxis 3D Foundation* kemudian dilanjutkan dengan *Plaxis 2D* untuk mendapatkan nilai SF.

Berdasarkan hasil penelitian maka desain tiang pancang yang paling optimal yaitu pada diameter 0,35 m. Nilai kapasitas dukung pondasi dengan metode *PLAXIS* sebesar 48.599,57 kN dan dengan metode Mayerhof didapatkan sebesar 47.009,22 Kn. Hasil perencanaan dari program *PLAXIS* memiliki nilai yang lebih besar daripada dengan metode Mayerhoff hal ini dikarenakan pada metode Mayerhoff hanya menghitung terhadap tahanan gesek dan tahanan ujung pada tiang saja, sedangkan pada *PLAXIS* parameter yang digunakan lebih banyak. Hasil penurunan dengan *PLAXIS* memenuhi persyaratan dengan rata – rata penurunan < 40 mm – 65 mm sedangkan untuk metode Mayerhoff hanya desain 0,35 m yang memenuhi syarat penurunan yaitu sebesar 27 mm dengan syarat ± 30 mm. Desain pondasi 0,35 m dipilih juga dikarenakan dengan perolehan nilai SF yang mendekati sama dengan desain lainnya namun desain pondasi 0,35 m hanya membutuhkan jumlah tiang yang lebih sedikit. Hal ini menambah nilai ekonomis dari desain tersebut.

2.5 Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang dengan Metode Mayerhoff, Aoki De Alencar, dan Luciano Decourt

Dirgananta (2018) melakukan penelitian mengenai perbandingan kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang pancang dengan pondasi tiang bor. Penelitian dengan judul "Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Pancang Dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode Mayerhoff, Aoki, & De Alencar dan Luciano Decourt" bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang pancang kemudian membandingkannya dengan pondasi existing. Pada penelitian menggunakan 3 alternatif variasi diameter yaitu 0,3 m, 0,4 m, dan 0,5 m. Menggunakan *software SAP2000* untuk perhitungan analisis struktur dan metode Mayerhoff, Aoki De Alencar, dan Luciano Decourt.

Hasil dari penelitian tersebut diambil alternatif diameter 0,5 m dengan metode Mayerhoff dengan kapasitas dukung tiang 934,279 ton dengan jumlah 3

tiang dalam 1 kelompok tiang. Pemilihan variasi ini didasari dengan jumlah tiang yang lebih sedikit tetapi tetap aman digunakan. Hal ini berdasarkan hasil kapasitas dukung kelompok tiang (Qg) yang lebih besar dari beban aksial (P) dan beban aksial yang diterima (Pt) sebesar 903,296 > 730,533 dan 903,296 > 773,805.

2.6 Perbedaan dengan Penelitian yang Pernah Ada

Perbedaan penelitian yang terdahulu dengan penelitian yang penulis lakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Penelitian Terdahulu						**Penelitian yang dilakukan**
Peneliti	**Pririanto dan Widodo (2002)**	**Rakit P.N. (2007)**	**Erni (2009)**	**Dwitasari (2018)**	**Dirgananta (2018)**	**Muthmainnah (2020)**
Judul	Analisis Pengaruh Diameter, Panjang dan Formasi Tiang Terhadap Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang	Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang pada Jembatan Bantar III	Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Dalam Berbagai Bentuk pada Gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Depok	Kajian Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Pancang pada Tangka Timbun Dengan Metode Elemen Hingga dan Mayerhoff	Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Pancang Dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode Mayerhoff, Aoki & De Alencar dan Luciano Decourt.	Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang pada Bangunan Gedung Bertingkat dengan Variasi Dimensi
Metode	Metode Statis	Metode Statis	Mayerhoff dan Janbu	Metode elemen hingga dan Mayerhoff	Mayerhoff, Aoki De Alencar, dan Luciano Decourt	Metode Statis
Tujuan	Mengetahui pengaruh diameter, Panjang dan formasi tiang pancang terhadap kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang pancang.	Mengetahui pegaruh diameter, panjang, dan formasi tiang terhadap kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang pancang.	Mengetahui dimensi dan kedalam pondasi yang efektif serta menghitung daya dukung, penurunan dan biaya dari pondasi tiang pancang	Mengetahui kapasitas dukung dan penurunan dari fondasi tiang pancang.	Mengetahui kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang pancang kemudian membandingkannya dengan kondisi di *existing.*	Mengetahui kapasitas dukung dan penurunan dari pondasi tiang pancang kemudian membandingkannya dengan kondisi di *existing* yang berupa pondasi *bored pile*.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Peneliti	**Pririanto dan Widodo (2002)**	**Rakit (2007)**	**Erni (2009)**	**Dwitasari (2018)**	**Dirgananta (2018)**	**Muthmainnah (2020)**
Hasil	Semakin besar diameter dan Panjang tiang yang digunakan maka semakin besar kapasitas dukung tiang dan penurunan yang terjadi. Semakin besar formasi tiang maka semakin besar penurunan kelompok tiang	Semakin besar diameter maka kapasitas dukung semakin besar. Panjang tiang dipengaruhi oleh nilai N-SPT. Semakin lebar formasi tiang maka semakin besar penurunan kelompok tiang yang terjadi.	Variasi yang digunakan merupakan tiang pancang bulat dengan diameter 60 cm dengan Qultimate = 2476,283 kN dan penurunan sebesar 0,0226 m.	Dari 3 alternatif desain yang diteliti didapatkan desain yang paling optimal adalah desain dengan diameter 0,35 m dengan kapasitas dukung sebesar 48.599,57 Kn dan 47.009,22 Kn.	Diambil alternatif diameter 0,5 m dengan metode Mayerhoff dengan kapasitas dukung tiang 934,279 ton dengan jumlah 3 tiang dalam 1 kelompok tiang. Hal ini berdasarkan hasil kapasitas dukung kelompok tiang (Qg) yang lebih besar dari beban aksial (P) dan beban aksial yang diterima (Pt) sebesar 903,296 > 730,533 dan 903,296 > 773,805.	Diambil alternatif diameter 0,8 m dengan metode perhitungan dengan data NSPT dengan kapasitas dukung tiang 934,279 ton dengan jumlah 3 tiang dalam 1 kelompok tiang. Hal ini berdasarkan hasil kapasitas dukung kelompok tiang (Qg) yang lebih besar dari beban aksial (P) dan beban aksial yang diterima (Pt) sebesar 903,296 > 730,533 dan 903,296 > 773,805.

Sumber : Pririanto dan Widodo(2002),Rakit (2007), Erni (2009), Dwitasari (2018), Dirgananta (2018)

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Tinjauan Umum

Tanah adalah elemen yang sangat penting dalam bidang Teknik Sipil. Selain sebagai bahan bangunan, tanah juga berfungsi sebagai dasar pendukung dari sebuah bangunan konstruksi. Dalam pengertiannya tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang terikat secara kimia satu dengan yang lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk (partikel padat) disertai zat cair dan gas yang mengisi ruang – ruang kosong di antara partikel – partikel padat tersebut (Das,1995). Selain itu menurut Hardiyatmo, H.C., 1992 tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan – endapan yang relative lepas (*loose)* yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*).

Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis dan kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air dan *gletsyer*, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan sedangkan proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam alkali, oksigen dan karbondioksida (Wesley,1977).

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah bertujuan untuk mengelompokkan beberapa jenis tanah yang memiliki sifat – sifat indeks sejenis ke dalam kelompok ataupun subkelompok. Sifat – sifat ini dapat berupa ukuran, bentuk, dan bahan penyusunnya. Klasifikasi tanah diharapkan dapat mempermudah dalam pemakaian dan pemanfaatan tanah tersebut karena dengan diketahuinya perilaku tanah tersebut akan mempermudah dalam tahapan awal desain dari suatu bangunan konstruksi.

Sistem klasifikasi tanah yang digunakan dalam dunia konstruksi terbagi dalam beberapa jenis. Sistem klasifikasi tanah yang sering digunakan dalam perencanaan bangunan konstruksi, yaitu sistem klasifikasi tanah USCS (*Unified System Clasification Soils).* Sistem klasifikasi USCS atau yang biasa dikenal dengan sistem *Unified* diperkenalkan oleh *Casagrande* pada tahun 1942. Sistem ini membagi tanah dalam dua kelompok yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Tanah berbutir kasar yaitu tanah kerikil dan pasir yang < 50% berat totalnya lolos saringan No. 200. Sedangkan tanah berbutir halus yaitu tanah yang > 50% berat totalnya lolos saringan No. 200. Dalam sistem ini setiap tanah diberikan symbol berupa dua huruf yang menunjukkan jenis dan sifatnya.

Huruf pertama menunjukkan jenisnya, seperti

G = kerikil (*gravel)*

S = pasir (*sand*)

M = lanau (*silt*)

C = lempung (*clay*)

O = tanah organic

Huruf kedua menunjukkan sifatnya, seperti

W = bergradasi baik (*well graded*)

P = bergradasi jelek (*poorly graded)*

M = mengandung lanau

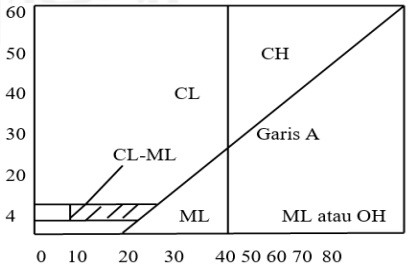
C = mengandung lempung

L = bersifat plastis rendah (*low plasticity)*

H = bersifat plastis tinggi (*high plasticity*)

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS (*Unified System Clasification Soils)* dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS (*Unified System Clasification Soils*

Divisi Utama			Simbol	Nama Umum		Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar≥ 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil 50%≥ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus ; Kurang dari 5% lolos saringan No.200: GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan No.200 : GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan No.200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D10 \times D60}$ Antara 1 dan 3	
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI < 4	Bila batas *Atterberg* berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI > 7	
	Pasir≥ 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik , pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D10 \times D60}$ Antara 1 dan 3	
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI < 4	Bila batas *Atterberg* berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI > 7	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair ≤ 50%		ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas *Atterberg* yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.  Batas Cair LL (%) Garis A : PI = 0.73 (LL-20)		
			CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (*lean clays*)			
			OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			

Lanjutan Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS (*Unified System Clasification Soils*

	Lanau dan lempung batas cair >= 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (*fat clays*)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi.	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	*Peat* (gambut), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Sumber : Hardiyatmo (1992)

3.2 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan metode untuk mengetahui karakteristik dan daya dukung tanah yang akan digunakan sebagai dasar dari sebuah bangunan konstruksi. Penyelidikan tanah harus dilakukan sebelum menentukan jenis pondasi apa yang akan digunakan. Penyelidikan tanah memiliki beberapa tujuan sebagai berikut :

1. mengetahui kedalaman tanah keras di lokasi sehingga dapat menentukan perletakan pondasi yang tepat dan sesuai,
2. mengetahui kedalaman muka air tanah,
3. mengetahui karateristik tanah pada setiap lapisan,
4. menetukan kapasitas daya dukung tanah,
5. mengetahui *sample* tanah yang kemudian akan diuji di laboratorium,dan
6. menentukan tipe pondasi yang akan digunakan.

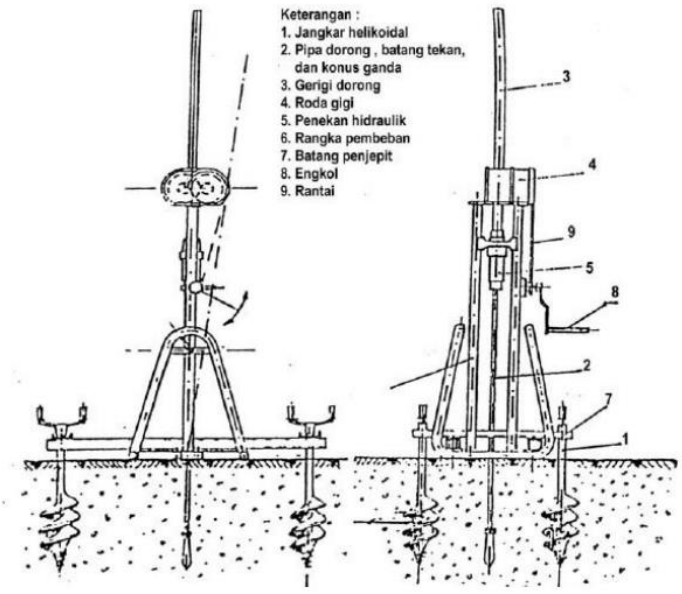
Penyelidikan tanah biasanya terdiri dari 3 tahapan, yaitu pengeboran, pengambilan *sample* tanah, kemudian pengujian *sample* tanah di laboratorium. Penyelidikan tanah yang dilakukan di lapangan (*in-situ field test*) yang biasa dilakukan di Indonesia adalah Uji Sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) dan Uji *Standart Penetration Test* (SPT).

3.2.1 *Cone Penetration Test* (CPT)

Cone Penetration Test (CPT) atau yang biasa disebut dengan uji Sondir bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung pada tanah yang akan di uji. Uji sondir dilakukan langsung di lapangan dengan menggunakan alat sondir yang mengukur nilai perlawanan konus (*Cone Resistance)* dan hambatan lekat (*Local Friction)*. Konus dimasukkan ke dalam tanah dengan cara ditekan kemudian dilakukan pembacaan di manometer pada kedalaman setiap 20 cm.

Hasil dari penyelidikan sondir berupa diagram yang menampilkan hubungan antara kedalaman sondir dengan besar nilai perlawanan dari konus (qc) serta jumlah hambatan pelekat (TF).

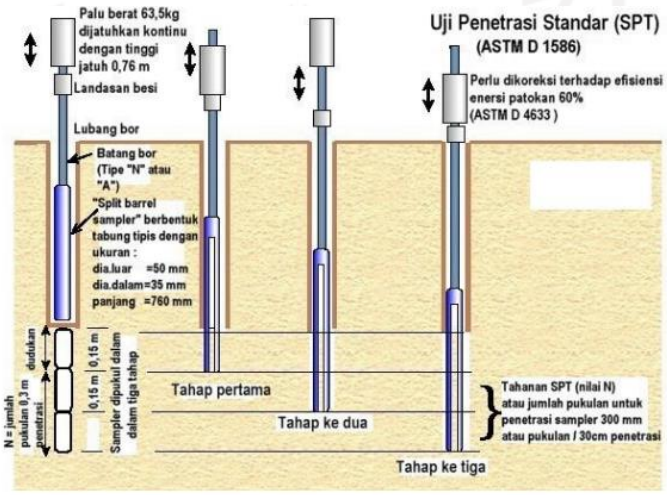
Gambar alat Uji CPT atau Sondir dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Alat Penetrasi Konus
(Sumber : SNI 2827:2008)

3.2.2 *Standart Penetration Test* (SPT)

Pengujian SPT (*Standart Penetration Test*) digunakan untuk memperoleh data jenis dan kekuatan tanah dari suatu lapisan tanah. Uji SPT dilaksanakan pada lubang bor setelah pengambilan sampel tanah pada setiap beberapa interval kedalaman. Prinsip pelaksanaan uji SPT adalah dengan memukul tabung ke dalam lubang bor sedalam 450 mm menggunakan palu dengan berat 63,5 kg dari ketinggian 760 mm. Parameter yang didapat dari pengujian ini adalah jumlah pukulan untuk melakukan penetrasi sedalam 150 mm. Urutan pengujian SPT dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 5.6 Skema urutan uji penetrasi standar (SPT) (sumber : SNI 4153-2008)

Gambar 3.2 Skema Uji SPT
(Sumber : SNI 4153:2008)

3.3 Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang merupakan salah satu jenis pondasi yang digunakan untuk menerima dan meneruskan beban dari konstruksi yang ada di atasnya ke tanah yang berada pada kedalaman tertentu. Pemakaian tiang pancang untuk suatu bangunan apabila tanah dasarnya tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul beban dari bangunan di atasnya atau tanah keras yang mempunyai daya dukung yang cukup terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Pondasi jenis tiang pancang ini juga

dapat digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan – bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya – gaya penggulingan akibat beban angin.

Menurut cara pemindahan beban, pondasi tiang pancang dibagi menjadi 2 yaitu :

1. *Point bearing pile (end bearing pile)*. Merupakan tiang pancang dengan tahanan ujung. Tiang ini meneruskan beban melalui tahanan ujung ke lapisan tanah keras
2. *Friction pile*

   Jenis tiang pancang ini dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan jenis tanah tempat perletakannya.

   a. *Friction pile* pada tanah dengan butir – butir tanah kasar dan sangat mudah menyalurkan air. Tiang ini meneruskan beban ke tanah melalui geseran kulit. Pada proses pemancangannya, tiang ini akan menyebabkan berkurangnya pori – pori tanah dan membuat tanah di sekitarnya menjadi *compact*.
   b. *Friction pile* pada tanah dengan butir – butir tanah yang sangat halus dan sulit menyalurkan air. Tiang ini juga meneruskan beban ke tanah melalui kulit namun pada proses pemancangannya tidak menyebabkan tanah di antara tiang menjadi *compact*.

Ada 2 metode yang umum digunakan dalam pemasangan pondasi tiang pancang. Metode ini dibedakan berdasarkan alat yang digunakan yaitu *drop hammer* dan *hydraulic jack.* Pada pemasangan dengan menggunakan *drop hammer,* tiang pancang dipukul dengan palu (*drop hammer*) agar menancap pada titik pada tanah yang telah ditentukan. Alat ini berbentuk seperti palu yang diletakkan pada bagian atas tiang yang akan dipancangkan. Pada bagian kepala tiang diberikan topi atau *cap* yang bertujuan agar tiang tidak mengalami kerusakan pada saat dipukul dengan *hammer*. Alat lainnya yaitu *hydraulic jack.* Alat ini ditempatkan secara paralel dengan tiang yang akan dipancang. Untuk menekan tiang diletakkan plat penekan pada puncak tiang kemudian tiang ditekan ke dalam tanah. Sistem ini akan menyebabkan tiang tertekan secara terus menerus ke dalam tanah tanpa menimbulkan suara dan getaran.

Menurut penggunaannya, tiang pancang memiliki beberapa keuntungan dan kerugian. Adapun keuntungan pada penggunaan pondasi tiang pancang adalah sebagai berikut :

1. tiang pancang diproduksi di pabrik, sehingga dapat dilakukan pemeriksaan kualitas dengan ketat agar tiang pancang yang dihasilkan memiliki kualitas yang maksimal,
2. pada pekerjaan pemancangan dengan skala kecil, tidak membutuhkan biaya yang besar,
3. prosedur pemancangan tidak dipengaruhi oleh air tanah,
4. memiliki ketersediaan tiang yang cukup banyak karena dibuat di pabrik,
5. pekerjaan konstruksi mudah diawasi karena daya dukung dari tiang pancang dapat diperkirakan dengan menggunakan dial,dan
6. tiang dapat dipancang sampai pada kedalaman yang diinginkan.

Adapun kerugian pada penggunaan pondasi tiang pancang adalah sebagai berikut :

1. penggembungan permukaan tanah dan gangguan tanah akibat pemancangan dapat menimbulkan permasalahan,
2. pemancangan menimbulkan gangguan suara, getaran dan deformasi tanah yang dapar merusak bangunan di sekitarnya,
3. apabila diameter tiang besar maka dibutuhkan alat pemancang yang besar pula,
4. pemancangan dilakukan dengan berhati – hati agar tidak terjadi kerusakan pada kepala tiang,dan
5. apabila panjang tiang pancang kurang, maka dibutuhkan penyambungan dengan alat penyambung khusus.

3.4 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang

Kapasitas tiang (*pile capacity*) adalah kapasitas dukung tiang dalam mendukung beban (Hardiyatmo, 2011). Tanah yang mengalami pembebanan seperti beban pondasi, maka akan mengalami distorsi dan penurunan. Apabila beban tersebut ditambah maka penurunan juga akan bertambah. Akhirnya akan terjadi kondisi di mana pada beban tetap, pondasi akan mengalami penurunan yang sangat besar. Hal ini menunjukkan bahwa keruntuhan kapasitas dukung telah terjadi. Berdasarkan hal tersebut maka perhitungan kapasitas dukung pada pondasi sangatlah penting agar beban pondasi tidak menimbulkan tekanan yang berlebihan pada tanah di bawahnya.

Perhitungan kapasitas dukung pondasi tiang pancang dibedakan menjadi 2 berdasarkan jumlah tiangnya, yaitu kapasitas dukung tiang tunggal dan kapasitas dukung kelompok tiang.

3.4.1 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal

Ada beberapa metode yang digunakan dalam perhitungan kapasitas dukung tiang tunggal salah satunya dengan metode statis. Hitungan kapasitas secara statis dilakukan menurut teori yaitu dengan mempelajari sifat – sifat teknis tanah. Data ini didapatkan dari hasil uji lapangan (CPT, SPT) ataupun data hasil uji laboratorium.

Perhitungan kapasitas dukung tiang dengan metode statis dibedakan berdasarkan jenis tanahnya. Pada penelitian ini, didapat jenis tanah pada dasar pondasi merupakan jenis tanah berpasir. Berikut adalah perhitungan kapasitas daya dukung tiang tunggal pada tanah pasir berdasarkan metode statis.

1. Kapasitas Ultimit Berdasarkan Data Laboratorium

Kapasitas dukung ultimit pondasi tiang berdasarkan data laboratorium didapat dengan memperhitungkan nilai tahanan ujung tiang (Q_P) dan nilai tahanan friksi tiang (Q_s)

a. Tahanan ujung (Q_P)

Tahanan ujung (Q_P) untuk tanah pasir dapat ditentukan dengan formula menurut Mayerhoff (1976) pada Persamaan 3.1 dan 3.2.

$$Q_P 1 = A_p . q_P \quad (3.1)$$

$$q_P = q . Nq^* \quad (3.2)$$

Dengan ketentuan bahwa nilai qp tidah boleh melebihi kapasitas dukung batas. Maka dari itu kapasitas dukung ujung tiang memiliki batas yang dapat dilihat pada Persamaan 3.3.

$$Q_P 2 = A_p . ql = A_p . 5 . Nq^* . tan\phi \quad (3.3)$$

dengan :

Q_P : tahanan ujung tiang

q_P : daya dukung per satuan luas

A_p : luas penampang ujung tiang

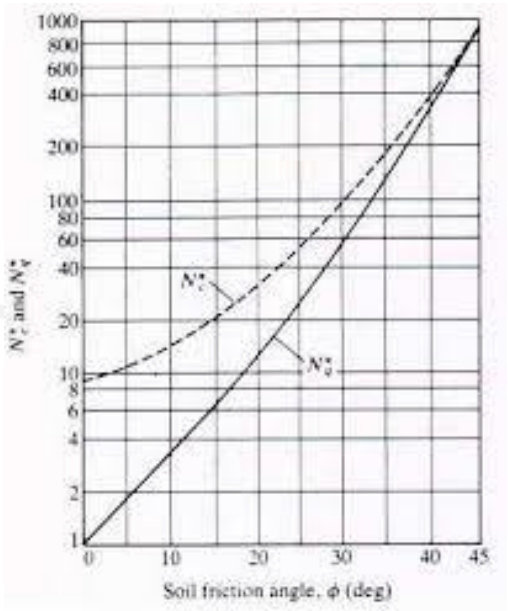
q : tekanan efektif tanah

Nq^* : faktor daya dukung ujung

ql : daya dukung batas

φ : sudut geser dalam

Kemudian, nilai $Q_P 1$ dan $Q_P 2$ dibandingkan dan diambil nilai yang paling kecil untuk dipakai sebagai tahanan ujung tiang. Nilai Nq* dapat dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3 Diagram Nilai Nc dan Nq dengan Sudut Geser Tanah
(Sumber : Mayerhoff,1976 pada Analisis dan Perancangan Fondasi II)

b. Tahanan Gesek (Q_s)

Rumus yang digunakan untuk menentukan tahanan gesek (Q_s) untuk jenis tanah pasir dapat dilihat pada Persamaan 3.4 dan 3.5.

$$Q_s = A_s . q_s \quad (3.4)$$

$$Q_s = \Sigma p . \Delta L . fs \quad (3.5)$$

dengan :

p : perimeter atau keliling tiang

ΔL : panjang tiang

Σp . ΔL : luas selimut tiang (As)

fs : gesek selimut satuan

Nilai tahanan friksi dapat ditentukan berdasarkan jenis tanahnya. Rumus yang digunakan untuk mencari nilai fs atau unit tahanan gesek pada tanah jenis kohesif dapat dilihat pada Persamaan 3.6.

$$fs = K.\ \sigma'.\ \tan \delta \quad (3.6)$$

dengan :
K : koefisien tegangan tanah lateral
σ' : tegangan vertical efektif tanah, dianggap konstan setelah kedalaman 15D (*Mayerhoff*) atau 10D (*Schmertmann*)
δ : sudut gesek permukaan

Nilai K dan δ dapat ditentukan berdasarkan jenis tiang dan kepadatan relatif tanah. Penentuan nilai K dan δ dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Penentu Nilai K dan δ

Bahan Tiang	δ	Nilai K	
		Kepadatan Relatif Rendah	Kepadatan Relatif Tinggi
Baja	20°	0,5	1,0
Beton	3/4 φ	1,0	2,0
Kayu	2/3 φ	1,5	4,0

(Sumber : Manual Pondasi Tiang,2016)

c. Kapasitas Ultimit Tiang Tunggal (Q_{ult})

Rumus untuk menentukan nilai kapasitas ultimit tiang tunggal berdasarkan data laboratorium untuk tanah pasir dapat dilihat pada Persamaan 3.7, 3.8, dan 3.9.

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \quad (3.7)$$

$$Q_{ult} = A_p \, . q_p + A_s . q_s \quad (3.8)$$

$$Q_{all} = \frac{Qult}{SF} \quad (3.9)$$

dengan :

Q_p : tahanan ujung (*end bearing*)

Q_s : tahanan gesek (*friction resistance*)

q_p : unit kapasitas dukung ujung (tekanan konus)

q_s : unit tahanan gesek

SF : angka keamanan

2. Kapasitas Ultimit Berdasarkan Data Uji *Standart Penetration Test* (SPT)

Kapasitas ultimit tiang dapat dihitung berdasarkan nilai N hasil uji SPT di lapangan. Menurut *Mayerhoff* (1976) perhitungan kapasitis ultimit berdasarkan data uji SPT terbagi menjadi dua yaitu persamaan untuk tanah kohesif dan tanah non-kohesif. Karena jenis tanah yang ada di lapangan berjenis tanah pasir, maka persamaan yang digunakan adalah persamaan untuk tanah non-kohesif.

a. Tahanan Ujung (Q_p)

Nilai tahanan ujung untuk tanah nonkohesif dapat dilihat pada Persamaan 3.10.

$$Q_p = 40. N_b . A_P \quad (3.10)$$

Kemudian pada penelitian selanjutnya Mayerhoff (1976) mengusulkan Persamaan 3.11 sebagai berikut.

$$Q_p = A_P . (40. N_b) . \left(\frac{L_b}{d}\right) \leq 400. N_b . (A_P) \quad (3.11)$$

dengan :

Q_p : kapasitas dukung ujung tiang

N_b : nilai N-SPT rata – rata pada elevasi dasar tiang pancang ($\frac{N1+N2}{2}$)

N1 : nilai SPT pada kedalaman 3D pada ujung tiang ke bawah

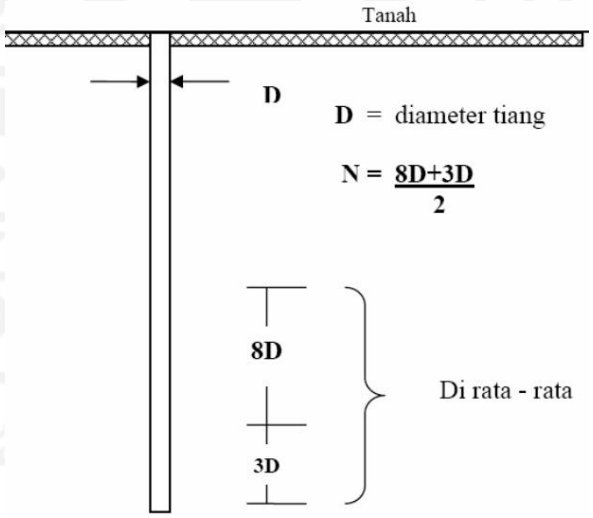
N2 : nilai SPT pada kedalaman 8D pada ujung tiang ke atas

A_P : luas penampang dasar tiang pancang

L_b : kedalaman penetrasi tiang

d : diameter tiang

Nilai N-SPT yang digunakan dalam perhitungan kapasitas dukung ujung tiang dapat dilihat pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 N-SPT untuk Kapasitas Dukung Ujung Tiang
(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

b. Tahanan Gesek (Q_s)

Nilai tahanan gesek tiang pancang pada tanah nonkohesif dapat dilihat pada Persamaan 3.12 dan 3.13.

$$Q_s = q_s . A_s \quad (3.12)$$

$$Q_s = 0{,}2 . NSPT . A_s \quad (3.13)$$

dengan :

q_s : tahanan gesek satuan. Nilai 0,2 sebagai angka koefisien perlawanan gesek pada tanah lempung kepasiran (Mayerhoff)

N-SPT : nilai rata – rata SPT sepanjang tiang

A_s : luas selimut tiang pancang

c. Kapasitas Ultimit Tiang Tunggal (Qu)

Untuk menentukan nilai kapasitas ultimit tiang tunggal berdasarkan hasil uji SPT dengan menggunakan Persamaan 3.14 dan 3.15.

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \quad (3.14)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (3.15)$$

dengan :

Q_p : tahanan ujung (*end bearing*)

Q_s : tahanan gesek (*friction resistance*)

Q_{ult} : kapasitas dukung ultimit tiang

Q_{all} : kapasitas dukung ultimit tiang yang diizinkan

SF : angka keamanan

3. Kapasitas Ultimit Tiang pada Kondisi Eksisting

Kondisi eksisting tiang yang digunakan merupakan tiang jenis *bored pile*. Perhitungan kapasitas ultimit tiang *bored pile* dilakukan berdasarkan data NSPT

yang didapat dari pengujian *Standart Penetration Test* (SPT) di lapangan. Kapasitas dukung pondasi *bored pile* untuk tanah berbutir kasar dapat menggunakan persamaan di bawah ini.

a. Tahanan Ujung (Q_p)

Nilai tahanan ujung untuk tanah nonkohesif dapat dilihat pada Persamaan 3.16 dan 3.17.

$$Q_p = q_b . A_P \quad (3.16)$$

$$Q_p = 40 . N . \frac{L}{D} . A_P \quad (3.17)$$

dengan :

Q_p : kapasitas dukung ujung tiang

q_b : unit tahanan ujung tiang

N : NSPT rata-rata dari 10D di atas dan 4D di bawah dasar pondasi

D : diameter tiang

A_P : luas penampang dasar tiang pancang

L : kedalaman penetrasi tiang

b. Tahanan Gesek (Q_s)

Nilai tahanan gesek tiang pancang pada tanah nonkohesif dapat dilihat Persamaan 3.18 dan 3.19.

$$Q_s = \Sigma (f_s . p . \Delta L) \quad (3.18)$$

$$Q_s = \Sigma \ (2 . N . p . \Delta L) \quad (3.19)$$

dengan :

Q_s : kapasitas dukung gesek tiang

N : NSPT rata-rata dari 10D di atas dan 4D di bawah dasar pondasi

f_s : unit tahanan gesek

P : keliling tiang

ΔL : panjang unit tiang

c. Kapasitas Ultimit Tiang Tunggal (Qu)

Rumus untuk menentukan nilai kapasitas ultimit tiang tunggal berdasarkan hasil uji SPT dengan menggunakan Persamaan 3.20 dan 3.21.

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \quad (3.20)$$

$$Q_{all} = \frac{Qult}{SF} \quad (3.21)$$

dengan :

Q_p : tahanan ujung (*end bearing*)

Q_s : tahanan gesek (*friction resistance*)

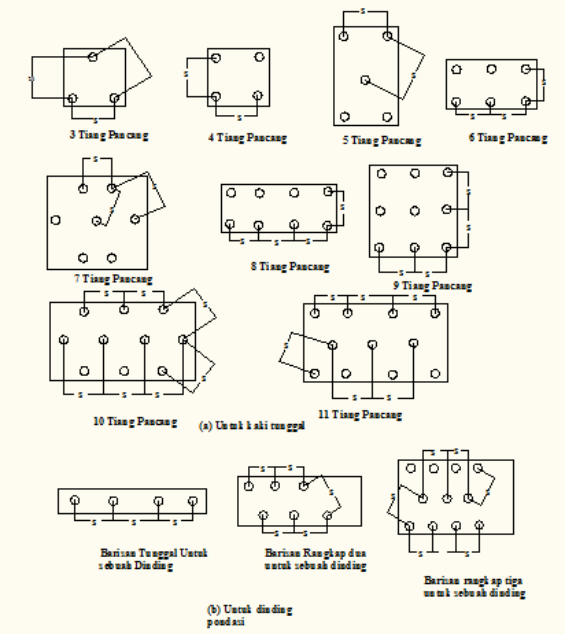
Q_{ult} : kapasitas daya dukung ultimit tiang

Q_{all} : kapasitas daya dukung ultimit tiang yang diizinkan

SF : angka keamanan

3.4.2 Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Pondasi tiang pancang biasanya dipasang secara berkelompok. Hal ini dikarenakan tiang pancang tersebut dipasang berdekatan kemudian diikat dengan menggunakan *pile cap.* Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan kapasitas tiang tunggal yang berada di kelompoknya. Maka diperlukan perhitungan untuk mengetahui kapasitas dukung tiang kelompok. Ada beberapa faktor yang menentukan besar kapasitas kelompok tiang antara lain adalah jumlah tiang dalam kelompok, jarak antar tiang dan efisiensi kelompok tiang. Perletakan tiang dalam kelompok dapat dilihat pada Gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5 Kelompok Tiang
(Sumber : Hardiyatmo,2010)

1. Jumlah tiang

Penentuan jumlah tiang didasari pada beban yang bekerja pada pondasi dan kapasitas dukung ijin tiang. Rumus yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 3.22.

$$n = \frac{P}{Q_{all}} \qquad (3.22)$$

dengan :

P : beban yang bekerja

Q_{all} : kapasitas dukung tiang tunggal yang diizinkan

2. Jarak tiang

Menurut Gultom,2010 berdasarkan Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L jarak antar tiang disyaratkan dengan Persamaan 3.23 dan 3.24.

$S \geq 2{,}5\ D$ (3.23)

$S \leq 3\ D$ (3.24)

dengan :

S : jarak pusat ke pusat tiang

D : diameter tiang

Pada umumnya, jarak antara dua tiang dalam kelompok disyaratkan minimum 0,60 m dan maksimum 2,00 m. Hal ini berdasarkan pertimbangan – pertimbangan berikut ini.

a. $S < 2{,}5\ D$

   Kemungkinan tananh di sekitar kelompok tiang akan naik terlalu berlebihan karena terdesak oleh tiang – tiang yang dipancang terlalu berdekatan atau bisa saja tiang – tiang yang telah dipancang sebelumnya dapat terangkat.

b. $S > 3D$

   Tidak ekonomis, karena akan memperbesar ukuran/dimensi dari *pile cap*.

3. Kapasitas dukung kelompok tiang pada tanah pasir

Kapasitas ultimit kelompok tiang dengan memperhatikan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan Persamaan 3.25.

$$Q_g = n.Q_{all}.Eg \quad (3.25)$$

dengan :

Q_g : beban maksimum kelompok tiang

n : jumlah tiang dalam kelompok

Q_{all} : kapasitas dukung yang diizinkan

E_g : efisiensi kelompok tiang

4. Efisiensi kelompok tiang

Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus *Converse – Labbarre* dari *Uniform Building Code* AASHTO dapat dilihat pada Persamaan 3.26.

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90mn} \quad (3.26)$$

dengan :

E_g : efisiensi kelompok tiang

θ : arc tg (D/s)

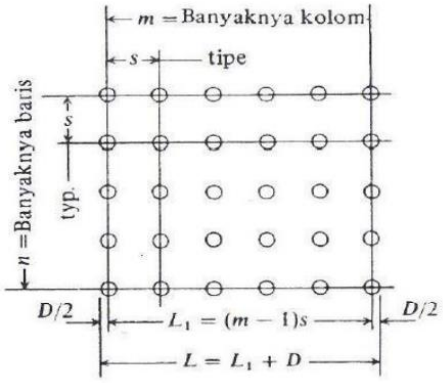
D : ukuran penampang tiang

s : jarak antar tiang (as ke as)

m : jumlah tiang dalam 1 kolom

n : jumlah tiang dalam 1 baris

Susunan baris dan kolom tiang pancang dapat dilihat pada Gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3.6 Susunan Baris dan Kolom Tiang Pancang
(Sumber : Hardiyatmo,2010)

Pada pondasi tiang pancang baik pada tahanan gesek maupun tahanan ujung dengan nilai S ≥ 3D maka dapat diambil nilai efisiensi sebesar 1 (Eg = 1).

3.5 Penurunan Pondasi Tiang Pancang

Pada saat pondasi tiang dibebani, tiang akan mengalami pemendekan dan tanah disekitarnya akan mengalami penurunan (Hardiyatmo,2010). Beberapa sebab terjadinya penurunan akibat pembebanan yang bekerja di atas tanah antara lain :

1. kegagalan atau keruntuhan geser akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah,
2. kerusakan atau terjadinya defleksi yang besar pada pondasi,
3. distorsi geser (*shear distortion*) dari tanah pendukungnya,dan
4. turunnya tanah akibat perubahan angka pori.

Berdasarkan hal – hal tersebut, maka perlu dilakukan pencegahan terhadap penurunan pondasi yang berlebihan dengan melakukan perhitungan penurunan pondasi agar tidak terjadi kegagalan struktur bangunan.

3.5.1 Penurunan Pondasi Tiang Tunggal

Penurunan pondasi tiang tunggal pada tanah pasir dapat dihitung dengan 2 metode yaitu metode empiris dan metode semi-impiris. Perhitungan penurunan pondasi tiang tunggal berdasarkan metode empiris dapat dilihat pada Persamaan 3.27.

$$S = \frac{d}{100} + \frac{q.L}{A_P.E_p} \tag{3.27}$$

dengan :

S : penurunan total di kepala tiang

d : diameter tiang

q : beban yang bekerja

A_P : luas penampang tiang

L : panjang tiang

E_p : modulus elastis tiang

Perhitungan penurunan pondasi tiang tunggal berdasarkan metode semi empiris dapat dilihat pada Persamaan 3.28.

$$S = Ss + Sp + Sps \tag{3.28}$$

dengan :

S : penurunan total pondasi tiang tunggal

S_s : penurunan akibat deformasi axial tiang tunggal

S_P : penurunan dari ujung tiang

S_{PS} : penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang

1. Penurunan akibat deformasi axial tiang tunggal

   Perhitungan penurunan akibat deformasi axial pada tiang tunggal dapat dilihat pada Persamaan 3.29.

$$S_S = \frac{(Qp + \alpha.Qs)L}{A_P \times E_P} \quad (3.29)$$

   dengan :

   Q_P : beban yang didukung ujung tiang

   Q_s : beban yang didukung selimut tiang

   A_P : luas penampang tiang

   L : panjang tiang

   E_P : modulus elastis tiang

   α : koefisien yang bergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang pondasi tiang. *Vesic* (1977) menyarankan harga α = 0,5 untuk distribusi yang seragam sepanjang tiang.

2. Penurunan dari ujung tiang

   Perhitungan penurunan dari ujung tiang pada tiang tunggal dapat dilihat pada Persamaan 3.30.

$$S_P = \frac{C_P \times Q_P}{D \times q_P} \quad (3.30)$$

   dengan :

   C_P : koefisien empiris (lihat tabel 3.2)

   Q_P : perlawanan dukung ujung tiang

   q_P : daya dukung batas ujung tiang

   D : diameter tiang

   Nilai Cp menurut *Vesic* (1977) dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.3 Nilai Koefisien Cp

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir	0,02 – 0,04	0,09 – 0,18
Lempung	0,02 – 0,03	0,03 – 0,06
Lanau	0,03 – 0,05	0,09 – 0,12

(Sumber : Vesic,1977)

3. Penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang

   Perhitungan penurunan akibat beban yang dialihkan pada tiang tunggal dapat dilihat pada Persamaan 3.31.

$$S_P = \left(\frac{Q_{WS}}{p \times L}\right) \frac{D}{E_S} (1 - V_S^2)\, I_{WS} \qquad (3.31)$$

   dengan :

   $\frac{Q_{WS}}{p \times L}$: gesekan rata – rata yang bekerja sepanjang tiang

   p : keliling tiang

   L : panjang tiang

   E_S : modulus elastisitas tanah

   D : diameter tiang

   V_S : *Poisson's ratio* tanah

   I_{WS} : faktor pengaruh

   : $2 + 0{,}35\sqrt{\frac{L}{D}}$

   Nilai *Poisson's ratio* dan modulus elastisitas tanah dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Perkiraan Nilai *Poisson's Ratio*

Macam Tanah	Vs
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir padat	0,2 – 0,4
Pasir kasar	0,15
Pasir halus	0,25

(Sumber : Bowles,1968)

Tabel 3.5 Perkiraan Nilai Modulus Elastisitas Tanah

Macam Tanah	Es (kN/m²)
Lempung	
Sangat lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500
Pasir	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak padat	10000 – 25000
Padat	50000 – 100000
Pasir dan kerikil	
Padat	80000 – 200000
Tidak padat	50000 - 140000
Lanau	2000 – 20000
Loess	15000 – 60000

(Sumber : Bowles,1988)

3.5.2 Penurunan Pondasi Tiang Kelompok

Penurunan pondasi tiang kelompok lebih besar dari penurunan pondasi tiang tunggal. Menurut Vesic (1977) perhitungan penurunan pondasi tiang kelompok dapat dilihat pada Persamaan 3.32.

$$S_g = S\sqrt{\frac{B_g}{D}} \tag{3.32}$$

dengan :

Sg : penurunan pondasi kelompok tiang

S : penurunan pondasi tiang tunggal

B_g : lebar kelompok tiang

D : diameter tiang tunggal

3.5.3 Penurunan yang Diizinkan

Menurut Marbun (2009) penurunan yang diizinkan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor – faktor tersebut antara lain tinggi, jenis, kekakuan ,dan fungsi bangunan serta besar dan kecepatan penurunannya. Apabila penurunan berjalan lambat maka semakin besar kemungkinan suatu struktur untuk menyesuaikan diri terhadap penurunan yang terjadi tanpa adanya kerusakan struktur oleh pengaruh rangkak. Karena penurunan maksimum dapat diprediksi dengan ketepatan yang memadai, umumnya dapat diadakan hubungan antara penurunan diizinkan dengan penurunan maksimum.

Menurut *Reese & Wright* (1997) perbandingan penurunan yang aman adalah $S_{Total} \leq S_{Izin}$ yang dapat dilihat pada Persamaan 3.33 di bawah ini.

$$S_{Izin} = 10\%.D \tag{3.33}$$

dengan :

D : diameter tiang (m)

Penurunan izin pada kelompok tiang dapat dilihat pada Persamaan 3.34 berikut ini.

$$S_{Izin} = \frac{L}{250} \quad (3.34)$$

dengan :

L : kedalaman tiang (m)

3.6 SAP2000

SAP (*Structural Analysis Programs*) merupakah salah satu program komputer yang digunakan untuk analisis gaya – gaya yang bekerja dalam suatu struktur konstruksi. Program ini merupakan hasil dari penelitian dan pengembangan oleh tim dari *University of California* selama lebih dari 25 tahun. Program ini membantu dalam menganalisis dan merancang struktur dengan tingkat kesulitan yang tinggi. Pada versi *SAP2000* sistem yang digunakan sudah berbasis grafis sehingga proses pembuatan model, pemeriksaan dan penampilan hasil dapat dilakukan secara interaktif.

Program *SAP2000* dapat digunakan untuk analisis dan desain struktur dengan menggunakan konsep metode elemen hingga yang didukung dengan analisis statis, dinamis, linear maupun nonlinear. Fasilitas desain yang disediakan untuk struktur beton dan baja dengan menggunakan peraturan perencanaan dari Amerika, Eropa dan negara lainnya.

Ada banyak tipe struktur yang dapat dianalisis dengan menggunakan program ini antara lain : struktur rangka beton bertulang, struktur rangka baja, dan struktur jembatan. Tipe struktur ini dapat didesain dengan dua dimensi maupun tiga dimensi. *Output* yang dihasilkan dari program ini yaitu dapat mengetahui gaya geser, momen lentur, momen torsi dan simpangan.

Tahap awal yang dilakukan dalam pengoperasian program *SAP2000* adalah pemodelan struktur yang mewakili perilaku struktur yang akan dianalisis. Langkah – langkah input data pada program aplikasi *SAP2000* adalah sebagai berikut (Hidayat,2018).

1. Pengidentifikasian *joint, frame, restraint, dan constrait*.
2. Pendefinisian karakteristik material dan *frame section.*
3. Pendefisinian beban (*load*), yaitu beban mati (*dead)*, beban hidup (*live*), dan beban kombinasi (*combo*).
4. Pemberian beban terhadap struktur, meliputi beban mati (qd), beban hidup (ql) dan beban gempa (gaya lateral ekuivalen).
5. Analisis dengan *run analysis*.

Hasil dari program tersebut akan diperoleh gaya – gaya dalam akibat beban kombinasi yang kemudian akan digunakan dalam analisis kapasitas dukung pondasi tiang pancang.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah suatu cara memecahkan masalah ataupun cara mengembangkan ilmu pengetahuan dengan menggunakan metode ilmiah. Secara lebih luas lagi dijelaskan bahwa metode penelitian adalah cara – cara ilmiah untuk mendapatkan data yang valid, dengan tujuan dapat ditemukan, dikembangkan dan dibuktikan, suatu pengetahuan tertentu sehingga pada gilirannya dapat digunakan untuk memahami, memecahkan, dan mengantisipasi masalah.

4.2 Studi Pustaka

Studi pustaka adalah segala usaha yang dilakukan oleh peneliti untuk menghimpun informasi yang relevan dengan topik atau masalah yang akan atau sedang diteliti. Informasi tersebut dapat diperoleh dari buku – buku ilmiah, laporan penelitian, karangan – karangan ilmiah, tesis dan disertasi, peraturan – peraturan, ketetapan – ketetapan, ensiklopedia dan sumber – sumber tertulis baik tercetak maupun elektronik. Peneliti dapat memanfaatkan semua informasi tersebut yang relevan dengan penelitiannya.

4.3 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, data yang akan digunakan diperoleh dari proyek pembangunan gedung *Dental Learning Center (DLC)* Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada. Adapun data yang dipakai sebagai sarana untuk mencapai maksud dan tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. gambar teknis gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada,

2. data beban pada gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi Universitasa Gadjah Mada,dan
3. data hasil penyelidikan tanah di Laboratorium dan data hasil pengujian SPT.

4.4 Analisis Pembebanan

Analisis pembebanan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar beban yang akan diterima oleh pondasi. Penulis akan melakukan analisis pembebanan dengan menggunakan program aplikasi *SAP2000*. Program tersebut akan menghasilkan data – data berupa gaya – gaya yang bekerja pada kolom, meliputi gaya aksial, geser, dan momen yang akan digunakan untuk analisis selanjutnya.

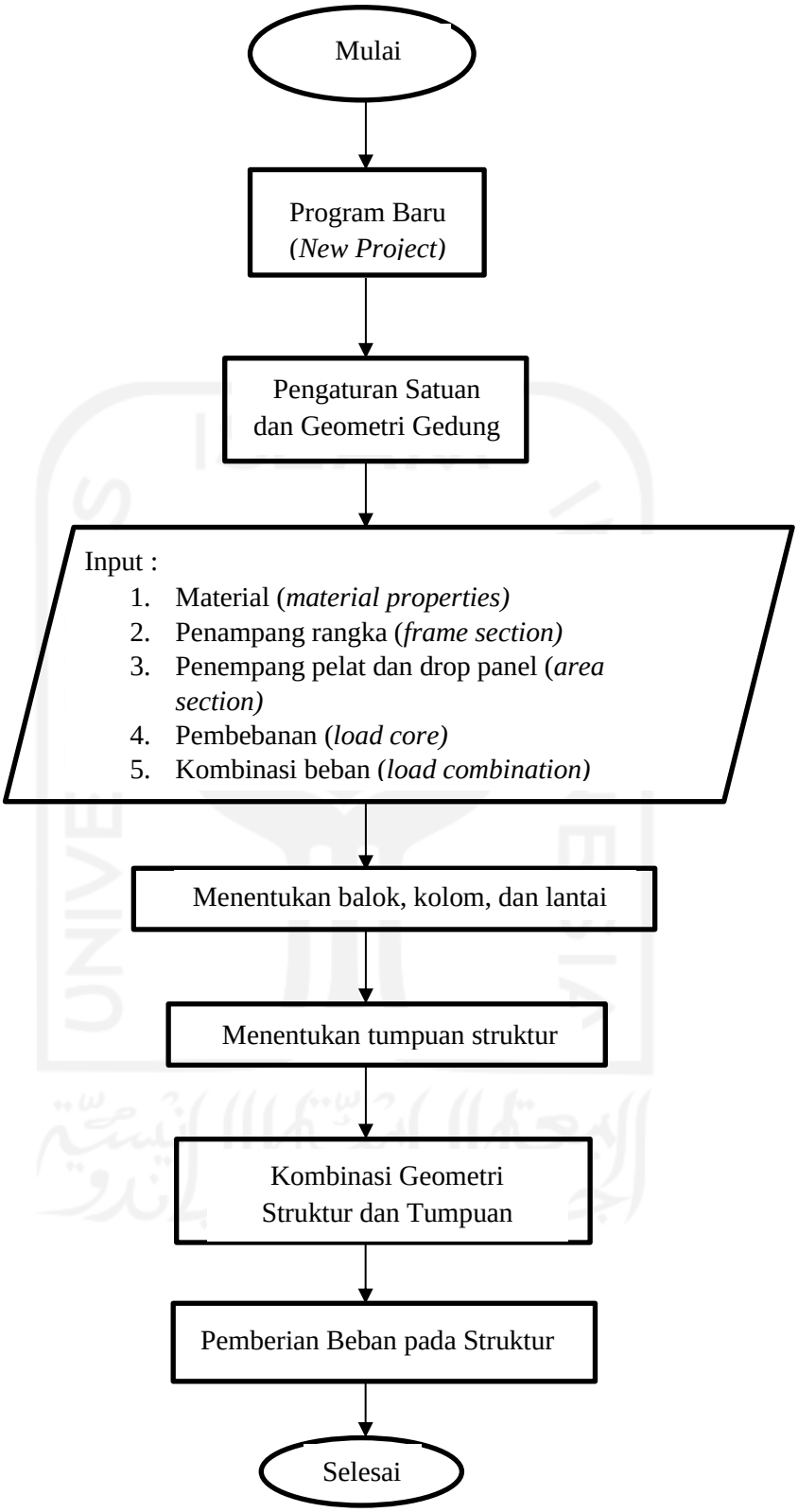
4.5 Analisis Pondasi Tiang Pancang

Hasil dari program aplikasi *SAP2000* digunakan untuk analisis pondasi tiang pancang yang meliputi :

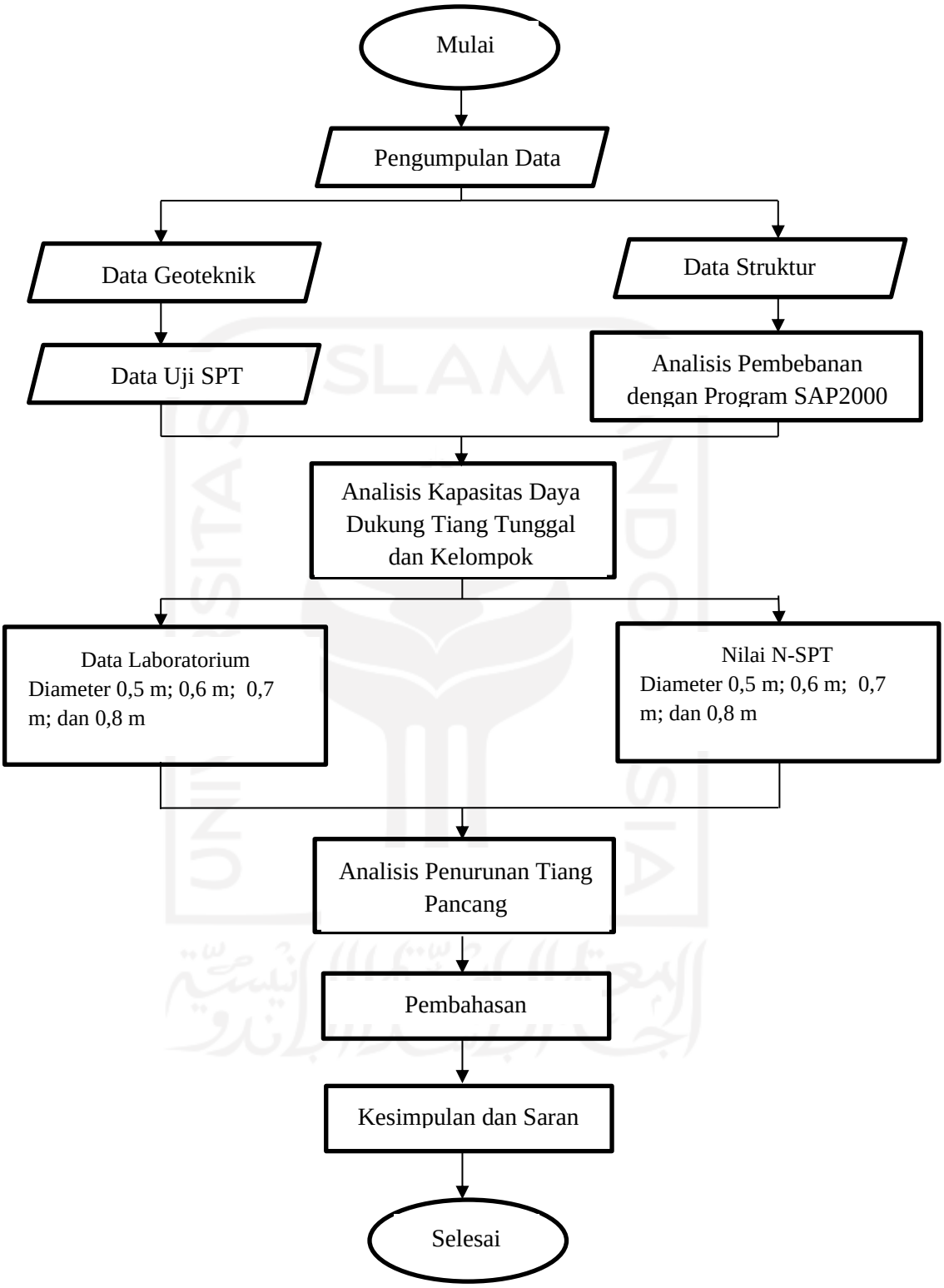
1. analisis kapasitas dukung tiang tunggal,
2. analisis kapasitas dukung tiang kelompok,dan
3. penurunan pondasi tiang pancang.

4.6 Bagan Alir

Bagan alir adalah sebuah diagram yang dapat memberi solusi selangkah demi selangkah untuk penyelesaian masalah yang ada di dalam proses penelitian. Bagan alir analisis struktur dengan program *SAP2000* dan metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.1 Bagan Alir Analisis Struktur dengan Program *SAP2000*

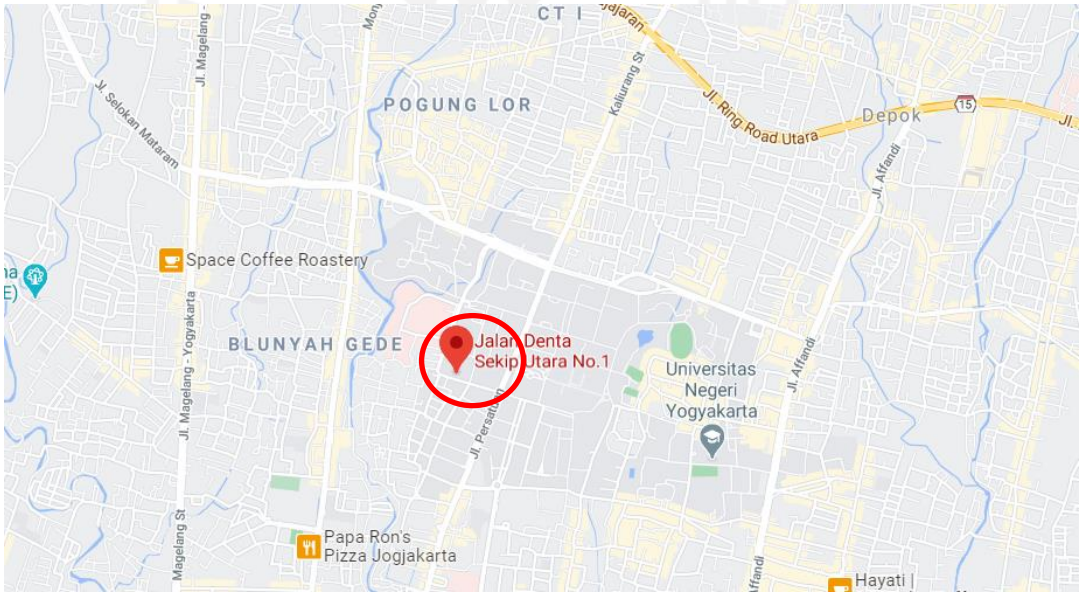


Gambar 4.2 Bagan Alir Metode Penelitian Tugas Akhir

BAB V
ANALISIS PONDASI TIANG PANCANG

5.1 Data Gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada

Gedung *Dental Learning Center (DLC)* Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada merupakan salah satu dari empat gedung yang dibangun guna menambah sarana dan prasarana dalam proses perkuliahan mahasiswa Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada. Gedung ini kedepannya akan digunakan untuk mempermudah mahasiswa dalam melaksanakan praktik dan pengembangan ilmu pengetahuan. Gedung *DLC* ini memiliki 6 lantai dengan struktur beton bertulang. Gedung ini terletak di Jalan Denta 1, Sekip Utara, Senolowo, Sinduadi, Kecamaatan Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi proyek dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Lokasi Proyek Gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi UGM
(Sumber : *Google Maps*)

5.1.1 Data Umum Proyek

Data proyek pembangunan gedung *Dental Learning Center (DLC)* Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada adalah sebagai berikut :

1.	Nama Proyek	: Paket 4 Pembangunan *APSLC, DLC, TILC,* dan *FRC* Universitas Gadjah Mada
2.	Pemilik Proyek	: Universitas Gadjah Mada
3.	Kontraktor	: PT Pembangunan Perumahan (Persero) Tbk
4.	Perencana	: PT Bina Enarcon Engineeering
5.	Konsultan pengawas	: PT Bina Enarcon Engineeering
6.	Lokasi proyek	: Jalan Denta 1, Sekip Utara, Senolowo, Sinduadi, Kecamaatan Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta
7.	Konstruksi bagian atas	: beton bertulang
8.	Konstruksi bagian bawah	: *bored pile*
9.	Biaya proyek	: Rp 236.214.335.000,00
10.	Rencana waktu penyelesaian	: 390 hari (20 November 2019 s.d. 16 Desember 2020)

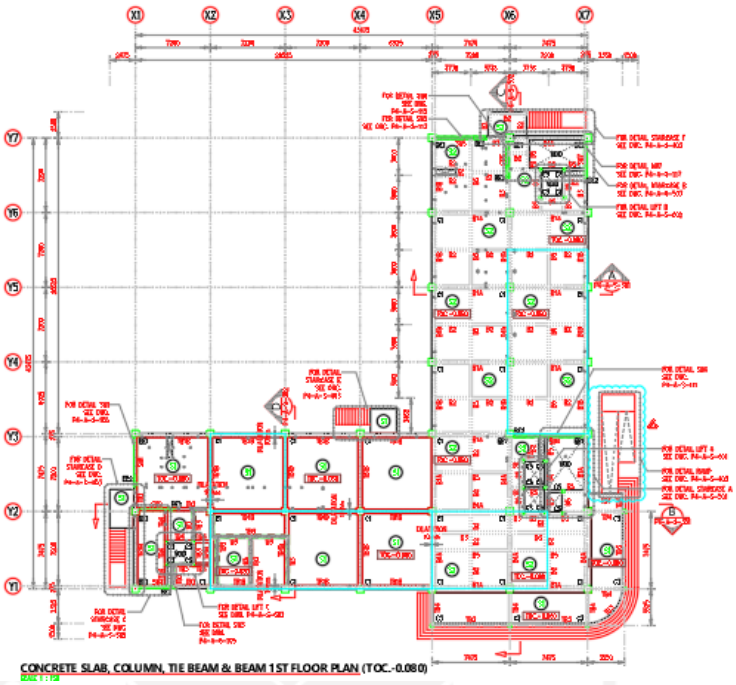
5.1.2 Spesifikasi Material

Material yang digunakan pada pembangunan gedung *Dental Learning Center (DLC)* Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada adalah sebagai berikut :

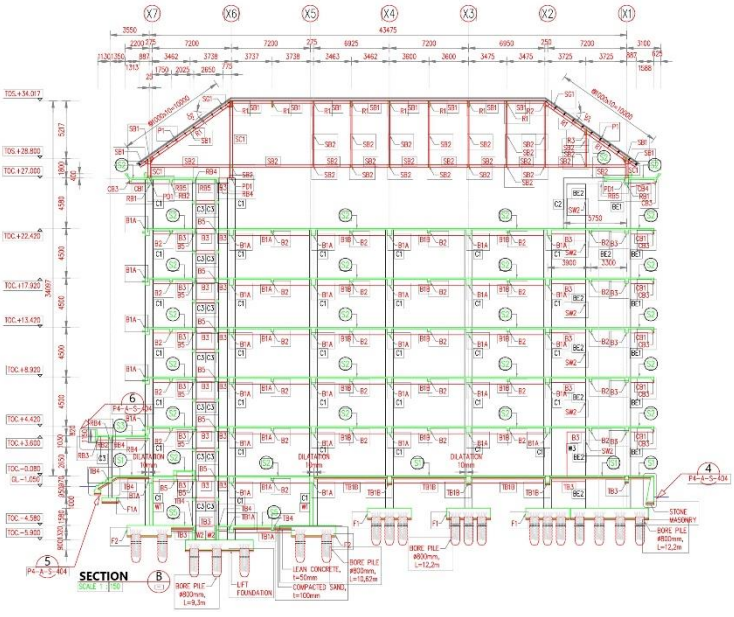
1. beton dengan mutu *fc'* sebesar 30 Mpa, dan
2. baja dengan mutu *fy* sebesar 240 Mpa dan *fu* sebesar 400 Mpa.

5.1.3 Denah Konstruksi

Denah gedung *Dental Learning Center (DLC)* Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada dapat dilihat pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.2 Denah Lantai 1
(Sumber : PT PP Tbk,2020)



Gambar 5.3 Denah *Section B*
(Sumber : PT PP Tbk,2020)

5.1.4 Data Struktur

Struktur utama gedung ini terdiri dari struktur atas dan struktur bawah. Struktur atas gedung berupa struktur beton bertulang sedangkan struktur bawah berupa pondasi *bored pile.* Penulis akan mendesain struktur bawah bangunan tersebut dengan pondasi tiang pancang yang kemudian dihitung kapasitas dukungnya pada pondasi tersebut.

Struktur atas (*upper structure)* adalah seluruh bagian struktur yang berada di atas permukaan tanah. Struktur atas pada bangunan gedung ini antara lain adalah kolom, balok, pelat, dan atap.

1. Kolom

   Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil (SK SNI T-15-1991-03). Kolom berfungsi meneruskan beban seluruh bangunan ke fondasi. Proyek pembangunan gedung *DLC* ini direncanakan menggunakan kolom beton bertulang berbentuk persegi dengan mutu beton *f'c* sebesar 30 Mpa.

2. Balok

   Balok adalah komponen struktur yang berfungsi penumpu lantai dan pengikat lantai atas. Balok juga berfungsi untuk mentransfer beban menuju elemen kolom – kolom penopang. Proyek pembangunan gedung *DLC* ini akan menggunakan balok dengan mutu beton *f'c* sebesar 30 Mpa.

3. Pelat

   Pelat adalah bagian dari struktur atas bangunan yang memiliki fungsi sebagai pendukung beban vertikal yang sisi – sisinya didukung oleh balok.

5.2 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur yang akan dibahas adalah struktur bagian atas yang meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Beban – beban tersebut kemudian akan dianalisis dengan menggunakan program *SAP2000.*

5.2.1 Peraturan Pembebanan

Peraturan pembebanan yang digunakan penulis dalam perhitungan pembebanan struktur adalah sebagai berikut :

1. SNI 03-2847-2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung,
2. SNI 03-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung, dan
3. SKBI 1.3.53.1987 tentang Pedoman Perencanaan Pembedaan untuk Rumah dan Gedung.

5.2.2 Kombinasi Pembebanan

Suatu struktur dapat dikatakan aman secara konstruksi jika memenuhi spesifikasi dari peraturan yang berlaku. Struktur bangunan tersebut harus mampu menahan beban- beban yang bekerja pada bangunan tersebut. Menurut SNI 1727:2013 beban struktural terdiri dari beban hidup, beban mati dan beban gempa. Kombinasi pembebanan yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L
3. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 1,3 Rsx + 0,39 Rsy
4. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 1,3 Rsx - 0,39 Rsy
5. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 1,3 Rsx + 0,39 Rsy
6. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 1,3 Rsx - 0,39 Rsy

7. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,39 Rsx + 1,3 Rsy
8. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,39 Rsx - 1,3 Rsy
9. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,39 Rsx + 1,3 Rsy
10. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,39 Rsx - 1,3 Rsy
11. (0,9 – 0,2 S_{DS}) D + 1,3 Rsx + 0,39 Rsy
12. (0,9 – 0,2 S_{DS}) D + 1,3 Rsx - 0,39 Rsy
13. (0,9 – 0,2 S_{DS}) D - 1,3 Rsx + 0,39 Rsy
14. (0,9 – 0,2 S_{DS}) D - 1,3 Rsx - 0,39 Rsy
15. (0,9 – 0,2 S_{DS}) D + 0,39 Rsx + 1,3 Rsy
16. (0,9 – 0,2 S_{DS}) D + 0,39 Rsx - 1,3 Rsy
17. (0,9 – 0,2 S_{DS}) D - 0,39 Rsx + 1,3 Rsy
18. (0,9 – 0,2 S_{DS}) D - 0,39 Rsx - 1,3 Rsy

dengan :

D = Beban mati
L = Beban hidup
Rsx = Beban gempa dinamik arah x
Rsy = Beban gempa dinamik arah y
S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek

5.2.3 Pembebanan

Pembebanan gedung harus memperhitungkan beban mati, beban hidup, dan beban gempa agar bangunan dapat dikatakan aman dan stabil. Berikut adalah pembebanan yang digunakan dalam proyek pembangunan gedung *DLC* UGM.

1. Beban Mati

   Berdasarkan SNI 1727 : 2013 beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, *kladding* gedung dan komponen

arsitektural dan struktur lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

a. Lantai

Analisis beban mati pada struktur lantai dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini

Tabel 5.1 Analisis Beban Mati pada Lantai

NO	MATERIAL	DIMENSI	BERAT VOLUME	BEBAN	Ket
		m	kg/m^3	kg/m^2	
1	Plat Sendiri	0.12	2400	288.00	
2	Spesi	0.03	1700	51.00	
3	Pasir	0.03	1600	48.00	
4	Keramik			10.42	
5	Plafond			9.27	
6	Mechanical/Electrical			12.00	
7	Partisi			73.40	
Qd Lantai				204.08	kg/m^2
				0.20	T/m^2
				2.002	Kn/m^2

b. Atap

Analisis beban mati pada struktur atap dapat dilihat pada Tabel 5.2 di bawah ini

Tabel 5.2 Analisis Beban Mati pada Atap

NO	MATERIAL	DIMENSI	BERAT VOLUME	BEBAN	
		m	kg/m^3	kg/m^2	
1	Beton Bertulang	0.10	2400	240.00	
2	Spesi	0.03	1700	51.00	
4	Water proofing			3.00	

Lanjutan Tabel 5.2 Analisis Beban Mati pada Atap

Qd Atap	54	kg/m^2
	0.05	T/m^2
	0.53	Kn/m^2

2. Beban Hidup

   Beban hidup yang digunakan berdasarkan SNI 03-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung disesuaikan dengan fungsi gedung dan ruangan. Gedung *DLC* termasuk pada gedung pendidikan, sehingga nilai beban hidup (QL) sebesar 2,46 kN/m² untuk lantai dan 0,981 kN/m² untuk atap sedangkan untuk koridor digunakan QL sebesar 4,79 kN/m².

3. Beban Gempa

   Pembangunan gedung *DLC* Universitas Gadjah Mada terletak di provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang difungsikan sebagai gedung pendidikan dan memiliki tipe tanah sedang.

   a. Perioda Struktur Bangunan (T)

      Perioda struktur bangunan menentukan besar beban gempa yang akan diaplikasikan pada perancangan gedung. Berdasarkan SNI 03-1726-2012 perioda struktur bangunan ditentukan sebagai berikut.

      1) Perioda pendekatan (Ta)

         Perioda ini dihitung berdasarkan tipe struktur yang digunakan. Gedung DLC Universitas Gadjah Mada termasuk tipe struktur rangka beton pemikul momen dengan tinggi bangunan sebesar 31,5 m. Nilai koefisian pendekatan Ct dan x dapat dilihat pada Tabel sehingga persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$Ta = 0{,}0466\ x\ H^{0,9}$$
$$= 0{,}0466\ x\ 31{,}5^{0,9}$$
$$= 1{,}0396\ detik$$

2) Perioda *Computed (Tc)*

Perioda ini didapatkan dari aplikasi *SAP2000* yang menghasilkan nilai *Tc* sebesar 0,40818 detik.

3) Perioda (T)

Perioda fundamental didapatkan dengan menggunakan pendekatan koefisien batas atas sesuai pada Tabel 3.2 di SNI 03-1726-2012. Sehingga didapatkan nilai batas atas (*Cu)* sebesar 1,4. Maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$T = Cu\ x\ Ta$$
$$= 1.4\ x\ 1{,}0396$$
$$= 1{,}455\ detik$$

Dengan persyaratan sebagai berikut :

jika $Tc > Cu\ Ta$ maka $T = Cu\ Ta$

jika $Ta < Tc < Cu\ Ta$ maka $T = Tc$, dan

jika $Tc < Ta$ maka $T = Ta$

karena hasil $Tc < Ta$ maka T yang digunakan adalah Ta sebesar 1,3096 detik.

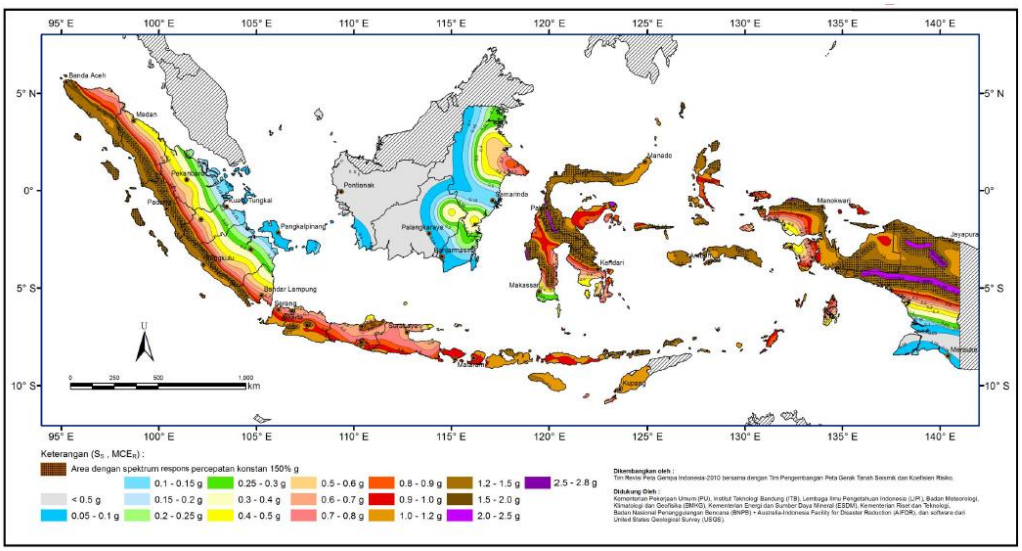
b. Faktor Keutamaan (I) dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung bagian 4.1.2, kategori resiko bangunan untuk gedung pendidikan termasuk pada kategori resiko IV dengan faktor keutamaan gempa (I) sebesar 1,5.

c. Nilai Respon Spektrum Gempa

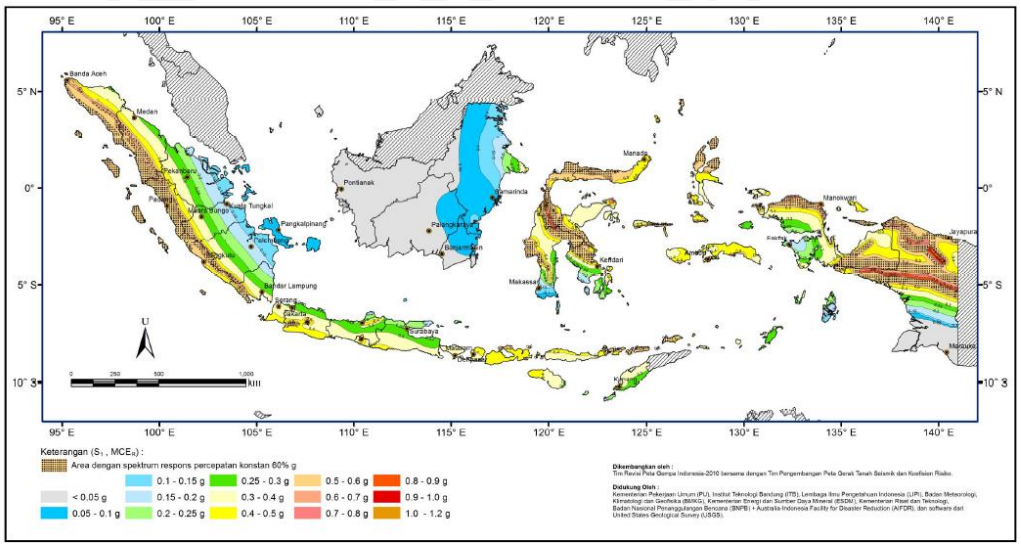
Berdasarkan SNI 03-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung, nilai respon spektrum gempa dapat diketahui dengan mencari parameter percepatan terpetakan. Parameter ini terdiri dari percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan percepatan

batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1) yang dapat dilihat pada Gambar 5. Dan Gambar 5.4 di bawah ini.



Gambar 5.4 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar pada Perioda Pendek (Ss)

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional SNI, 1726-2012)



Gambar 5.5 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar pada Perioda Pendek (S_1)

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional SNI, 1726-2012)

Data Fa, Fv, Ss, dan S1 dapat dilihat pada SNI 03-1726-2012 dalam pasal – pasal berikut ini.

1. Koefisien situs untuk perioda pendek pada perioda 0,2 detik (Fa) dapat dilihat pada pasal 6.2,
2. Koefisien situs untuk perioda panjang (Fv) dapat dilihat pada pasal 6.2,
3. Parameter percepatan respon sprectal MCE dari peta gempa pada perioda pendek redaman 5 persen (Ss) dapat dilihat pada pasal 6.1.1, dan
4. Parameter percepatan respon spectral MCE dari peta gempa pada perioda 1 detik, redaman 5 persen (S_1) dapat dilihat pada pasal 6.1.1.

Berdasarkan uraian dari pasal – pasal di atas diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 hingga Tabel 5.4 dan kurva respon spekturm dapat dilihat pada Gambar 5.6

Tabel 5.3 Respon Spektrum Percepatan Periode Pendek

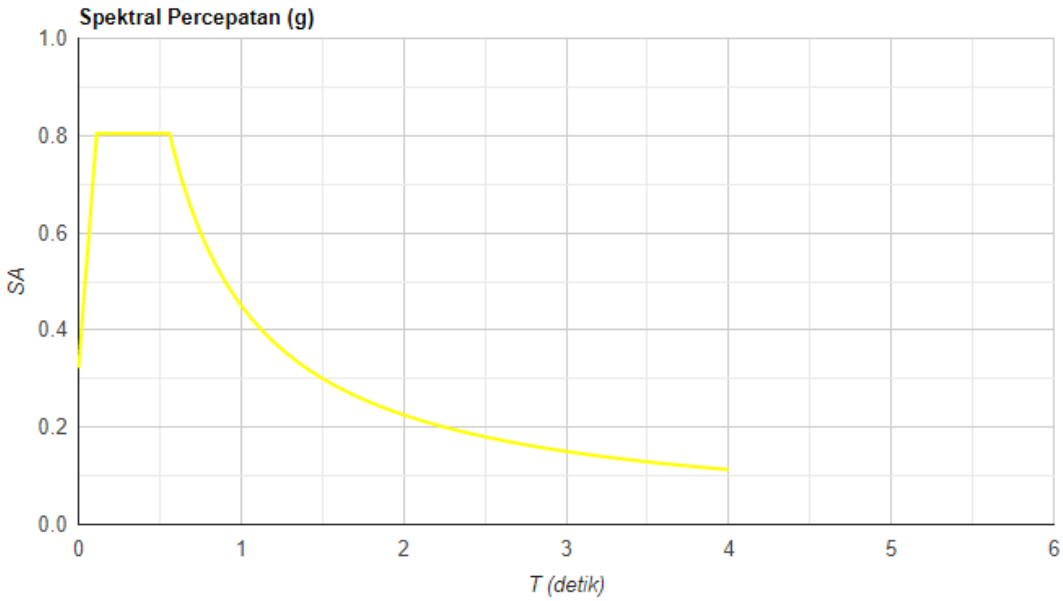
Respon Spectrum Percepatan Periode Pendek	
Ss	1.168
Fa	1.033
S_{MS}	1.206
S_1	0.431
F_v	1.569
S_{M1}	0.677

Tabel 5.4 Parameter Percepatan Spektrum Desain

Parameter Percepatan Spectrum Desain	
S_{DS}	0.804
S_{D1}	0.451

Tabel 5.5 Faktor Koreksi Kerentanan

Faktor Koreksi Kerentanan	
C_{RS}	0.933
C_{R1}	0.9
S_{Dsr}	0.74
S_{D1r}	0.354



Gambar 5.6 Grafik Respon Spektrum
(Sumber : Desain Spektra Indonesia,2020)

d. Beban Geser Nominal (V)

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung, beban geser nominal adalah sebagai berikut.

$V = Cs \times Wt$

$V = 0{,}0353 \times 29472{,}839\ Ton$

$V = 1040{,}391\ Ton$

e. Cek Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen

Nilai beban gempa dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu harus memenuhi syarat yang sudah ditetapkan. Nilai gaya geser gempa dinamik tidak boleh diambil kurang dari 85% dari nilai gempa statik. Jika nilai gempa dinamik lebih kecil dari 85% nilai gempa statik maka harus dikalikan dengan faktor skala yang dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$Faktor\ Skala = \frac{0{,}85\ \times Vs}{Vd} \geq 1$$

Pengecekan gaya geser pada analisis pembebanan gedung dapat dilihat pada Tabel 5.6 di bawah ini.

Tabel 5.6 Pengecekan Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen

	VRSx	VRSy
Dinamik (kN)	10413,252	10469,069
Simbol	>	>
Statik (kN) (0,85.Vs)	4888,177	4888,17
Keterangan (Vd > 0,85.Vs)	OKE	OKE

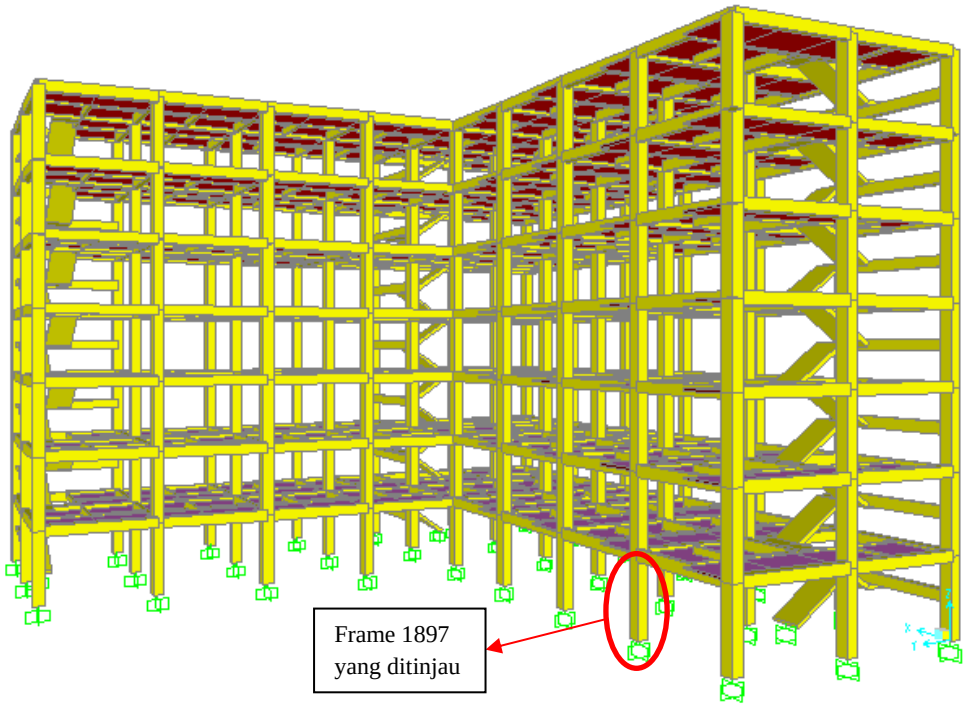
5.3 *INPUT* dan *OUTPUT* Program *SAP2000*

Analisis perhitungan pada gedung bertingkat secara 3 dimensi yang dilakukan menggunakan program *SAP2000* terlebih dahulu harus menghitung beban tetap dan beban gempa pada bangunan tersebut. Tahapan *input* data pada program *SAP2000* adalah sebagai berikut :

1. pengidentifikasian *joint, frame, restraint,* dan *constraint,*
2. pengidentifikasian karakteristik material dan *frame section,*

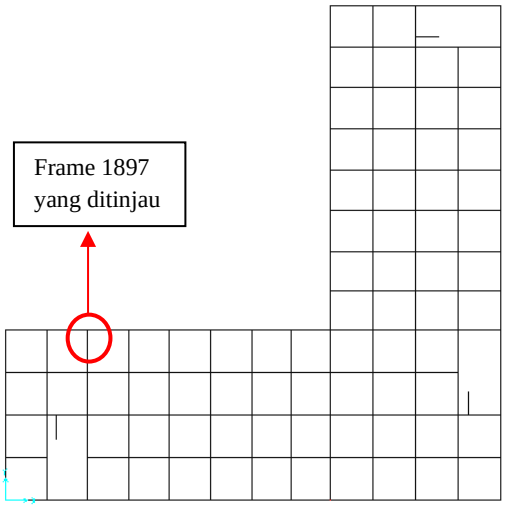
3. pengidentifikasian beban (*load)* yaitu berupa beban mati (*Wd*), beban hidup (*Wl)*, dan beban gempa (*E*) serta kombinasi beban (*combo),*
4. menjalankan program analisis (*running analysis).*

Permodelan struktur bangunan gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi UGM secara 3 dimensi dapat dilihat pada Gambar 5.7 Dan Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.7 Permodelan *SAP2000* 3 Dimensi

(Sumber : Program *SAP2000*)



Gambar 5.8 Tampak Atas Permodelan *SAP2000*

(Sumber : Program *SAP2000*)

Analisis struktur di atas dilakukan dengan program *SAP2000* dengan asumsi perletakan *joint* jepit – jepit, hal ini dilakukan agar tidak terjadi pergeseran pada struktur. Beban mati terdiri dari berat tiap plat lantai dari lantai 1 – 7 (atap). Beban mati untuk lantai 1 – 6 adalah sebesar 2,002 kN/m² dan untuk lantai 7 atau atap yaitu sebesar 0,53 kN/m². Beban hidup ruangan untuk lantai 1 – 6 sebesar 2,46 kN/m² sedangkan untuk koridor dan jalan keluar sebesar 4,79 kN/m² dan untuk lantai 7 (atap) sebesar 0,981 kN/m².

Beban gempa pada bangunan dihitung berdasarkan ketinggian dari masing – masing lantai. Beban tersebut dimasukkan pada setiap portal di masing – masing lantai. Input beban gempa dilakukan secara dua arah, yaitu arah horizontal (sumbu x) dan arah vertikal (sumbu y). Tinggi lantai mempengaruhi besarnya beban gempa. Semakin tinggi lantai maka beban gempa pada setiap portalnya baik arah horizontal maupun vertikal akan semakin besar.

Hasil *output* dari program *SAP2000* diperoleh gaya – gaya dalam akibat kombinasi beban pada *frame* 1897 yaitu :

beban aksial (P) = 502,276 Ton

gaya geser (H) = 5,808 Ton

momen arah x (Mx) = 2,264 Ton

momen arah y (My) = 23,698 Ton.

Gaya – gaya maksimum pada kolom dasar yang digunakan sebagai beban rencana pada analisis tiang pancang. Hasil – hasil (*output*) dari perhitungan program *SAP2000* dapat dilihat pada Lampiran 2.

5.4 Data Karakteristik Tanah

Pada pengamatan yang dilakukan pada lokasi Proyek Pembangunan Gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi UGM didapatkan bahwa secara geologis daerah tersebut merupakan daerah dengan jenis tanah pasir. Penyelidikan tanah dilakukan dengan melakukan pemboran dan pengujian sample tanah di laboratorium. Selain itu dilakukan juga pengujian dengan metode *Standart Penetration Test (SPT).* Pengujian tersebut dilakukan pada titik bor BH – 06. Resume hasil pemboran pada titik bor BH-06 dapat dilihat pada Tabel 5.7 di bawah ini.

Tabel 5.7 *Resume* Hasil Pemboran di Titik Bor BH-06

Bore Hole	Kedalaman (m)	Litologi
BH - 06	0,00 – 0,70	**Pasir lanauan;** merah, pasir halus, pelapukan tinggi, padat sedang (*medium dense*)
	0,70 – 10,00	**Pasir;** abu – abu gelap, pelapukan sedang, butiran *rounded – subrounded,* ukuran butiran halus-sedang, padat sedang (*medium dense*) – sangat padat (*very dense*)

Lanjutan Tabel 5.7 *Resume* Hasil Pemboran di Titik Bor BH-06

	10,00 – 30,00	**Pasir;** abu – abu gelap, pelapukan sedang, butiran *rounded – subrounded*, ukuran butiran halus-sedang, sangat padat (*very dense*)

(Sumber : PT PP Tbk,2020)

Hasil pengujian tanah pada titik BH – 06 di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Hasil Penyelidikan Laboratorium di Titik Bor BH – 06

Kedalaman	ɣd	ɣ	Wn	φ	Angka pori	Porositas	Kohesi
m	g/cm³	g/cm³	%		e	%	kg/cm²
6,5 – 7,00	1,957	2,21	12,77	37,05	0,26	20,44	0,00
14,5 – 15,00	1,298	1,64	26,44	33.92	1,14	53,23	0,05

(Sumber : PT PP Tbk,2020)

Hasil pengujian SPT di lapangan pada titik bor BH-06 dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Data Hasil Pengujian *Standart Penetration Test* (SPT)

Kedalaman (m)	N – SPT
2,0 – 2,5	26
4,0 – 4,5	41
6,0 – 6,5	49
8,0 – 8,5	>60
10 – 10,5	49
12 – 12,5	>60
14 – 14,5	>60

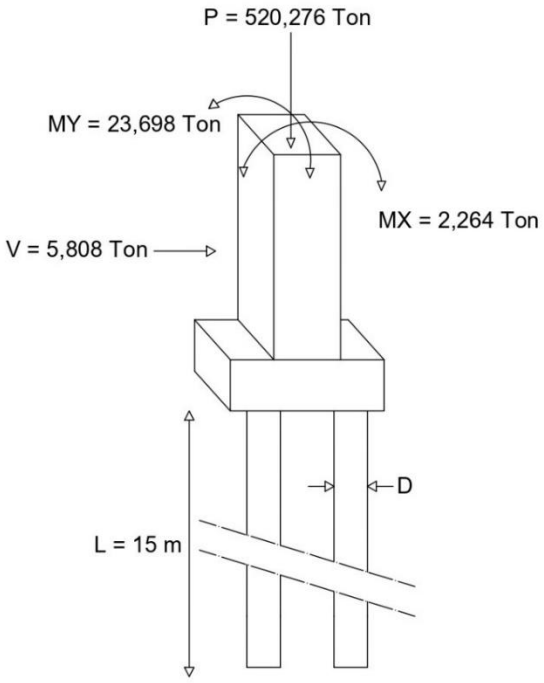
Lanjutan Tabel 5.9 Data Hasil Pengujian *Standart Penetration Test* (SPT)

16 – 16,5	>60
18 – 18,5	>60
20 – 20,5	>60
22 – 22,5	>60
24 – 24,5	>60
26 – 26,5	>60
28 – 28,5	>60
30 – 30,5	>60

(Sumber : PT PP Tbk,2020)

5.5 Desain Pondasi Tiang Pancang

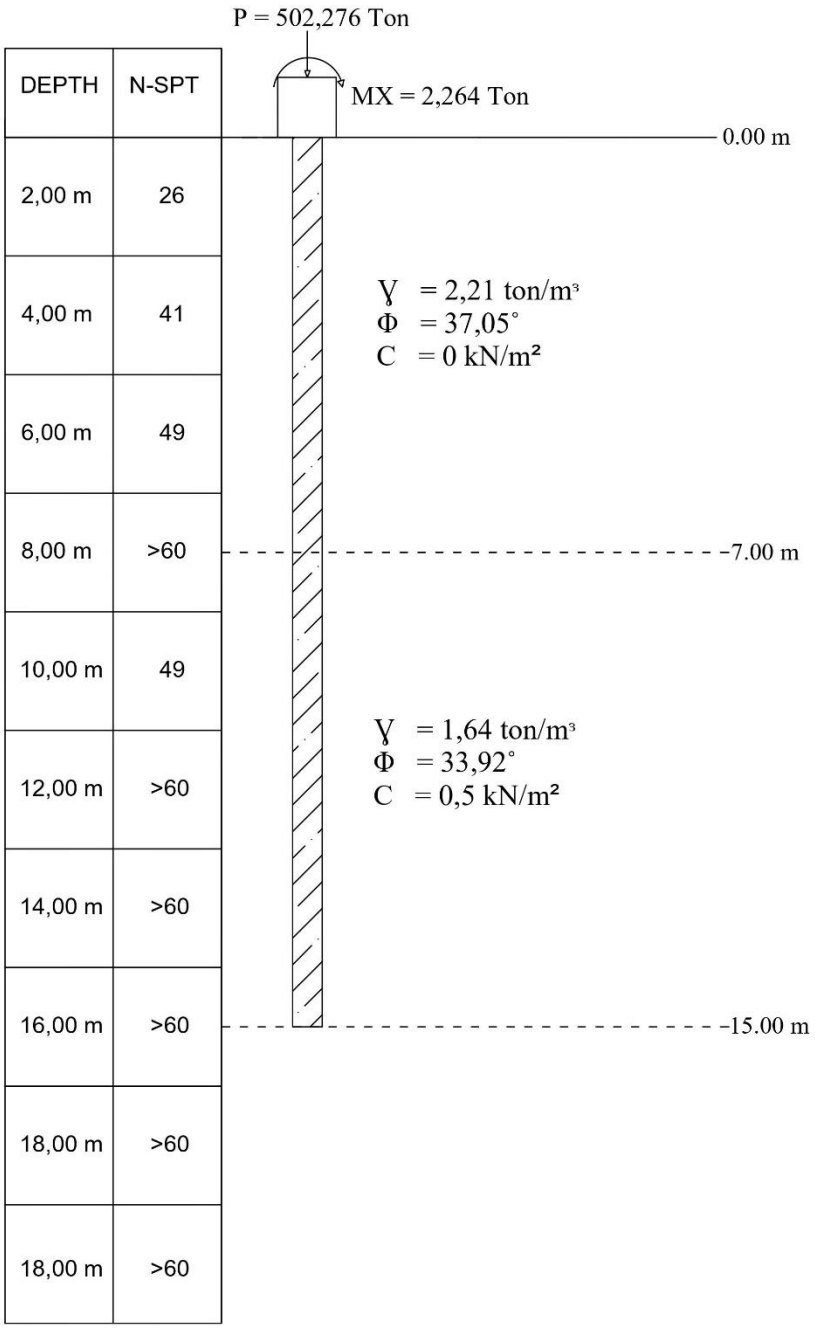
Analisis pondasi tiang pancang menggunakan beban aksial, geser, momen x dan momen y dalam perencanaannya. Hasil masing – masing beban sebesar 502,276 Ton, 5,808 Ton, 2,264 Ton, dan 23,698 Ton. Beban tersebut berada pada *frame* 1897 yang memiliki beban aksial terbesar. Sketsa desain pondasi tiang pancang dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Sketsa Desain Pondasi Tiang Pancang

5.5.1 Kapasitas Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data Laboratorium

Pada metode perhitungan ini, susunan lapisan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.10 dan dihitung dengan cara sebagai berikut.



Gambar 5.10 Sketsa Susunan Lapisan Tanah

1. Tiang Pancang Diameter 0,5 m
   a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

Nq = 130 (dilihat pada Gambar 3.3)

q = Σ (h × ɣ)

= (7 × 2,21) + (8 × 1,64)

= 28,59 ton/m²

qp = q × Nq ≤ 50 × Nq × tanφ

= 28,59 × 130 ≤ 5 × 130 × tan(33,92)

= 3716,7 ≥ 437,111 ton/m²

qp = 437,111 ton/m²

Qp = Ap × qp

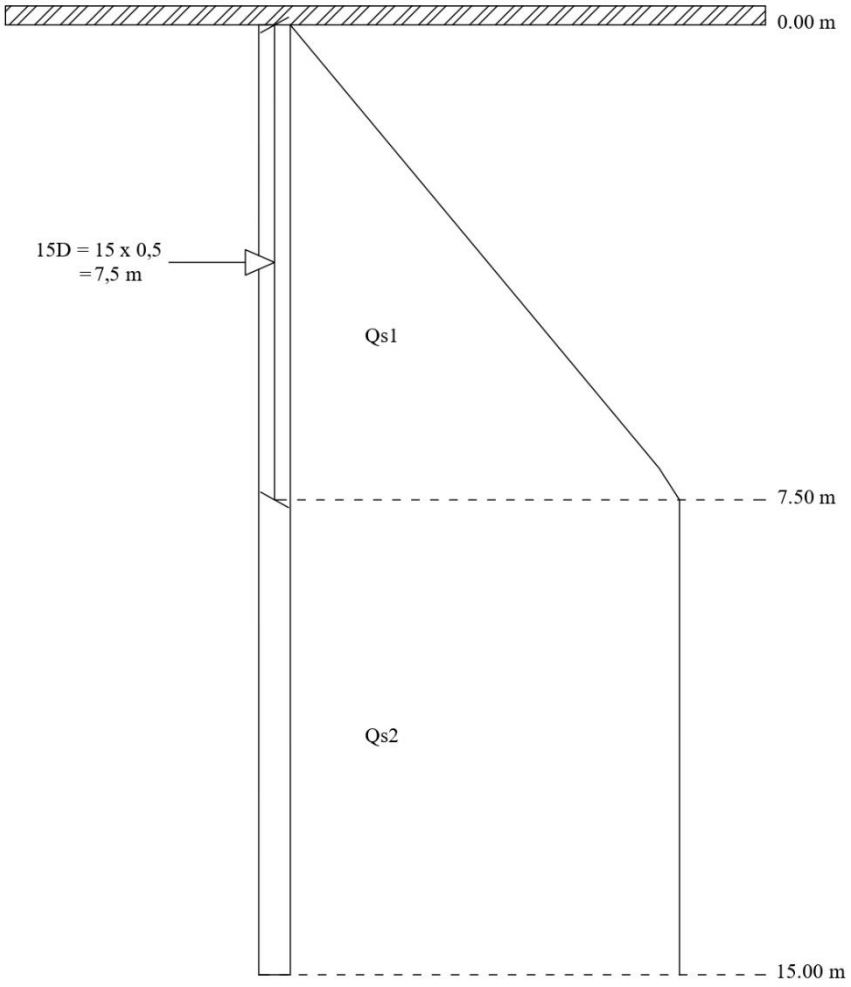
= $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times$ 437,111

= $\frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}5^2 \times$ 437,111

= 85,826 Ton

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

Perhitungan daya dukung selimut tiang dihitung sesuai lapisan tanah sampai pada kedalaman 15 m. Nilai tegangan vertikal juga harus dihitung hingga pada kedalaman 15D. Pembagian lapisan tanah sesuai dengan tegangan vertikal (σ) dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Tegangan Vertikal pada Tiang Diameter 0,5 m

1) Lapisan 1 (0,00 s/d -7,50)

Tinggi lapisan (h) = 7,5 m

Sudut geser dalam (φ) = 37,05°

Koef. Tekanan tanah (K) = 2

δ = ¾ φ

= ¾ × 37,05°

= 25,44°

σ1 = h × ɣ

= 7,5 × 2,21

= 16,575 ton/m²

Qs1 = $K \times \frac{\sigma 1}{2} \times \tan\delta \times p \times h$

= $2 \times \frac{16,575}{2} \times \tan(25,44) \times \pi \times 0,5 \times 7,5$

= 92,888 ton

2) Lapisan 2 (-7,50 s/d -15,00)

Tinggi lapisan (h) = 7,5 m

Sudut geser dalam (φ) = 37,05°

Koef. Tekanan tanah (K) = 2

δ = ¾ φ

= ¾ × 37,05°

= 25,44°

σ2 = σ1

= 16,575 ton/m²

Qs2 = K × σ1 × tanδ × p × h

= 2 × 16,575 × tan(25,44) × π × 0,5 × 7,5

= 185,776 ton

3) Qs total = Qs1 + Qs2

= 92,888 + 185,776

= 278,664 ton

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

Qult = Qp + Qs

= 85,826 + 278,664

= 364,489 ton

d. Kapasitas Dukung Izin Tiang

Qall = $\frac{Qult}{SF}$

$= \frac{364,489}{3}$

= 121,496 ton

e. Jumlah Tiang (n)

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

$= \frac{502,276}{121,496}$

= 4,134 tiang ≈ 5 tiang

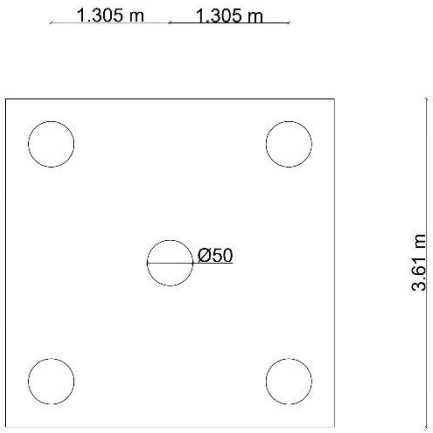
Jarak antar tiang

S = 3 × D

= 3 × 0,5

= 1,5 m

Susunan tiang pancang dengan diameter 0,5 m dapat dilihat pada Gambar 5.12. berikut.



Gambar 5.12 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,5 m dengan Jumlah 5 Tiang

f. Efisiensi Kelompok Tiang

Dikarenakan nilai S ≥ 3D maka nilai Eg = 1

g. Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Qg = n × Qall × Eg

= 5 × 121,496 × 1

= 607,48 ton > 502,276 ton

Maka desain pondasi aman digunakan

2. Tiang Pancang Diameter 0,6 m

a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

Nq = 130 (dilihat pada Gam bar 3.3)

q = Σ (h × ɣ)

= (7 × 2,21) + (8 × 1,64)

= 28,59 ton/m²

qp = q × Nq ≤ 50 × Nq × tanφ

= 28,59 × 130 ≤ 5 × 130 × tan(33,92)

= 3716,7 ≥ 437,111 ton/m²

qp = 437,111 ton/m²

Qp = Ap × qp

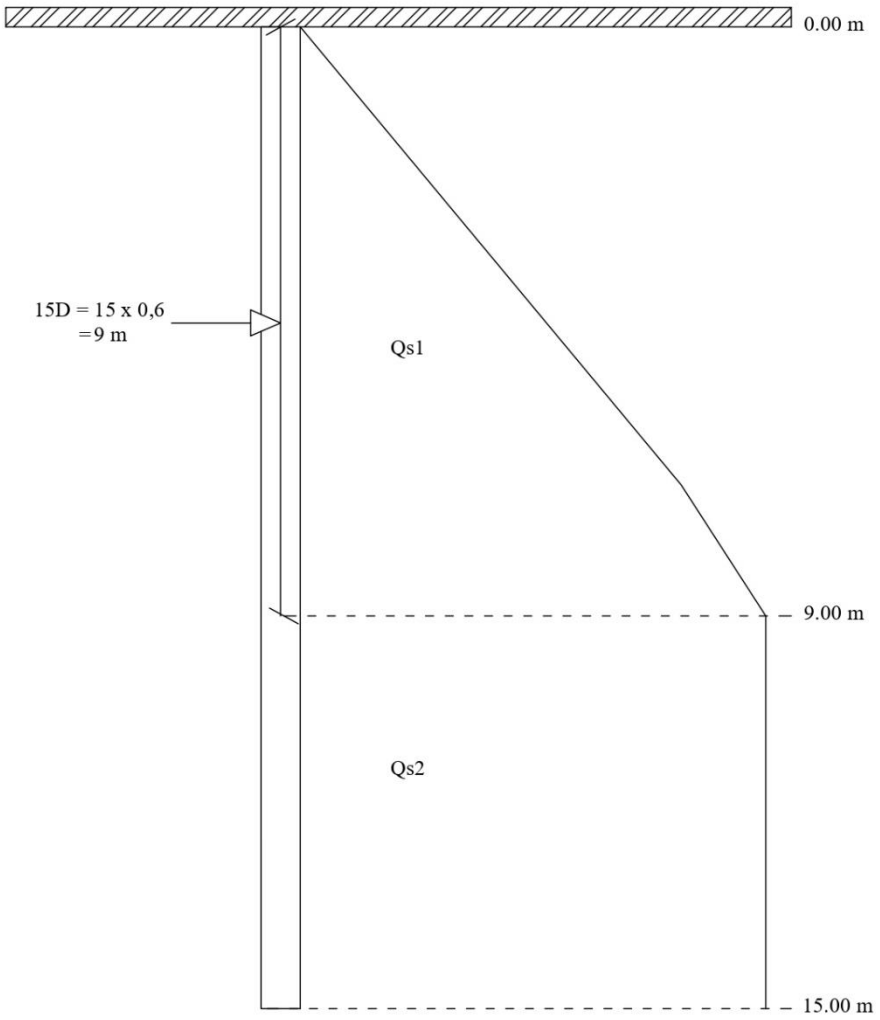
$= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times 437{,}111$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}6^2 \times 437{,}111$

= 123,59 ton

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

Perhitungan daya dukung selimut tiang dihitung sesuai lapisan tanah sampai pada kedalaman 15 m. Nilai tegangan vertikal juga harus dihitung hingga pada kedalaman 15D. Pembagian lapisan tanah sesuai dengan tegangan vertikal (σ) dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.13 Tegangan Vertikal pada Tiang Diameter 0,6 m

1) Lapisan 1 (0,00 s/d -9,00)

Tinggi lapisan (h) = 9 m

Sudut geser dalam (φ) = 37,05°

Koef. Tekanan tanah (K) = 2

δ = ¾ φ

= ¾ × 37,05°

= 25,44°

σ1 = h × ɣ

= 9 × 2,21

= 19,89 ton/m²

Qs1 = $K \times \frac{\sigma 1}{2} \times \tan\delta \times p \times h$

= $2 \times \frac{19{,}89}{2} \times \tan(25{,}44) \times \pi \times 0{,}6 \times 9$

= 160,51 ton

2) Lapisan 2 (-9,00 s/d -15,00)

Tinggi lapisan (h) = 6 m

Sudut geser dalam (φ) = 37,05°

Koef. Tekanan tanah (K) = 2

δ = ¾ φ

= ¾ × 37,05°

= 25,44°

σ2 = σ1

= 19,89 ton/m²

Qs2 = K × σ1 × tanδ × p × h

= 2 × 19,89 × tan(25,44) × π × 0,6 × 6

= 214,014 ton

3) Qs total = Qs1 + Qs2

= 160,51 + 214,014

= 374,524 ton

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

Qult = Qp + Qs

= 123,59 + 374,524

= 498,114 ton

d. Kapasitas Dukung Izin Tiang

Qall = $\frac{Qult}{SF}$

$= \frac{498,114}{3}$

= 166,038 ton

e. Jumlah Tiang (n)

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

$= \frac{502,276}{166,038}$

= 3,025 tiang ≈ 4 tiang

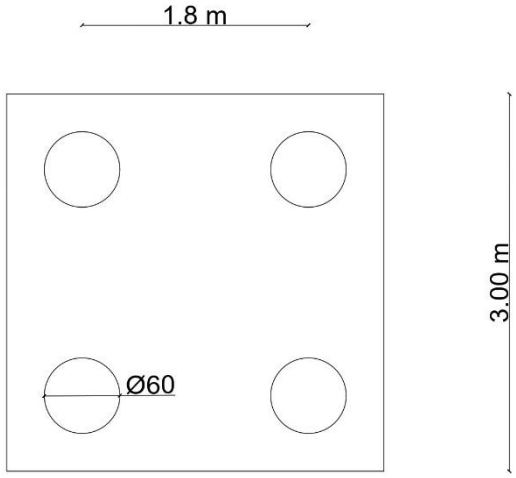
Jarak antar tiang

S = 3 × D

= 3 × 0,6

= 1,8 m

Susunan tiang pancang dengan diameter 0,6 m dapat dilihat pada Gambar 5.14. berikut.



Gambar 5.14 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,6 m dengan Jumlah 4 Tiang

f. Efisiensi Kelompok Tiang

Dikarenakan nilai S ≥ 3D maka nilai Eg = 1

g. Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Qg = n × Qall × Eg

= 4 × 166,038 × 1

= 664,152 ton > 502,276 ton

Maka desain pondasi aman digunakan

3. Tiang Pancang Diameter 0,7 m

a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

Nq = 130 (dilihat pada Gambar 3.3)

q = Σ (h × ɣ)

= (7 × 2,21) + (8 × 1,64)

= 28,59 ton/m²

qp = q × Nq ≤ 50 × Nq × tanφ

= 28,59 × 130 ≤ 5 × 130 × tan(33,92)

= 3716,7 ≥ 437,111 ton/m²

qp = 437,111 ton/m²

Qp = Ap × qp

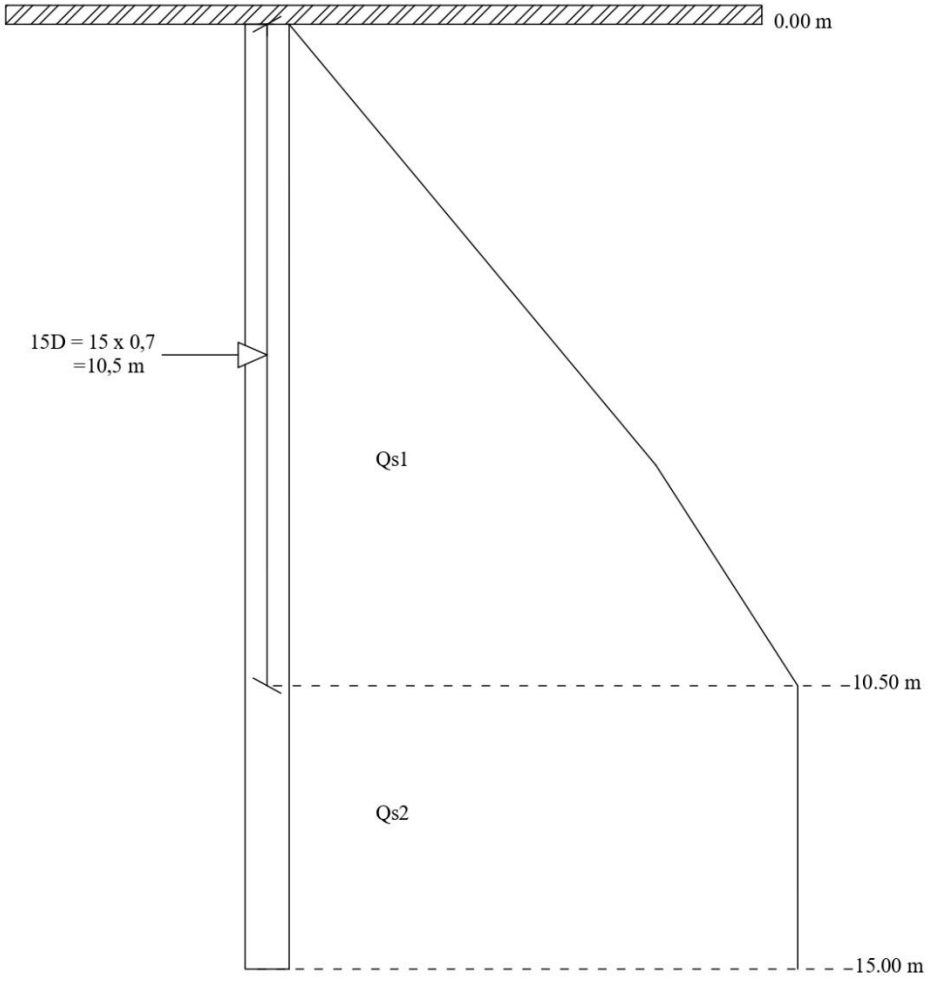
$= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times 437{,}111$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}7^2 \times 437{,}111$

= 168,22 ton

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

Perhitungan daya dukung selimut tiang dihitung sesuai lapisan tanah sampai pada kedalaman 15 m. Nilai tegangan vertikal juga harus dihitung hingga pada kedalaman 15D. Pembagian lapisan tanah sesuai dengan tegangan vertikal (σ) dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Tegangan Vertikal pada Tiang Diameter 0,7 m

1) Lapisan 1 (0,00 s/d -10,50)

   Tinggi lapisan (h) = 10,5 m

   Sudut geser dalam (φ) = 37,05°

   Koef. Tekanan tanah (K) = 2

   δ = ¾ φ

   = ¾ × 37,05°

   = 25,44°

σ1 = h × ɣ

= 10,5 × 2,21

= 23,205 ton/m²

Qs1 = $K \times \frac{\sigma 1}{2} \times \tan\delta \times p \times h$

= $2 \times \frac{23,205}{2} \times \tan(25,44) \times \pi \times 0,7 \times 10,5$

= 254,884 ton

2) Lapisan 2 (-10,50 s/d -15,00)

Tinggi lapisan (h) = 4,5 m

Sudut geser dalam (φ) = 37,05°

Koef. Tekanan tanah (K) = 2

δ = ¾ φ

= ¾ × 37,05°

= 25,44°

σ2 = σ1

= 23,205 ton/m²

Qs2 = K × σ1 × tanδ × p × h

= 2 × 23,205 × tan(25,44) × π × 0,7 × 4,5

= 218,472 ton

3) Qs total = Qs1 + Qs2

= 254,884 + 218,472

= 473,356 ton

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

Qult = Qp + Qs

= 168,22 + 473,356

= 641,576 ton

d. Kapasitas Dukung Izin Tiang

Qall = $\frac{Qult}{SF}$

$= \frac{641,576}{3}$

= 213,859 ton

e. Jumlah Tiang (n)

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

$= \frac{502,276}{213,859}$

= 2,349 tiang ≈ 3 tiang

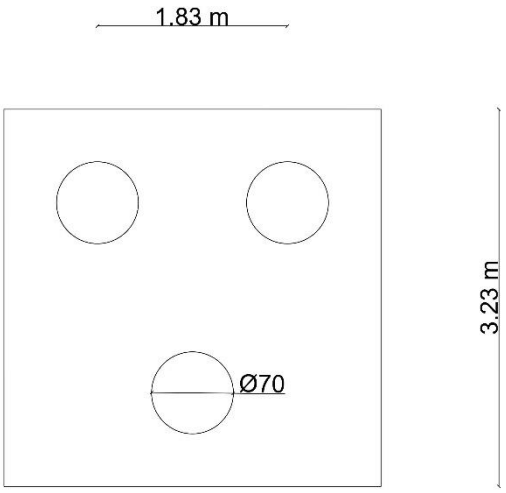
Jarak antar tiang

S = 3 × D

= 3 × 0,7

= 2,1 m

Susunan tiang pancang dengan diameter 0,7 m dapat dilihat pada Gambar 5.16. berikut.



Gambar 5.16 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,7 m dengan Jumlah 3 Tiang

f. Efisiensi Kelompok Tiang

Dikarenakan nilai S ≥ 3D maka nilai Eg = 1

g. Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Qg = n × Qall × Eg

= 3 × 213,859 × 1

= 641,576 ton > 502,276 ton

Maka desain pondasi aman digunakan

4. Tiang Pancang Diameter 0,8 m

a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

Nq = 130 (dilihat pada Gambar 3.3)

q = Σ (h × ɣ)

= (7 × 2,21) + (8 × 1,64)

= 28,59 ton/m²

qp = q × Nq ≤ 50 × Nq × tanφ

= 28,59 × 130 ≤ 5 × 130 × tan(33,92)

= 3716,7 ≥ 437,111 ton/m²

qp = 437,111 ton/m²

Qp = Ap × qp

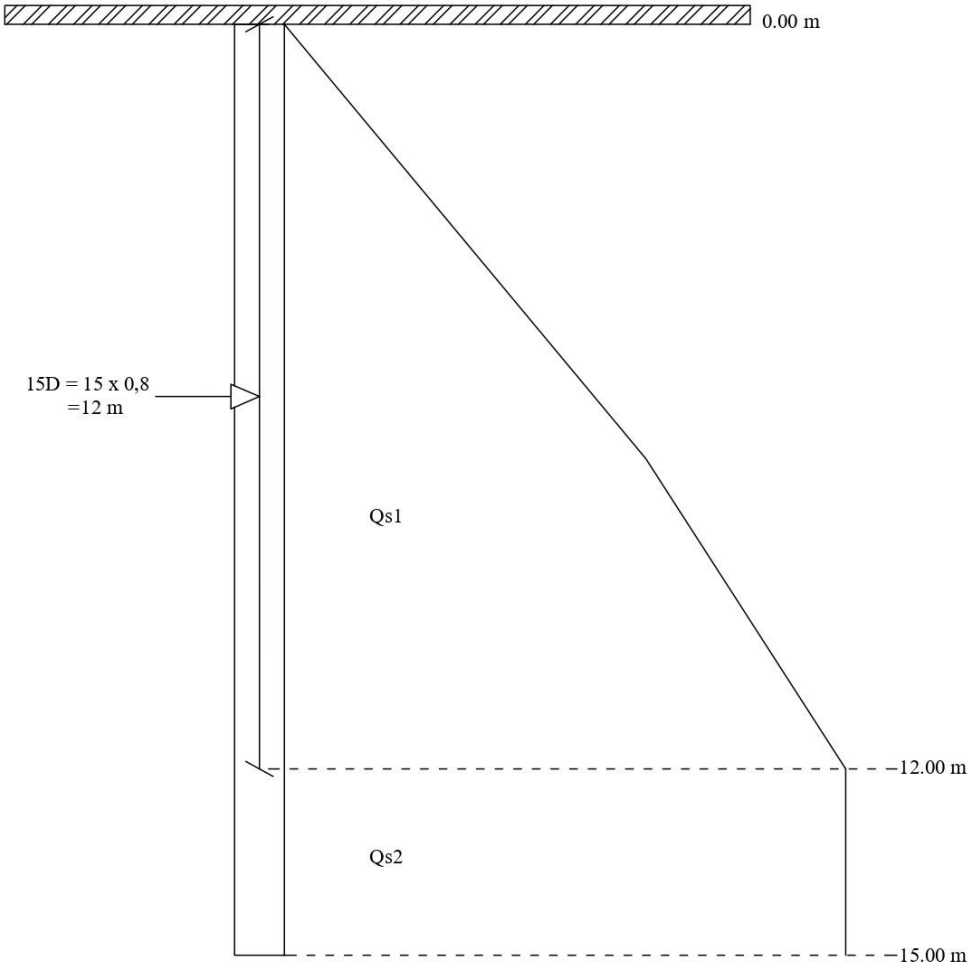
$= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times 437{,}111$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}8^2 \times 437{,}111$

= 219,716 ton

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

Perhitungan daya dukung selimut tiang dihitung sesuai lapisan tanah sampai pada kedalaman 15 m. Nilai tegangan vertikal juga harus dihitung hingga pada kedalaman 15D. Pembagian lapisan tanah sesuai dengan tegangan vertikal (σ) dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Tegangan Vertikal pada Tiang Diameter 0,8 m

4) Lapisan 1 (0,00 s/d -12,00)

Tinggi lapisan (h) = 12 m

Sudut geser dalam (φ) = 37,05°

Koef. Tekanan tanah (K) = 2

δ = ¾ φ

= ¾ × 37,05°

= 25,44°

σ1 = h × ɣ

= 12 × 2,21

= 26,52 ton/m²

Qs1 = $K \times \frac{\sigma 1}{2} \times \tan\delta \times p \times h$

= $2 \times \frac{26,52}{2} \times \tan(25,44) \times \pi \times 0,8 \times 12$

= 380,469 ton

5) Lapisan 2 (-12,00 s/d -15,00)

Tinggi lapisan (h) = 3 m

Sudut geser dalam (φ) = 37,05°

Koef. Tekanan tanah (K) = 2

δ = ¾ φ

= ¾ × 37,05°

= 25,44°

σ2 = σ1

= 26,52 ton/m²

Qs2 = K × σ1 × tanδ × p × h

= 2 × 26,52 × tan(25,44) × π × 0,8 × 3

= 190,234 ton

6) Qs total = Qs1 + Qs2

= 380,469 + 190,234

= 570,703 ton

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

Qult = Qp + Qs

= 219,716 + 507,703

= 790,419 ton

d. Kapasitas Dukung Izin Tiang

Qall = $\frac{Qult}{SF}$

$= \frac{790,416}{3}$

= 263,473 ton

e. Jumlah Tiang (n)

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

$= \frac{502,276}{263,473}$

= 1,906 tiang ≈ 2 tiang

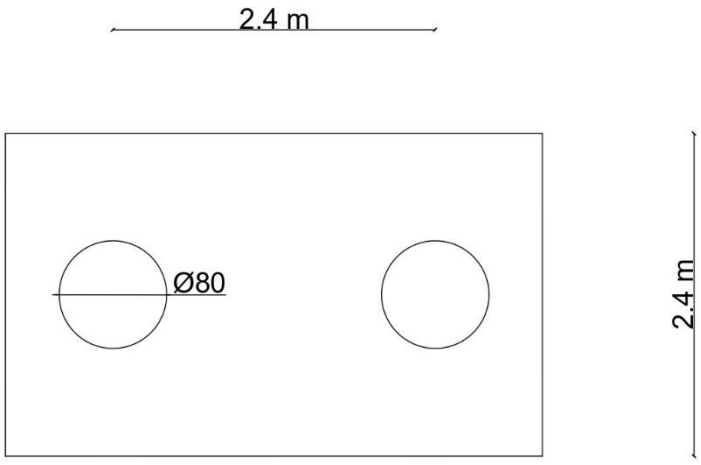
Jarak antar tiang

S = 3 × D

= 3 × 0,8

= 2,4 m

Susunan tiang pancang dengan diameter 0,8 m dapat dilihat pada Gambar 5.18. berikut.



Gambar 5.18 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,8 m dengan Jumlah 2 Tiang

f. Efisiensi Kelompok Tiang

Dikarenakan nilai S ≥ 3D maka nilai Eg = 1

g. Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Qg = n × Qall × Eg

= 2 × 263,473 × 1

= 526,473 ton > 502,276 ton

Maka desain pondasi aman digunakan

5.5.2 Kapasitas Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data Hasil Uji SPT

Perhitungan kapasitas dukung tiang pancang membutuhkan nilai N-SPT rata-rata (Tabel 5.9). Nilai N-SPT yang dihitung adalah sampai kedalaman 15 m. Perhitungan nilai N-SPT rata – rata adalah sebagai berikut.

$$NSPT_{Rata-rata} = \frac{\Sigma(h.NSPT)}{\Sigma h}$$

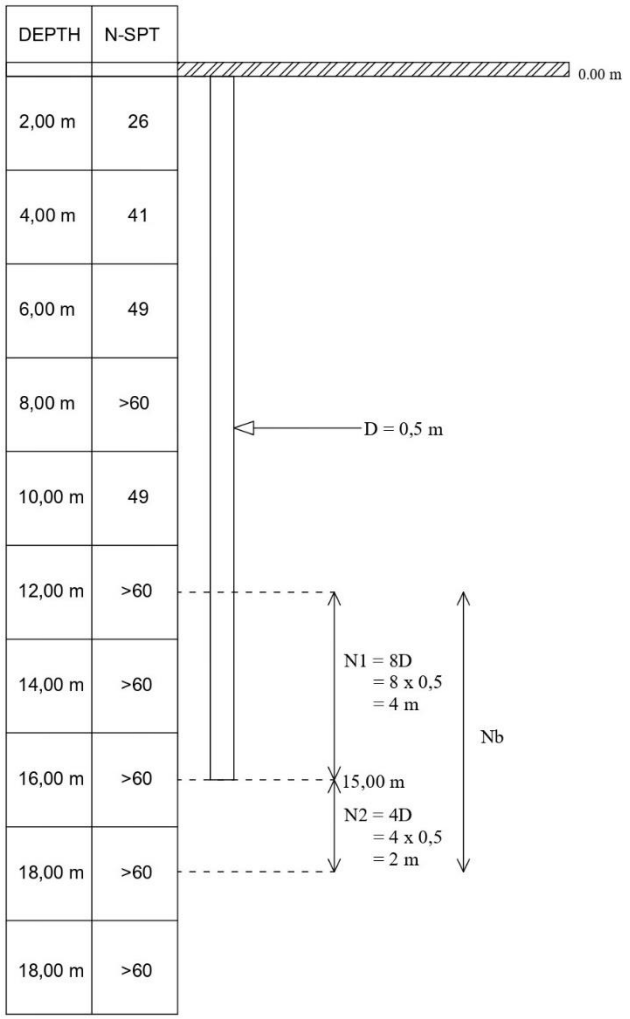
$$NSPT_{Rata-rata} = \frac{(2.26)+(2.41)+(2.49)+(2.60)+(2.49)+(2.60)+(2.60)+(1.60)}{2+2+2+2+2+2+2+1}$$

$$NSPT_{Rata-rata} = \frac{750}{15}$$

$$NSPT_{Rata-rata} = 50$$

1. Tiang pancang diameter 0,5 m
   a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

Letak N1 dan N2 pada tiang diameter 0,5 m dapat dilihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Letak N1 dan N2 pada Tiang Diameter 0,5 m

$$Nb = \frac{(1\times49)+(2\times60)+(1\times60)+(1\times60)+(1\times60)}{1+2+1+1+1}$$

$$= \frac{349}{6}$$

$$= 58{,}167$$

$$Ap = 0{,}25 \times \pi \times D^2$$

$$= 0{,}25 \times \pi \times 0{,}5^2$$

$$= 0{,}196\ m^2$$

Qp = 40Nb × Ap × $\frac{Lb}{D}$ ≤ Ap × 400Nb

= 40 × 58,167 × 0,196 × $\frac{15}{0,5}$ ≤ 0,196 × 400 × 58,167

= 13680,878 ≤ 4560,293 kN

= 4560,293 kN

= 456,029 ton

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

p = π × D

= π × 0,5

= 1,571 m

Qs = p × L × f_{av}

= 1,571 × 15 × 2 × $N_{rata-rata}$

= 1,571 × 15 × 2 × 50

= 2356,194 kN

= 240,183 Ton

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

Qu = Qp + Qs

= 456,842 + 240,183

= 696,212 ton

d. Kapasitas Dukung Ijin Tiang

Wp = Ap × L × Berat jenis beton bertulang

= 0,196 m² × 15 m × 2,4 Ton/m³

= 7,056 Ton

Qall = $\frac{Qu}{SF} - Wp$

= $\frac{696,212}{3} - 7,056$

= 232,071 – 7,056

= 225,015 ton

e. Jumlah Tiang Pancang

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

$= \frac{502,276}{225,015}$

= 2,232 tiang ≈ 3 tiang

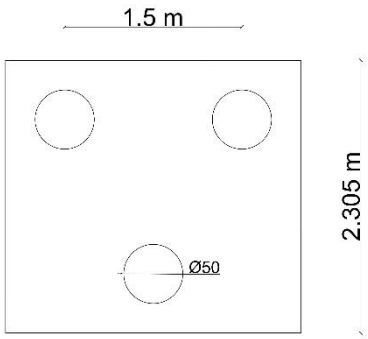
Jarak antar tiang

S = 3 × D

= 3 × 0,5

= 1,5 m

Susunan tiang pancang dengan diameter 0,5 m dapat dilihat pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,5 m dengan Jumlah 3 Tiang

f. Efisiensi Kelompok Tiang

Dikarenakan nilai S ≥ 3D maka nilai Eg = 1

g. Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Qg = n × Qall × Eg

= 3 × 225,015 × 1

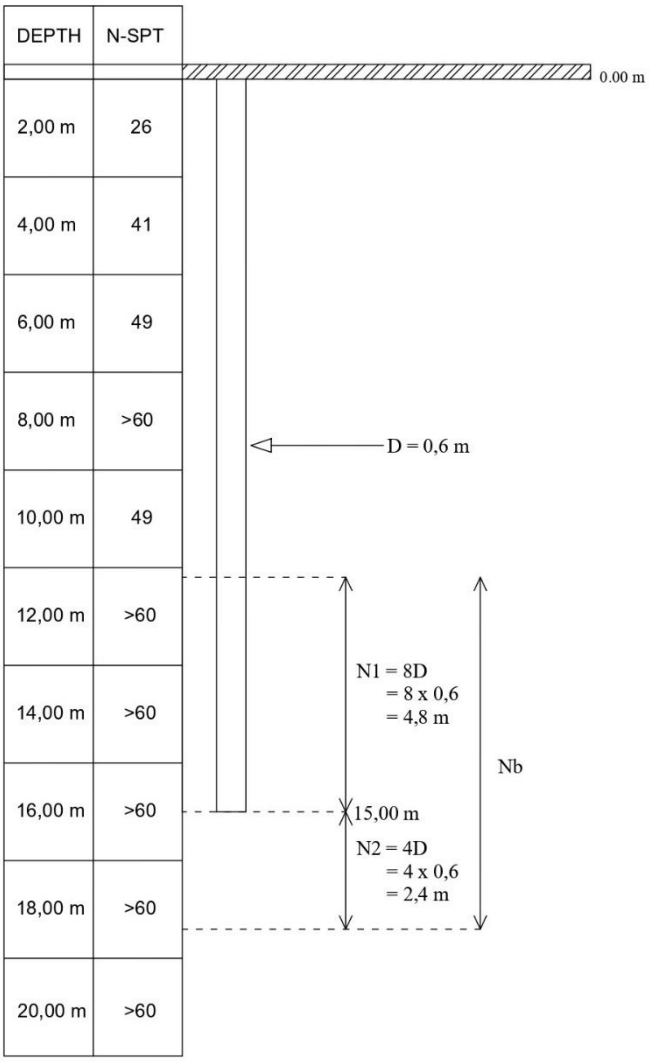
= 675,045 Ton > 502,276 Ton

Maka desain pondasi aman digunakan

2. Tiang pancang diameter 0,6 m

a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

Letak N1 dan N2 pada tiang diameter 0,6 m dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.21 Letak N1 dan N2 pada Tiang Diameter 0,6 m

$$Nb = \frac{(1{,}8\times49)+(2\times60)+(1\times60)+(1\times60)+(1{,}4\times60)}{1{,}8+2+1+1+1{,}4}$$

$$= \frac{412{,}2}{7{,}2}$$

$$= 57{,}25$$

$$Ap = 0{,}25 \times \pi \times D^2$$

$= 0{,}25 \times \pi \times 0{,}6^2$

$= 0{,}283\ m^2$

Qp $= 40Nb \times Ap \times \frac{Lb}{D} \leq Ap \times 400Nb$

$= 40 \times 57{,}25 \times 0{,}283 \times \frac{15}{0{,}6} \leq 0{,}283 \times 400 \times 57{,}25$

$= 16201{,}75 \leq 6480{,}7\ kN$

$= 6480{,}7\ kN$

$= 648{,}07\ ton$

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

p $= \pi \times D$

$= \pi \times 0{,}6$

$= 1{,}885\ m$

Qs $= p \times L \times f_{av}$

$= 1{,}885 \times 15 \times 2 \times N_{rata-rata}$

$= 1{,}885 \times 15 \times 2 \times 50$

$= 2827{,}433\ kN$

$= 288{,}219\ Ton$

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

Qu $= Qp + Qs$

$= 648{,}07 + 288{,}219$

$= 936{,}289\ Ton$

d. Kapasitas Dukung Ijin Tiang

Wp $= Ap \times L \times$ Berat jenis beton bertulang

$= 0{,}283\ m^2 \times 15\ m \times 2{,}4\ Ton/m^3$

$= 10{,}188\ Ton$

Qall $= \frac{Qu}{SF} - Wp$

$= \frac{936{,}289}{3} - 10{,}188$

$= 312{,}096 - 10{,}188$

= 301,908 ton

e. Jumlah Tiang Pancang

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

$= \frac{502,276}{301,096}$

= 1,668 tiang ≈ 2 tiang

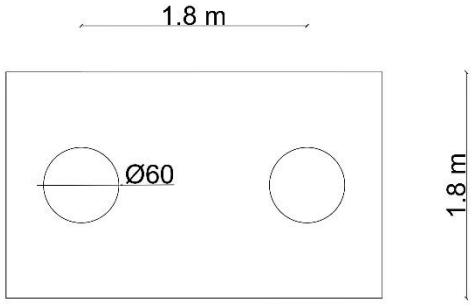
Jarak antar tiang

S = 3 × D

= 3 × 0,6

= 1,8 m

Susunan tiang pancang dengan diameter 0,6 m dapat dilihat pada Gambar 5.22.



Gambar 5.22 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,6 m dengan Jumlah 2 Tiang

f. Efisiensi Kelompok Tiang

Dikarenakan nilai S ≥ 3D maka nilai Eg = 1

g. Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Qg = n × Qall × Eg

= 2 × 301,096 × 1

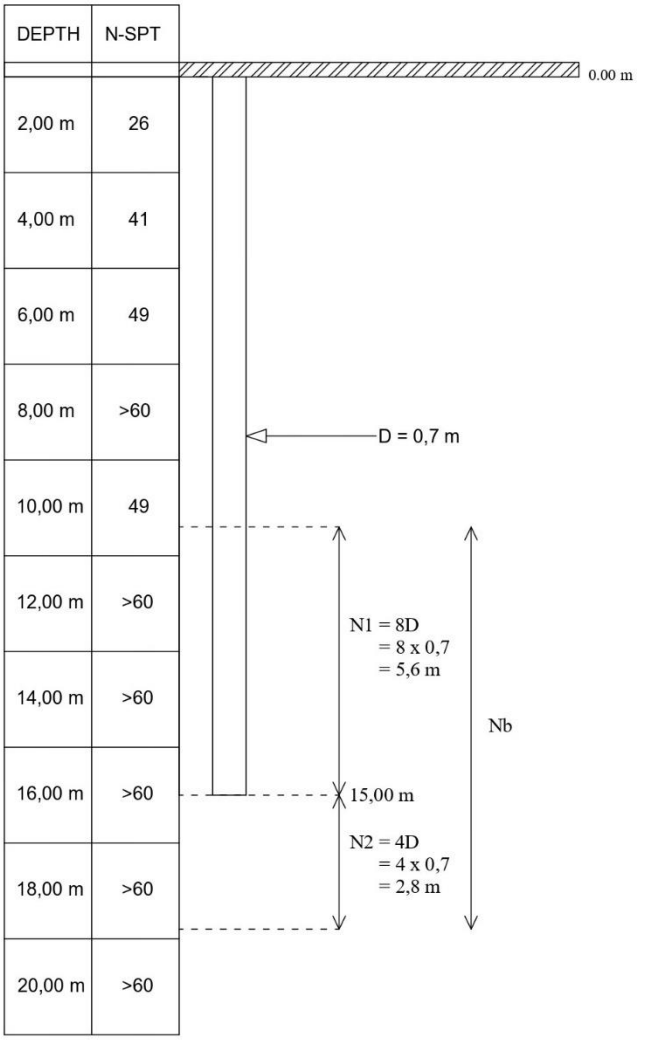
= 602,192 Ton > 502,276 Ton

Maka desain pondasi aman digunakan

3. Tiang pancang diameter 0,7 m

a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

Letak N1 dan N2 pada tiang diameter 0,7 m dapat dilihat pada Gambar 5.23.



Gambar 5.23 Letak N1 dan N2 pada Tiang Diameter 0,7 m

$$Nb = \frac{(0,6\times60)+(2\times49)+(2\times60)+(1\times60)+(1\times60)+(1,8\times60)}{0,6+2+2+1+1+1,8}$$

$$= \frac{482}{8,4}$$

$$= 57,381$$

$$Ap = 0,25 \times \pi \times D^2$$

$= 0{,}25 \times \pi \times 0{,}7^2$

$= 0{,}385\ m^2$

Qp $= 40Nb \times Ap \times \frac{Lb}{D} \leq Ap \times 400Nb$

$= 40 \times 57{,}381 \times 0{,}385 \times \frac{15}{0{,}7} \leq 0{,}385 \times 400 \times 57{,}381$

$= 18935{,}73 \leq 8836{,}674$ kN

$= 8836{,}674$ kN

$= 883{,}667$ ton

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

p $= \pi \times D$

$= \pi \times 0{,}7$

$= 2{,}199$ m

Qs $= p \times L \times f_{av}$

$= 2{,}199 \times 15 \times 2 \times N_{rata-rata}$

$= 1{,}885 \times 15 \times 2 \times 50$

$= 3298{,}672$ kN

$= 336{,}256$ Ton

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

Qu $= Qp + Qs$

$= 883{,}667 + 336{,}256$

$= 1219{,}923$ Ton

d. Kapasitas Dukung Ijin Tiang

Wp $= Ap \times L \times$ Berat jenis beton bertulang

$= 0{,}385\ m^2 \times 15\ m \times 2{,}4\ Ton/m^3$

$= 13{,}86$ Ton

Qall $= \frac{Qu}{SF} - Wp$

$= \frac{1219{,}923}{3} - 13{,}86$

$= 406{,}641 - 13{,}86$

= 392,781 ton

e. Jumlah Tiang Pancang

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

$= \frac{502,276}{392,781}$

= 1,279 tiang ≈ 2 tiang

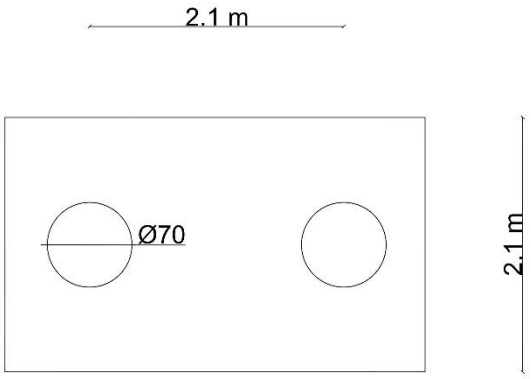
Jarak antar tiang

S = 3 × D

= 3 × 0,7

= 2,1 m

Susunan tiang pancang dengan diameter 0,7 m dapat dilihat pada Gambar 5.24.



Gambar 5.24 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,7 m dengan Jumlah 2 Tiang

f. Efisiensi Kelompok Tiang

Dikarenakan nilai S ≥ 3D maka nilai Eg = 1

g. Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Qg = n × Qall × Eg

= 2 × 392,781 × 1

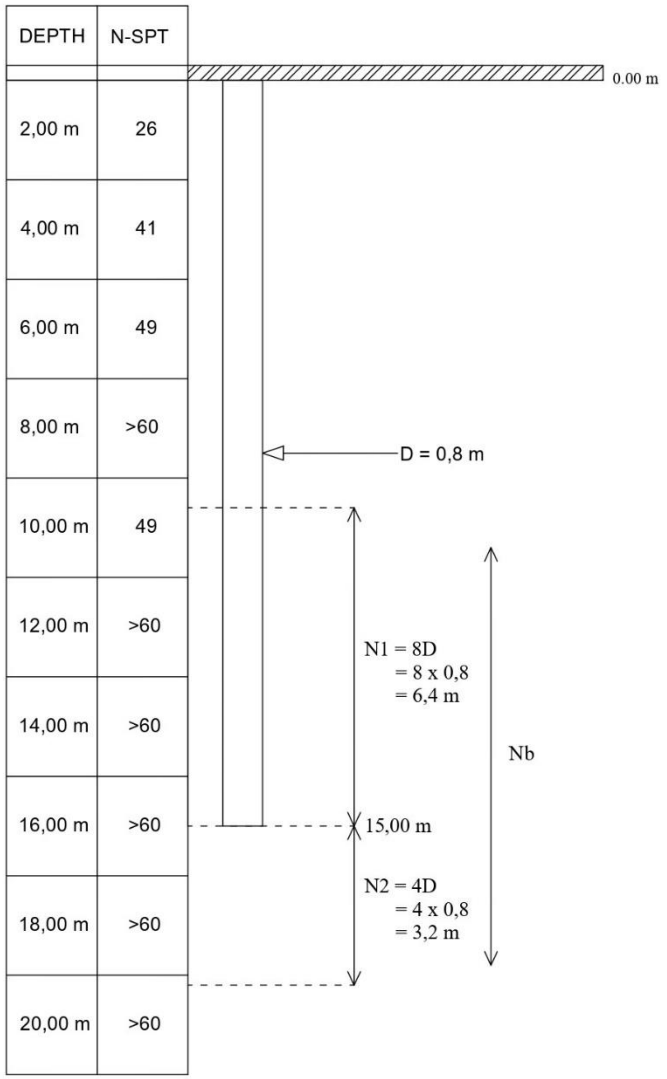
= 785,562 Ton > 502,276 Ton

Maka desain pondasi aman digunakan

4. Tiang pancang diameter 0,8 m

   a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

      Letak N1 dan N2 pada tiang diameter 0,8 m dapat dilihat pada Gambar 5.25.



Gambar 5.25 Letak N1 dan N2 pada Tiang Diameter 0,8 m

$$Nb = \frac{(1{,}4\times60)+(2\times49)+(2\times60)+(1\times60)+(1\times60)+(2\times60)+(0{,}2\times60)}{1{,}4+2+2+1+1+2+0{,}2}$$

$$= \frac{554}{9{,}6}$$

$$= 57{,}708$$

Ap = 0,25 × π × D²

= 0,25 × π × 0,8²

= 0,503 m²

Qp = 40Nb × Ap × $\frac{Lb}{D}$ ≤ Ap × 400Nb

= 40 × 57,708 × 0,503 × $\frac{15}{0,8}$ ≤ 0,503 × 400 × 57,708

= 21770,343 ≤ 11610,849 kN

= 11610,849 kN

= 1161,085 ton

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

p = π × D

= π × 0,8

= 2,513 m

Qs = p × L × f_{av}

= 2,513 × 15 × 2 × $N_{rata-rata}$

= 2,513 × 15 × 2 × 50

= 3769,911 kN

= 384,293 Ton

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

Qu = Qp + Qs

= 1161,085 + 384,293

= 1545,378 Ton

d. Kapasitas Dukung Ijin Tiang

Wp = Ap × L × Berat jenis beton bertulang

= 0,503 m² × 15 m × 2,4 Ton/m³

= 18,108 Ton

Qall = $\frac{Qu}{SF} - Wp$

= $\frac{1545,378}{3} - 18,108$

= 515,126 – 18,108

= 497,018 ton

e. Jumlah Tiang Pancang

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

$= \frac{502,276}{497,018}$

= 1,011 tiang ≈ 2 tiang

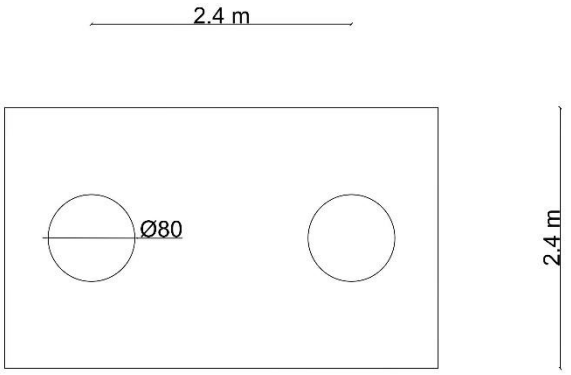
Jarak antar tiang

S = 3 × D

= 3 × 0,8

= 2,4 m

Susunan tiang pancang dengan diameter 0,8 m dapat dilihat pada Gambar 5.26.



Gambar 5.26 Susunan Tiang Pancang Diameter 0,8 m dengan Jumlah 2 Tiang

f. Efisiensi Kelompok Tiang

Dikarenakan nilai S ≥ 3D maka nilai Eg = 1

g. Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Qg = n × Qall × Eg

= 2 × 496,018 × 1

= 992,036 Ton > 502,276 Ton

h. Cek Keamanan Terhadap Momen

Momen = P + Mx

= 502,276 + 2,264

= 504,54 Ton

992,036 Ton > 504,54 Ton

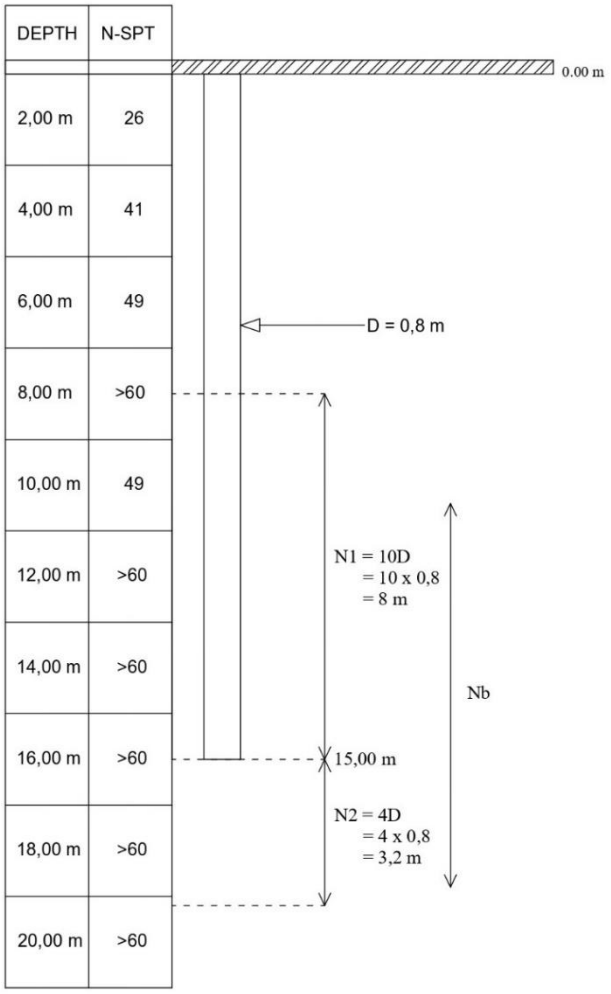
Qg > Momen. Maka pondasi dinyatakan aman.

5.5.3 Kapasitas Dukung Tiang Bor Kondisi Existing

Berdasarkan hasil pemboran yang telah dilakukan pada titik di lapangan, didapatkan hasil berupa data lapisan tanah dan nilai NSPT. Perhitungan daya dukung tanah untuk pondasi tiang bor dihitung berdasarkan nilai NSPT dengan diameter tiang 0,8 meter dan kedalaman tiang 15 meter. Perhitungan kapasitas dukung tiang bor kondisi existing adalah sebagai berikut.

1. Kapasitas Dukung Tiang Bor Existing dengan Menggunakan Data N-SPT

Nilai NSPT, N1 dan N2 yang akan digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.27.



Gambar 5.27 Letak N1 dan N2 pada Tiang Bor Existing Diameter 0,8 m

N' $= \frac{\Sigma(h \times NSPT)}{\Sigma h}$

$= \frac{(1\times60)+(2\times60)+(2\times60)+(2\times49)+(1\times60)+(2\times60)+(1{,}2\times60)}{1+2+2+2+1+2+1{,}2}$

$= \frac{650}{11{,}2}$

= 58,035

a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

Qp = $40 \times N' \times \frac{L}{D} \times Ap$

= $40 \times 58{,}035 \times \frac{15}{0{,}8} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$

= $40 \times 58{,}035 \times \frac{15}{0{,}8} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}8^2$

= 21878,679 kN

= 2230,243 Ton

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

Qs = $2 \times N_{rata-rata} \times p \times L$

= $2 \times 50 \times \pi \times 0{,}8 \times 15$

= 3769,911 kN

= 384,293 Ton

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

Qult = Qp + Qs

= 2230,243 + 384,293

= 2614,536 Ton

d. Kapasitas Dukung Ijin Tiang

Wp = Ap × L × Berat jenis beton bertulang

= $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times 15 \times 2{,}4$ Ton/m³

= $\frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}8^2 \times 15 \times 2{,}4$ Ton/m

= 18,096 Ton

Qall = $\frac{Qu}{SF} - Wp$

= $\frac{2614{,}536}{3} - 18{,}096$

= 871,512 – 18,096

= 853,416 Ton

e. Cek Keamanan Terhadap Momen

Momen = P + Mx

= 502,276 + 2,264

= 504,54 Ton

853,416 Ton > 504,54 Ton

Qg > Momen. Maka pondasi dinyatakan aman.

2. Kapasitas Dukung Tiang Bor Existing dengan Menggunakan Data Laboratorium

a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

Nq = 130 (dilihat pada Gambar 3.3)

q = Σ (h × ɣ)

= (7 × 2,21) + (8 × 1,64)

= 28,59 ton/m²

qp = q × Nq ≤ 50 × Nq × tanφ

= 28,59 × 130 ≤ 5 × 130 × tan(33,92)

= 3716,7 ≥ 437,111 ton/m²

qp = 437,111 ton/m²

Qp = Ap × qp

= $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times$ 437,111

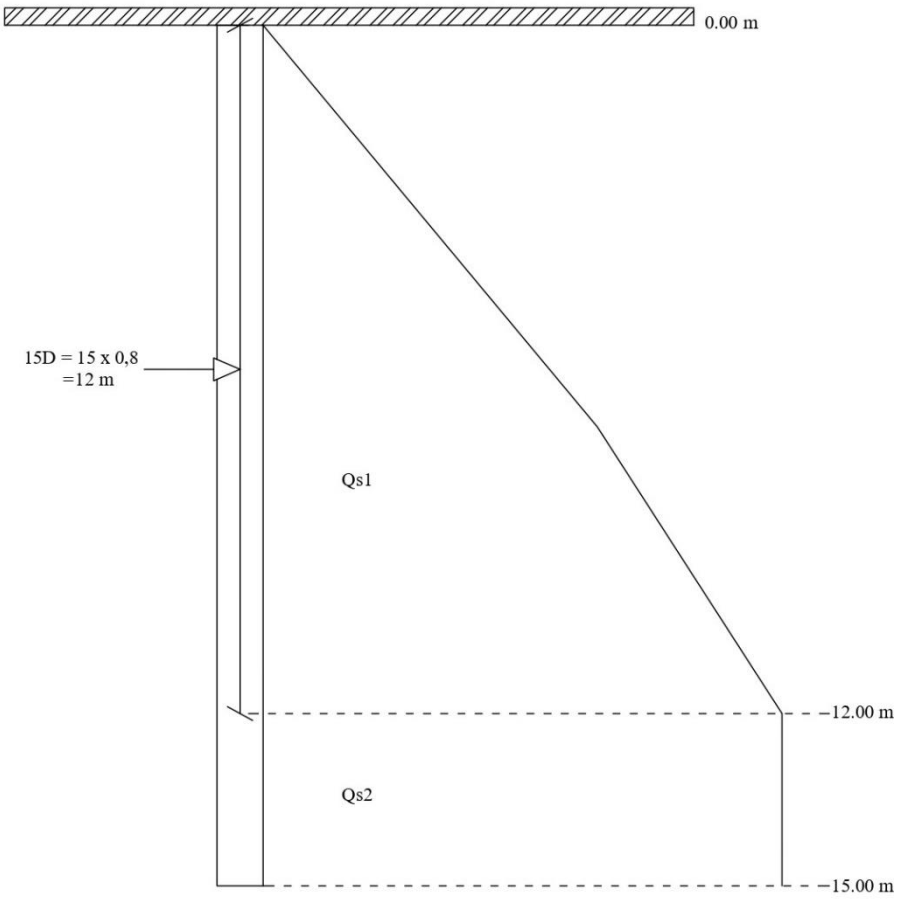
= $\frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}8^2 \times$ 437,111

= 219,716 ton

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

Perhitungan daya dukung selimut tiang dihitung sesuai lapisan tanah sampai pada kedalaman 15 m. Nilai tegangan vertikal juga harus dihitung hingga pada

kedalaman 15D. Pembagian lapisan tanah sesuai dengan tegangan vertikal (σ) dapat dilihat pada Gambar 5.28 berikut.



Gambar 5.28 Tegangan Vertikal pada Tiang Bor Existing Diameter 0,8 m

1) Lapisan 1 (0,00 s/d -12,00)

   Tinggi lapisan (h) = 12 m

   Sudut geser dalam (φ) = 37,05°

   Koef. Tekanan tanah (K) = 2

   δ = ¾ φ

   = ¾ × 37,05°

   = 25,44°

σ1 = h × ɣ

= 12 × 2,21

= 26,52 ton/m²

Qs1 = $K \times \frac{\sigma 1}{2} \times \tan\delta \times p \times h$

= $2 \times \frac{26,52}{2} \times \tan(25,44) \times \pi \times 0,8 \times 12$

= 380,469 ton

2) Lapisan 2 (-12,00 s/d -15,00)

Tinggi lapisan (h) = 3 m

Sudut geser dalam (φ) = 37,05°

Koef. Tekanan tanah (K) = 2

δ = ¾ φ

= ¾ × 37,05°

= 25,44°

σ2 = σ1

= 26,52 ton/m²

Qs2 = K × σ1 × tanδ × p × h

= 2 × 26,52 × tan(25,44) × π × 0,8 × 3

= 190,234 ton

3) Qs total = Qs1 + Qs2

= 380,469 + 190,234

= 570,703 ton

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

Qult = Qp + Qs

= 219,716 + 507,703

= 790,419 ton

d. Kapasitas Dukung Izin Tiang

Qall = $\frac{Qult}{SF}$

$= \frac{790,416}{1,5}$

= 526,944 ton

e. Cek Keamanan Terhadap Momen

Momen = P + Mx

= 502,276 + 2,264

= 504,54 Ton

526,944 ton > 504,54 ton

Qg > Momen. Maka pondasi dinyatakan aman.

5.5.4 Analisis Penurunan Tiang Tunggal dan Kelompok

Penurunan pondasi tiang tunggal dipengaruhi oleh mekanisme pengalihan beban, oleh karena itu perhitungannya hanya bersifat pendekatan dengan menggunakan metode empiris. Penurunan pondasi tiang kelompok lebih besar daripada penurunan pondasi tiang tunggal. Hal ini dipengaruhi oleh tegangan pada daerah yang lebih luas dan lebih dalam. Perhitungannya menggunakan metode Vesic (1977).

1. Penurunan Tiang Diameter 0,5 m

a. Kapasitas Dukung Tiang Berdasarkan Data Laboratorium

Perhitungan penurunan tiang tunggal dan kelompok pada tiang dengan diameter 0,5 m dengan jumlah tiang 5 adalah sebagai berikut.

1) Penurunan Tiang Tunggal (s)

P (berat aksial) = 520,276 Ton

Ap $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,5^2$

$= 0,196\ m^2$

Berat Tiang = Ap × ɣ beton bertulang × n × L

= 0,196 × 2,4 × 5 × 15

= 35,28 Ton

Q = P + Berat Tiang

= 502,276 + 35,28

= 537,556 Ton

Ep = $4700 \sqrt{f'c}$

= $4700 \sqrt{30}$

= 25742,96 N

= 2624154,96 Ton

s = $\frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{Ap \times Ep}$

= $\frac{0,5}{100} + \frac{537,556 \times 15}{0,196 \times 2624154,96}$

= 0,021 m

2) Penurunan Tiang Kelompok (Sg)

s = 0,021 m

S = 3 × D

= 3 × 0,5

= 1,5 m

Bg = D + 0,87S + 0,87S + D

= 0,5 + 0,87.1,5 + 0,87.1,5 + 0,5

= 3,61 m

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

= 0,021 $\sqrt{\frac{3,61}{0,5}}$

= 0,056 m

b. Kapasitas Dukung Tiang Berdasarkan Data NSPT

Perhitungan penurunan tiang tunggal dan kelompok pada tiang dengan diameter 0,5 m dengan jumlah tiang 3 adalah sebagai berikut.

1) Penurunan Tiang Tunggal (s)

P (berat aksial) = 502,276 Ton

Ap $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}5^2$

$= 0{,}196\ m^2$

Berat Tiang = Ap × ɣ beton bertulang × n × L

= 0,196 × 2,4 × 3 × 15

= 21,206 Ton

Q = P + Berat Tiang

= 502,276 + 21,206

= 523,482 Ton

Ep $= 4700 \sqrt{f'c}$

$= 4700 \sqrt{30}$

= 25742,96 N

= 2624154,96 Ton

s $= \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{Ap \times Ep}$

$= \frac{0{,}5}{100} + \frac{523{,}482 \times 15}{0{,}196 \times 2624154{,}96}$

= 0,020 m

2) Penurunan Tiang Kelompok (Sg)

s = 0,020 m

S = 3 × D

= 3 × 0,5

= 1,5 m

Bg = ½D + 0,87.S + ½D

= ½.0,5 + 0,87.1,5 + ½.0,5

= 2,305 m

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

$= 0{,}020 \sqrt{\frac{2{,}305}{0{,}5}}$

$= 0{,}043$ m

2. Penurunan Tiang Diameter 0,6 m

   a. Kapasitas Dukung Tiang Berdasarkan Data Laboratorium

      Perhitungan penurunan tiang tunggal dan kelompok pada tiang dengan diameter 0,6 m dengan jumlah tiang 4 adalah sebagai berikut.

      1) Penurunan Tiang Tunggal (s)

         P (berat aksial) = 502,276 Ton

         Ap $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$

         $= \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}6^2$

         $= 0{,}283$ m²

         Berat Tiang = Ap × ɣ beton bertulang × n × L

         $= 0{,}283 \times 2{,}4 \times 4 \times 15$

         $= 40{,}752$ Ton

         Q = P + Berat Tiang

         $= 502{,}276 + 40{,}752$

         $= 543{,}028$ Ton

         Ep $= 4700 \sqrt{f'c}$

         $= 4700 \sqrt{30}$

         $= 25742{,}96$ N

         $= 2624154{,}96$ Ton

         s $= \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{Ap \times Ep}$

         $= \frac{0{,}6}{100} + \frac{543{,}028 \times 15}{0{,}283 \times 2624154{,}96}$

         $= 0{,}017$ m

      2) Penurunan Tiang Kelompok (Sg)

         s = 0,017 m

S = 3 × D

= 3 × 0,6

= 1,6 m

Bg = D + S + D

= 0,6 + 1,8 + 0,6

= 3 m

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

= $0{,}017\sqrt{\frac{3}{0{,}6}}$

= 0,038 m

c. Kapasitas Dukung Tiang Berdasarkan Data NSPT

Perhitungan penurunan tiang tunggal dan kelompok pada tiang dengan diameter 0,6 m dengan jumlah tiang 2 adalah sebagai berikut.

3) Penurunan Tiang Tunggal (s)

P (berat aksial) = 502,276 Ton

Ap = $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2$

= $\frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}6^2$

= 0,283 m²

Berat Tiang = Ap × ɣ beton bertulang × n × L

= 0,283 × 2,4 × 2 × 15

= 20,358 Ton

Q = P + Berat Tiang

= 502,276 + 20,358

= 522,634 Ton

Ep = $4700\sqrt{f'c}$

= $4700\sqrt{30}$

= 25742,96 N

= 2624154,96 Ton

s $= \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{Ap \times Ep}$

$= \frac{0,6}{100} + \frac{522,634 \times 15}{0,283 \times 2624154,96}$

= 0,017 m

4) Penurunan Tiang Kelompok (Sg)

s = 0,017 m

S = 3 × D

= 3 × 0,6

= 1,8 m

Bg = ½S + ½S

= ½. 1,8 + ½.1,8

= 1,8 m

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

$= 0,017\sqrt{\frac{1,8}{0,6}}$

= 0,029 m

3. Penurunan Tiang Diameter 0,7 m

a. Kapasitas Dukung Tiang Berdasarkan Data Laboratorium

Perhitungan penurunan tiang tunggal dan kelompok pada tiang dengan diameter 0,7 m dengan jumlah tiang 3 adalah sebagai berikut.

1) Penurunan Tiang Tunggal (s)

P (berat aksial) = 502,276 Ton

Ap $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,7^2$

$= 0,385\ m^2$

Berat Tiang = Ap × ɣ beton bertulang × n × L

= 0,385 × 2,4 × 3 × 15

= 41,58 Ton

Q = P + Berat Tiang

= 502,276 + 41,58

= 543,856 Ton

Ep = $4700 \sqrt{f'c}$

= $4700 \sqrt{30}$

= 25742,96 N

= 2624154,96 Ton

s = $\frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{Ap \times Ep}$

= $\frac{0,7}{100} + \frac{543,856 \times 15}{0,385 \times 2624154,96}$

= 0,015 m

2) Penurunan Tiang Kelompok (Sg)

s = 0,015 m

S = 3 × D

= 3 × 0,7

= 2,1 m

Bg = D + 0,87.S + D

= 0,7 + 1,827 + 0,7

= 3,23 m

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

= 0,015 $\sqrt{\frac{3,23}{0,7}}$

= 0,032 m

b. Kapasitas Dukung Tiang Berdasarkan Data NSPT

Perhitungan penurunan tiang tunggal dan kelompok pada tiang dengan diameter 0,7 m dengan jumlah tiang 2 adalah sebagai berikut.

1) Penurunan Tiang Tunggal (s)

P (berat aksial) = 502,276 Ton

Ap $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}7^2$

$= 0{,}385\ m^2$

Berat Tiang = Ap × ɣ beton bertulang × n × L

= 0,385 × 2,4 × 2 × 15

= 27,709 Ton

Q = P + Berat Tiang

= 502,276 + 27,709

= 529,984 Ton

Ep $= 4700 \sqrt{f'c}$

$= 4700 \sqrt{30}$

= 25742,96 N

= 2624154,96 Ton

s $= \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{Ap \times Ep}$

$= \frac{0{,}7}{100} + \frac{529{,}984 \times 15}{0{,}385 \times 2624154{,}96}$

= 0,015 m

2) Penurunan Tiang Kelompok (Sg)

s = 0,015 m

S = 3 × D

= 3 × 0,7

= 2,1 m

Bg = ½S + ½S

= ½. 2,1 + ½.2,1

= 2,1 m

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

$= 0{,}015 \sqrt{\frac{2{,}1}{0{,}7}}$

$= 0{,}026$ m

4. Penurunan Tiang Diameter 0,8 m

   a. Kapasitas Dukung Tiang Berdasarkan Data Laboratorium

      Perhitungan penurunan tiang tunggal dan kelompok pada tiang dengan diameter 0,8 m dengan jumlah tiang 5 adalah sebagai berikut.

      1) Penurunan Tiang Tunggal (s)

         P (berat aksial) = 502,276 Ton

         Ap $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$

         $= \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}8^2$

         $= 0{,}503$ m²

         Berat Tiang = Ap × ɣ beton bertulang × n × L

         = 0,503 × 2,4 × 2 × 15

         = 36,216 Ton

         Q = P + Berat Tiang

         = 502,276 + 36,216

         = 538,492 Ton

         Ep $= 4700 \sqrt{f'c}$

         $= 4700 \sqrt{30}$

         = 25742,96 N

         = 2624154,96 Ton

         s $= \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{Ap \times Ep}$

         $= \frac{0{,}8}{100} + \frac{538{,}492 \times 15}{0{,}503 \times 2624154{,}96}$

         = 0,014 m

      2) Penurunan Tiang Kelompok (Sg)

         s = 0,014 m

S = 3 × D

= 3 × 0,8

= 2,4 m

Bg = ½S + ½S

= ½. 2,4 + ½.2,4

= 2,4 m

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

= $0{,}014\sqrt{\frac{2{,}4}{0{,}8}}$

= 0.024 m

b. Kapasitas Dukung Tiang Berdasarkan Data NSPT

Perhitungan penurunan tiang tunggal dan kelompok pada tiang dengan diameter 0,8 m dengan jumlah tiang 2 adalah sebagai berikut.

1) Penurunan Tiang Tunggal (s)

P (berat aksial) = 502,276 Ton

Ap = $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2$

= $\frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}8^2$

= 0,503 m²

Berat Tiang = Ap × ɣ beton bertulang × n × L

= 0,503 × 2,4 × 2 × 15

= 36,191 Ton

Q = P + Berat Tiang

= 502,276 + 36,191

= 538,467 Ton

Ep = $4700\sqrt{f'c}$

= $4700\sqrt{30}$

= 25742,96 N

= 2624154,96 Ton

s $= \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{Ap \times Ep}$

$= \frac{0,8}{100} + \frac{538,467 \times 15}{0,503 \times 2624154,96}$

= 0,014 m

2) Penurunan Tiang Kelompok (Sg)

s = 0,014 m

S = 3 × D

= 3 × 0,8

= 2,4 m

Bg = ½S + ½S

= ½. 2,4 + ½.2,4

= 2,4 m

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

$= 0,014 \sqrt{\frac{2,4}{0,8}}$

= 0,024 m

5. Penurunan Tiang Bor Existing Diameter 0,8 m

Perhitungan penurunan tiang tunggal pada tiang bor existing diameter 0,8 m adalah sebagai berikut.

a. Penurunan Tiang Tunggal (s)

P (berat aksial) = 502,276 Ton

Ap $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,8^2$

$= 0,503 \text{ m}^2$

Berat Tiang = Ap × ɣ beton bertulang × n × L

= 0,503 × 2,4 × 1 × 15

= 18,096 Ton

Q = P + Berat Tiang

= 502,276 + 18,096

= 520,372 Ton

Ep = $4700 \sqrt{f'c}$

= $4700 \sqrt{30}$

= 25742,96 N

= 2624154,96 Ton

s = $\frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{Ap \times Ep}$

= $\frac{0,8}{100} + \frac{520,372 \times 15}{0,503 \times 2624154,96}$

= 0,014 m

6. Penurunan yang Diizinkan

Syarat perbandingan penurunan yang aman untuk penurunan izin pada kelompok tiang adalah sebagai berikut.

$S_{Izin} = \frac{L}{250}$

$= \frac{15}{250}$

$= 0,06\, m$

5.5.5 Analisis Distribusi Beban ke Tiap Tiang Pancang

Berdasarkan analisis kelompok tiang pancang dipililh tiang pancang dengan diameter 0,8 m dengan jumlah tiang 2 buah. Perhitungan beban yang diterima oleh setiap tiang (P) pada kelompok tiang pancang adalah sebagai berikut.

Pi = $\frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{My \times Xi}{\Sigma x^2} \pm \frac{Mx \times Yi}{\Sigma y^2}$

Beban – beban yang berada di atas kelompok tiang adalah sebagai berikut.

Beban aksial (P) = 502,276 Ton

Berat Pile Cap = ɣ × t × B × H

= 2,4 × 1 × 2,4 × 4,8

= 27,648 Ton

Berat Tiang = Ap × ɣ × n × L

= $\frac{1}{4}\pi \times 0{,}8^2 \times 2{,}4 \times 2 \times 15$

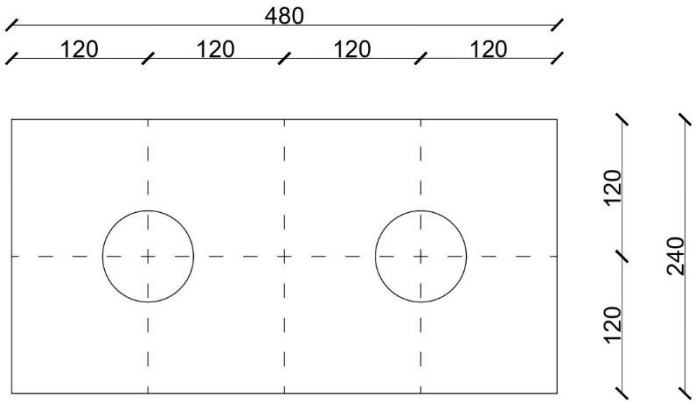
= 36,191 Ton

Berat Total = P + Berat Pile Cap + Berat Tiang

= 502,276 + 27,648 + 36,191

= 566,115 Ton

Absis tiang terhadap pusat pile cap dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut.



Gambar 5.29 Absis Tiang Terhadap Pusat *Pile Cap* Diameter 0,8 m

Σx^2 = $(1{,}2)^2 + (1{,}2)^2$

= 2,88 m

Σy^2 = 0

Mx = 2,264 Ton (Hasil Program SAP2000)

My = 23,698 Ton (Hasil Program SAP2000)

$$P1 = \frac{\Sigma P}{n} + \frac{My \times Xi}{\Sigma x^2} + \frac{Mx \times Yi}{\Sigma y^2}$$

$$= \frac{566{,}115}{2} + \frac{23{,}698 \times 1{,}2}{2{,}88} + \frac{2{,}264 \times 0}{0}$$

= 292,932 Ton

$P2 = \frac{\Sigma P}{n} - \frac{My \times Xi}{\Sigma x^2} - \frac{Mx \times Yi}{\Sigma y^2}$

$= \frac{566,115}{2} - \frac{23,698 \times 1,2}{2,88} - \frac{2,264 \times 0}{0}$

= 273,183 Ton

5.5.6 Analisis Kekuatan Tiang Pancang

Tiang pancang dengan mutu beton f'c = 30 Mpa, diameter 0,7 dan panjang tiang 15 m maka kekuatan tiangnya dapat dihitung dengan rumus berikut.

$\sigma = \frac{P}{A} < \sigma ijin$

dengan :

P = 292,932 Ton (beban maksimum yang diterima satu tiang)

A $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,8^2$

$= 0,503 \text{ m}^2$

σ $= \frac{P}{A}$

$= \frac{292,932}{0,503}$

$= 582,369 \text{ Ton/m}^2$

σijin = K-361,45

$= 361,45 \times 0,83$

$= 300,003 \text{ kg/m}^2$

$= 3000,03 \text{ Ton/m}^2$

σ = 582,369 Ton/m² < 3000,03 Ton/m²

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan nilai σ < σijin maka tiang pancang tersebut aman digunakan.

5.6 Pembahasan

Perencanaan pondasi merupakan salah satu langkah penting dalam perencanaan suatu bangunan. Pondasi merupakan bagian dari struktur bawah bangunan yang memiliki fungsi untuk meneruskan beban dari struktur atas ke tanah yang ada di bawah pondasi. Tanah tersebut harus cukup kuat dalam menahan beban bangunan tanpa terjadi kerusakan dan penurunan bangunan hingga batas yang diperbolehkan. Pondasi dirancang agar dapat menahan beban maksimum yang sudah direncanakan sebelumnya.

Pada pembangunan gedung *Dental Learning Center (DLC)* Fakultas Kedokteran Gigi UGM dilakukan penyelidikan tanah untuk mengetahui sifat – sifat fisik tanah pada setiap lapisannya. Hasil penyelidikan ini digunakan untuk perencanaan atau pemeliharaan pondasi dan untuk mendapatkan nilai daya dukung yang akurat. Penyelidikan tanah dilakukan dengan metode *Standart Penetration Test* yang menggunakan bor mesin dan dilakukan pada 3 titik dengan interval kedalaman sebesar 2 meter.

Perencanaan pondasi termasuk didalamnya adalah merencanakan kekuatan dari pondasi yang akan digunakan. Hal ini dikarenakan pondasi harus dapat menahan beban maksimum yang direncanakan atau yang mungkin terjadi. Kekuatan atau daya dukung pondasi dapat direncanakan dengan memperhatikan data penyelidikan tanah, beban bangunan, dimensi tiang, jarak antar tiang, kedalaman tiang dan data – data pendukung lainnya seperti mutu beton yang akan digunakan. Dalam penelitian ini analisis daya dukung pondasi tiang pancang menggunakan metode statik, sedangkan untuk analisis penurunan tiang menggunakan metode empiris.

5.6.1 Hasil Analisis Struktur Program *SAP2000*

Suatu pondasi dikatakan aman apabila dapat menyalurkan beban struktur yang ada di atasnya ke tanah dasar tanpa terjadi kerusakan pada tanah di bawahnya. Beban tersebut berupa gaya – gaya yang ditimbulkan dari suatu struktur bangunan, yaitu beban aksial, gaya geser, dan momen. Hasil *output* dari program *SAP2000* didapatkan gaya – gaya dalam maksimum akibat kombinasi beban pada *frame* 1897 sebesar :

Beban aksial (P) = 502,276 Ton

Gaya geser (H) = 5,808 Ton

Momen arah x (Mx) = 2,264 Ton

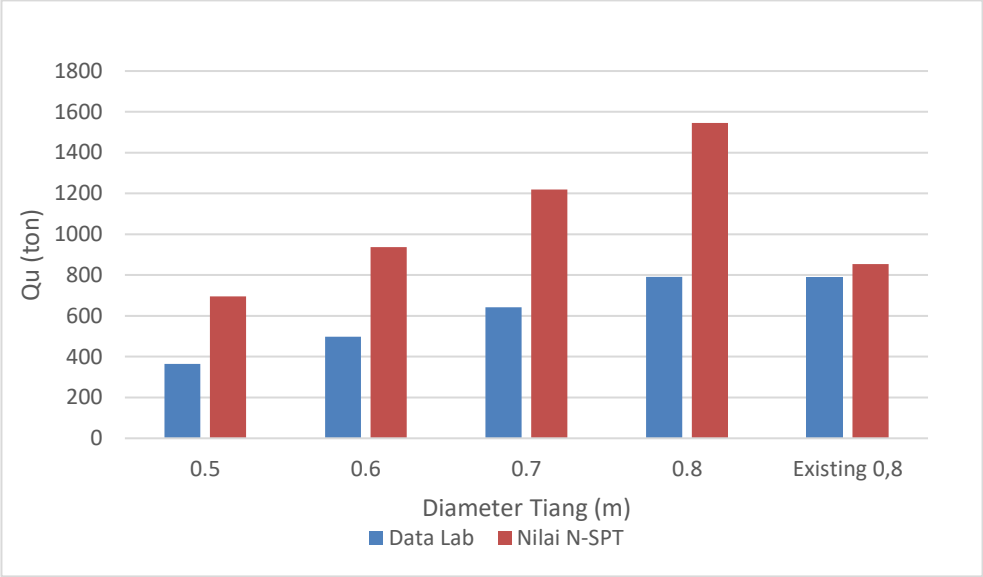
Momen arah y (My) = 23,698 Ton

5.6.2 Hasil Analisis Pondasi Tiang Pancang

Kapasitas dukung pondasi tiang pancang yang dihitung pada penelitian ini menggunakan diameter tiang 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m dengan kedalaman tiang 15 m. Pondasi tiang *existing* atau pondasi yang terpasang di lapangan menggunakan tiang bor dengan diameter 0,8 m sedalam 15 m. Analisis kapasitas dukung tiang pancang menggunakan 2 metode yaitu berdasarkan data hasil laboratorium dan data hasil uji SPT. Kapasitas dukung pondasi didapatkan dari kapasitas dukung ujung tiang dan kapasitas dukung selimut tiang. Rekapitulasi hasil analisis kapasitas dukung tiang pancang dan *existing* dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Gambar 5.37 berikut.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Analisis Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Pondasi

	TIANG PANCANG								TIANG BOR	
	DATA LAB				NILAI N-SPT				N-SPT	DATA LAB
D	0.5 m	0.6 m	0.7 m	0.8 m	0.5 m	0.6 m	0.7 m	0.8 m	0.8 m	0.8 m
Qp (ton)	85,826	123,59	168,22	219,716	456,029	648.07	883.667	1161.085	2230.243	219,716
Qs (ton)	278,664	374,524	437,356	570,703	240,183	288,219	336,256	384,293	384.293	507,703
Qu (ton)	364,489	498,114	641,576	790,416	696,212	936,289	1219,923	1545,378	2614.536	790,419



Gambar 5.30 Perbandingan Kapasitas Dukung Ultimit Pondasi Tiang Tunggal

Berdasarkan Tabel 5.10 di atas hasil analisis kapasitas dukung ultimit (Qu) tiang pancang dengan data hasil laboratorium dengan diameter 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m diperoleh masing – masing sebesar 364,489 Ton, 498,114 Ton, 641,576 Ton, dan 790,416 Ton. Hasil analisis kapasitas dukung ultimit tiang pancang dengan data N-SPT dengan diameter 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m diperoleh masing – masing sebesar 696,212 Ton, 936,289 Ton, 1219,923 Ton, dan 1545,378 Ton. Hasil analisis kapasitas dukung ultimit tiang bor kondisi existing dengan data N-SPT diperoleh sebesar 2614,536 Ton dan dengan data laboratorium sebesar 790,419 Ton. Hasil analisis kapasitas dukung ultimit tiang pancang dari data N-SPT lebih besar dibandingkan dengan analisis dengan data hasil laboratorium.

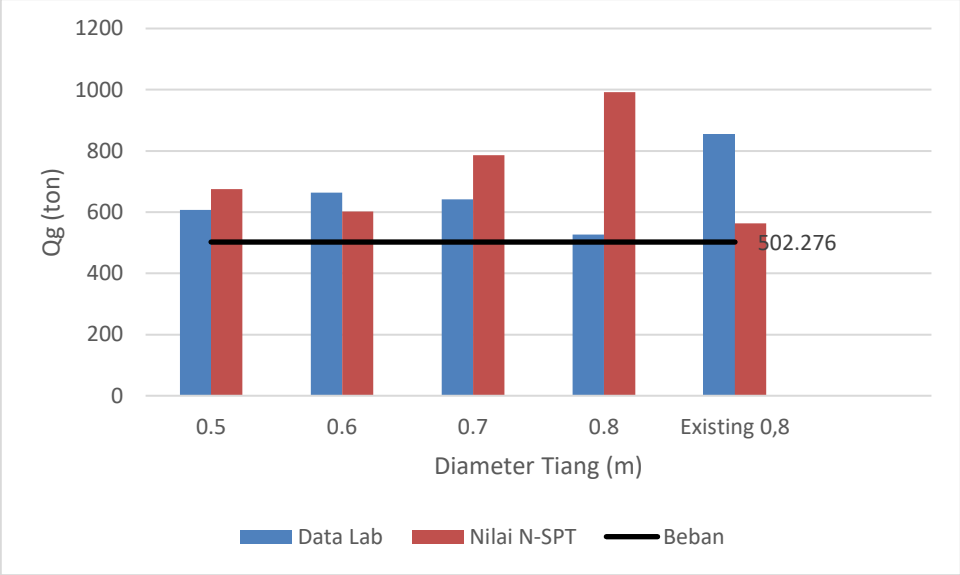
5.6.3 Hasil Analisis Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Berdasarkan analisis kapasitas dukung pondasi tiang tunggal didapatkan jumlah tiang yang bervariasi sehingga dihasilkan nilai kapasitas dukung kelompok

tiang yang berbeda – beda. Rekapitulasi hasil analisis kapasitas dukung kelompok pondasi tiang pancang dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan Gambar 5.38 berikut.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Analisis Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pondasi

	TIANG PANCANG								TIANG BOR	
	DATA LAB				NILAI N-SPT				N-SPT	DATA LAB
D	0.5 m	0.6 m	0.7 m	0.8 m	0.5 m	0.6 m	0.7 m	0.8 m	0.8 m	0.8 m
Qu (ton)	364,489	498,114	641,576	790,416	696,212	936,289	1219,923	1545,378	2614.536	790,419
SF	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Qall (ton)	121,496	166,038	213,859	263,473	225,015	301,908	392,781	497,018	853,416	526,944
n	4	3	2	2	3	2	2	2	1	1
Eg	1	1	1	1	1	1	1	1		
Qg (ton)	607,48	664,152	641,576	526,473	675,045	602,192	785,562	992,036		
CEK	AMAN	AMAN	AMAN	AMAN	AMAN	AMAN	AMAN	AMAN	AMAN	AMAN



Gambar 5.31 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Berdasarkan Tabel 5.11 di atas hasil analisis kapasitas dukung kelompok (Qg) tiang pancang dengan data hasil laboratorium dengan diameter 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m diperoleh masing – masing sebesar 607,48 Ton, 664,152 Ton, 641,576 Ton, dan 526,473 Ton. Hasil analisis kapasitas dukung kelompok tiang pancang dengan data

N-SPT dengan diameter 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m diperoleh masing – masing sebesar 675,045 Ton, 602,192 Ton, 785,562 Ton, dan 992,036 Ton. Hasil analisis kapasitas dukung pada tiang *existing* diameter 0,8 m dengan metode perhitungan menggunakan data laboratorium adalah sebesar 526,944 Ton. Hasil analisis kapasitas dukung pada tiang *existing* diameter 0,8 m dengan metode perhitungan menggunakan data N-SPT adalah sebesar 853,416 Ton. Hasil analisis kapasitas dukung kelompok tiang pancang dari data laboratorium lebih kecil dibandingkan dengan analisis dengan data N-SPT, hal tersebut menunjukkan bahwa dibutuhkan data lain berupa data uji lapangan agar perhitungan kapasitas dukung pondasi dapat lebih akurat.

Dilakukan juga pengecekkan terhadap keamanan kelompok tiang pancang. Pondasi dikatakan aman apabila nilai kapasitas dukung kelompok (Qg) tiang pancang lebih besar daripada beban yang diterima pondasi (P) yaitu 502,276 Ton dan momen arah X sebesar 2,264 Ton. Berdasarkan perbandingan tersebut maka desain pondasi tiang pancang dengan diameter 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m aman digunakan pada pembangunan gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi UGM.

5.6.4 Hasil Analisis Penurunan Pondasi Tiang Pancang

Penurunan pondasi tiang dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu beban – beban pada bangunan, diameter tiang, jumlah tiang, dimensi pile cap, formasi kelompok tiang, jenis material tiang dan kondisi tanah. Besarnya penurunan tiang utamanya dipengaruhi oleh nilai banding tahanan ujung dengan beban tiang. Semakin besar beban yang didukung oleh tiang makan semakin besar juga penurunannya. Penurunan yang terjadi pada pondasi kelompok tiang biasanya lebih besar daripada pondasi tiang tunggal karena dipengaruhi oleh tegangan pada daerah cakupan yg lebih luas. Hasil rekapitulasi analisis penurunan tiang pancang tunggal dan kelompok tiang dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Analisis Penurunan Tiang Pancang Tunggal dan Kelompok

	TIANG PANCANG								TIANG BOR
	DATA LAB				NILAI N-SPT				EXISTING
D	0.5 m	0.6 m	0.7 m	0.8 m	0.5 m	0.6 m	0.7 m	0.8 m	0.8 m
n	12	9	7	5	3	2	2	2	1
Tiang tunggal S (m)	0.022	0.017	0.015	0.014	0.02	0.017	0.015	0.014	0,014
Kelompok Tiang Sg (m)	0.056	0.038	0.032	0.024	0.043	0.029	0.026	0.024	

Berdasarkan Tabel 5.12 di atas hasil analisis penurunan kelompok tiang pancang dengan data hasil laboratorium didapatkan penurunan pada diameter 0,5 m sebesar 0,056 m, diameter 0,6 m sebesar 0,038 m, diameter 0,7 m sebesar 0,032 m dan diameter 0,8 m sebesar 0,024 m. Hasil analisis penurunan kelompok tiang pancang dengan data N-SPT didapatkan penurunan pada diameter 0,5 m sebesar 0,043 m, diameter 0,6 m sebesar 0,029 m, diameter 0,7 m sebesar 0,026 m dan diameter 0,8 m sebesar 0,024 m. Pada tiang bor kondisi existing dengan diameter 0,8 m terjadi penurunan sebesar 0,014 m. Dilihat dari hasil penurunan yang terjadi, nilai hasil analisis penurunan dengan data N-SPT lebih kecil daripada dengan data hasil laboratorium karena jumlah tiang pancang yang digunakan lebih sedikit. Selain itu dapat dilihat juga semakin besar diameter tiang pancang makan penurunan yang terjadi akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin luas penampang kelompok tiang makan semakin kecil penurunan yang terjadi. Berdasarkan perhitungan penurunan semua diameter tersebut memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari penurunan yang diizinkan sebesar 0,06 m, sehingga struktur aman digunakan.

5.6.5 Hasil Analisis Kekuatan Tiang Pancang

Berdasarkan hasil dari analisis – analisis yang telah dilakukan terhadap beberapa alternatif dimensi tiang yaitu diameter 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m maka

diambil alternatif ke 4 yaitu tiang dengan diameter 0,8 m dengan jumlah tiang 2 tiang dalam 1 kelompok tiang. Pertimbangan dalam pemilihan alternatif ini adalah nilai kapasitas dukung kelompok tiang (Qg) yang mempunyai nilai terbesar di antara alternatif lainnya, nilai ini juga lebih besar dari beban aksial (P) dan momen arah X yang diterima yaitu sebesar 992,036 Ton > 504,532 Ton yang berarti pondasi mampu menahan beban struktur gedung yang ada di atasnya. Selain itu pada alternatif ini tiang pancang mengalami penurunan yang paling kecil dibanding alternatif lainnya yaitu sebesar 0,014 m untuk tiang tunggal dan 0,024 untuk kelompok tiang.

Hasil analisis tiang pancang yang dilakukan untuk tiang pancang diameter 0,8 m dan jumlah tiang 2 buah menghasilkan nilai tegangan yang terjadi pada tiang sebesar 582,369 Ton/m². Nilai tegangan ini lebih kecil dari tegangan ijin yang dipengaruhi oleh mutu beton f'c 30 Mpa sebesar 3000,03 Ton/m². Hal ini dapat disimpulkan bahwa pondasi tiang pancang dengan diameter 0,8 m dan jumlah tiang 2 tiang aman digunakan untuk gedung *DLC* Fakultas Kedokteran Gigi UGM.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kapasitas dukung dan penurunan tiang pancang pada gedung *Dental Learning Center (DLC)* Fakultas Kedokteran Gigi UGM diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari beberapa variasi yang dianalisis, digunakan alternatif diameter keempat yaitu tiang pancang dengan diameter 0,8 m dan jumlah 2 tiang dengan metode perhitungan menggunakan data NSPT. Hasil analisis kapasitas dukung kelompok tiang (Qg) pada alternatif tersebut sebesar 992,036 Ton dimana nilai tersebut lebih besar dari beban aksial (P) dan momen arah X pada bangunan yaitu 504,532 Ton sehingga tiang pancang aman untuk digunakan.
2. Penurunan yang terjadi pada alternatif tiang yang digunakan untuk tiang tunggal adalah sebesar 0,014 m sedangkan untuk penurunan kelompok tiang sebesar 0,024 m.
3. Kapasitas dukung pada tiang bor existing untuk perhitungan dengan data N-SPT adalah sebesar 853,416 Ton dan 526,944 Ton untuk perhitungan dengan data laboratorium, sedangkan kapasitas dukung pada desain pondasi tiang pancang yang digunakan adalah sebesar 992,036 Ton. Penurunan yang terjadi pada tiang bor existing adalah sebesar 0,014 m, sedangkan penurunan pada tiang pancang yang digunakan untuk tiang tunggal adalah sebesar 0,014 m dan 0,024 untuk kelompok tiang.

6.2 Saran

Pada perencanaan pondasi tiang pancang agar mendapatkan hasil yang lebih optimal maka penulis menyarankan untuk melakukan analisis – analisis sebagai berikut:

1. Melakukan analisis kapasitas dukung tiang pancang dengan menggunakan metode lainnya (data sondir, *Vesic, Poulus and David, Tomlinson*) agar mendapatkan nilai kapasitas dukung yang lebih akurat.
2. Melakukan perbandingan analisis kapasitas dukung dengan menggunakan program geoteknik lainnya seperti *Plaxis, Geo Studio, GEO5* atau *Soil Vision*.
3. Melakukan analisis perbandingan biaya dan waktu pelaksanaan dalam menentukan alternatif tiang pancang.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2012. *SNI 1726 : 2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta

Bowles, J. E., 1997, Foundation Analysis and Design, Fifth Edition, Washington D.c.

Dirgananta, M. Fahri. 2018. Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Pancang dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode Mayerhoff, Aoki & De Alencar, dan Luciano Decourt. *Tugas Akhir.* Universitas Islam Indonesia.

Endah, Noor., Mochtar, Indrasurya B., M. Das, Braja. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Erlangga, Jakarta.

Hardiyatmo, H.C., 2001, *Prinsip – prinsip Mekanika Tanah dan Soal Penyelesaian 1*, Betta Offset, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. 2008. *Teknik Pondasi 2*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 2*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. 2015. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Harianti, Erny dan Pamungkas, Anugrah. 2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa* Sesuai SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2847-2002. Penerbit ANDI. Yogyakarta

Hidayat Mz, Ibnu. 2018. Perencanaan Ulang Struktur Bawah dengan Pondasi Bored Pile pada Gedung White Hotel Sedan Yogyakarta. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

HS, Suryadi., Santosa, Budi., Suprapto, Heri. *Dasar Mekanika Tanah*. Gunadarma, Jakarta.

Mayangsari. 2018. Analisis Perbandingan Pondasi Tiang Pancang dengan Pondasi Tiang Bor pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Gigi dan Mulut Universitas Brawijaya. *Tugas Akhir.* Universitas Brawijaya, Malang.

Mayerhof, G.G. 1965. *Shallow Foundation Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division*. ASCE. Vol 91. No.SM2. pp 21-31

Nurdiani, Nina. 2013. Pekerjaan Pondasi Tiang Pancang : Pemancangan, Kendala dan Teknologi Terbaru. *Penelitian.* Universitas Bina Nusantara. Jakarta.

Paulus, P.R., 2016. *Manual Pondasi Tiang*, Universitas Katolik Parahiyangan, Bandung.

Priarianto, Eko dan Widodo, Sembodo Wahyu. 2002. Analisis Pengaruh Diameter, Panjang, dan Formasi Tiang Terhadap Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

PT Sadhya Grahacara. 2018. Laporan *Soil Investigation (SI)* Proyek JICA Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Rakit P.N, Aditya. 2007. Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang pada Jembatan Bantar III. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Sembiring, Chefprina. 2019. Analisis Perbandingan Biaya dan Waktu Pelaksanaan Pondasi *Spun Pile* dengan *Bore Pile* pada Proyek Masjid Agung. *Skripsi*. Universitas Medan Area, Sumatera Utara.

Sudarmo, Djatmiko dan Purnomo, Edy.1993. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta : Kanisius.

Sugito, 2012, Modul SAP2000 15.0 : Analisis 3D Statik & Dinamik Berdasarkan SNI-1726-2002, (https://www.academia.edu/) , Diakses 2 April 2020

Sosrodarsono, dan Nakazawa. 1990. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. PT Pradnya Paramita, Jakarta

Tambunan, Jhonson. 2012. Studi Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang. *Penelitian*. Universitas Simalungun, Sumatera Utara.

Terzaghi, K, R.B Peck, dan Mesri. 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York : John Wiley

Universitas Mercu Buana. 2013. Modul 13-14 Penyelidikan Tanah di Lapangan. (https://www.scribd.com/). Diakses 30 Maret 2020.

Vesic, A.S. 1977. *Design of Pile Foundations*. NCHRP Synthesis of Practice No.42. Washington D.C : Transportation Research Board, 68.

Wiriyanti. 2018. Klasifikasi Tanah AASHTO. (https://www.scribd.com/). Diakses 30 Maret 2020.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Tanah

GRAIN SIZE ANALYSIS

Project	: Soil Investigation	Depth	: 6.50 – 7.00 m
Location	: Fakultas Kedokteran Gigi UGM Yogyakarta	Date	: 12 November 2018
Test/Boring no.	: BH - 06	Made by	:

Mass of soil, W =	**100,55** gr	Hydrometer no. :	152 H
Specific Gravity,G=	2,77	Hydr. correction, a :	0,98
K_2 = a/W x 100 =	0,970	Meniscus correction, m :	1,0
Dispersing agent	1,5 ml	Amount	

Sieve No.	Opening (mm)	Mass retained (gr)	Mass passing (gr)	% finer by mass e/W x 100%	
3/4'	19,00	d1 = **0,00**	e_1= 100,55	100,00	$e_9=d_9+e_7$
3/8'	9,50	d_2 = 28,85	e_2= 71,70	71,31	$e_8=d_8+e_7$
4	4,750	d_3 = 6,83	e_3= 64,87	64,52	$e_7=d_7+e_6$
10	2,000	d_4 = 10,86	e_4= 54,01	53,71	$e_6=d_7+e_7$
20	0,850	d_5 = 10,21	e_5= 43,80	43,56	$e_5=d_6+e_6$
40	0,425	d_6 = 11,38	e_6= 32,42	32,24	$e_4=d_5+e_5$
60	0,250	d_7 = 7,72	e_7= 24,70	24,56	$e_3=d_4+e_4$
140	0,106	d_8 = 11,27	e_8= 13,43	13,36	$e_2=d_3+e_3$
200	0,075	d_9 = 1,76	e_9= 11,67	11,61	$e_1=d_2+e_2$
		Σd = 88,88			

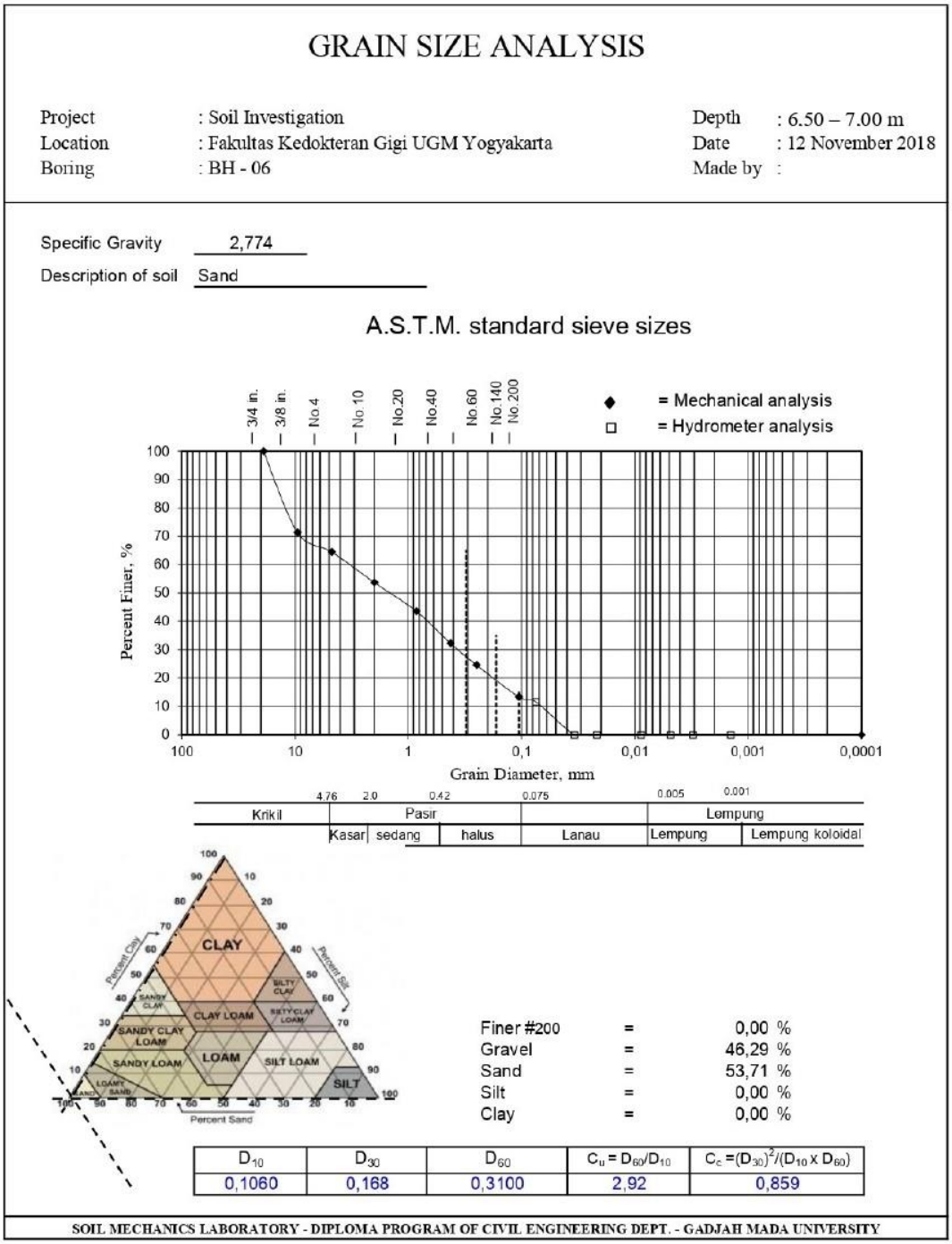
Time	Elapsed time min.	R_1	R_2	t	R'= R_1+m	L	K	D= K*L/T	R= R_1-R_2	P= K_2*R%
	2	-3	-3	29	-2,0	16,623	0,0119	0,0342	0	0,00
	5	-3	-3	29	-2,0	16,623	0,0119	0,0216	0	0,00
	30	-3	-3	29	-2,0	16,623	0,0119	0,0088	0	0,00
	100	-3	-3	29	-2,0	16,623	0,0119	0,0048	0	0,00
	250	-3	-3	29	-2,0	16,623	0,0119	0,0031	0	0,00
	1150	-3	-3	29	-2,0	16,623	0,0119	0,0014	0	0,00

NOTE :

SOIL MECHANICS LABORATORY - DIPLOMA PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING DEPT. - GADJAH MADA UNIVERSITY

Gambar L-1.1 Data Penyelidikan Tanah BH-06 Kedalaman 6,5 – 7 m

(Sumber : Lab. Mekanika Tanah, Program Diploma Departemen Teknik Sipil, UGM)



Gambar L-1.2 Data Penyelidikan Tanah BH-06 Kedalaman 6,5 – 7 m

(Sumber : Lab. Mekanika Tanah, Program Diploma Departemen Teknik Sipil, UGM)

DIRECT SHEAR TEST

Project : Soil Investigation
Location : Fakultas Kedokteran Gigi UGM Yogyakarta
Boring No. : BH - 06

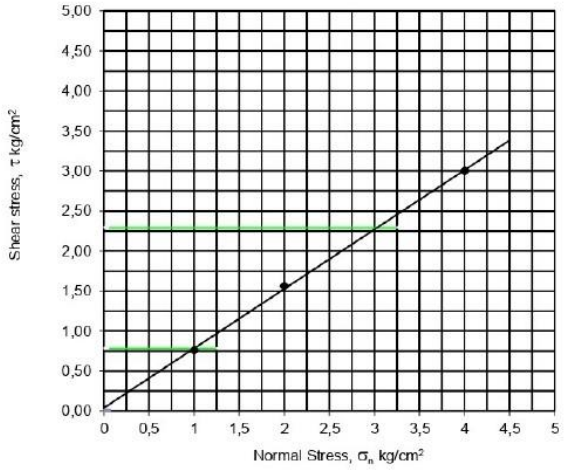
Depth : 6.50 – 7.00 m
Date : 14 November 2018
Made by :

Description of soil : Sand
Dimensions of sample :

Diameter	6,33	cm
Area	31,454	cm^2
Ht.	2,00	cm
Volume	62,91	cm^3

Loading rate = 0.6 mm/minute

Specimen no.		1	2	3
Mass of soil + ring	g	**194,14**	**201,34**	**213,28**
Mass of ring	g	**49,48**	**62,52**	**66,04**
Mass of soil	g	144,66	138,82	147,24
Initial water content	w_N (%)		**12,77**	
Bulk density	γ_b (g/cm^3)	2,30	2,21	2,34
Dry density	γ_d (g/cm^3)	2,04	1,96	2,08
Final water content	w_N (%)	-	-	-
Normal stress	σ_n (kg/cm^2)	1,00	2,00	4,00
Shear stress at failure	τ (kg/cm^2)	0,758	1,564	3,001
Shear displacement at failure	δ_h (%)	6,14	8,03	9,45



Angle of Internal Friction	ϕ	=	37,05 °
Cohesion	c	=	0,000 kg/cm^2

SOIL MECHANICS LABORATORY - DIPLOMA PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING DEPT - GADJAH MADA UNIVERSITY

Gambar L-1.3 Data Penyelidikan Tanah BH-06 Kedalaman 6,5 – 7 m

(Sumber : Lab. Mekanika Tanah, Program Diploma Departemen Teknik Sipil, UGM)

SPECIFIC GRAVITY

Project : Soil Investigation
Location : Fakultas Kedokteran Gigi UGM Yogyakarta
Boring no. : BH - 06
Depth : 6.50 – 7.00 m
Date : 9 November 2018
Made by

1	Piknometer no.		29	X
2	Mass of piknometer	M_1 gram	28,45	29,28
3	Mass of dry soil + piknometer	M_2 gram	44,01	52,39
4	Mass of dry soil + water + piknometer	M_3 gram	89,24	94,96
5	Mass of water + piknometer	M_4 gram	79,28	80,20
6	Temperature t^{o}C		27,00	
7	A = M_2 - M_1		15,56	23,11
8	B = M_3 - M_4		9,96	14,76
9	C = A - B		5,60	8,35
10	Specific Gravity, G_1 = A/C		2,78	2,77
11	Average specific gravity, G_1		2,77	
12	G_{water} at t^{o}C		0,9965	
13	G for 27,5 ^{o}C = G = (G_{water} at t^{o}C)/(G_{water} at 27.5^{o}C)		2,77	

SOIL MECHANICS LABORATORY - DIPLOMA PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING DEPT. - GADJAH MADA UNIVERSITY

Gambar L-1.4 Data Penyelidikan Tanah BH-06 Kedalaman 6,5 – 7 m

(Sumber : Lab. Mekanika Tanah, Program Diploma Departemen Teknik Sipil, UGM)

GRAIN SIZE ANALYSIS

Project	: Soil Investigation	Depth	: 14,50 – 15,00 m
Location	: Fakultas Kedokteran Gigi UGM Yogyakarta	Date	: 12 November 2018
Test/Boring no.	: BH - 06	Made by	:

Mass of soil, W =	**100,19** gr	Hydrometer no.	: 152 H
Specific Gravity,G=	2,78	Hydr. correction, a	: 0,97
K_2 = a/W x 100 =	0,973	Meniscus correction, m	: 1,0
Dispersing agent	1,5 ml	Amount	

Sieve No.	Opening (mm)	Mass retained (gr)	Mass passing (gr)	% finer by mass e/W x 100%	
3/4'	19,00	d_1 = 0,00	e_1= 100,19	100,00	$e_9=d_9+e_7$
3/8'	9,50	d_2 = 0,00	e_2= 100,19	100,00	$e_8=d_8+e_7$
4	4,750	d_3 = 0,00	e_3= 100,19	100,00	$e_7=d_7+e_6$
10	2,000	d_4 = 0,51	e_4= 99,68	99,49	$e_6=d_7+e_7$
20	0,850	d_5 = 4,80	e_5= 94,88	94,70	$e_5=d_6+e_6$
40	0,425	d_6 = 19,86	e_6= 75,02	74,88	$e_4=d_5+e_5$
60	0,250	d_7 = 25,44	e_7= 49,58	49,49	$e_3=d_4+e_4$
140	0,106	d_8 = 40,09	e_8= 9,49	9,47	$e_2=d_3+e_3$
200	0,075	d_9 = 3,40	e_9= 6,09	6,08	$e_1=d_2+e_2$
		Σd = 94,10			

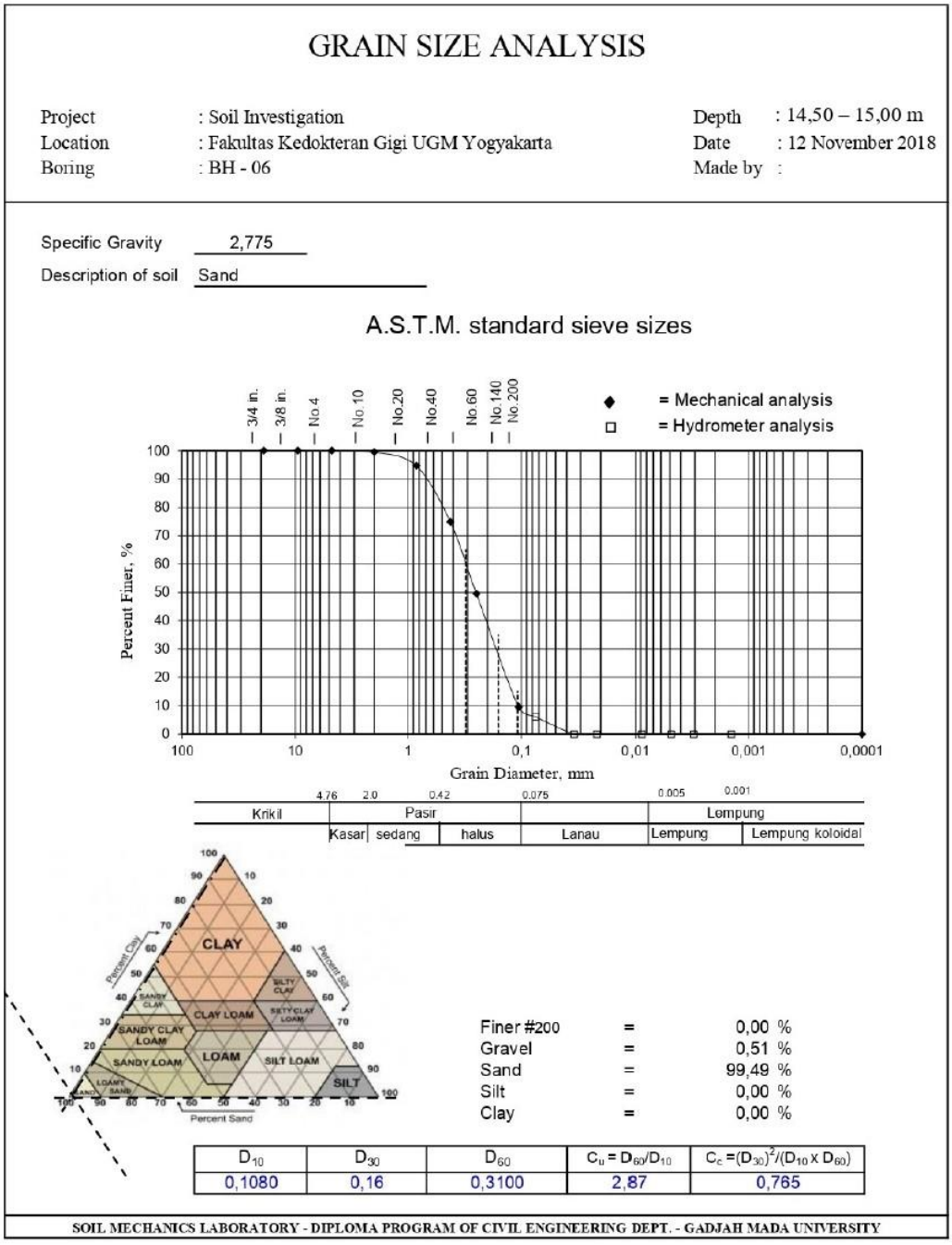
Time	Elapsed time min.	R_1	R_2	t	R'= R_1+m	L	K	D= K*L/T	R= R_1-R_2	P= K_2*R%
	2	-3	-3	29	-2,0	16,623	0,0119	0,0342	0	0,00
	5	-3	-3	29	-2,0	16,623	0,0119	0,0216	0	0,00
	30	-3	-3	29	-2,0	16,623	0,0119	0,0088	0	0,00
	100	-3	-3	29	-2,0	16,623	0,0119	0,0048	0	0,00
	250	-3	-3	29	-2,0	16,623	0,0119	0,0031	0	0,00
	1150	-3	-3	29	-2,0	16,623	0,0119	0,0014	0	0,00

NOTE :

SOIL MECHANICS LABORATORY - DIPLOMA PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING DEPT. - GADJAH MADA UNIVERSITY

Gambar L-1.5 Data Penyelidikan Tanah BH-06 Kedalaman 14,5 – 15 m

(Sumber : Lab. Mekanika Tanah, Program Diploma Departemen Teknik Sipil, UGM)



Gambar L-1.6 Data Penyelidikan Tanah BH-06 Kedalaman 14,5 – 15 m

(Sumber : Lab. Mekanika Tanah, Program Diploma Departemen Teknik Sipil, UGM)

DIRECT SHEAR TEST

Project : Soil Investigation
Location : Fakultas Kedokteran Gigi UGM Yogyakarta
Boring No. : BH - 06

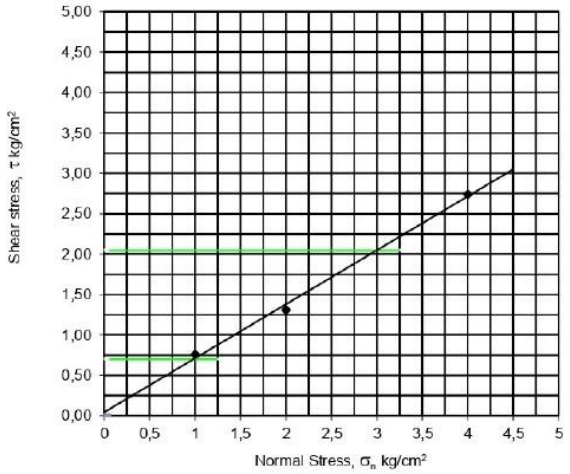
Depth : 14,50 – 15,00 m
Date : 14 November 2018
Made by :

Description of soil : Sand
Dimensions of sample :

Diameter	6,33	cm
Area	31,454	cm^2
Ht.	2,00	cm
Volume	62,91	cm^3

Loading rate = 0.6 mm/minute

Specimen no.		1	2	3
Mass of soil + ring	g	**169,29**	**176,52**	**180,48**
Mass of ring	g	**66,04**	**62,52**	**66,04**
Mass of soil	g	103,25	114,00	114,44
Initial water content	w_N (%)		**26,44**	
Bulk density	γ_b (g/cm^3)	1,64	1,81	1,82
Dry density	γ_d (g/cm^3)	1,30	1,43	1,44
Final water content	w_N (%)	-	-	-
Normal stress	σ_n (kg/cm^2)	1,00	2,00	4,00
Shear stress at failure	τ (kg/cm^2)	0,758	1,311	2,741
Shear displacement at failure	δ_h (%)	9,45	7,09	9,45



Angle of Internal Friction	ϕ	=	33,92 °
Cohesion	c	=	0,050 kg/cm^2

SOIL MECHANICS LABORATORY - DIPLOMA PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING DEPT - GADJAH MADA UNIVERSITY

Gambar L-1.7 Data Penyelidikan Tanah BH-06 Kedalaman 14,5 – 15 m

(Sumber : Lab. Mekanika Tanah, Program Diploma Departemen Teknik Sipil, UGM)

SPECIFIC GRAVITY

Project : Soil Investigation
Location : Fakultas Kedokteran Gigi UGM Yogyakarta
Boring no. : BH - 06
Depth : 14,50 – 15,00 m
Date : 9 November 2018
Made by

1	Piknometer no.		Y	21
2	Mass of piknometer	M_1 gram	30,13	27,42
3	Mass of dry soil + piknometer	M_2 gram	49,31	44,30
4	Mass of dry soil + water + piknometer	M_3 gram	92,73	88,78
5	Mass of water + piknometer	M_4 gram	80,50	77,95
6	Temperature t°C		27,00	
7	$A = M_2 - M_1$		19,18	16,88
8	$B = M_3 - M_4$		12,23	10,83
9	C = A - B		6,95	6,05
10	Specific Gravity, $G_1 = A/C$		2,76	2,79
11	Average specific gravity, G_1		2,77	
12	G_{water} at t°C		0,9965	
13	G for 27,5 °C = G = (G_{water} at t°C)/(G_{water} at 27.5°C)		2,78	

SOIL MECHANICS LABORATORY - DIPLOMA PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING DEPT. - GADJAH MADA UNIVERSITY

Gambar L-1.8 Data Penyelidikan Tanah BH-06 Kedalaman 14,5 – 15 m

(Sumber : Lab. Mekanika Tanah, Program Diploma Departemen Teknik Sipil, UGM)

DETERMINATION OF WATER CONTENT

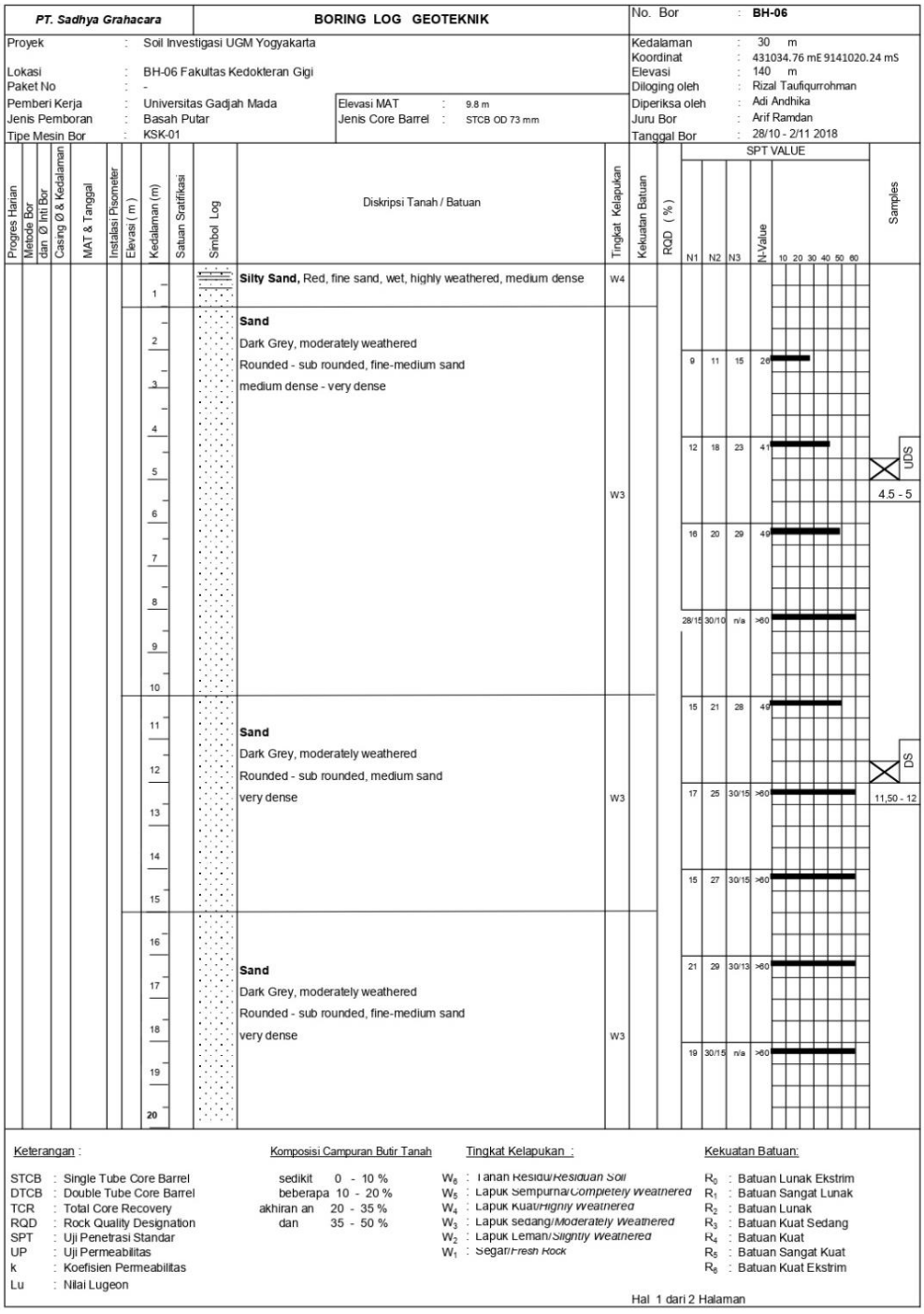
Project : Soil Investigation
Location : Fakultas Kedokteran Gigi UGM Yogyakarta
Boring no. : BH - 06
Depth : 14,50 – 15,00 m
Date : 8 November 2018
Made by :

1	Can no.		1	2
2	Mass of can	M_1 gram	**12,49**	**11,17**
3	Mass of wet soil + can	M_2 gram	**96,76**	**99,92**
4	Mass of dry soil + can	M_3 gram	**78,55**	**81,99**
5	Mass of moisture	(M_2-M_3) gram	18,21	17,93
6	Mass of dry soil	(M_3-M_1) gram	66,06	70,82
7	Water content, w	$[(M_2-M_3)/(M_3-M_1)]x100\%$	27,57	25,32
8	Average water content, w		26,44	

SOIL MECHANICS LABORATORY - DIPLOMA PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING DEPT. - GADJAH MADA UNIVERSITY

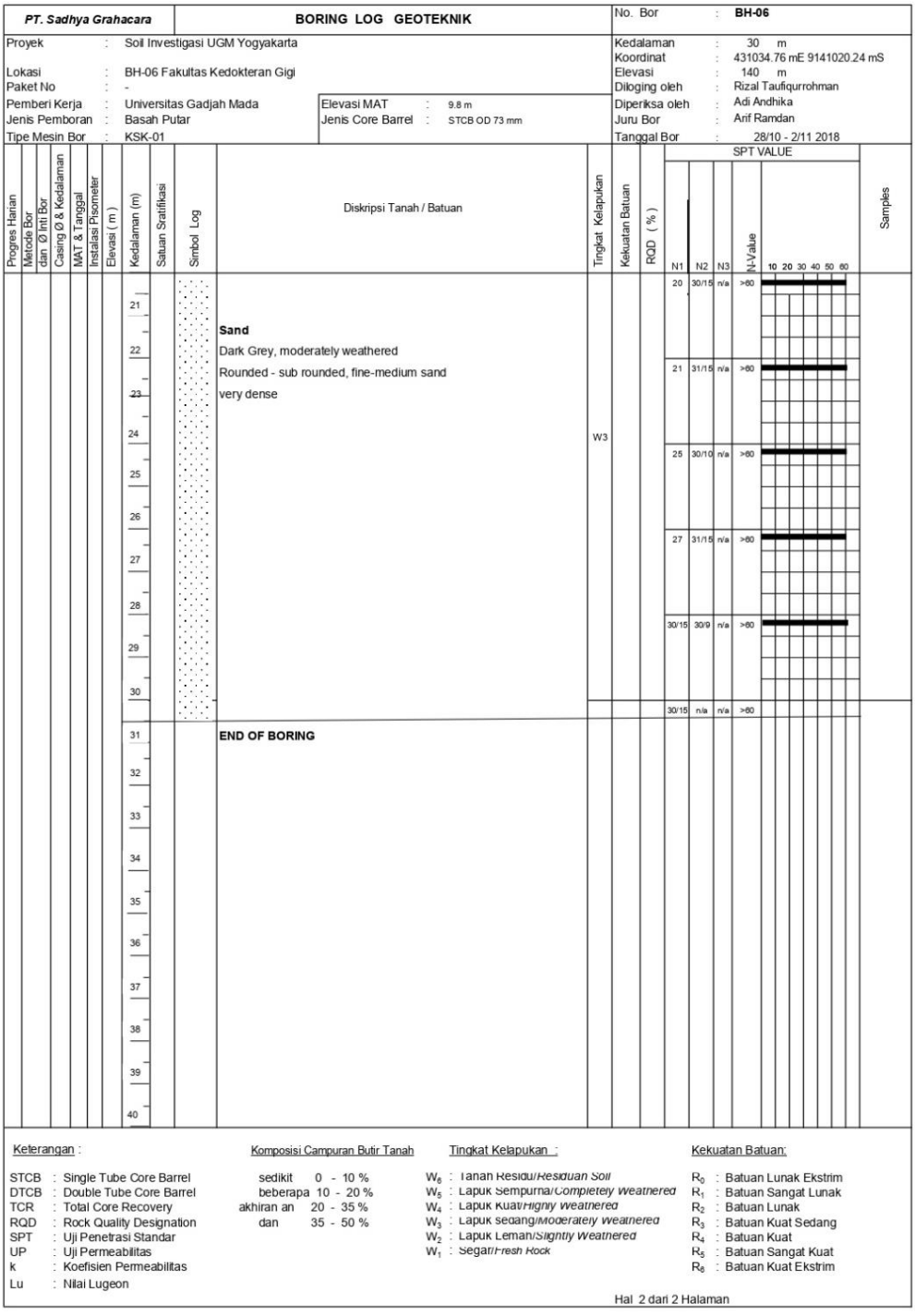
Gambar L-1.9 Data Penyelidikan Tanah BH-06 Kedalaman 14,5 – 15 m

(Sumber : Lab. Mekanika Tanah, Program Diploma Departemen Teknik Sipil, UGM)



Gambar L-1.10 Data Boring Log Titik BH-06

(Sumber : Lab. Mekanika Tanah, Program Diploma Departemen Teknik Sipil, UGM)



Gambar L-1.11 Data Boring Log Titik BH-06

(Sumber : Lab. Mekanika Tanah, Program Diploma Departemen Teknik Sipil, UGM)

Tabel L-1.12 *Resume* Hasil Pemboran di Titik Bor BH-06

Bore Hole	Kedalaman (m)	Litologi
BH - 06	0,00 – 0,70	**Pasir lanauan;** merah, pasir halus, pelapukan tinggi, padat sedang (*medium dense*)
	0,70 – 10,00	**Pasir;** abu – abu gelap, pelapukan sedang, butiran *rounded – subrounded*, ukuran butiran halus-sedang, padat sedang (*medium dense*) – sangat padat (*very dense*)
	10,00 – 30,00	**Pasir;** abu – abu gelap, pelapukan sedang, butiran *rounded – subrounded*, ukuran butiran halus-sedang, sangat padat (*very dense*)

(Sumber : Laporan *Soil Investigation* Proyek JICA Universitas Gadjah Mada)

Tabel L-1.13 Hasil Penyelidikan Laboratorium di Titik Bor BH – 06

Kedalaman	ɣd	ɣ	Wn	φ	Angka pori	Porositas	Kohesi
m	g/cm³	g/cm³	%		e	%	kg/cm²
6,5 – 7,00	1,957	2,21	12,77	37,05	0,26	20,44	0,00
14,5 – 15,00	1,298	1,64	26,44	33.92	1,14	53,23	0,05

(Sumber : Laporan *Soil Investigation* Proyek JICA Universitas Gadjah Mada)

Tabel L-1.14 Data Hasil Pengujian *Standart Penetration Test* (SPT)

Kedalaman (m)	N – SPT
2,0 – 2,5	26
4,0 – 4,5	41
6,0 – 6,5	49
8,0 – 8,5	>60
10 – 10,5	49

Lanjutan Tabel L-1.14 Data Hasil Pengujian *Standart Penetration Test* (SPT)

12 – 12,5	>60
14 – 14,5	>60
16 – 16,5	>60
18 – 18,5	>60
20 – 20,5	>60
22 – 22,5	>60
24 – 24,5	>60
26 – 26,5	>60
28 – 28,5	>60
30 – 30,5	>60

(Sumber : Laporan *Soil Investigation* Proyek JICA Universitas Gadjah Mada)

Lampiran 2 Hasil Analisis Program *SAP2000*

Tabel L-2.1 Data Hasil Analisisi Program *SAP2000*

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	**Station**	**OutputCase**	**P(kN)**	**V2(kN)**	**M2(kN)**	**M3(kN)**
1897	4.5	COMB7	-4927.33	56.979	22.2135	232.48
1897	4.5	COMB8	-4927.33	56.979	22.2135	232.48
1897	4.5	COMB9	-4927.33	56.979	22.2135	232.48
1897	4.5	COMB10	-4927.33	56.979	22.2135	232.48
1897	4.5	ENVELOPE	-4927.33	56.979	22.2135	-252.204
1897	2.25	COMB7	-4891.34	56.979	17.2749	-188.482
1897	2.25	COMB8	-4891.34	56.979	17.2749	-188.482
1897	2.25	COMB9	-4891.34	56.979	17.2749	-188.482
1897	2.25	COMB10	-4891.34	56.979	17.2749	-188.482
1897	2.25	ENVELOPE	-4891.34	56.979	63.1453	-188.482
1897	2.2	COMB7	-4890.54	56.979	6.0936	-189.685
1897	2.2	COMB8	-4890.54	56.979	6.0936	-189.685
1897	2.2	COMB9	-4890.54	56.979	6.0936	-189.685
1897	2.2	COMB10	-4890.54	56.979	6.0936	-189.685
1897	2.2	ENVELOPE	-4890.54	56.979	-54.2979	-189.685
1897	2.2	COMB7	-4689.77	-149.152	-150.076	-148.439
1897	2.2	COMB8	-4689.77	-149.152	-150.076	-148.439
1897	2.2	COMB9	-4689.77	-149.152	-150.076	-148.439
1897	2.2	COMB10	-4689.77	-149.152	-150.076	-148.439

Lanjutan Tabel L-2.1 Data Hasil Analisisi Program *SAP2000*

1897	2.2	ENVELOPE	-4689.77	-149.152	-186.373	-173.387
1897	0	COMB7	-4654.59	-149.152	-257.384	-99.2585
1897	0	COMB8	-4654.59	-149.152	-257.384	-99.2585
1897	0	COMB9	-4654.59	-149.152	-257.384	-99.2585
1897	0	COMB10	-4654.59	-149.152	-257.384	-99.2585
1897	0	ENVELOPE	-4654.59	-149.152	-257.384	-122.927
1897	4.5	COMB3	-4412.92	-88.779	-224.284	-46.1758
1897	4.5	COMB4	-4412.92	-88.779	-224.284	-46.1758
1897	4.5	COMB5	-4412.92	-88.779	-224.284	-46.1758
1897	4.5	COMB6	-4412.92	-88.779	-224.284	-46.1758
1897	2.25	COMB3	-4376.93	-88.779	47.034	-126.768
1897	2.25	COMB4	-4376.93	-88.779	47.034	-126.768
1897	2.25	COMB5	-4376.93	-88.779	47.034	-126.768
1897	2.25	COMB6	-4376.93	-88.779	47.034	-126.768
1897	2.2	COMB3	-4376.13	-88.779	53.0514	-129.213
1897	2.2	COMB4	-4376.13	-88.779	53.0514	-129.213
1897	2.2	COMB5	-4376.13	-88.779	53.0514	-129.213
1897	2.2	COMB6	-4376.13	-88.779	53.0514	-129.213
1897	4.5	COMB2	-4334.63	-63.07	-105.106	35.4533
1897	2.25	COMB2	-4302.88	-63.07	81.4152	-106.454
1897	2.2	COMB2	-4302.17	-63.07	85.5602	-109.608

Lanjutan Tabel L-2.1 Data Hasil Analisisi Program *SAP2000*

1897	2.2	COMB3	-4268.81	-47.863	-2.0573	-13.6156
1897	2.2	COMB4	-4268.81	-47.863	-2.0573	-13.6156
1897	2.2	COMB5	-4268.81	-47.863	-2.0573	-13.6156
1897	2.2	COMB6	-4268.81	-47.863	-2.0573	-13.6156
1897	0	COMB3	-4233.63	-47.863	-120.868	-5.7201
1897	0	COMB4	-4233.63	-47.863	-120.868	-5.7201
1897	0	COMB5	-4233.63	-47.863	-120.868	-5.7201
1897	0	COMB6	-4233.63	-47.863	-120.868	-5.7201
1897	2.2	COMB2	-4232.84	-2.012	65.0803	45.284
1897	2.25	COMB3	-3936.01	-30.322	102.1558	-73.8708
1897	2.25	COMB4	-3936.01	-30.322	102.1558	-73.8708
1897	2.25	COMB5	-3936.01	-30.322	102.1558	-73.8708
1897	2.25	COMB6	-3936.01	-30.322	102.1558	-73.8708
1897	2.2	COMB3	-3935.21	-30.322	103.7471	-77.3807
1897	2.2	COMB4	-3935.21	-30.322	103.7471	-77.3807
1897	2.2	COMB5	-3935.21	-30.322	103.7471	-77.3807
1897	2.2	COMB6	-3935.21	-30.322	103.7471	-77.3807
1897	2.2	COMB3	-3907.99	38.956	124.8158	101.947
1897	2.2	COMB4	-3907.99	38.956	124.8158	101.947
1897	2.2	COMB5	-3907.99	38.956	124.8158	101.947
1897	2.2	COMB7	-3487.02	140.245	272.8343	236.77